

Auxiliar 9

Ingeniería de Materiales II y Materiales para la Ingeniería
Primavera 2021

Auxiliar(s): Gaspar Fábrega R.
Elaborado por: Matías Bahamondes A.

Consultas Control 2

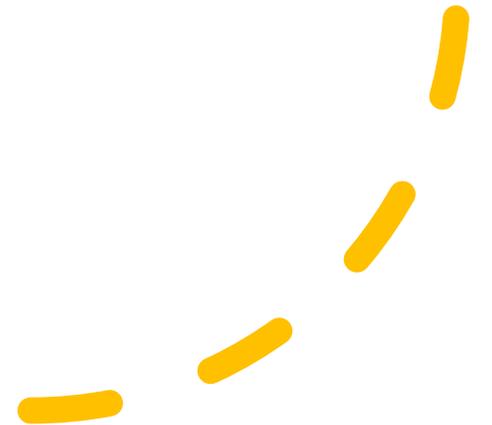


Bibliografía

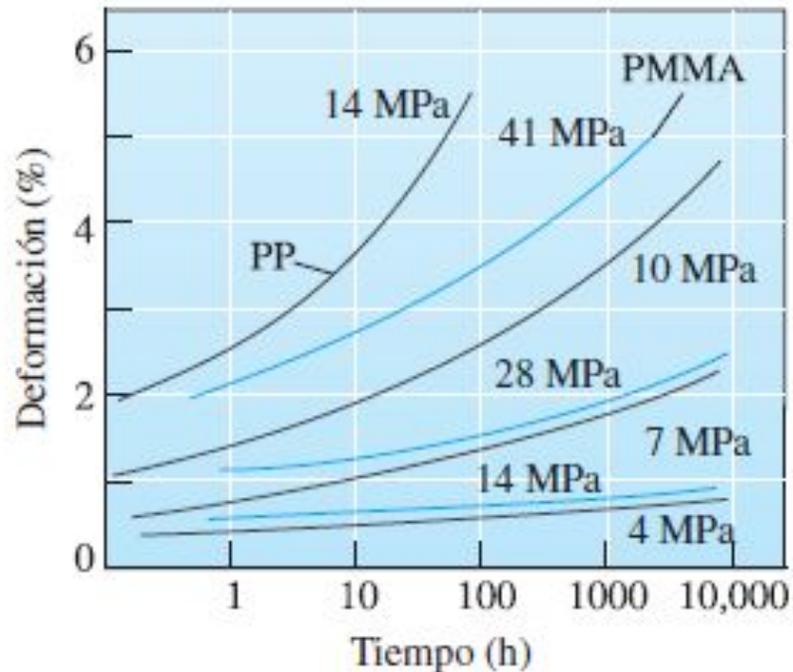
- ***Ref. 1 – Ashby “Engineering Materials 2”***
 - Cap 23, mechanical behaviour of polymers.
- ***Ref. 2 – Askeland “The Science and Engineering of Materials”***
 - Cap 15 polymers

Motivación

- Que debemos considerar al diseñar piezas o productos polimeros?
- En que afecta la temperatura? es realmente relevante?



