

### 3. DESEMPEÑO DE LOS MATERIALES EN SERVICIO

#### 3.1 Creep (fluencia lenta)

a) Deformación elástico-plástico en sólidos → independiente de t

$$\varepsilon = f(\sigma)$$

b) Deformación por creep en sólidos → depende de t y T

$$\varepsilon = f(\sigma, t, T)$$

➤ Deformación lenta y continua de un material sometido a esfuerzo y temperatura constante.

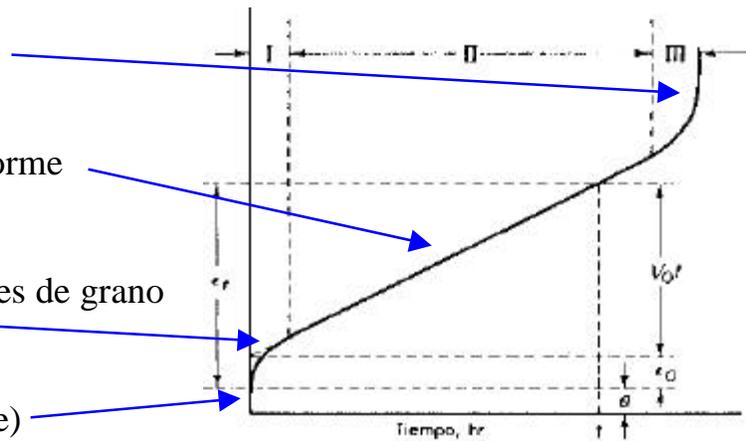
Curva típica de creep

deformación drástica  
(disminución del área)

deformación casi uniforme  
(deslizamiento)

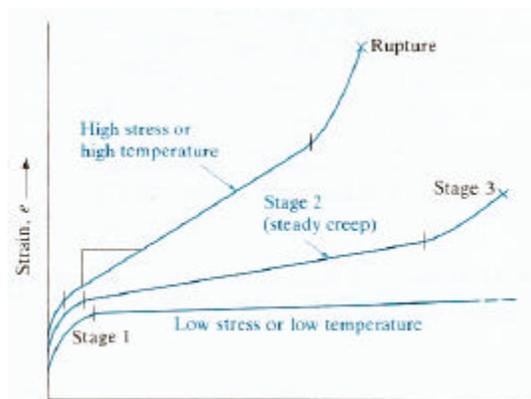
ajustes plásticos (límites de grano  
y vacancias)

deformación elástica (e)



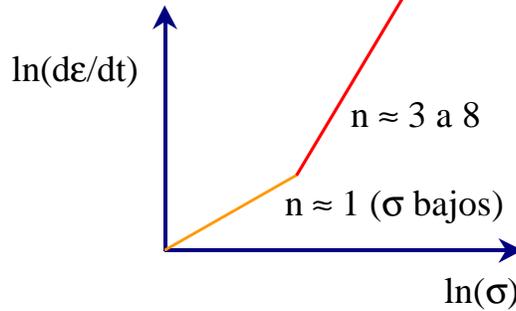
**Rapidez de deslizamiento =  $d\varepsilon/dt$**  (pendiente al tramo II)  
(o deformación por fluencia)

La rapidez de deslizamiento varía con la tensión y la temperatura



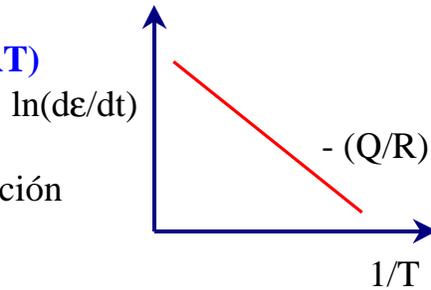
i) Variación de  $d\varepsilon/dt$  con la tensión  $\sigma$ :

$$d\varepsilon/dt = C\sigma^n$$



ii) la temperatura T:

$$d\varepsilon/dt = A \exp(-Q/RT)$$



Q: energía de activación del creep

creep comienza a la temperatura  $T_c = f(T_M)$

- metales:  $T_c > 0.3$  a  $0.4 T_M$
- cerámicos:  $T_c > 0.4$  a  $0.5 T_M$

a)  $T^\circ$  superiores a  $0,3 T_M$  ( $T^\circ$  de fusión)  $\Rightarrow$  creep es importante

a)  $T^\circ$  bajas (entre  $0,3$  y  $0,7 T_M$ ): creep por ascenso de dislocaciones.

