

# **MECÁNICA DE SÓLIDOS**

**Curso 2017/18**

**Titulación:**

Grado en Ingeniería Mecánica

**Profesores:**

José Antonio Rodríguez Martínez

Jorge Zahr Viñuela

# **MECÁNICA DE SÓLIDOS**

**Curso 2016/17**

## **Tabla de Contenidos de la Asignatura**

- Tema 1 Comportamiento Mecánico de los Materiales**
- Tema 2 Las Ecuaciones de la Mecánica de Sólidos**
- Tema 3 Plasticidad**
- Tema 4 Viscoelasticidad**
- Tema 5 Viscoplasticidad**
- Tema 6 Introducción a la Mecánica de la Fractura**

# **MECÁNICA DE SÓLIDOS**

**Curso 2017/18**

## **Tema 1 – Comportamiento Mecánico de los Materiales**

### **Contenidos del Tema**

- 1.1 Mecanismos Físicos de Deformación y Fractura**
- 1.2 Caracterización Mecánica de Materiales**

## **1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA**

---

### **Contenidos de este apartado**

- El ensayo de tracción
- Deformación elástica
- Deformación plástica
- Límite de elasticidad
- Endurecimiento por deformación
- Rotura dúctil
- Rotura frágil
- Fatiga
- Comportamiento viscoelástico
- Comportamiento viscoplástico

# 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

## El ensayo de tracción uni-axial

### 4. Tensión de Rotura:

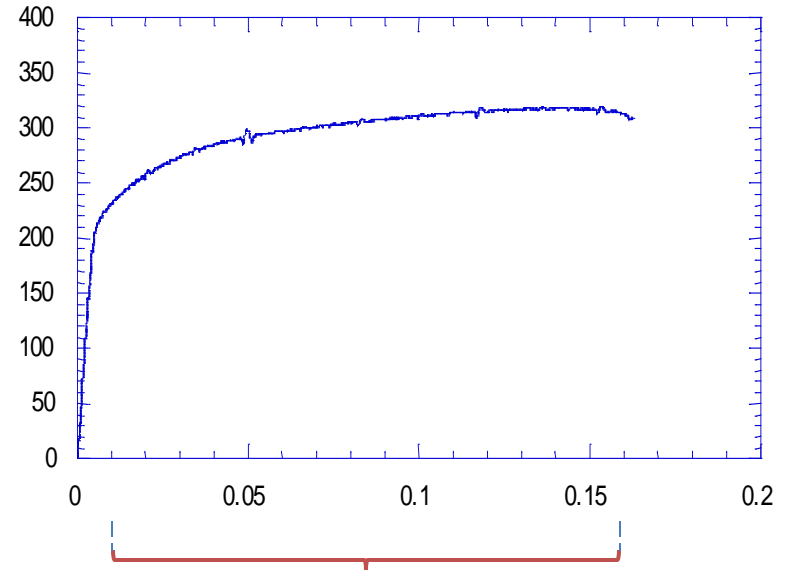
- A veces se conoce como **Resistencia Mecánica** o **Tensión Última**.
- Corresponde al **valor máximo de tensión** alcanzado en la curva de **tensión ingenieril**.

### 2. Límite Elástico:

- A veces se conoce como **Límite de Proporcionalidad**, **Tensión de Fluencia** o **Tensión de Plastificación**.
- Corresponde al **valor de tensión  $\sigma_0$** , bajo el cual, la deformación es elástica.
- Si la sollicitación mecánica continua una vez alcanzado este valor, entonces la relación entre  $\sigma$  y  $\epsilon$  deja, en general, de ser lineal
- En el ejemplo de la figura,  $\sigma_0 \approx 200$  MPa.

### 1. Región de Deformación Elástica:

- La deformación **desaparece** si cesa la sollicitación mecánica (el sólido recobra su forma inicial).
- En la mayoría de los materiales hay una **relación lineal** (proporcionalidad) entre  $\sigma$  y  $\epsilon$ .
- En algunos materiales, esta región es **no lineal**.
- En el ejemplo de la figura:  $\sigma \leq \sigma_0 \approx 200$  MPa ;  $\epsilon \leq 0,008$



### 3. Región de Deformación Elasto-Plástica:

- La deformación **NO desaparece** si cesa la sollicitación mecánica (el sólido **NO** recobra su forma inicial). Hay **deformación plástica** y **elástica**, aunque la **plástica** crece con **más rapidez**.
- En la mayoría de los materiales, la relación entre  $\sigma$  y  $\epsilon$  es **NO-lineal** en esta región.
- Si la curva  $\sigma - \epsilon$  es **creciente**, se dice que el material **"endurece"** por deformación.
- Si la curva  $\sigma - \epsilon$  es **decreciente**, se dice que el material sufre **"ablandamiento"** por deformación.
- En el ejemplo de la figura, el material **endurece** para

$$\sigma > \sigma_0 \approx 200 \text{ MPa y } \epsilon > 0,008$$

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

---

### Deformación elástica

- En metales, la **deformación elástica** que es observable durante la sollicitación mecánica de un sólido, resulta en **variaciones de los espacios interatómicos** en la estructura íntima de la materia.
- Estas variaciones resultan, a su vez, en **variaciones** en las **fuerzas interatómicas** que son necesarias para equilibrar las fuerzas externas y que, por otra parte, tienen la naturaleza de una “fuerza restauradora”.
- La deformación elástica es esencialmente **reversible**, es decir, que **desaparece** al **cesar la sollicitación mecánica**, con lo cual, salvo que existan otras restricciones de movimiento, el sólido **recupera** su **forma inicial**.
- Observadas a una escala “más lejana”, la variación en estas fuerzas interatómicas se manifiesta en la forma de una **tensión** asociada a la **deformación elástica**.
- Si las variaciones en los espacios interatómicos **son pequeñas**, las **variaciones** en las **fuerzas interatómicas** pueden aproximarse linealmente. El resultado es que, a una escala “más lejana”, la tensión y la deformación elástica se relacionan de un modo **aproximadamente lineal**.
- En ciertos materiales, sin embargo, generalmente de estructura amorfa, la relación entre la **tensión** y la **deformación elástica** puede ser **no-lineal** (por ejemplo, algunos elastómeros).

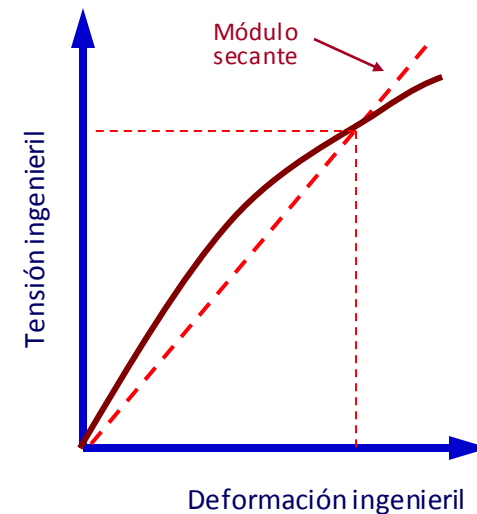
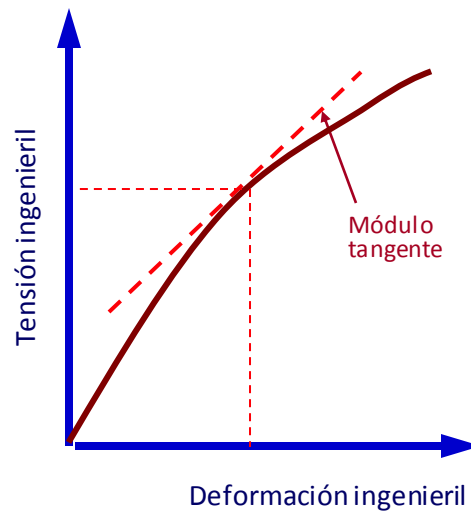
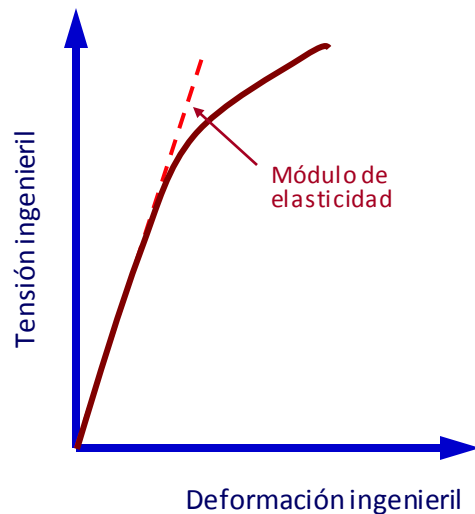
## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### El Módulo de Elasticidad (o módulo de Young)

- La mayoría de los metales de uso ingenieril, la **tensión** y la **deformación elástica** son **proporcionales** entre sí.
- En estos materiales, en los que generalmente la **deformación** es **muy pequeña** comparada con la **unidad**, el comportamiento mecánico se describe mediante la **Ley de Hooke**, que en el caso uni-axial se escribe como:

$$\sigma = E\varepsilon$$

- El **Módulo de Elasticidad** o módulo de **Young** es la **constante de proporcionalidad** en la Ley de Hooke.



- Es una medida de la **oposición** que ejercen **a ser separados** átomos contiguos, es decir es una medida de las fuerzas interatómicas.

