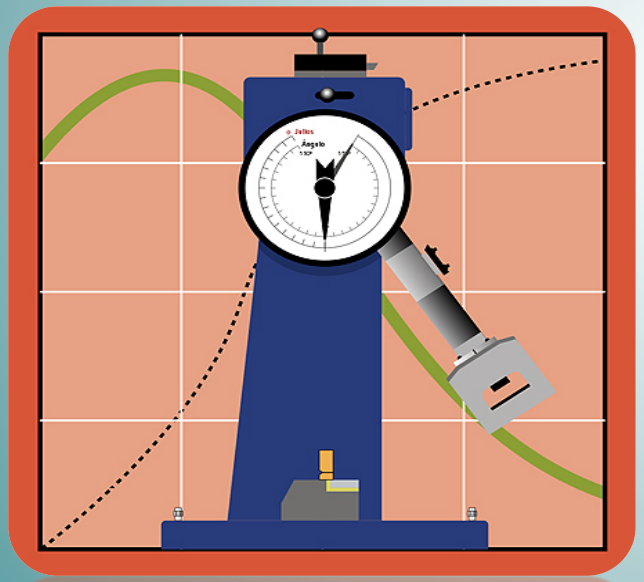
Materiales-G704/G742

Lección 7. Rotura por fatiga



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

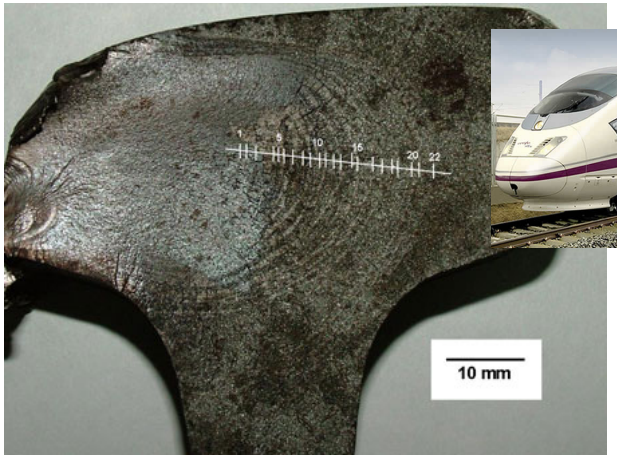
Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales

Este tema se publica bajo Licencia:
Creative Commons BY-NC-SA 4.0

7.1 EL FENÓMENO DE LA FATIGA

Fatiga: elementos sometidos a tensiones dinámicas y fluctuantes.

La fractura acontece a un nivel inferior a la resistencia bajo carga estática, suele ocurrir súbitamente y ser catastrófica.



7.2 TIPOS DE FATIGA

- **Según existencia o no de fisuras previas:**
  - En elementos sin defectos (iniciación, propagación y rotura).
  - En elementos con defectos (propagación y rotura).

No hay grietas preexistentes; fractura controlada por iniciación. Ejemplos: la mayoría de los componentes pequeños, como los ejes de émbolos, rodamientos de bolas, dientes de engranaje, ejes, cigüeñales.

Las grietas preexisten; la propagación de la fractura es controlada. Ejemplos: la mayoría de las grandes estructuras, especialmente las que tienen soldaduras: puentes, barcos, vasijas a presión.

- **Según tipo esfuerzo aplicado:**
  - Fatiga axial (tensión y/o compresión).
  - Fatiga por flexión.
  - Fatiga por torsión.

- **Según intensidad de la tensión aplicada:**
  - Fatiga con alto número de ciclos ($\sigma_{max} < \sigma_Y$).
  - Fatiga a bajo número de ciclos ($\sigma_{max} > \sigma_Y$).

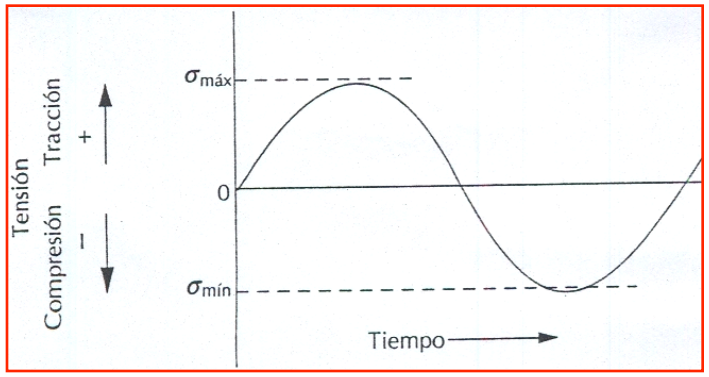
La fatiga se produce a tensiones por debajo de una cedencia general; $\gtrsim 10^4$ ciclos a la fractura. Ejemplos: todos los sistemas que vibran o rotan, como las ruedas, ejes y componentes de motor.