b)  $T^\circ$  altas (mayor que  $0,7 T_M$ ): Creep por difusión atómica dentro del grano

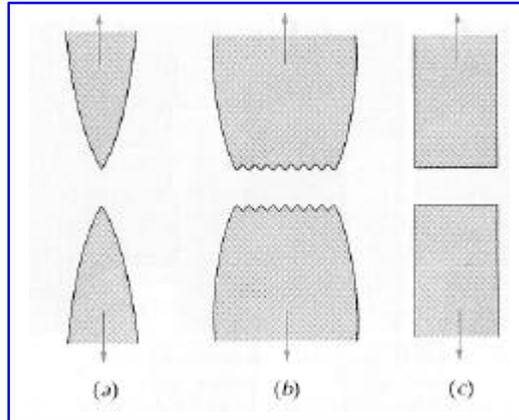
De las ecuaciones anteriores:

$$\Rightarrow d\varepsilon/dt = B\sigma^n \exp(-Q/RT)$$

donde B (Cte. del creep), n y Q son función del material y pueden evaluarse experimentalmente.

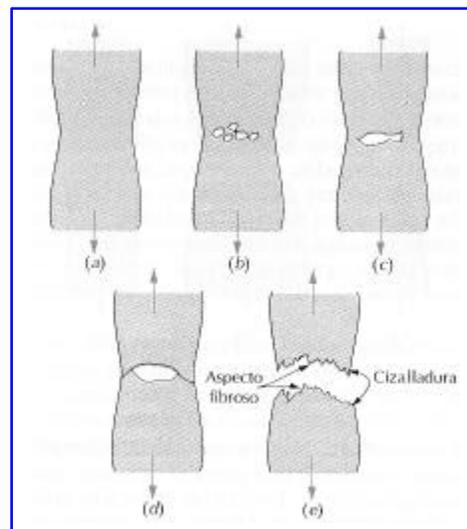
### 3.2 Fractura

- Dúctil (a y b)
- Frágil (c)



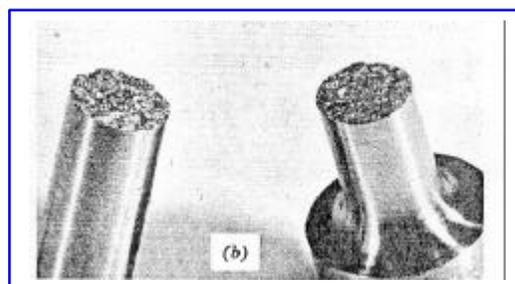
**a) Fractura dúctil:** ocurre deformación plástica (puede llegar a 100% de reducción de área)

Se produce por coalescencia de microalveolos

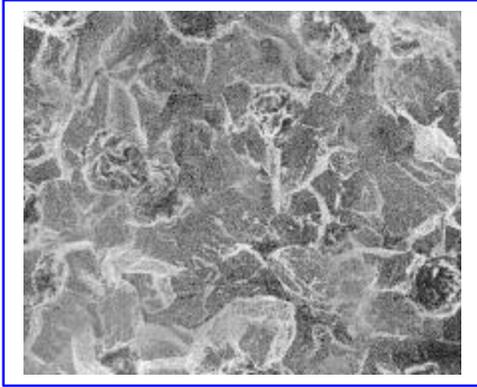


**c) Fractura frágil:** ocurre con poca o ninguna deformación plástica.

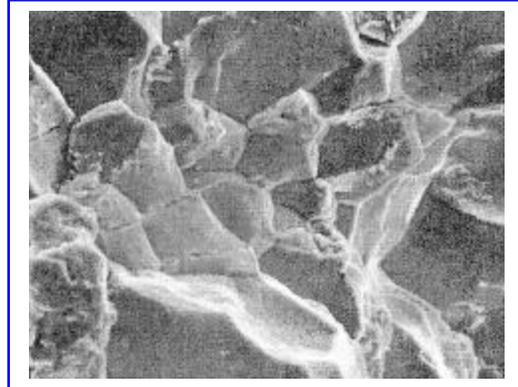
- Se produce por propagación de grietas (por sucesiva y repetida rotura de enlaces atómicos a lo largo de planos cristalinos).