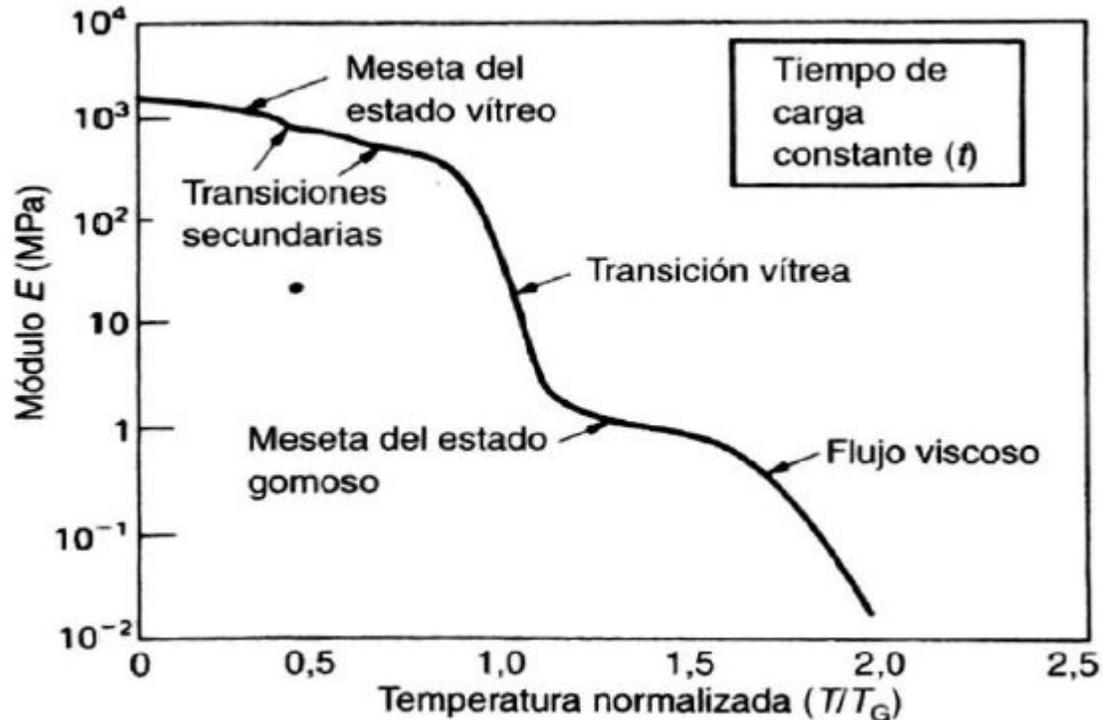
P1. a) Explique el efecto del tiempo en el %deformación de un polímero.



- Para un mismo esfuerzo: a mayor tiempo , mayor deformación
- Bajo una deformación constante, el nivel de esfuerzo se reduce con el tiempo

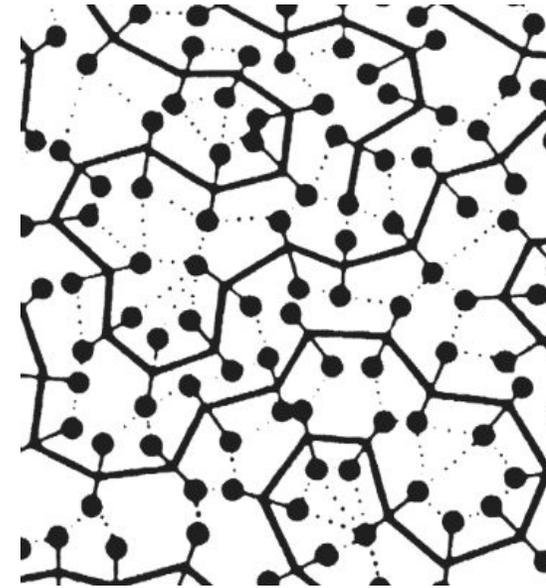


b) Efecto de la temperatura en el módulo de Young.



- Un polímero está compuesto por 2 tipos de enlaces: Van der Waals entre cadenas y covalentes entre átomos de la cadena.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \left\{ \frac{f}{E_1} + \frac{(1-f)}{E_2} \right\}^{-1}$$



- A altas t 's desaparecen enlaces de Van der Waals (en $T/T_g=1$ enlaces secundarios desaparecen)
- Al desaparecer enlace secundario el material fluye (estado gomoso)

c) ¿Cómo serán las curvas de esfuerzo-deformación en un polímero termoplástico a $0,6T_g$ y $1,5T_g$?

