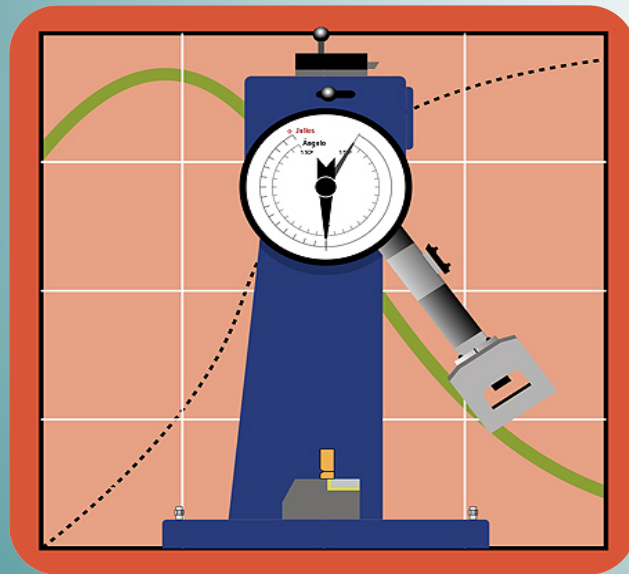


Materiales-G704/G742

Lección 8. Fluencia y relajación



Jesús Setién Marquínez
Jose Antonio Casado del Prado
Soraya Diego Cavia
Carlos Thomas García

Departamento de Ciencia e Ingeniería del
Terreno y de los Materiales

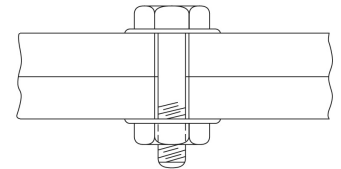
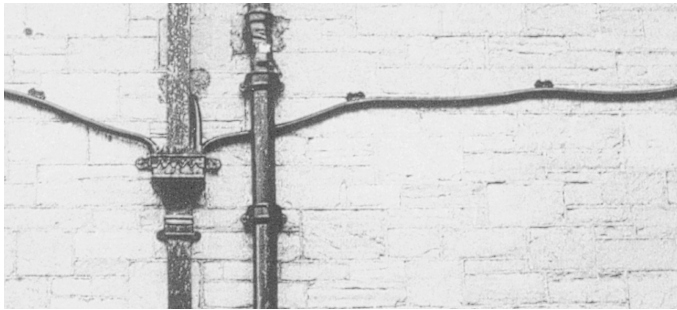
Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

8.1 INTRODUCCIÓN

El comportamiento mecánico dependiente del tiempo se analiza según 2 aspectos:

- **Fluencia:** variación de la deformación con el tiempo a **carga constante**.
- **Relajación:** pérdida de la tensión con el tiempo a **deformación constante**.



8.2 FLUENCIA

Las deformaciones dependen de la temperatura (T):

$T > 0,3 - 0,4 T_M$ para **metales**.

$T > 0,4 - 0,5 T_M$ para **cerámicos**.