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

---

### Deformación plástica

- La plasticidad se caracteriza por la aparición de **deformaciones permanentes** (o deformaciones **plásticas**):

*no se recuperan cuando cesa la carga.*

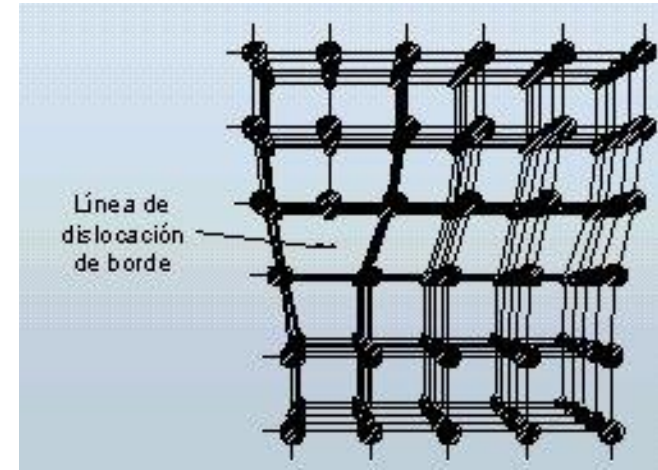
- Estas deformaciones corresponden a desplazamientos relativos entre átomos, desplazamientos que **son estables** al cesar la sollicitación.



## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

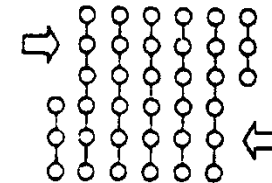
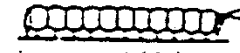
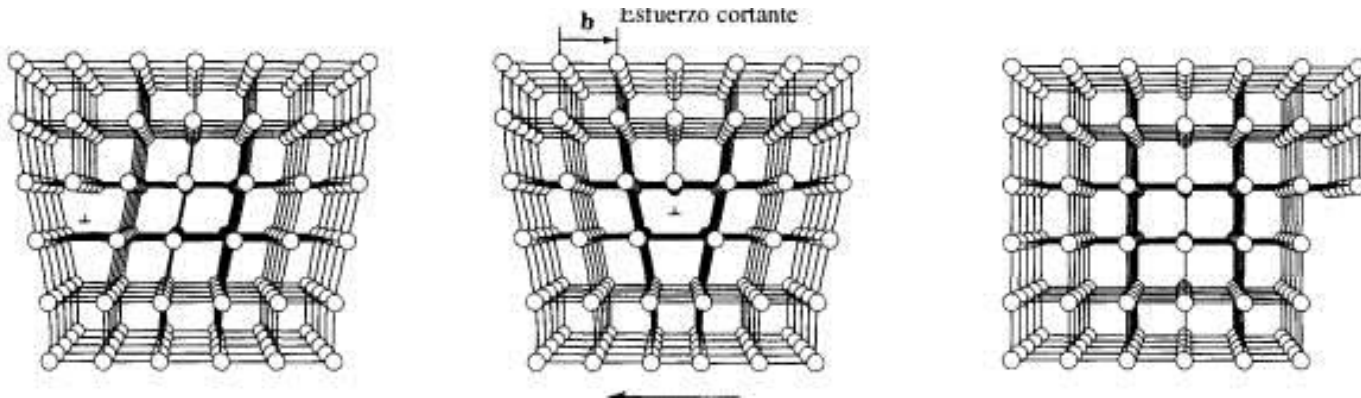
### Deformación plástica en metales

- El origen de las deformaciones plásticas es la presencia y, particularmente, el **movimiento de dislocaciones** en la red cristalina.
- Una dislocación es un defecto en torno a algunos átomos desalineados
- La presencia de dislocaciones reduce la estabilidad de la red cristalina
- La **movilidad de las dislocaciones** es la **causa principal** de las deformaciones permanentes.
- La deformación plástica corresponde al movimiento de un gran número de dislocaciones.
- Debido a esto, la deformación plástica, observada desde un punto de vista **macroscópico**, es homogénea.



## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Deformación plástica en metales



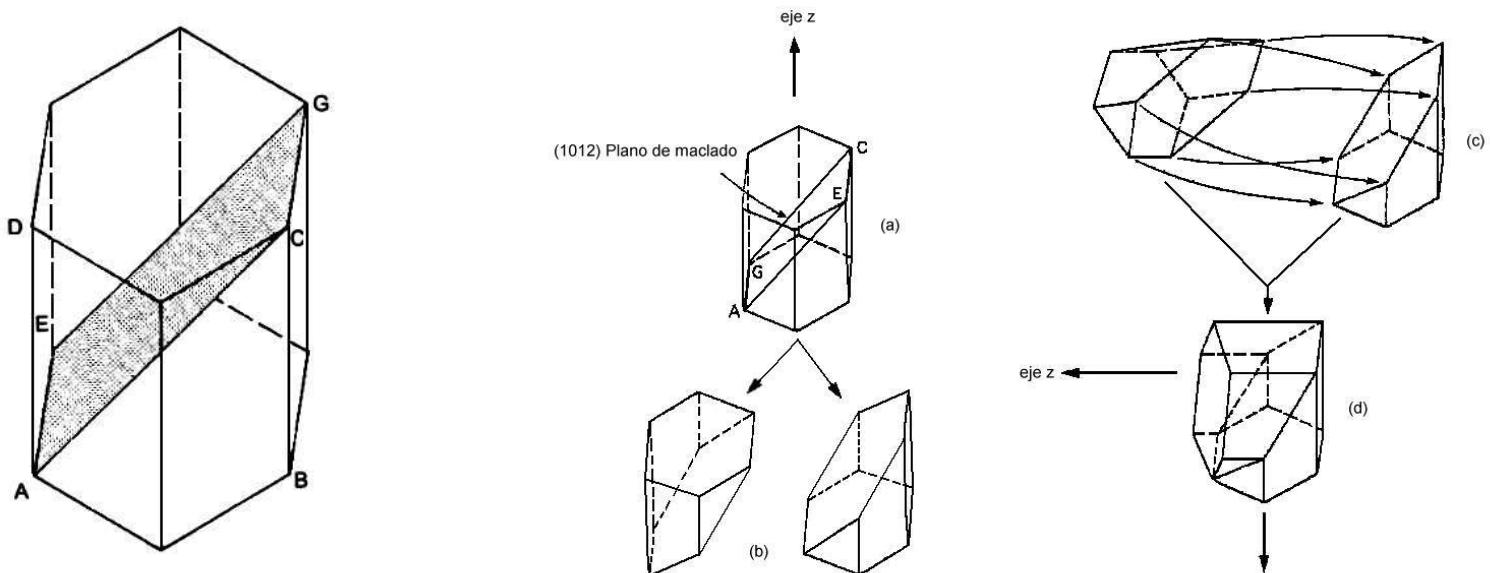
Callister, 1995

- El proceso por el cual se produce la deformación plástica por el movimiento de dislocaciones se denomina “**deslizamiento**”
- Está asociado esencialmente a esfuerzos **cortantes** (en general, a **tensiones desviadoras**)

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Deformación plástica en metales

- Además del mecanismo de **deslizamiento de dislocaciones**, la deformación plástica puede producirse, en algunos materiales cristalinos, por **maclado** (formación de maclas)
- Una fuerza de **cizalladura** puede producir desplazamientos atómicos de tal manera que a un lado de un plano los átomos se coloquen como si fueran **imágenes especulares** de los átomos del otro lado.



## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Deformación plástica en metales

**Observación:** Deformación plástica y el Estado tenso-deformacional

- Se ha mencionado que tanto el fenómeno de “**deslizamiento de dislocaciones**”, como el de “**formación de maclas**”, son causados por una **solicitud de cortadura**.
- Como generalización, en el caso 3D se dice que tanto el “**deslizamiento de dislocaciones**”, como la “**formación de maclas**” están **causadas** por la **componente desviadora**,  $s$ , del **tensor de tensiones**  $\sigma$ .

$$\sigma = \sigma^h + s$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ & \sigma_y & \tau_{yz} \\ sim & & \sigma_z \end{bmatrix} = \bar{\sigma} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 \\ sim & & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_x & s_{xy} & s_{xz} \\ & s_y & s_{yz} \\ sim & & s_z \end{bmatrix}$$

- Por tanto, solamente la **tensión desviadora** es capaz de producir **deformación plástica**.
- Además, en metales se ha constatado experimentalmente que la deformación plástica **NO** tiene **componente volumétrica**.
- Es decir, bajo **deformación plástica**, **NO** hay cambios permanentes en el **VOLUMEN** del sólido, sólo hay cambios en su **FORMA**.

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

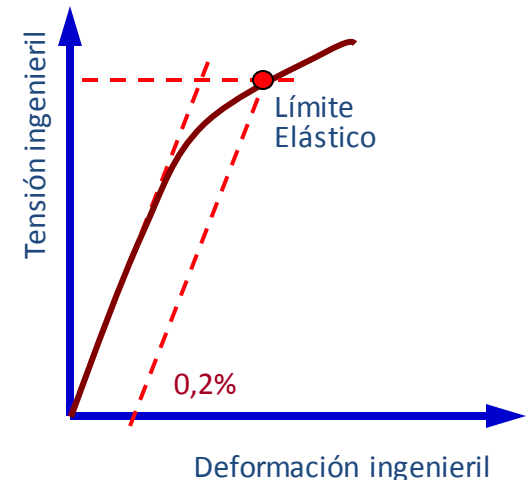
### El Límite Elástico

- Es el valor de la **tensión verdadera**  $\sigma_0$ , correspondiente a un **estado deformacional** en el que se producen los primeros movimientos irreversibles de dislocaciones.