- A bajas temperaturas será un material frágil
- A temperaturas altas (sobre T_g) los enlaces de Van der Waals ya no estarán y el polímero podrá fluir, será menos resistente y más dúctil

(Ojo que cuando se habla de $0,5T_g$, etc T_g está en °K)

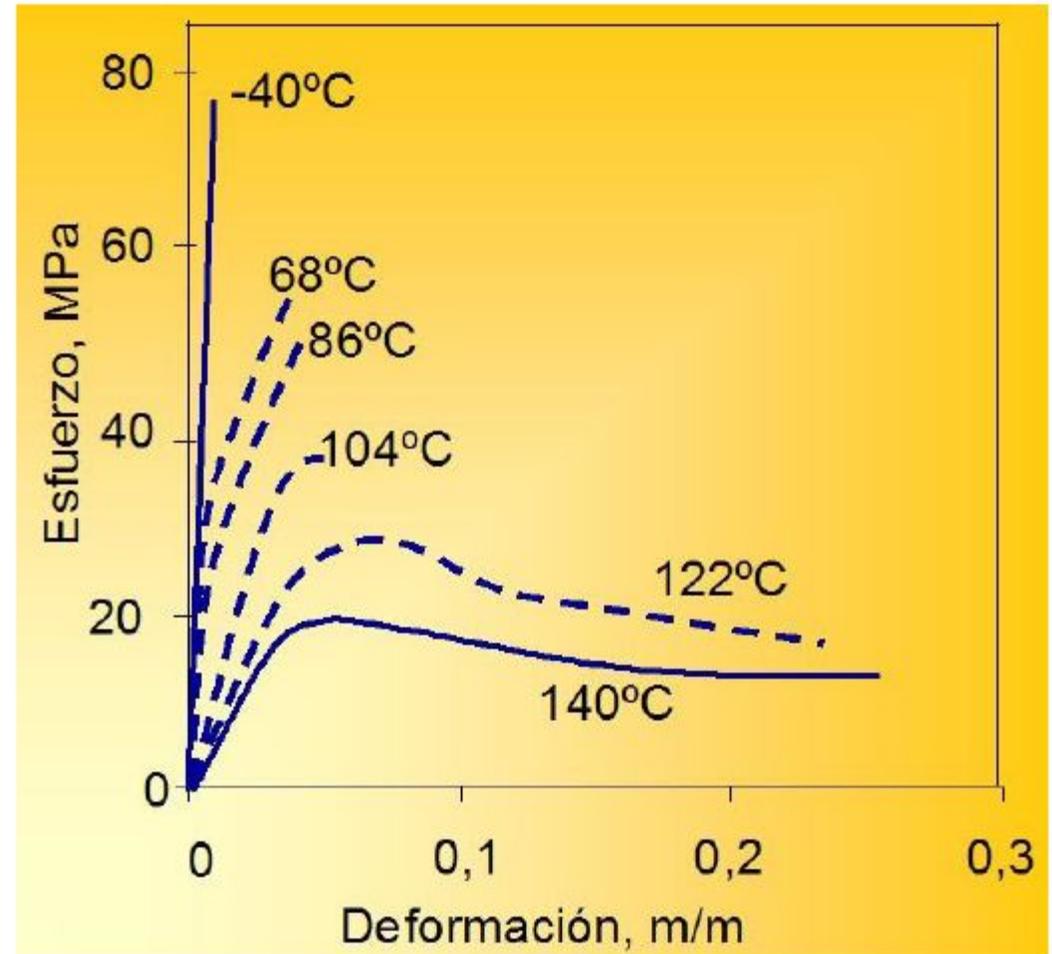
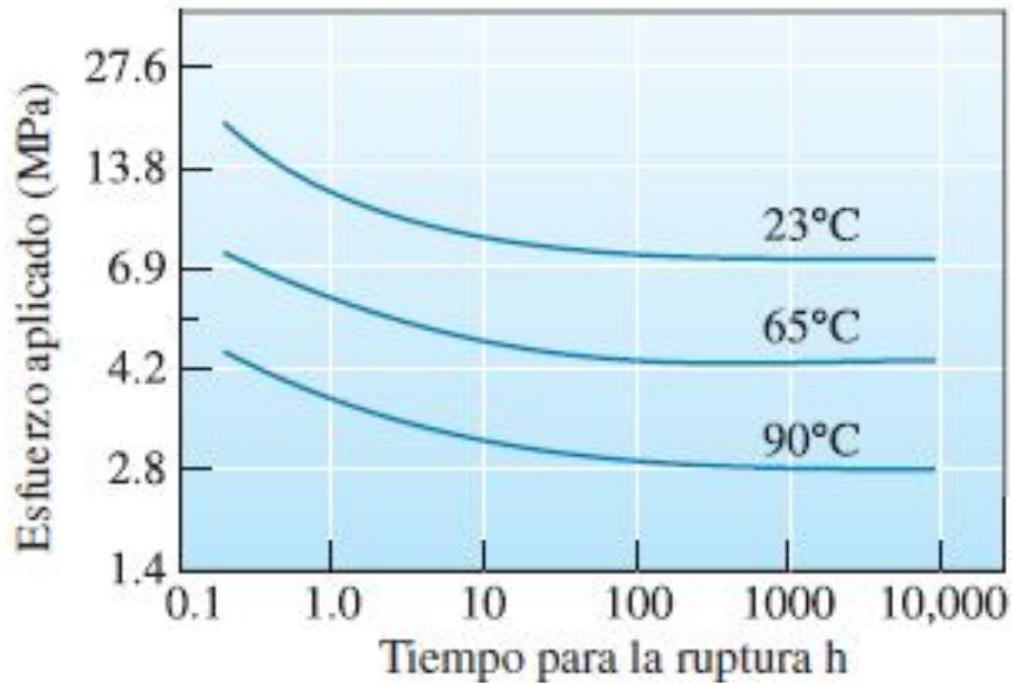