Temperatura de fusión, T_M o reblandecimiento

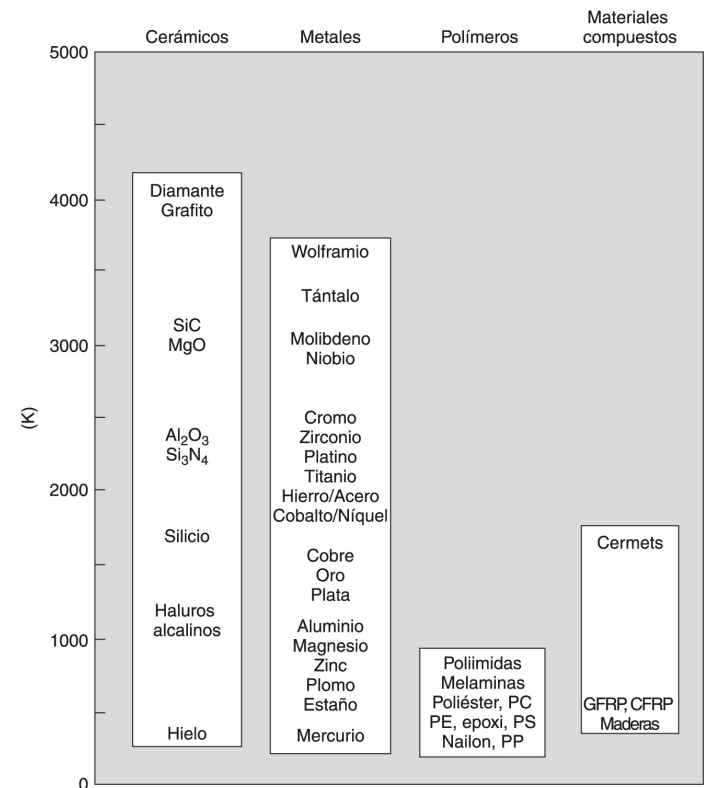
Material	T_M (K)	Material	T_M (K)
Diamante, grafito	4000	Oro	1336
Aleaciones de wolframio	3500-3683	Plata	1234
Aleaciones de tántalo	2950-3269	Vidrio de sílice	1100 ^(R)
Carburo de silicio, SiC	3110	Aleaciones de aluminio	750-933
Magnesia, MgO	3073	Aleaciones de magnesio	730-923
Aleaciones de molibdeno	2750-2890	Vidrio sódico	700-900 ^(R)
Aleaciones de niobio	2650-2741	Aleaciones de zinc	620-692
Óxido de berilio, BeO	2700	Poliimidas	580-630 ^(R)
Iridio	2682-2684	Aleaciones de plomo	450-601
Alúmina, Al ₂ O ₃	2323	Aleaciones de estaño	400-504
Nitruro de silicio, Si ₃ N ₄	2173	Melaminas	400-480 ^(R)
Cromo	2148	Poliésteres	450-480 ^(R)
Aleaciones de circonio	2050-2125	Policarbonatos	400 ^(R)
Platino	2042	Poliétileno, alta densidad	300 ^(R)
Aleaciones de titanio	1770-1935	Poliétileno, baja densidad	360 ^(R)
Hierro	1809	Plásticos rígidos espumados	300-380 ^(R)
Aceros al carbono	1570-1800	Epoxi, uso general	340-380 ^(R)
Aleaciones de cobalto	1650-1768	Poliestirenos	370-380 ^(R)
Aleaciones de níquel	1550-1726	Nailon	340-380 ^(R)
Cermets	1700	Poliuretano	365 ^(R)
Aceros inoxidables	1660-1690	Acrílicos	350 ^(R)
Silicio	1683	GFRP	340 ^(R)
Haluros alcalinos	800-1600	CFRP	340 ^(R)
Aleaciones de berilio	1540-1551	Polipropileno	330 ^(R)
Uranio	1405	Hielo	273
Aleaciones de cobre	1120-1356	Mercurio	235

A $T_{\text{ambiente}} = 300 \text{ K}$

W ($T_M = 3.500 \text{ K}$) **No fluye**

Pb ($T_M = 600 \text{ K}$) **Fluye**

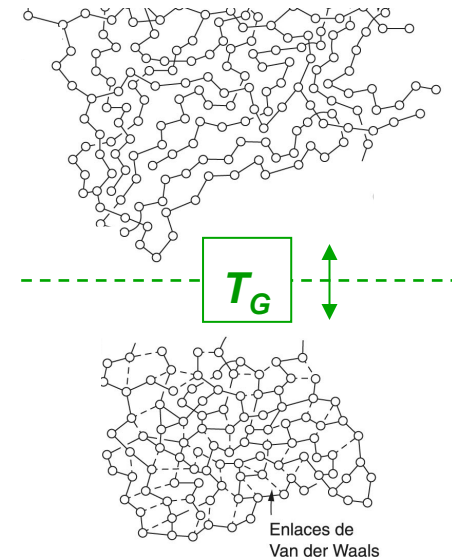
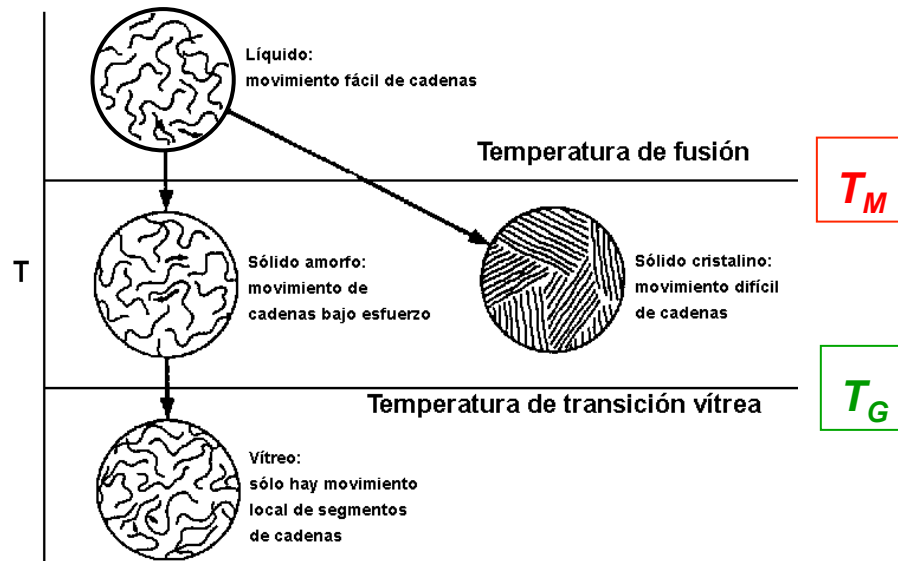
Hielo ($T_M = 273 \text{ K}$) **Funde**