**Criterio de Plastificación** para una sollicitación mecánica de tipo uni-axial:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Comportamiento elástico:} \quad \sigma < \sigma_0 \\ \text{Comportamiento elasto-plástico:} \quad \sigma > \sigma_0 \end{array} \right.$$

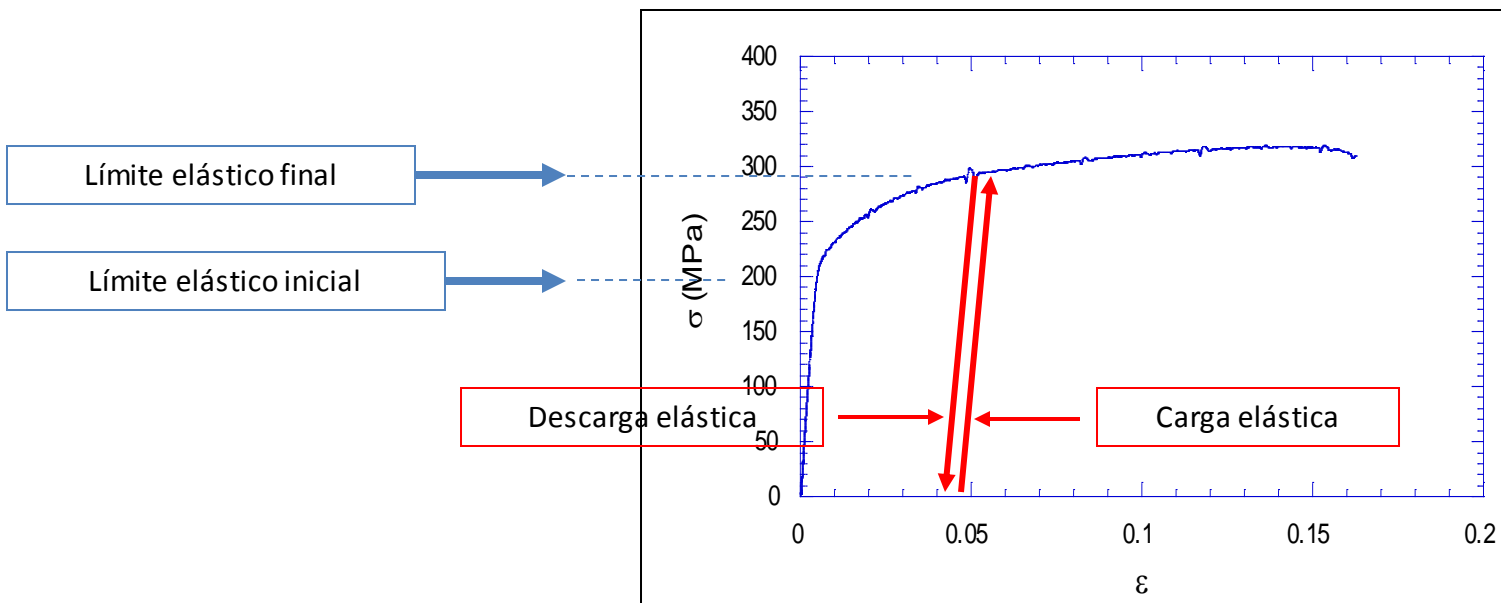
- A veces no se observa límite claro y preciso de transición entre la región elástica y la elasto-plástica, por lo que es difícil definir con propiedad el límite elástico.
- En estos casos, se define el **Límite Elástico Convencional**, como la tensión para la cual se tiene una deformación plástica de 0,2% (puede haber otras convenciones).



## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Endurecimiento por Deformación

- Se denomina “**endurecimiento por deformación plástica**” al fenómeno por el cual un material dúctil se hace más “**resistente**” a medida que se deforma plásticamente.
- En el caso de una **solicitación uni-axial**, el endurecimiento se manifiesta como un **crecimiento** de la curva  $\sigma$ – $\varepsilon$  con la deformación plástica.
- El término “**endurecimiento**” proviene del hecho de que el material “**cambia**” cuando experimenta deformación plástica, cambio que se interpreta como un progresivo “**incremento**” en el **Límite Elástico** a medida que se incrementa la solicitación mecánica.



## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

---

### Endurecimiento por Deformación

#### Fenomenología del endurecimiento, en el caso de metales dúctiles:

- En estos materiales, la capacidad para deformarse plásticamente depende de la capacidad de las dislocaciones para moverse
- Al aumentar la deformación plástica aumenta la densidad de dislocaciones presentes en el metal aumentando, en consecuencia, las interacciones entre estas.
- El movimiento de cada dislocación es limitado por la presencia de otras cercanas por lo que disminuye la capacidad del metal de deformarse plásticamente
- En consecuencia, la tensión necesaria para deformar el metal aumenta con la deformación plástica
- El impedimento del movimiento de las dislocaciones convierte al metal en más resistente

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

---

### Endurecimiento por Deformación

#### Observación 1:

- Otros materiales no cristalinos (por ejemplo, ciertos polímeros vítreos) también pueden presentar deformación plástica y endurecimiento.
- En estos casos, el mecanismo físico que explica la deformación plástica y el endurecimiento **es distinto** que en metales, sin embargo **la manifestación macroscópica es la misma:**
  - + la **deformación plástica** se observa como un **cambio permanente** en la **forma** del sólido.
  - + el **endurecimiento por deformación** se observa como un **incremento** progresivo en el **Límite Elástico** del material.

#### Observación 2:

- Algunos materiales pueden experimentar “**ablandamiento**”, además de “**endurecimiento**” por deformación.
- Existen materiales en los cuales, en régimen elasto-plástico, se verifica una etapa de ablandamiento suave seguida de otra de endurecimiento notorio, o vice versa.
- En ciertos casos, puede darse una “**competición**” entre los fenómenos de **endurecimiento y ablandamiento**.

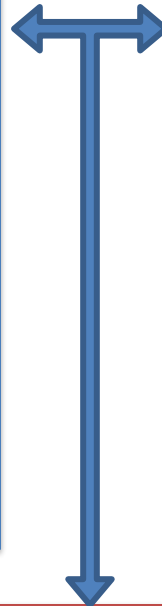


## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Influencia del tiempo: (1) visco elasticidad

#### Material elástico:

- Almacena energía mecánica sin disiparla.
- Si se aplica una carga en forma instantánea, el sólido se deforma instantáneamente.
- En este caso, el estado tenso-deformacional permanece constante hasta que desaparezca la carga.
- El estado tensional es de tipo “restaurador”: si la carga cesa, la forma se recupera.
- La tensión  $\sigma$  depende de la deformación  $\epsilon$ .



#### Fluido viscoso:

- Sometidos a un estado tensional no hidrostático, disipan energía, sin posibilidad alguna de almacenamiento.
- Ante un estado tensional tangencial, el fluido fluye de manera estacionaria.
- El estado tensional no es de tipo “restaurador”: si cesa las tensiones, las partículas fluidas no regresan a su posición inicial.
- La tensión  $\sigma$  depende de la velocidad de deformación  $\dot{\epsilon}$ .

#### Material viscoelástico:

- Puede considerarse que tiene un comportamiento “intermedio” entre sólido elástico y fluido viscoso.
- Si se aplica una carga en forma instantánea, sufre una deformación instantánea seguida de otra creciente con el tiempo y que puede, o no, ser limitada.

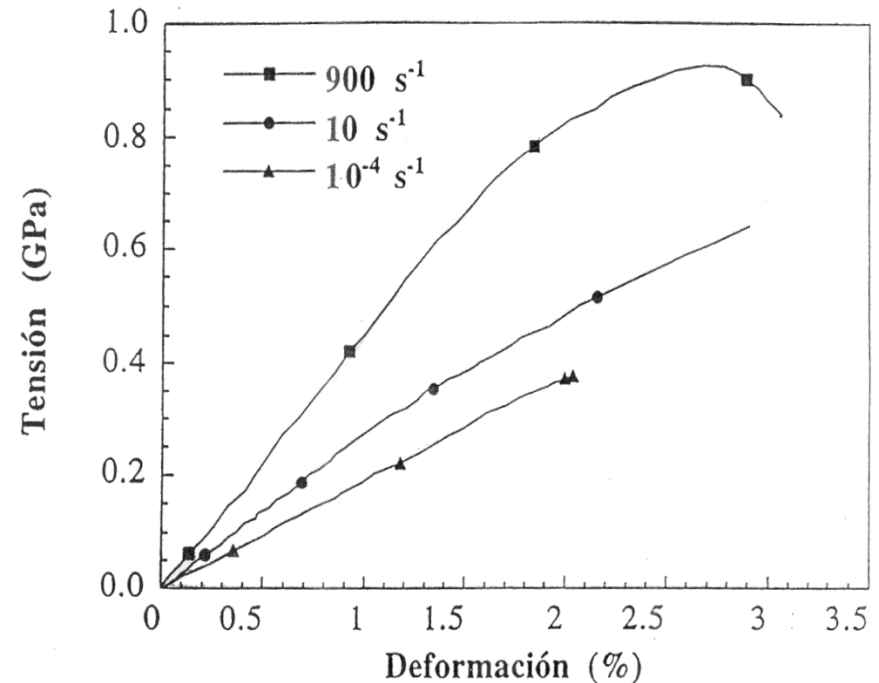
Así como las **propiedades elásticas** están asociadas al desplazamiento de átomos de sus posiciones de equilibrio, las propiedades **visco-elásticas** están asociadas a efectos de **difusión** de átomos o moléculas en el seno del material

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Influencia del tiempo: (2) visco plasticidad

Algunos materiales muestran que tanto su **Límite elástico** inicial como toda su **curva  $\sigma - \epsilon$**  dependen de la **velocidad de deformación** de forma tal que la tensión aumenta con la velocidad de deformación para un valor dado de la deformación.

En este caso, la descripción de la relación **tensión-deformación** en el material requiere de **diferentes curvas**, una por **cada velocidad de deformación**.