Figura 3. Deformación de polímero termoplástico.

P2. A un esfuerzo aplicado de 4.8 Mpa un polímero se rompe en 0.2 h a 90°C, pero a 65°C resiste 10.000 horas. Suponiendo que el tiempo de ruptura esta relacionado con la viscosidad, calcule la energía de activación para la viscosidad del polietileno y estime el tiempo de ruptura a 23°C



(Este es otro material, sirve para ver la curva)

El tiempo a la falla:

$$t_r = A \cdot e^{\frac{Q}{RT}}$$

Q= Energía de activación (se relaciona con la facilidad con que las cadenas poliméricas se deslizan entre si)

$$t_r = A \cdot e^{\frac{Q}{RT}} \begin{cases} 0,2 = A \cdot e^{\left[\frac{Q}{\left(8,31 \left[\frac{J}{mol K} \right] \right) * (90+273 [^{\circ}K])} \right]} \\ 10.000 = A \cdot e^{\left[\frac{Q}{\left(8,31 \left[\frac{J}{mol K} \right] \right) * (65+273 [^{\circ}K])} \right]} \end{cases}$$

$$0,00002 = \exp \left[\left(\frac{1}{3016,5} - \frac{1}{2808,78} \left[\frac{J}{mol} \right] \right) * Q \right]$$

$$\ln(0,00002) = \left[\left(-2,45 * 10^{-5} \left[\frac{J}{mol} \right] \right) * Q \right]$$

$$Q=441328 [J/mol]$$

P2. A un esfuerzo aplicado de 4.8 MPa, la figura indica que el polímero se rompe en 0.2 h a 90°C, pero a 65°C resiste 10.000 horas. Suponiendo que el tiempo de ruptura esta relacionado con la viscosidad, calcule la energía de activación para la viscosidad del polietileno y estime el tiempo de ruptura a 23°C

Teniendo la energía de activación, se busca la constante A: $t_r = A \cdot e^{\frac{Q}{RT}}$ $Q=441328 \text{ [J/mol]}$