Muchos **polímeros** fluyen a temperatura ambiente ($> T_G$). Por debajo de esta **temperatura de transición vítrea**, se vuelven duros y en ocasiones frágiles, desapareciendo el fenómeno.

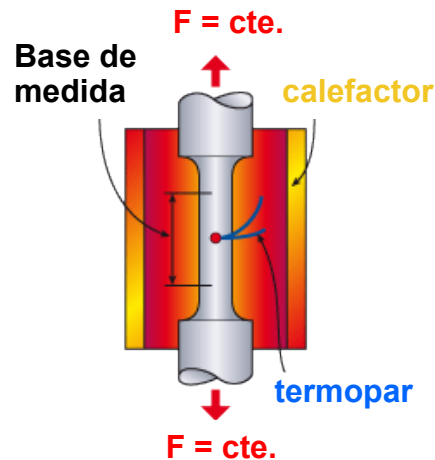
- $T > T_G$ presentan flujo viscoso (deslizamiento cadenas moleculares).
- $T < T_G$ no presentan flujo viscoso (fortalecimiento enlaces secundarios entre cadenas).

Polímero	PE	NR	PP	PA 6	PET	PVC	PS	PMMA
T_G (°C)	-115	-73	-20	53	69	81	100	105
T_M (°C)	137	128	176	265	212	240		

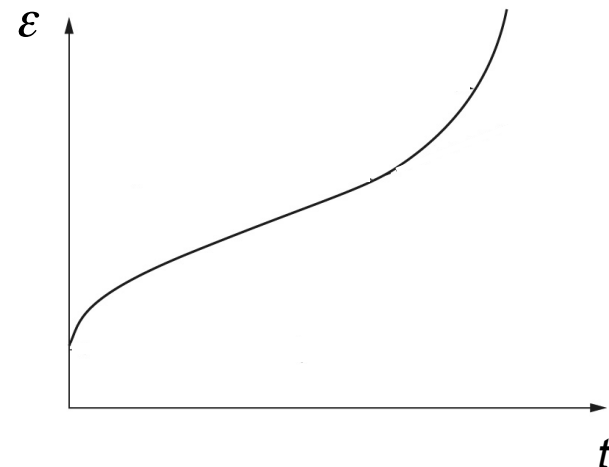
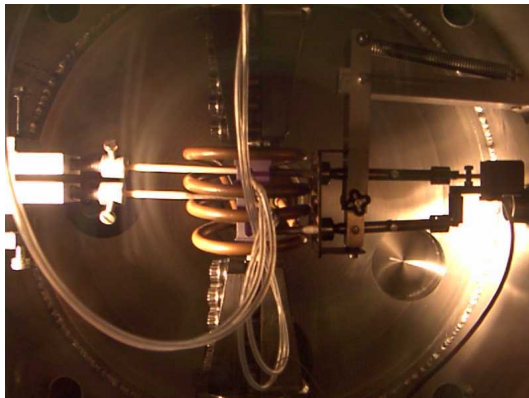