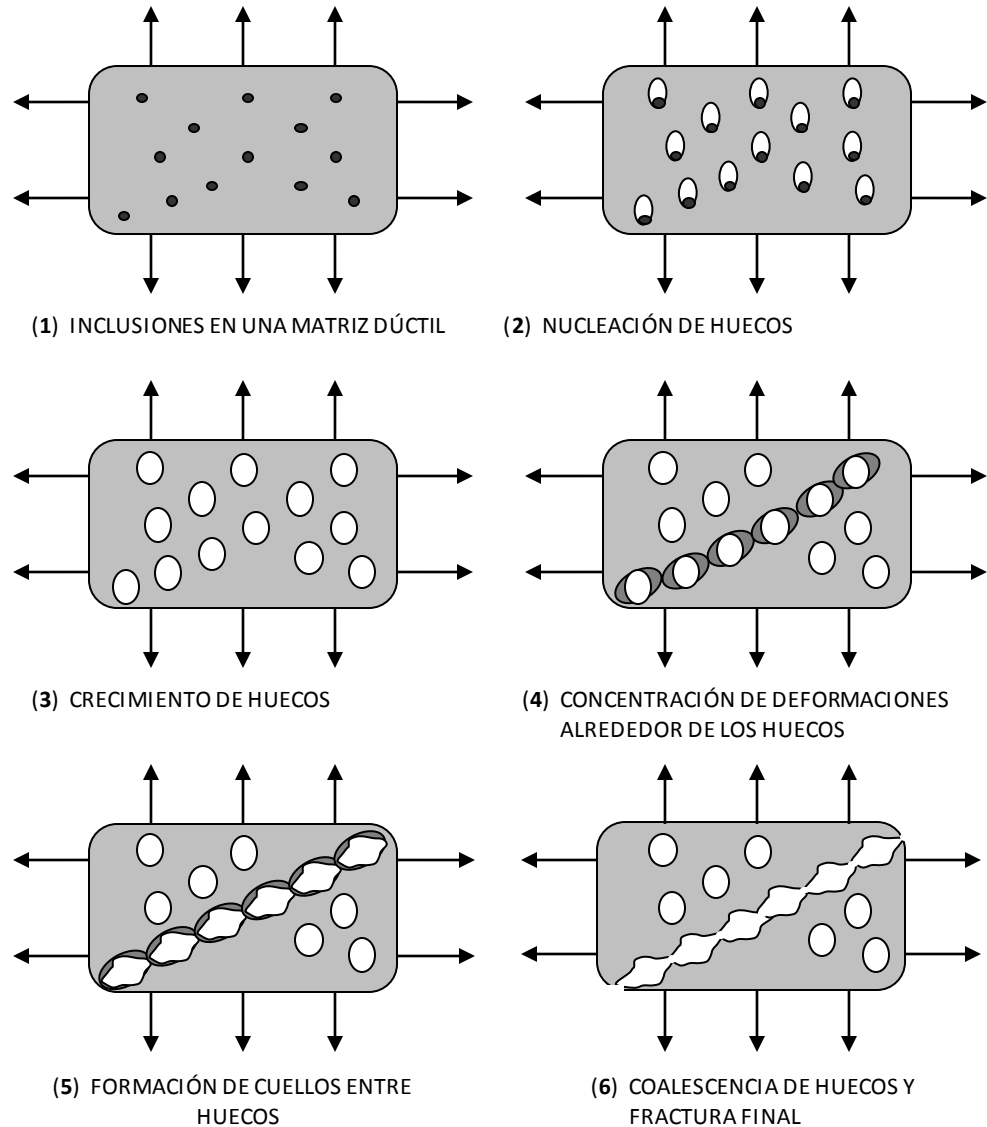
# 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

## Rotura dúctil en materiales metálicos

Es el resultado de la inestabilidad de grandes deformaciones plásticas localizadas en la cercanía de defectos microestructurales:

- inclusiones
- precipitados
- agrupamientos de dislocaciones

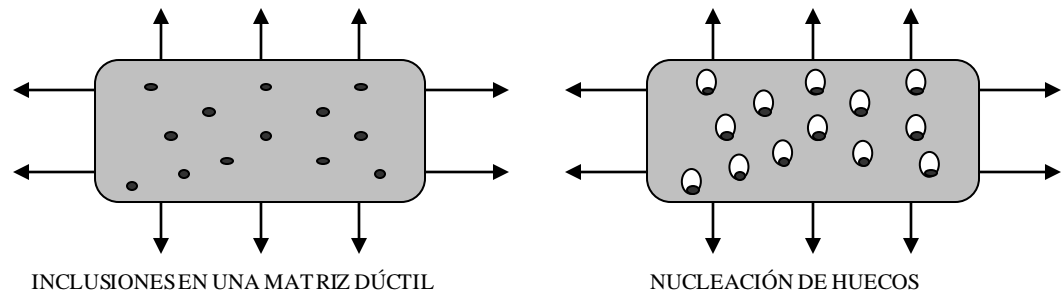
La energía consumida en el proceso de deformación es mucho mayor que en la rotura dúctil.



## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Rotura dúctil en materiales metálicos

#### a) Nucleación de microvacíos



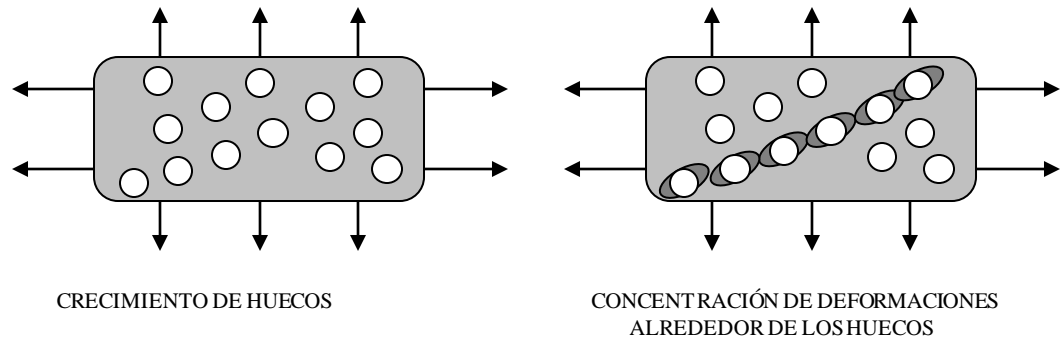
#### Características del proceso:

- Ocurre en torno a inclusiones no metálicas o partículas de segundas fases presentes en el seno del material
- Se asocia a decohesión de dichas partículas de la matriz metálica o a la rotura de dichas partículas
- El tamaño y distribución de partículas puede afectar el proceso

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Rotura dúctil en materiales metálicos

#### b) Crecimiento de microvacíos



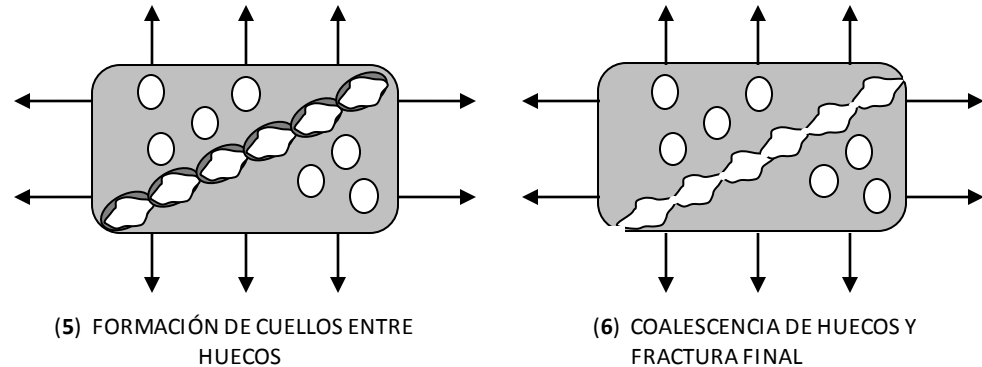
#### Características del proceso:

- Es la fase del proceso en la que se consume mayor cantidad de energía
- Eventualmente, la deformación plástica se localiza, formándose cuellos de estricción en zonas preferentes

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Rotura dúctil en materiales metálicos

#### c) Coalescencia de microvacíos



#### Características del proceso:

- Estricción de la parte de matriz entre huecos.
- Formación de huecos secundarios.
- Fallo de los ligamentos entre huecos
- Combinación de los anteriores.

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

---

### Rotura frágil en materiales metálicos

Si la energía de deformación local (debida a las sollicitaciones exteriores) es igual a la energía necesaria para producir la decohesión atómica, se produce la rotura de las uniones interatómicas **sin deformación plástica** global apreciable.

Los defectos de la red cristalina o los accidentes geométricos, que dan lugar siempre a concentraciones locales de tensión, juegan un papel esencial en el proceso de rotura frágil.