Para el caso de estudio a 90°C se rompe en 0,2 [h]: $0,2 = A \cdot e^{\left[\frac{441328 \text{ [J/mol]}}{\left(8,31 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol K}} \right] \right) * (90+273 \text{ [°K]})} \right]}$ $A = 5,8 * 10^{-65}$

Con la constante A, se puede buscar el tiempo a ruptura a 23°C con un esfuerzo de 4,8[Mpa]:

$$t_r = 5,8 * 10^{-65} \cdot e^{\left[\frac{441328 \text{ [J/mol]}}{\left(8,31 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol K}} \right] \right) * (23+273 \text{ [°K]})} \right]}$$

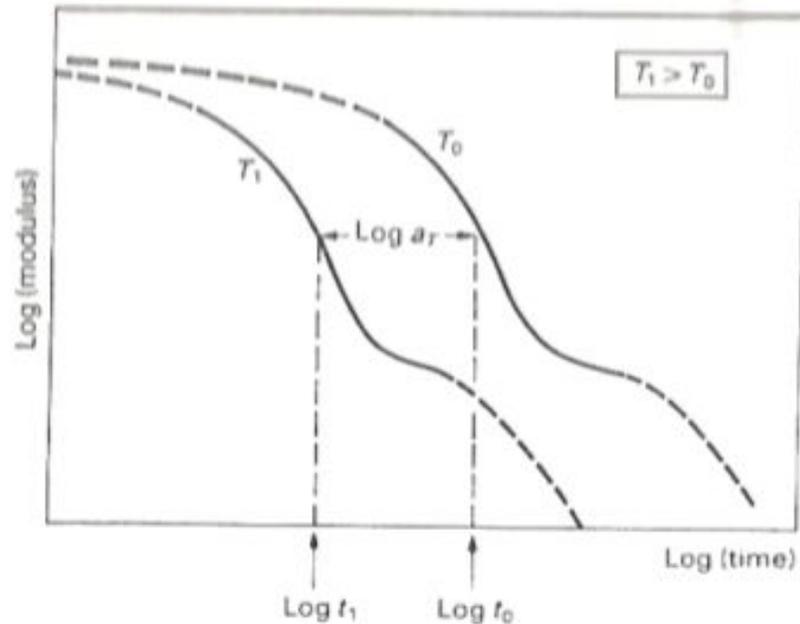
$$t_r = 4,879 * 10^{13} \text{ [h]} = 5.5 * 10^9 \text{ [años]}$$

A temperatura ambiente el polímero no debiese romperse con un esfuerzo de 4,8 [Mpa]

P3. Calcula el tiempo de carga necesario para obtener un módulo de 0.2 GPa en polietileno de baja densidad a temperatura de transición vítrea

Polymer	Density (Mg m ⁻³)	Youngs Modulus (20 °C 100 s) (GN m ⁻²)	Tensile Strength (MN m ⁻²)	Fracture Toughness (20 °C) (MN m ^{-3/2})	Glass Temperature T _G (K)	Softening Temperature T _s (K)	Specific Heat (J Kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal Conductivity (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal Coefficient (MK ⁻¹)
<i>Thermoplastics</i>									
Polyethylene, PE (low density)	0.91–0.94	0.15–0.24	7–17	1–2	270	355	2250	0.35	160–190

Como la t° es la vítrea, el estado es Leathery (cuero).