- Dependiendo por donde se propaga la grieta, la fractura es:
  - Trasgranular** (a través de los granos)
  - Intergranular** (a lo largo de los bordes de grano)



Fractura: transgranular



Fractura intergranular

### **Criterio de Griffith** (para fracturas frágiles)

➤ Debido a las microgrietas (intensifican los esfuerzos), el material se fractura cuando la energía de deformación es suficiente para proporcionar energía de superficie ( $\gamma$ ) que crea nuevas superficies de fractura.

➤  $\sigma_{ruptura\ real} \ll \sigma_{ruptura\ teórico}$

Esfuerzo de fractura de Griffith ( $\sigma_G$ )

$$\sigma_G = \left( \frac{2\gamma E}{\pi a} \right)^{1/2}$$

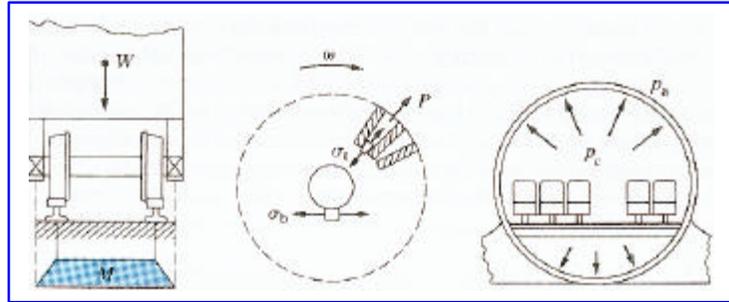
$\gamma$ : energía de superficie

E: módulo de elasticidad

a: mitad de la longitud de la fractura

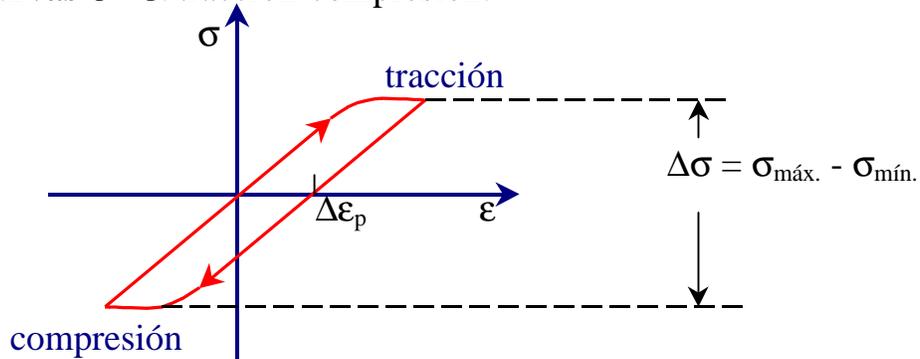
### 3.3 Fatiga

- a) vagón de ferrocarril
- b) rotor de generador
- c) fuselaje de avión



- Ocurre en materiales sometidos a esfuerzos cíclicos (carga dinámica)
- Resistencia a la fatiga ( $\sigma_{FT}$ ) < Resistencia a la tensión ( $\sigma_T$ )

i) **Curvas  $\sigma - \epsilon$ :** tracción-compresión:



$\Delta\epsilon_p = C/N_f^b$       rango de deformación plástica

donde:  $N_f$  es el N° de ciclos a la falla del material  
 C y b son constantes (b varía entre 0,5 y 0,6)

ii) **Tensiones cíclicas:**

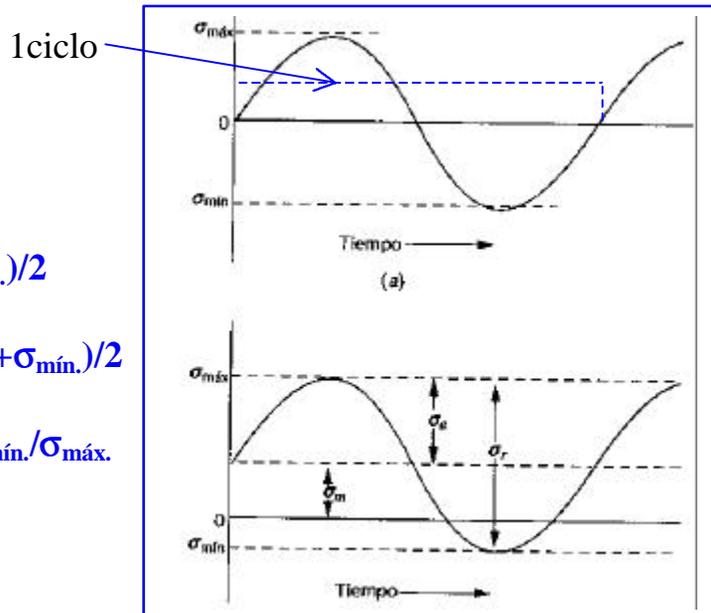
Tensión máxima:  $\sigma_{m\acute{a}x.}$