La fatiga se produce a tensiones por encima de una cedencia general; $\lesssim 10^4$ ciclos a la fractura. Ejemplos: componentes del núcleo de un reactor nuclear, fuselaje de aviones, componentes de turbinas y cualquier componente

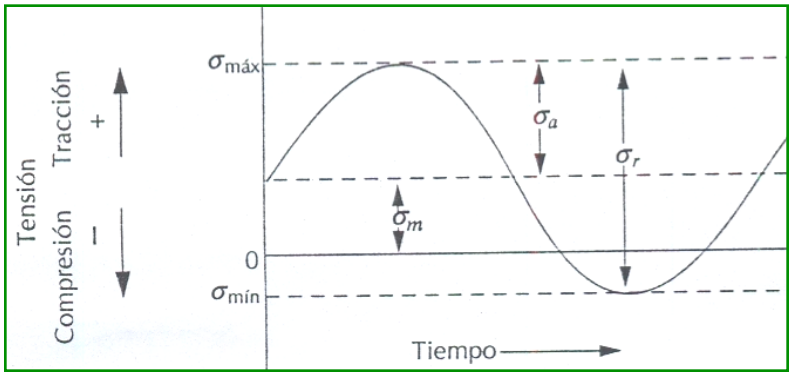
7.3 MODOS TENSIONALES

Tres modos de tensión fluctuante – tiempo:

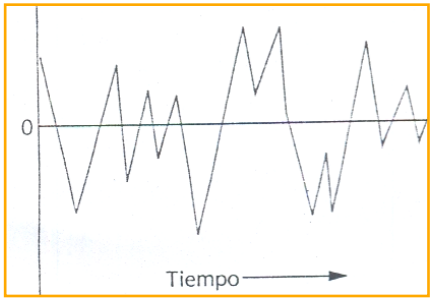
Ciclos carga invertida



Ciclos carga repetida



Ciclos carga aleatoria



Ciclo de carga:

- **Tensión media.**
- **Amplitud de la tensión.**
- **Intervalo de tensiones.**
- **Cociente de tensiones.**

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

7.4 COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE ELEMENTOS SIN DEFECTOS

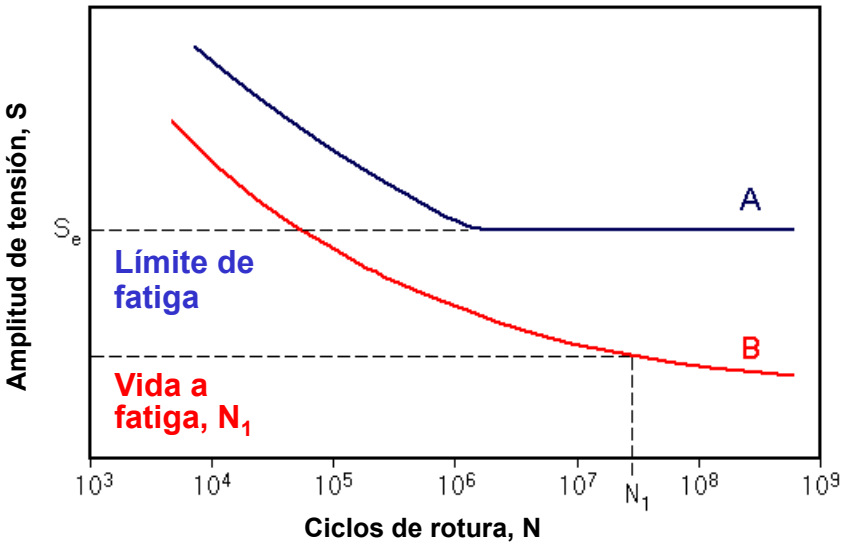
- **Fatiga de componentes pequeños con buen acabado superficial.**