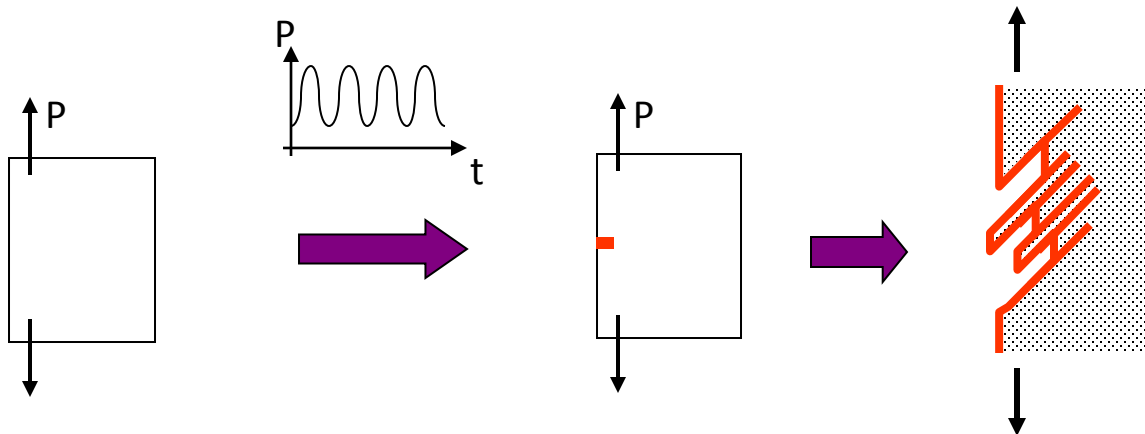
La temperatura también es importante: algunos materiales presentan una “temperatura de transición”, bajo la cual la ductilidad es limitada y el tipo de fractura que presentan es frágil.

## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Comportamiento en Fatiga

- La aplicación de **Cargas Cíclicas** pueden dar origen a un proceso de iniciación y propagación de una fisura en el seno de un sólido.
- Este fenómeno puede ocurrir incluso si las tensiones asociadas a dichas cargas cíclicas son **pequeñas**, en comparación con el **límite elástico** del material.

#### 1. Fase de iniciación:

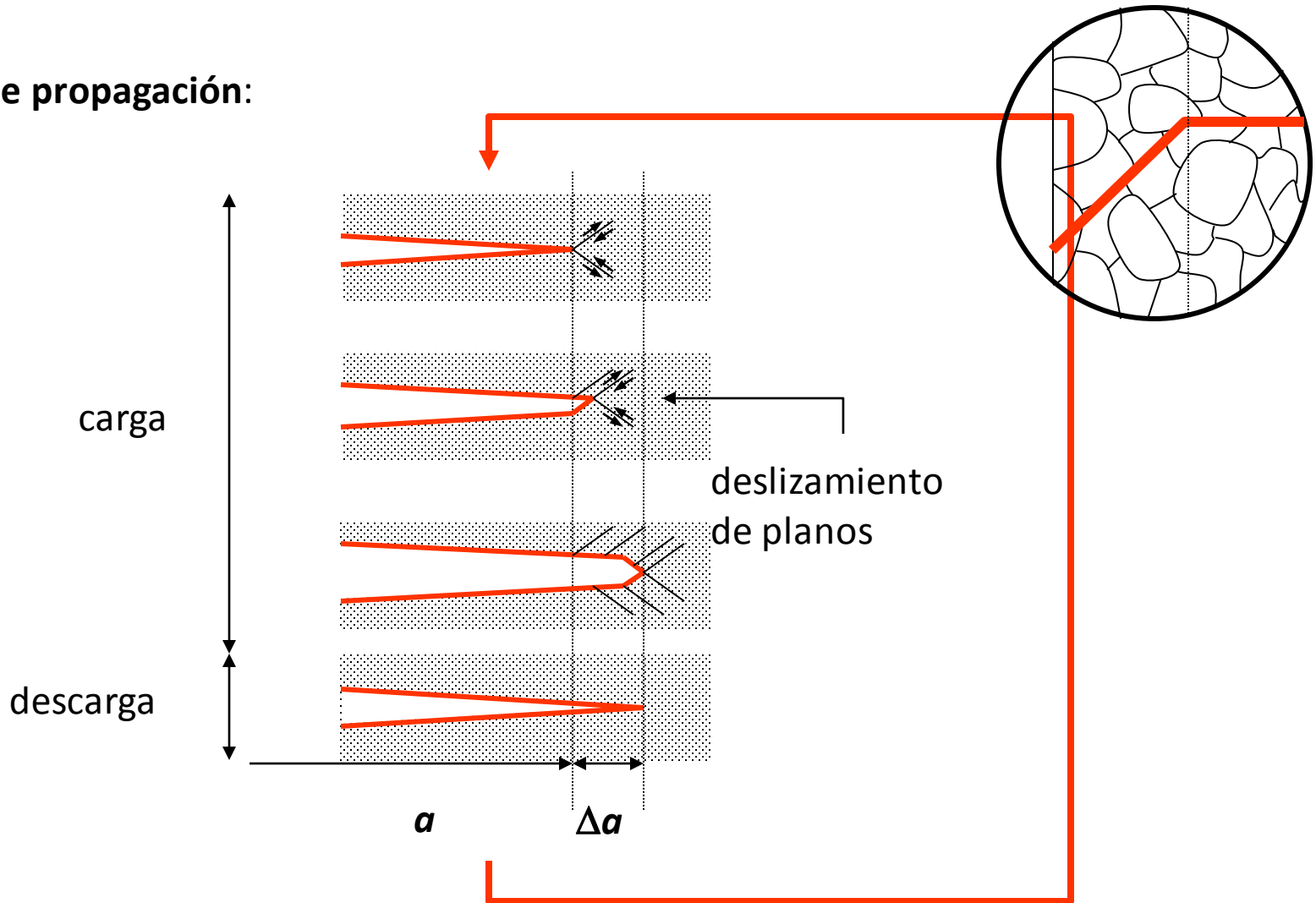




# 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

## Comportamiento en Fatiga

### 2. Fase de propagación:



## 1.1 MECANISMOS FÍSICOS DE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

### Modelo de Comportamiento del Material vs. Uso de sus Resultados

- La **clasificación** de un material por su comportamiento mecánico **no debe** ser considerada como **intrínseca al material**.
- El comportamiento de un material dado **no puede** ser representado por un modelo esquemático sin tener en cuenta el uso que se va a hacer de sus resultados así como la precisión deseada en estos.

*Lemaitre.*

Por ejemplo, un acero a temperatura ambiente puede ser considerado:

- + **Elástico Lineal e Isótropo**, para un cálculo de esfuerzos y movimientos en una estructura.
- + **Viscoelástico**, en un problema de amortiguamiento de vibraciones
- + **Rígido Perfectamente Plástico**, para un cálculo de cargas límites
- + **Elasto-Plástico**, para un cálculo de deformaciones permanentes
- + **Elasto-Visco-Plástico**, en los problemas de relajación de tensiones
- + **Deformable por ductilidad**, para un cálculo del límite de deformabilidad
- + **Deformable por fatiga**, para un cálculo de vida útil,...

# **MECÁNICA DE SÓLIDOS**

**Curso 2017/18**

## **Tema 1 – Comportamiento Mecánico de los Materiales**

### **Contenidos del Tema**

- 1.1 Mecanismos Físicos de Deformación y Fractura**
- 1.2 Caracterización Mecánica de Materiales**

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

---

### ¿ Qué es caracterizar un material ?

Obtener **experimentalmente** los valores de los principales parámetros observables que describen sus **propiedades y comportamiento mecánico**, así como relaciones entre estos parámetros (tensión aplicada, deformación, velocidad de deformación, temperatura, etc.)

### ¿ Cómo se caracteriza un material ?

Los materiales se caracterizan, generalmente, mediante **ensayos estándar**, cuyas características y proceso de ejecución están fijados en **normas oficiales**.

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Tipos de ensayos de caracterización:

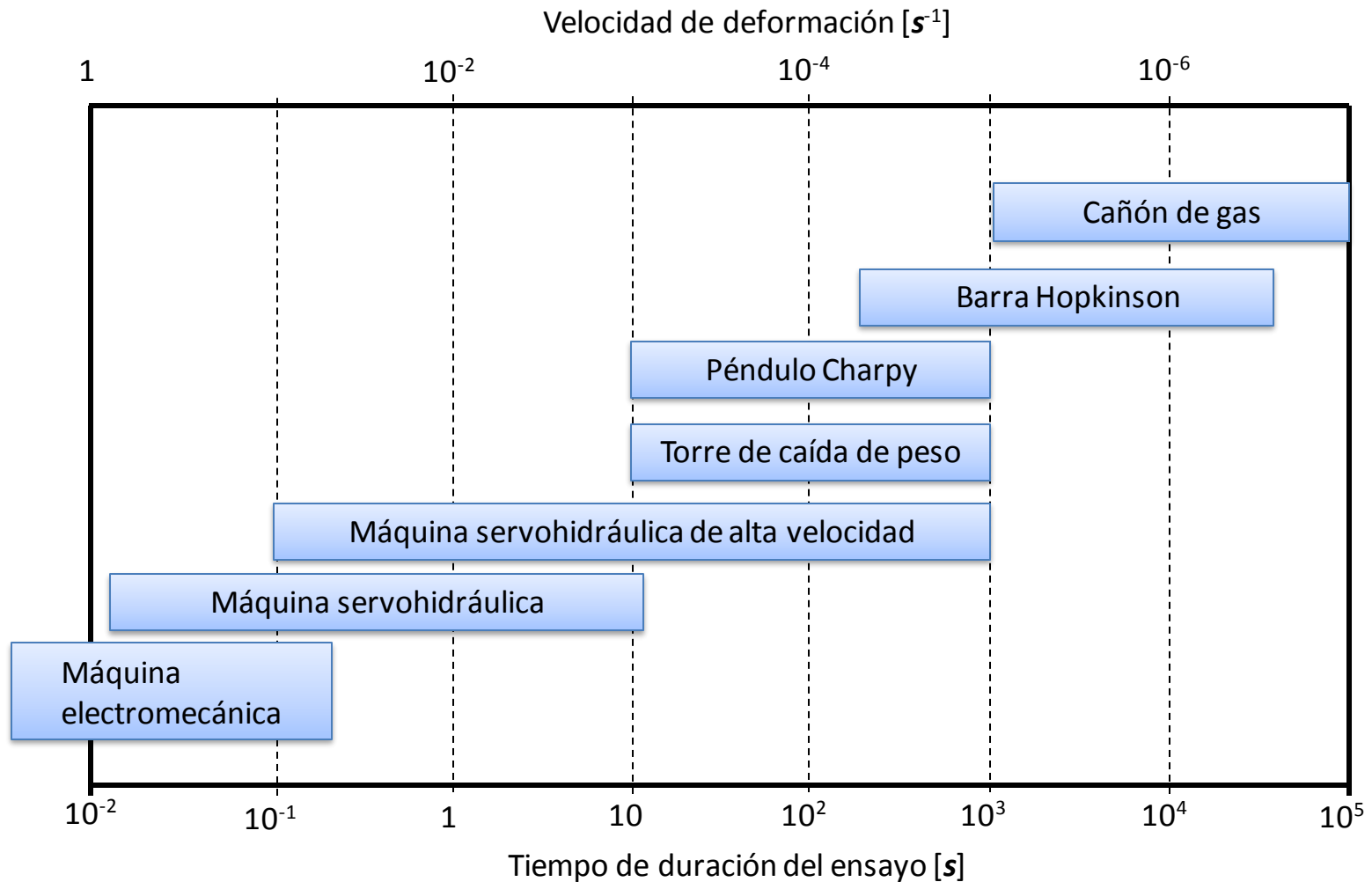
Clasificación según la **velocidad de deformación** o la **duración** del ensayo