Dado que estamos en la temperatura vítrea, para calcular este tiempo se considera la ecuación de WLF (Williams-Landel-Ferry):

$$\frac{t_1}{t_2} = \exp \frac{\ln 10 \cdot C_1(T_2 - T_1)}{C_2 + (T_2 - T_1)}$$

T₁=T_g=270 °K y C₁=17,5 y C₂= 52 °K:

P3. Calcula el tiempo de carga necesario para obtener un módulo de 0.2 GPa en polietileno de baja densidad a temperatura de transición vítrea

Polymer	Density (Mg m ⁻³)	Youngs Modulus (20 °C 100 s) (GN m ⁻²)	Tensile Strength (MN m ⁻²)	Fracture Toughness (20 °C) (MN m ^{-3/2})	Glass Temperature T _G (K)	Softening Temperature T _s (K)	Specific Heat (J Kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal Conductivity (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal Coefficient (MK ⁻¹)
<i>Thermoplastics</i>									
Polyethylene, PE (low density)	0.91–0.94	0.15–0.24	7–17	1–2	270	355	2250	0.35	160–190

$$\frac{t_1}{t_2} = \exp\left(\frac{\ln(10) * C_1 * (T_2 - T_g)}{C_2 + (T_2 - T_g)}\right) = \exp\left(\frac{\ln(10) * 17,5 * (293,15 - 270)}{52 + (293,15 - 270)}\right) = 245.971,56$$

$$t_1 = 245.971,56 * 100$$

$$= 2,46 * 10^7 [s]$$

244 días aproximadamente

Corresponde al tiempo para tener módulo de elasticidad 0.2 GPa a 270°K

A menor temperatura el tiempo es mayor

P4. Polietileno de baja densidad es extruido a 200°C con una presión de 60 Mpa. ¿Qué incremento en la temperatura permitirá extruir con una presión de 40 Mpa? $C_1 = 17.5$, $C_2 = 52$ K and $T_0 = T_g = 270$ K

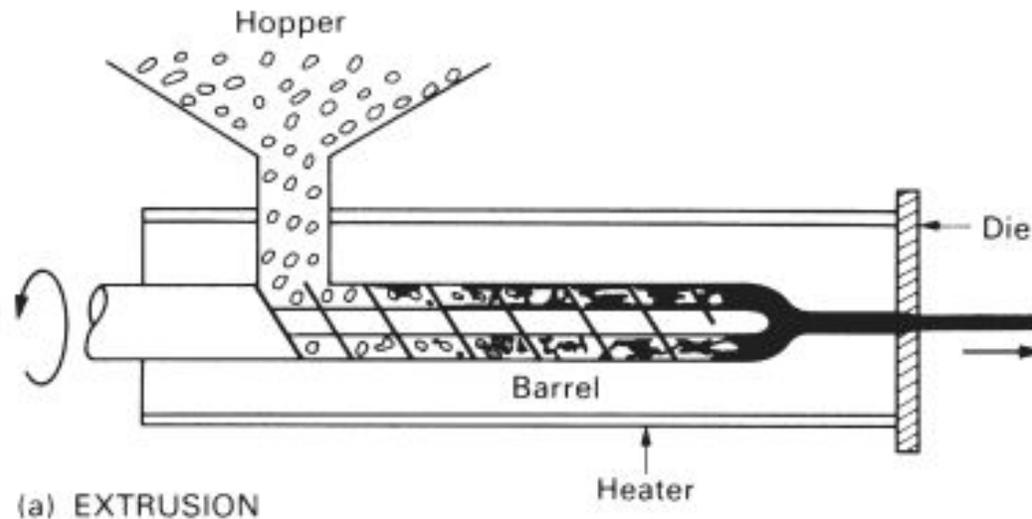
Estado: Viscoso

La viscosidad de un material depende de la temperatura:

$$\eta_1 = \eta_0 * \exp\left(-\frac{c_1(T_1 - T_0)}{C_2 + T_1 - T_0}\right)$$

La viscosidad también se puede mostrar como:

$$\eta = \frac{\sigma_s}{10\dot{\gamma}}$$



P4. Polietileno de baja densidad es extruido a 200°C con una presión de 60 Mpa. ¿Qué incremento en la temperatura permitirá extruir con una presión de 40 Mpa? $C_1 = 17.5$, $C_2 = 52$ K and $T_0 = T_g = 270$ K