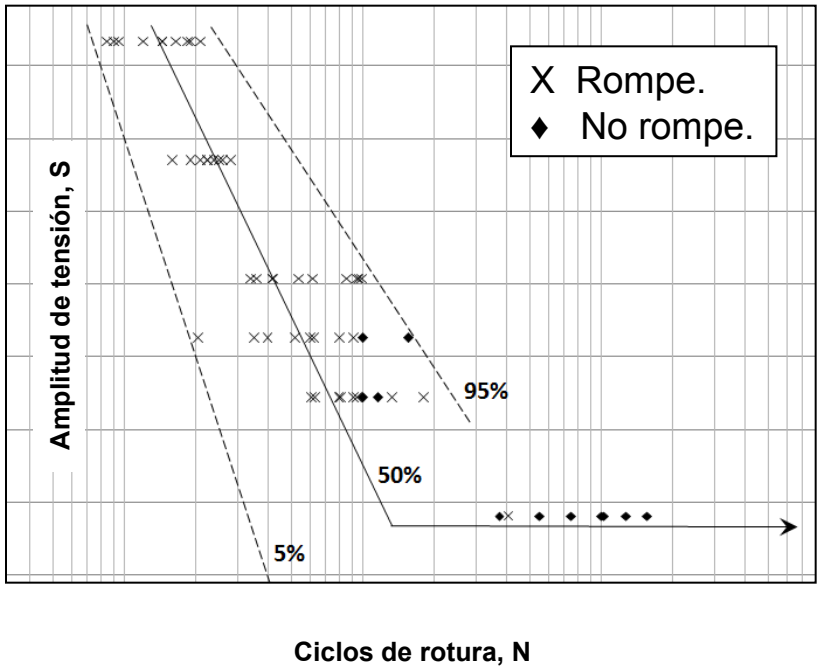
  Su vida presenta tres fases:

  - **Nucleación de la fisura, t_N.**
  - **Crecimiento hasta tamaño crítico, t_C.**
  - **Rotura súbita.**

  } **Tiempo de vida, $t_V = t_N + t_C$.**

Curvas de Wöhler (curvas S–N).





Ajustes experimentales

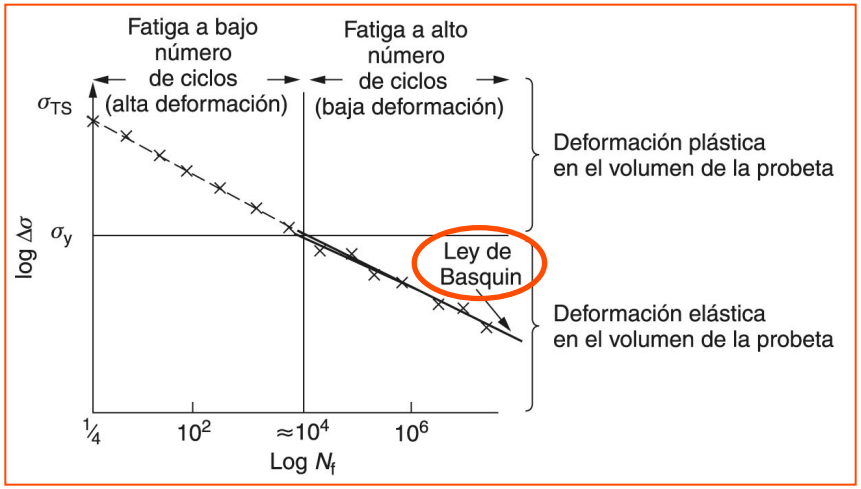
Ajuste matemático ($\sigma_m = 0$):

- **Alto número de ciclos:**

Ley de Basquin.

$$\Delta\sigma \cdot N^a = C_1$$

(a, C_1 ctes.)

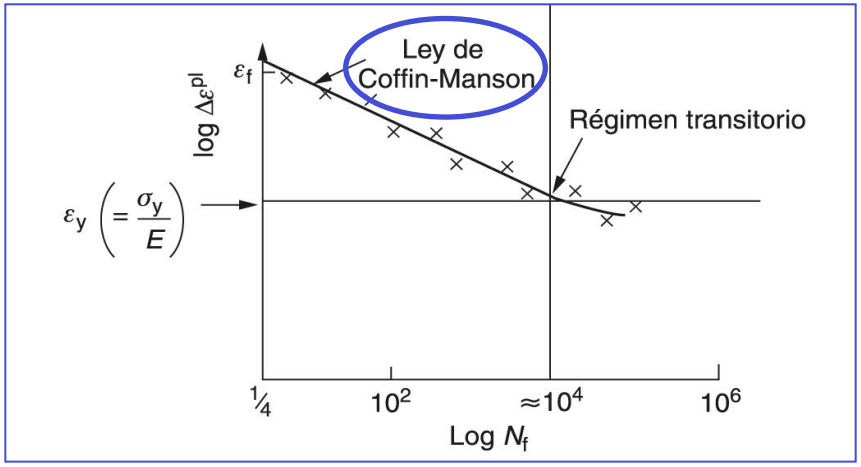


- **Bajo número de ciclos:**

Ley de Coffin-Manson.