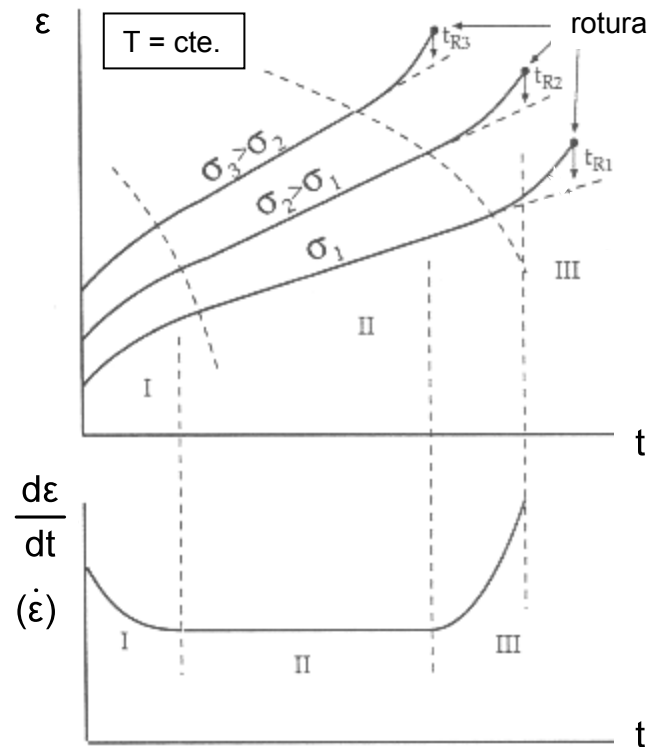
8.3 ENSAYOS DE FLUENCIA

- Se somete a una probeta a carga fija y se mantiene a temperatura constante en el interior de un horno.
- Se mide la deformación, ϵ , y se representa en función del tiempo, t (**curva de fluencia**).



- Control riguroso de T.
- Extensometría adecuada.
- Aislamiento (cámara ambiental).
- Acoplamiento a máquina de ensayos.





- I. Fluencia primaria (transitoria)** $\dot{\varepsilon}$ decrece
- II. Fluencia secundaria (estacionaria)** $\dot{\varepsilon} = \text{cte} = \dot{\varepsilon}_{ss}$
- III. Fluencia terciaria (acelerada)** $\dot{\varepsilon}$ aumenta

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + B \cdot t^n + K \cdot t \quad \text{Ec. de Andrade}$$

ε_0 Deformación inicial instantánea

$B \cdot t^n$ Término región I ($n = 1/4 - 2/3$)

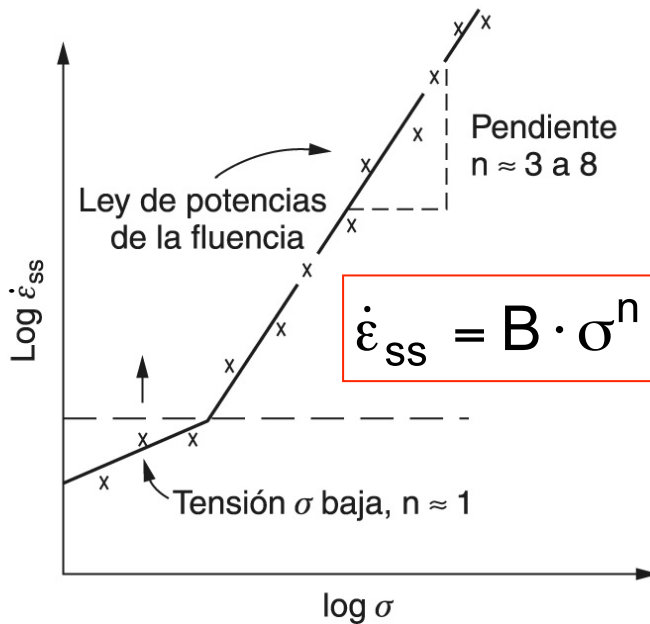
$K \cdot t$ Término región II $K = C \cdot \sigma^m \cdot e^{-Q/R \cdot T}$

($m = 3,0 - 5,5$)