Tipo de ensayo	Rango de velocidades alcanzadas $\dot{\epsilon} \sim 1/s$	Duración aproximada del ensayo $t \sim s$
Ensayos de <b>fluencia</b> o de <b>relajación</b>	$10^{-8} < \dot{\epsilon} < 10^{-4}$	$10^2 < t < 10^6$
Ensayos <b>cuasi-estáticos</b>	$10^{-4} < \dot{\epsilon} < 10^{-2}$	$10^0 < t < 10^2$
Ensayos a velocidades <b>intermedias</b>	$10^{-2} < \dot{\epsilon} < 10^{-1}$	$10^{-2} < t < 10^0$
Ensayos a velocidades <b>altas</b>	$10^2 < \dot{\epsilon} < 10^4$	$10^{-6} < t < 10^{-2}$
Ensayos a velocidades <b>muy altas</b>	$10^4 < \dot{\epsilon}$	$t < 10^{-6}$

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Tipos de ensayos de caracterización:

Clasificación según la **maquinaria** empleada en los ensayos



## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Ensayos cuasi-estáticos: (a) Ensayo de tracción o compresión simple.

Tracción Simple



Compresión Simple



- Consiste en someter una probeta a una **carga uniaxial** hasta llegar a su rotura.
- Proporciona información sobre el comportamiento de los materiales en régimen **elástico** y en régimen **elasto-plástico**.

#### Resultados que se obtienen:

- Módulo de elasticidad
- Límite elástico
- Resistencia máxima
- Relación tensión-deformación (o **curva de endurecimiento**)
- Puede mostrar **eventuales diferencias** de propiedades en tracción o compresión.

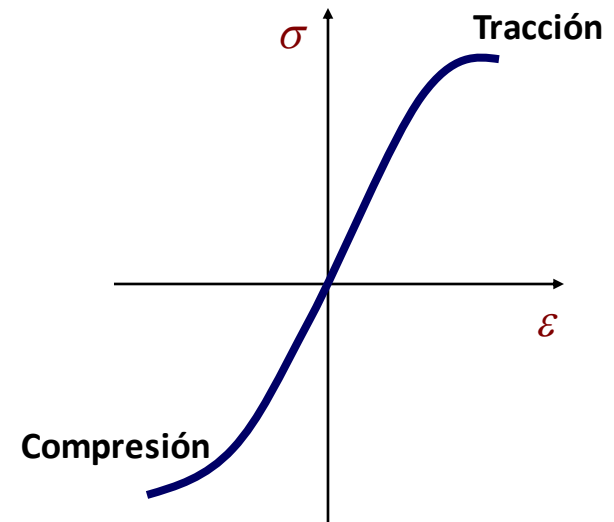
## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

Ensayos cuasi-estáticos: (a) Ensayo de tracción o compresión simple.

Tracción Simple



Compresión Simple



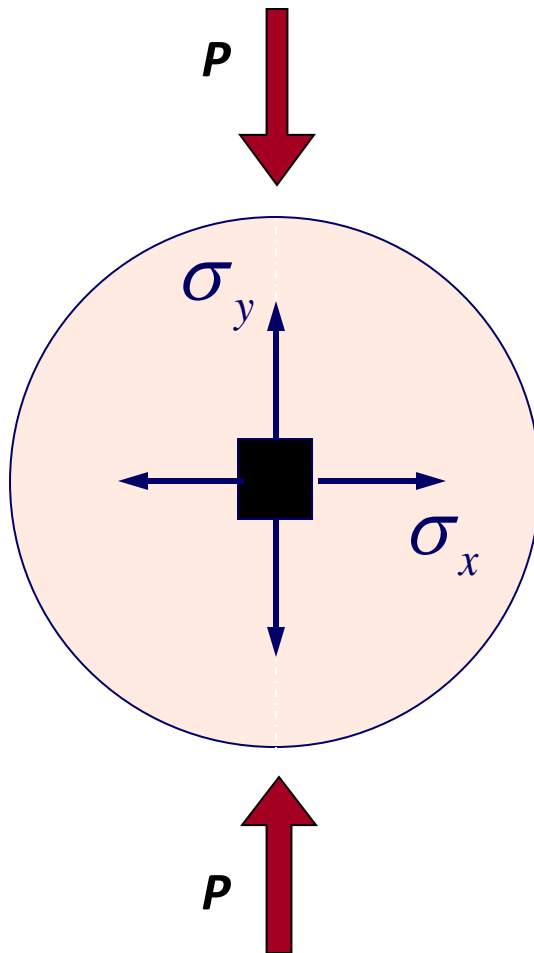
**Resultados que se obtienen:**

- Módulo de elasticidad
- Límite elástico
- Resistencia máxima
- Relación tensión-deformación (o **curva de endurecimiento**)
- Puede mostrar **eventuales diferencias** de propiedades en tracción o compresión.



## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

Ensayos cuasi-estáticos: (b) Ensayo de compresión diametral.

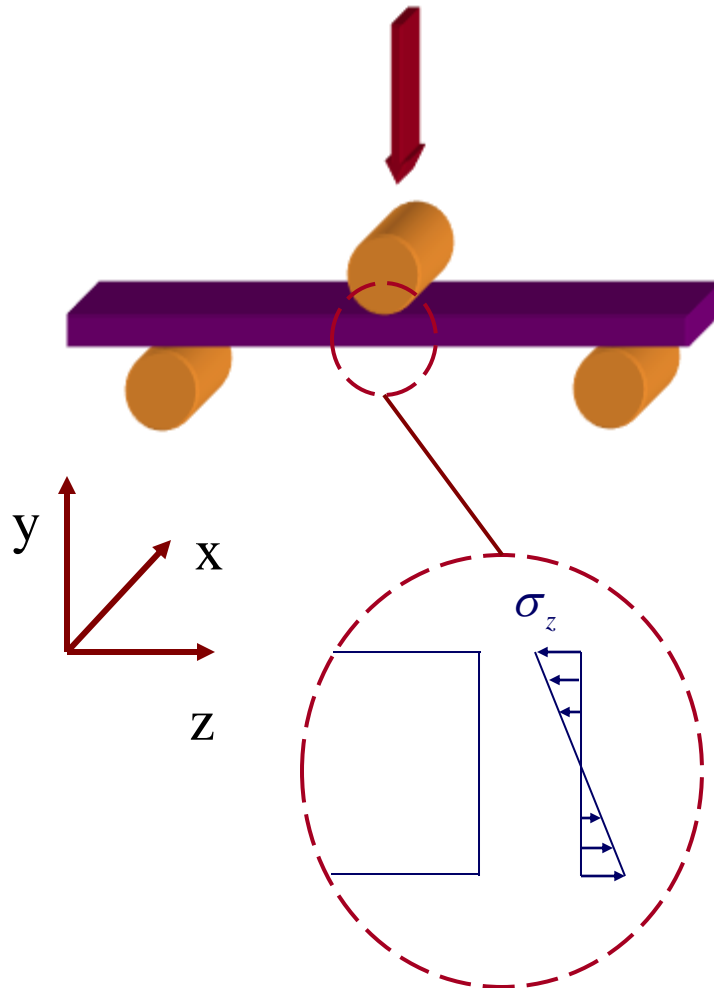


**Resultados que se obtienen:**

- Módulo de elasticidad
- Límite elástico
- Resistencia máxima

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

Ensayos cuasi-estáticos: (c) Ensayo de flexión en tres puntos.