$$\Delta\varepsilon^{pl} \cdot N^b = C_2$$

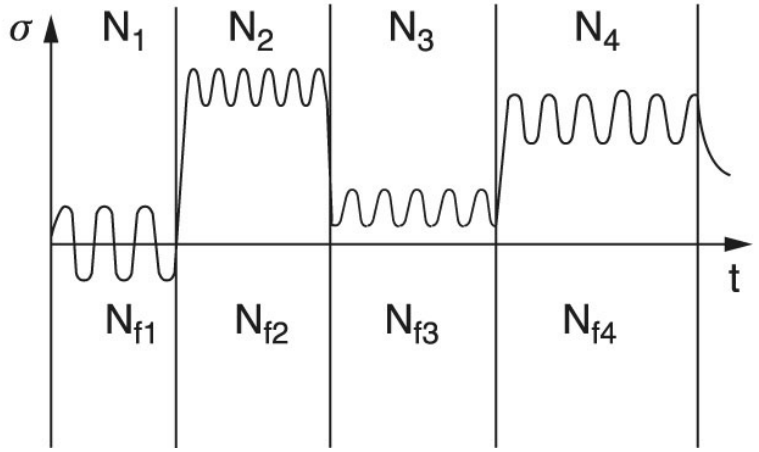
(b, C_2 ctes.)



Ajuste complejo

para $\sigma_m \neq 0$, $\Delta\sigma \neq$ cte

Cuando $\Delta\sigma$ es variable (fatiga no monótona):



$$\sum_i \frac{N_i}{N_{f_i}} = 1$$

N_i = Nº de ciclos soportados ($\Delta\sigma_i$)

N_f = Nº de ciclos hasta rotura ($\Delta\sigma_i$)

Regla de daño acumulativo de PALMGREN – MINER.