La viscosidad de un material depende de la temperatura:

$$\eta_1 = \eta_0 * \exp\left(-\frac{c_1(T_1 - T_0)}{C_2 + T_1 - T_0}\right)$$

La viscosidad también se puede mostrar como:

$$\eta = \frac{\sigma_s}{10\dot{\gamma}}$$

$$\eta_1 = \frac{60[\text{MPa}]}{10 * \gamma} = \eta_0 * \exp\left(-\frac{17,5 * ((200 + 273) - 270)}{52 + (200 + 273) - 270}\right)$$

$$\eta_2 = \frac{40[\text{MPa}]}{10 * \gamma} = \eta_0 * \exp\left(-\frac{17,5 * ((t + 273) - 270)}{52 + (t + 273) - 270}\right)$$

Al dividir estas 2 ecuaciones se puede encontrar la temperatura de extrusión para el caso de 40 MPa

$$\ln\left(\frac{60}{40}\right) = -\frac{17,5 * ((200 + 273) - 270)}{52 + (200 + 273) - 270} + \frac{17,5 * ((t + 273) - 270)}{52 + (t + 273) - 270}$$

$$t = 232,68 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Al incrementar la temperatura en 32,6° se puede reducir la presión con la que se forma el polietileno

P5. Una banda de poliisopreno debe mantener unido un paquete de varillas de acero durante un año. Si el esfuerzo en la banda es menor de 10 MPa, ésta no sujetará firmemente a las varillas.

Diseñe el esfuerzo inicial que debe aplicarse a una banda de poliisopreno cuando es colocada sobre el acero. Una serie de pruebas mostró que un esfuerzo inicial de 7 MPa se redujo a 6.8 MPa después de seis semanas.

La deformación es constante, pero el esfuerzo disminuirá por relajación de esfuerzos

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right)$$

σ_0 : *esfuerzo inicial*

λ : *tiempo de relajación*

t : *tiempo asociado a esfuerzo σ*

Para determinar el tiempo de relajación se usan los datos del caso conocido:

$$6,8 \text{ [MPa]} = 7 \text{ [MPa]} * \exp\left(-\frac{6 \text{ [semanas]}}{\lambda}\right)$$

$$\ln\left(\frac{6,8 \text{ [MPa]}}{7 \text{ [MPa]}}\right) = -0,029 = -\frac{6 \text{ [semanas]}}{\lambda}$$

$$\lambda = 207 \text{ [semanas]}$$

P5. Una banda de poliisopreno debe mantener unido un paquete de varillas de acero durante un año. Si el esfuerzo en la banda es menor de 10 MPa, ésta no sujetará firmemente a las varillas.

Diseñe el esfuerzo inicial que debe aplicarse a una banda de poliisopreno cuando es colocada sobre el acero. Una serie de pruebas mostró que un esfuerzo inicial de 7 MPa se redujo a 6.8 MPa después de seis semanas.

La deformación es constante, pero el esfuerzo disminuirá por relajación de esfuerzos

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right)$$

σ_0 : *esfuerzo inicial*

λ : *tiempo de relajación*

t : *tiempo asociado a esfuerzo σ*

Teniendo el tiempo de relajación se puede encontrar el esfuerzo inicial para mantener 10[Mpa] luego de 1 año:

$$1 \text{ año} = 52 \text{ semanas}$$

$$10 \text{ [MPa]} = \sigma_0 * \exp\left(-\frac{52 \text{ [semanas]}}{207 \text{ [semanas]}}\right)$$

$$\sigma_0 = 12,85 \text{ [Mpa]}$$

Se debe considerar una tensión inicial de 12,856 Mpa y después de un año el esfuerzo será de 10 MPa por lo que seguirá sujetando las varillas

Auxiliar 9

Ingeniería de Materiales II y Materiales para la Ingeniería
Primavera 2021

Auxiliar(s): Gaspar Fábrega R.
Elaborado por: Matías Bahamondes A.