**Resultados que se obtienen:**

- Módulo de elasticidad
- Límite elástico
- Resistencia máxima

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

---

### Ensayos dinámicos

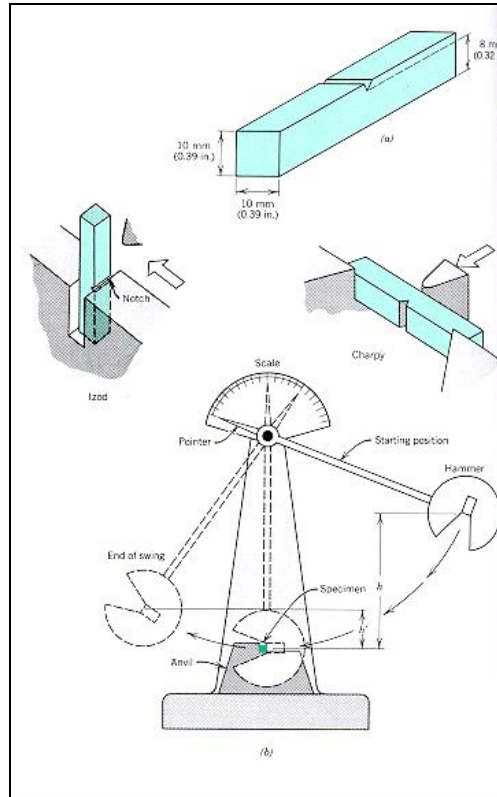
#### Algunas dificultades asociadas a este tipo de ensayo:

- Necesidad de tener en cuenta efectos inerciales
- Mayor complejidad mecánica de los dispositivos
- Mayores niveles de ruido en la señal registrada
- Dificultad para interpretar los datos
- Ausencia de normativa universal

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Ensayos dinámicos: (α) El Péndulo Charpy

Se alcanzan velocidades de deformación  $\sim 400 \text{ s}^{-1}$



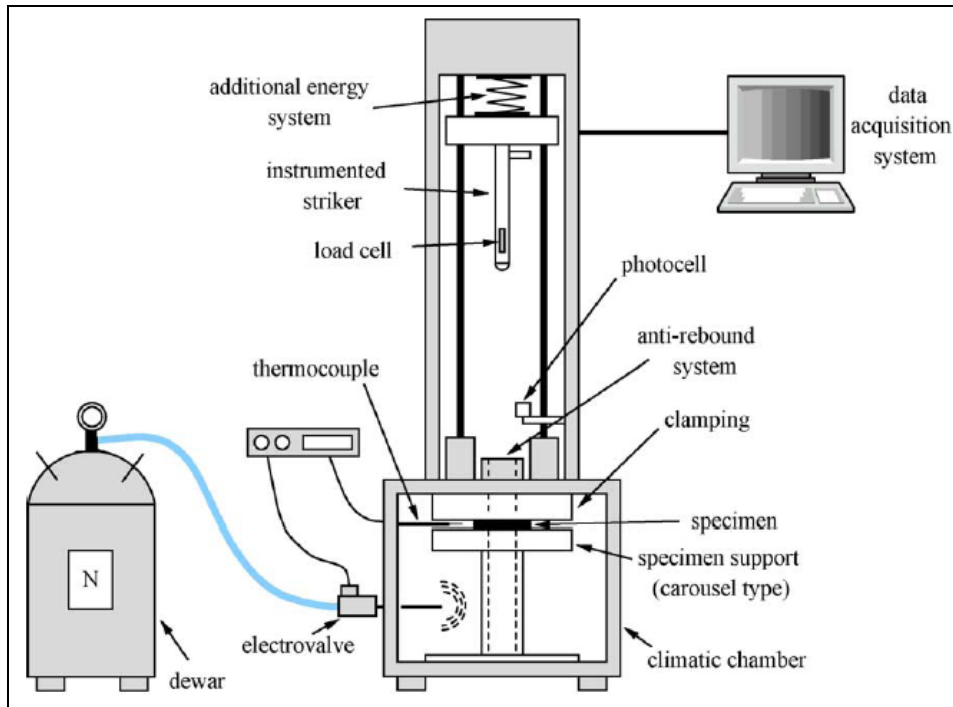
#### Resultados que se obtienen:

- Permite medir la **energía de fractura** en régimen dinámico.
- Comparando la energía potencial inicial y final, se puede estimar la **energía absorbida** en el proceso de deformación y fractura de la probeta.
- Permite comparar el desempeño de distintos materiales.
- Sin embargo, **no** proporciona un valor de resistencia que pueda ser utilizado en tareas de diseño de componentes.

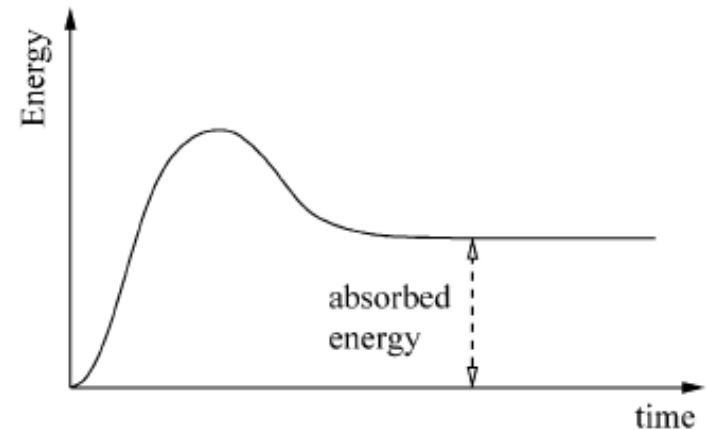
## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Ensayos dinámicos: (b) Torre de caída de peso

- La masa se acelera por la acción de la gravedad
- Si el percutor está instrumentado, el desplazamiento se puede obtener por integración de la fuerza de contacto



**Resultado:**

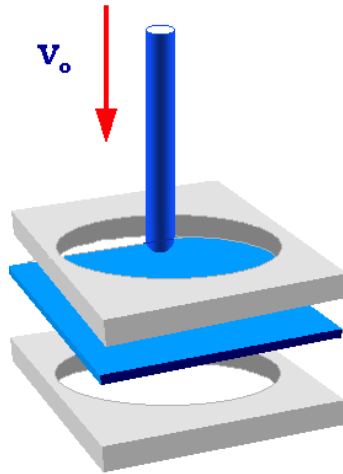
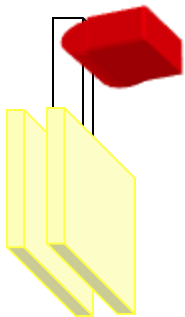
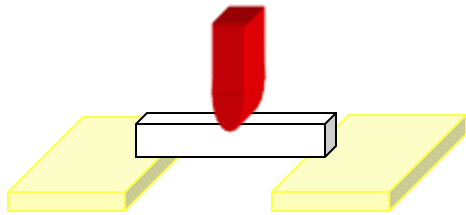


## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Ensayos dinámicos: (b) Torre de caída de peso

#### Configuraciones posibles:

- Configuración Charpy (flexión en 3 puntos, imagen superior izquierda)
- Configuración Izod (flexión, imagen inferior izquierda)
- Impacto sobre placa empotrada (imagen derecha)
- Entre otras



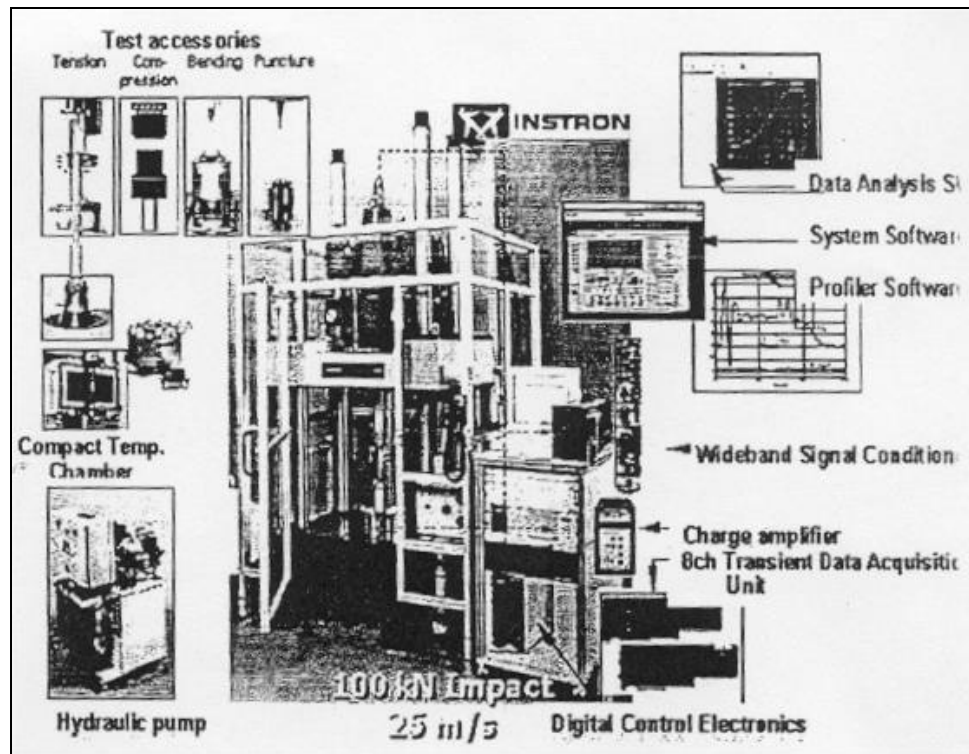
#### Resultados que se obtienen:

- Registro de curvas **Fuerza-tiempo** y **Desplazamiento-tiempo**.
- Resistencia dinámica en flexión.
- Energía absorbida hasta rotura.
- Extensión de la área dañada (en el caso de placas de material compuesto)