Materiales

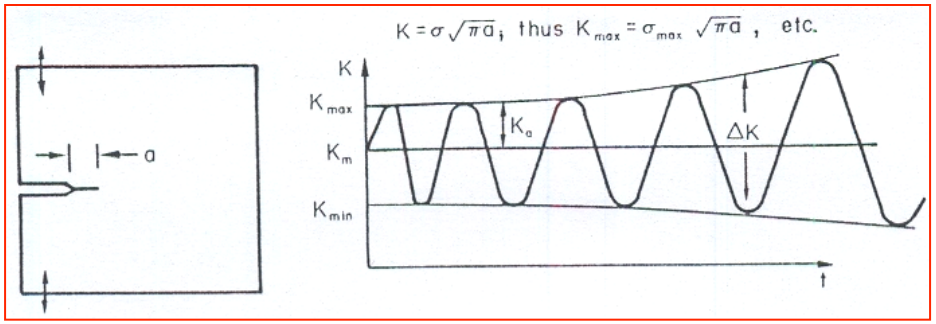
7.5 COMPORTAMIENTO EN FATIGA DE ELEMENTOS FISURADOS

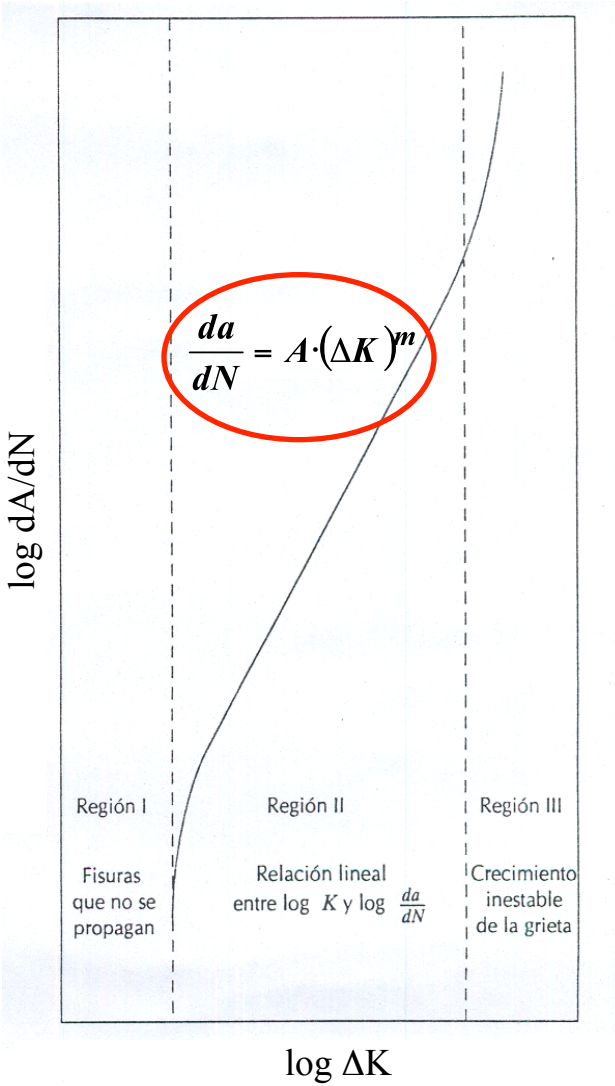
La fase de nucleación no existe. Debe evitarse que el defecto sea crítico.

Análisis de velocidad de propagación de la fisura.

Ley de Paris

$$\frac{da}{dN} = A \cdot (\Delta K)^m$$





Región I: las fisuras existentes no crecen.

Región II: lineal según la Ley de Paris.

Región III: crecimiento acelerado que conduce a rotura.

N_R se calcula integrando la Ley de Paris.

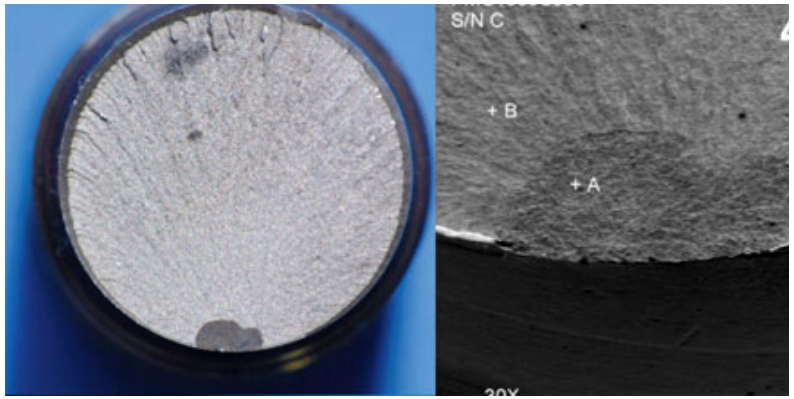
Límites de integración: a_0 y a_C.

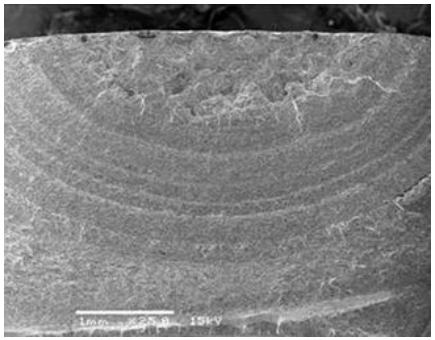
7.6 ASPECTOS FÍSICOS DE LA ROTURA POR FATIGA

La dirección de propagación se orienta ⊥ a la tensión aplicada. La superficie se caracteriza por dos aspectos (marcas de playa y estrías).

Marcas de playa

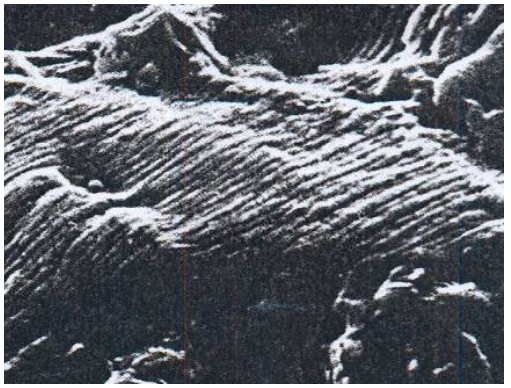
Macroscópicas (períodos reposo)