Tensión mínima:  $\sigma_{m\acute{i}n.}$

Amplitud:  $\sigma_a = (\sigma_{m\acute{a}x.} - \sigma_{m\acute{i}n.})/2$

Tensión media:  $\sigma_m = (\sigma_{m\acute{a}x.} + \sigma_{m\acute{i}n.})/2$

Razón de esfuerzos:  $R = \sigma_{m\acute{i}n.}/\sigma_{m\acute{a}x.}$



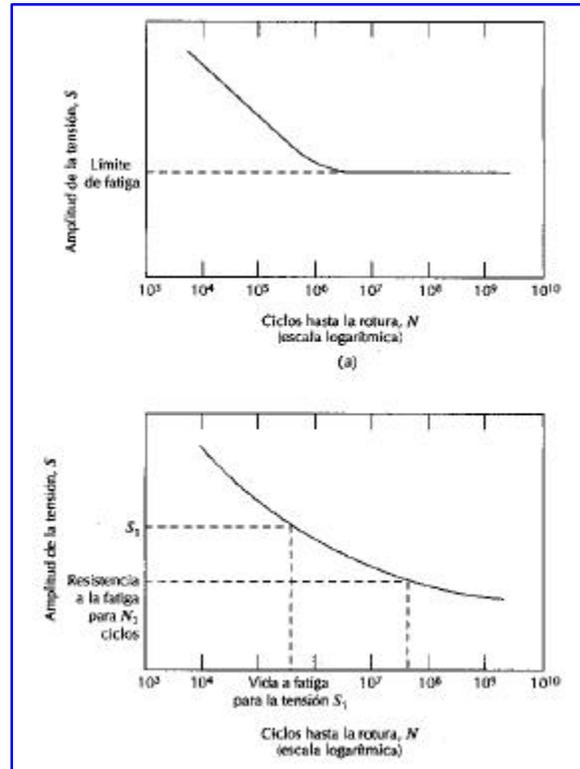
### iii) Curvas S-N

- Las propiedades de fatiga de los materiales pueden ser determinadas a partir de los ensayos de fatiga:
- Se somete el material a ciclos alternos, con  $\sigma_m = 0 \rightarrow$  se dibuja la curva S-N (tensión – número de ciclos)

**Límite de fatiga** ( $\approx 1/2 \sigma_T$ ): tensión límite, por debajo el cual no ocurre rotura por fatiga.

**Resistencia a la fatiga:** tensión que produce rotura después de un cierto número de ciclos.

**Vida a fatiga,  $V_f$ :** número de ciclos para producir rotura a una tensión específica.



### iv) Mecanismos de fatiga

El proceso de fractura por fatiga está caracterizado por 3 etapas:

- Nucleación de la grieta (formación de una grieta pequeña por concentración de esfuerzos)  $\rightarrow N_i$
- Propagación de grieta (la grieta avanza gradualmente en cada ciclo de carga)  $\rightarrow N_p$
- Rotura final (ocurre rápidamente, una vez que la grieta ha alcanzado un tamaño crítico)

El número total de ciclos, hasta la rotura,  $N_T = N_i + N_p$

L : largo de la grieta

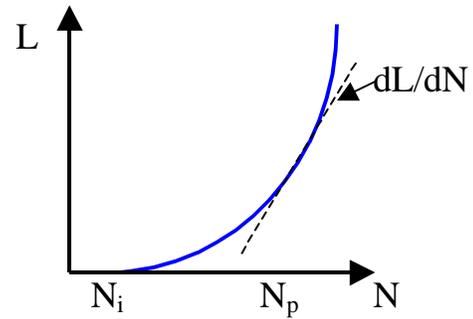
N : Número de ciclos

Velocidad de propagación:  $dL/dN$

$$dL/dN = C (\Delta K)^m$$

$\Delta K$  : factor de intensidad de esfuerzos

$$(\Delta K = (2\sigma_a \sqrt{L})(w/w-L); = Y\sigma_{m\acute{a}x.} \sqrt{\pi L})$$



Mecanismos de propagación de la grieta

a) carga cero

b) carga de tracción

c) carga de tracción máxima

d) carga de compresión

e) carga de compresión máxima

f) carga de tracción