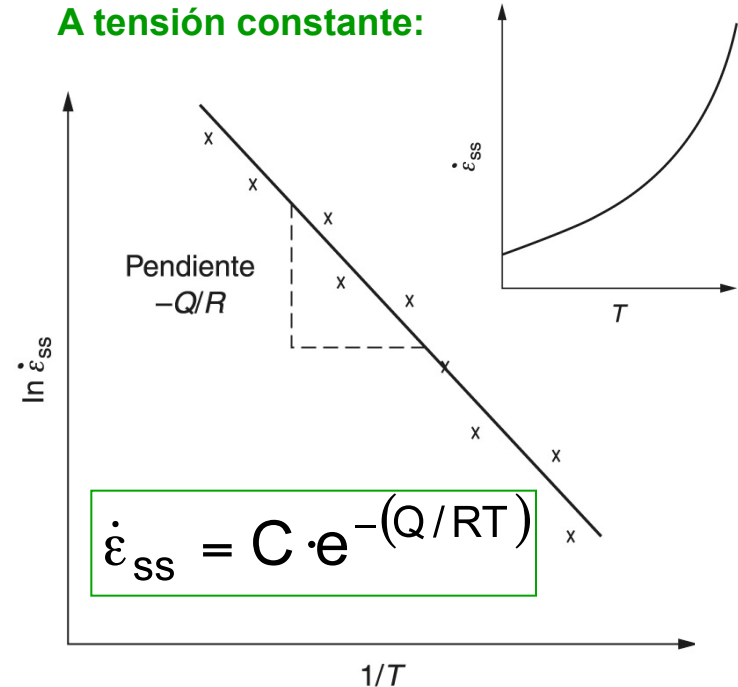
8.4 INFLUENCIA DE LA TENSIÓN Y DE LA TEMPERATURA

- Relaciones empíricas:

A temperatura constante:



A tensión constante:



Combinando ambas expresiones:

$$\dot{\epsilon}_{ss} = A \cdot \sigma^n \cdot e^{-(Q/RT)}$$

Ec. de Weertman

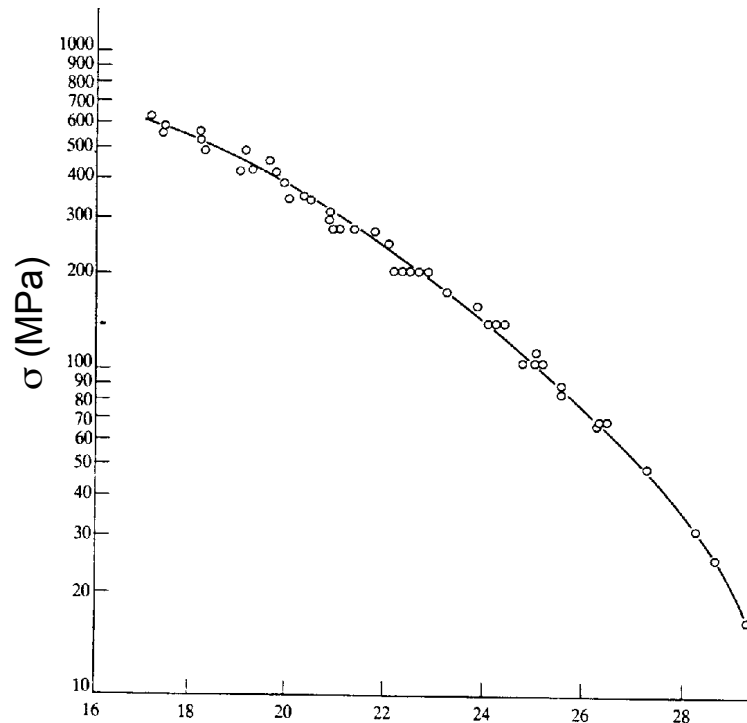
R = Cte. Universal de los Gases Perfectos (8,31 J/mol·K).
Q = Energía de activación para la fluencia (J/mol).
A, n = Constantes del material.

8.5 MÉTODOS DE EXTRAPOLACIÓN DE LOS RESULTADOS

- Ensayos de fluencia acelerada para extrapolar datos a las condiciones de servicio.

Parámetro de LARSON – MILLER

$$LM = T \cdot (C + \log t_f)$$



$$LM = T \cdot (20 + \log t_f) \cdot 10^3 \text{ (K·hr)}$$

8.6 RELAJACIÓN

- Pérdida de tensión del material bajo deformación constante.
- En relajación, se desencadenan en el material mecanismos análogos a los expuestos para la fluencia, respondiendo todos ellos a las mismas ecuaciones básicas.
- **Tiempo de relajación** tiempo necesario para que la tensión inicial se relaje hasta la mitad de su valor.