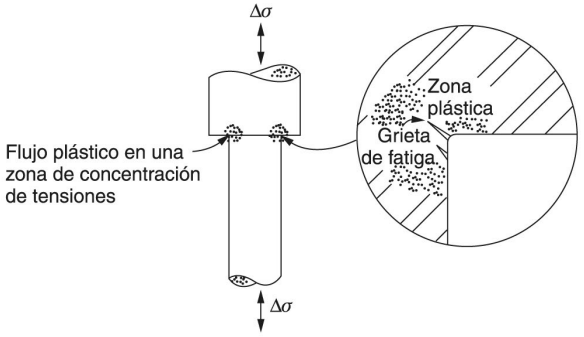




Estrías

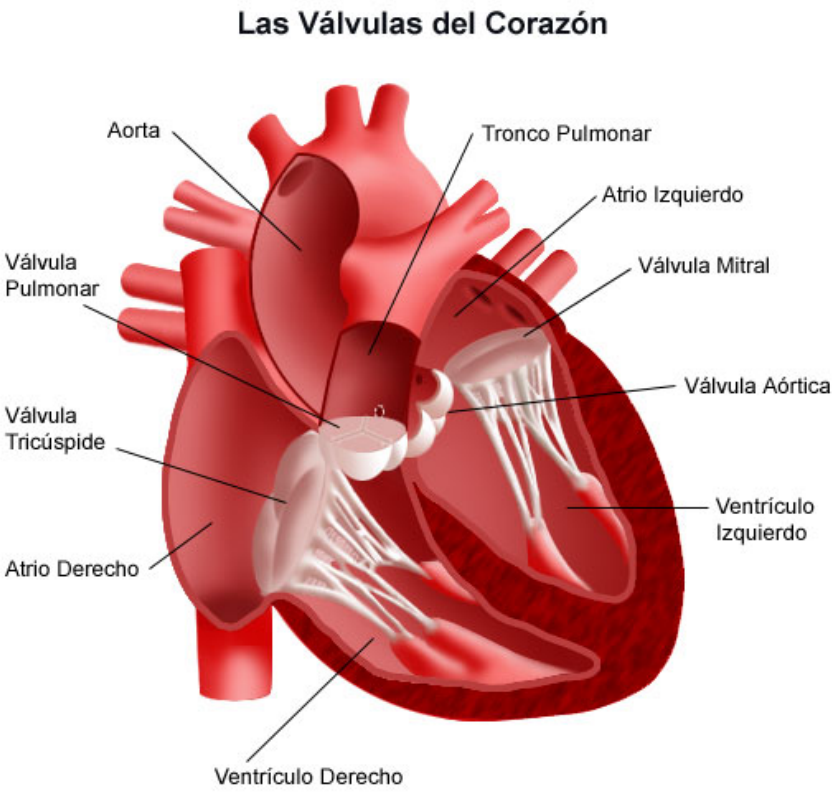
Microscópicas (avance por ciclo)

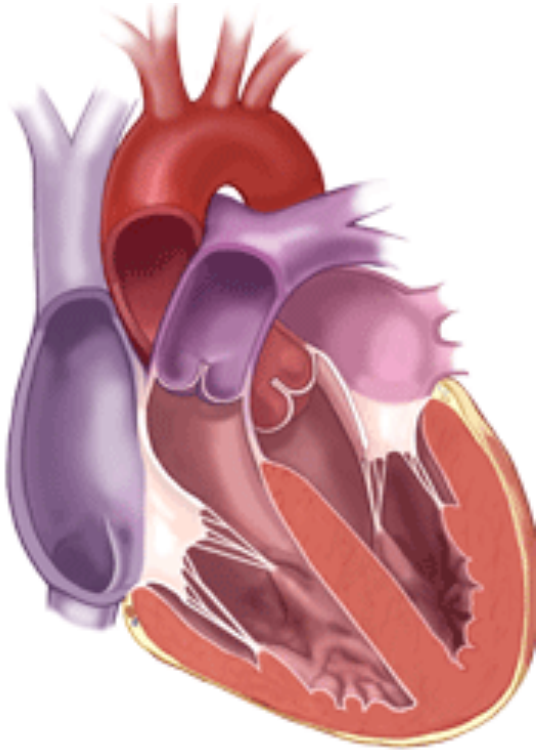




Materiales

7.7 CASO PRÁCTICO 1: ENSAYO DE FATIGA DE UNA CUERDA MITRAL





7.7 CASO PRÁCTICO 2: ENSAYOS DE FATIGA DE ELEMENTOS DE FERROCARRIL