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

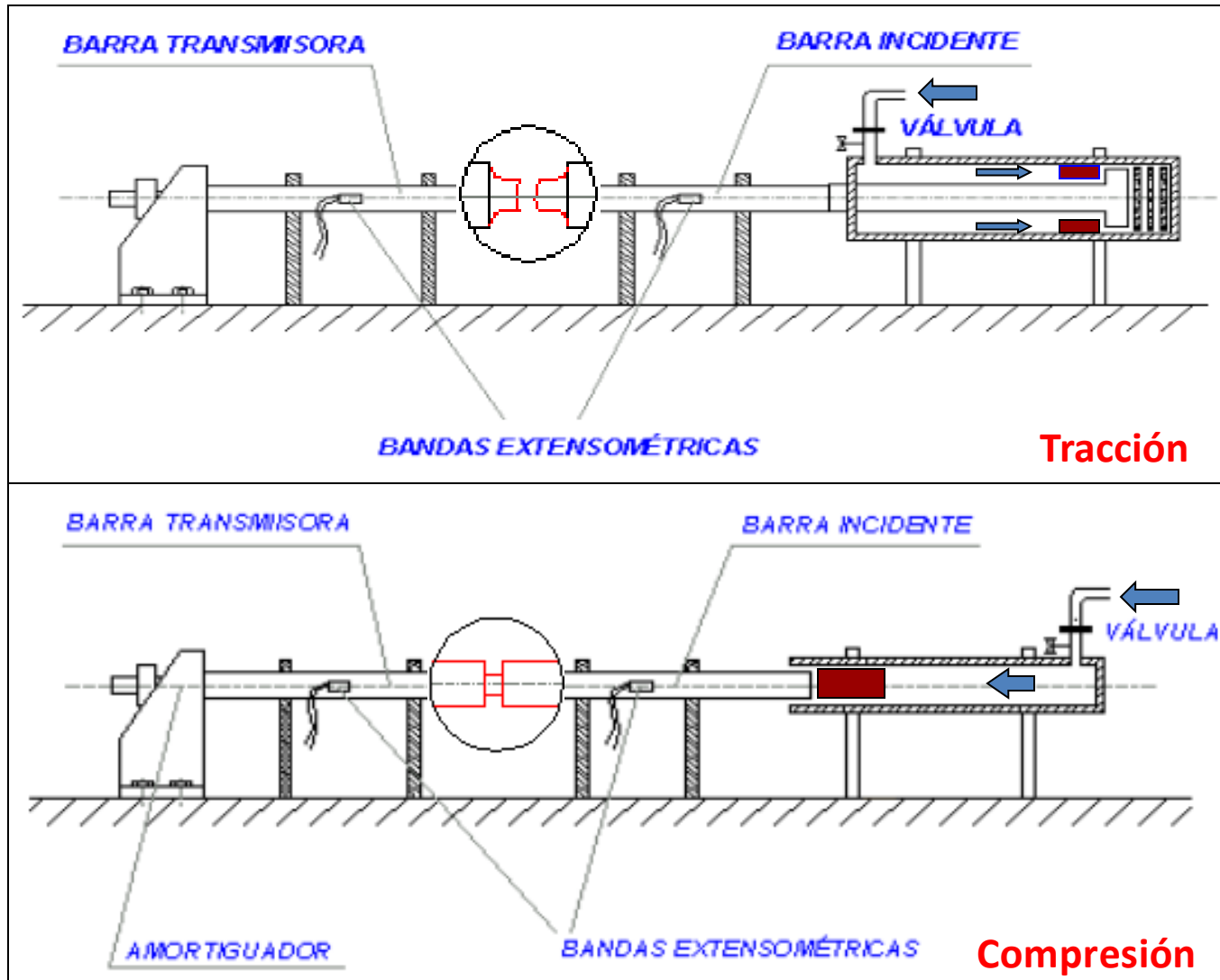
### Ensayos dinámicos: (c) Máquina de tracción dinámica

- El pistón se acelera hasta 10-15 m/s.
- Se alcanzan velocidades de deformación  $\sim 400 \text{ s}^{-1}$



## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Ensayos dinámicos: (d) La barra Hopkinson



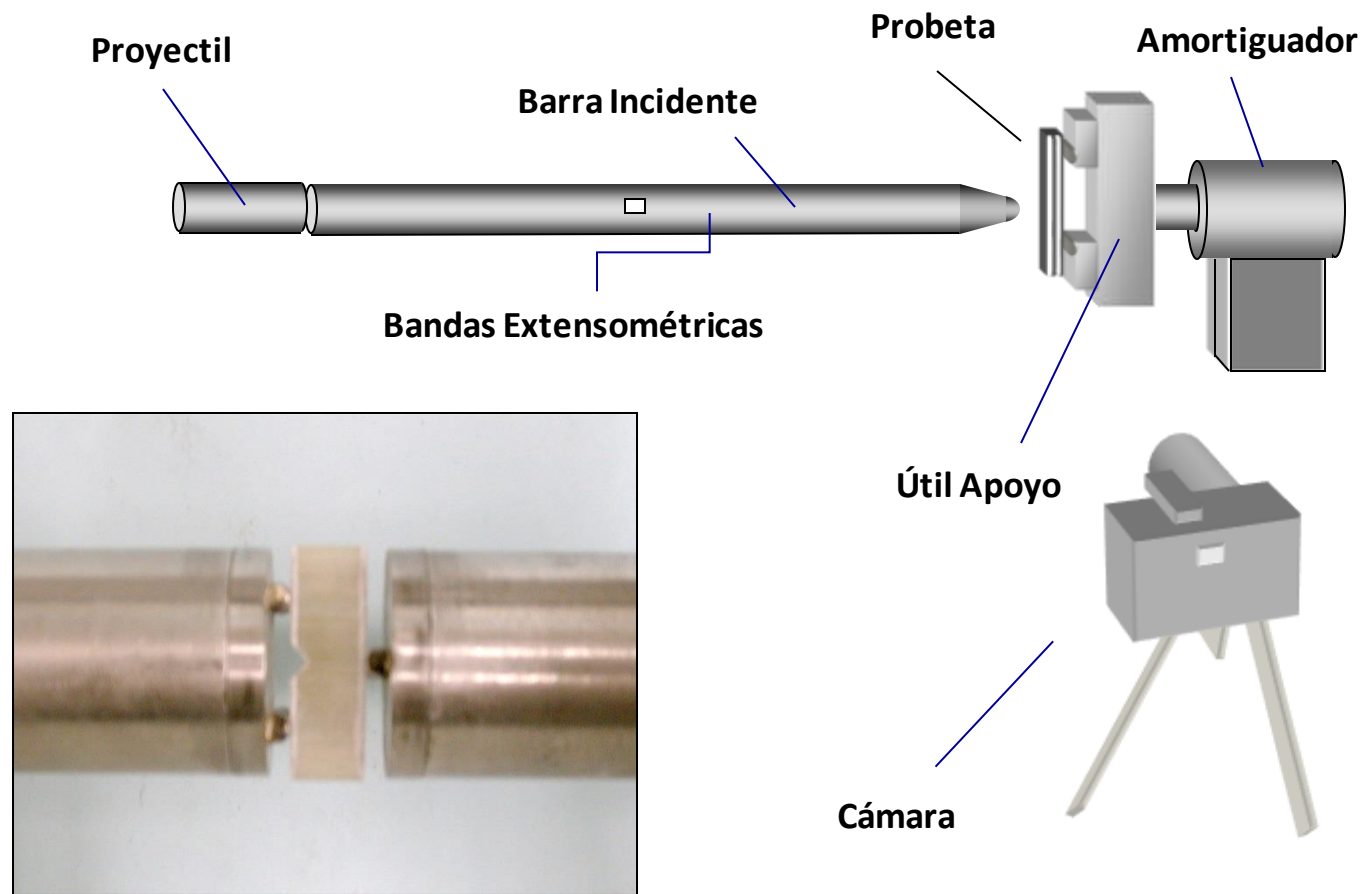
Resultado que se obtienen:

- Relación **tensión-deformación** en régimen dinámico



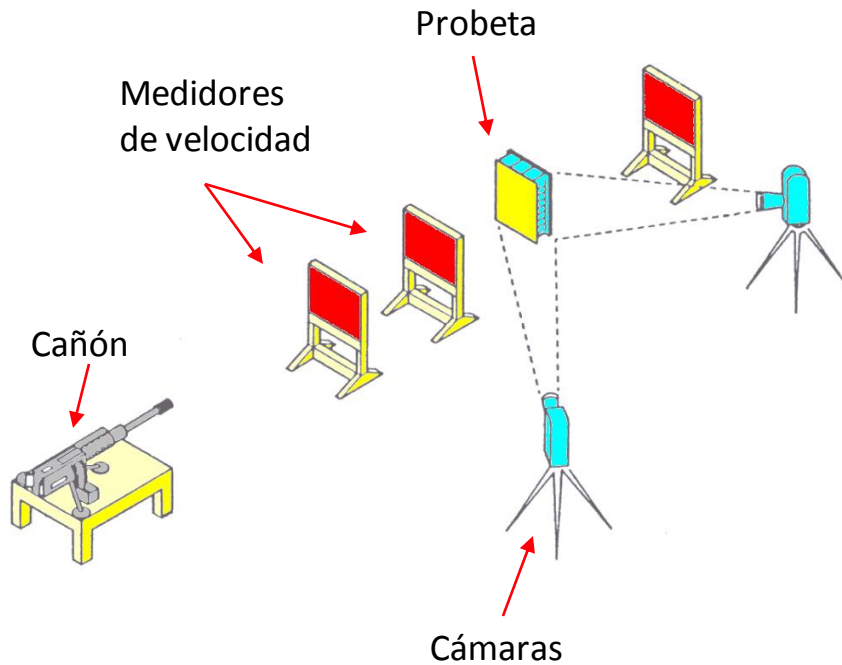
# 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

## Ensayos dinámicos: (d) La barra Hopkinson



## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Ensayos dinámicos: (e) Ensayos balísticos en cañón de gas



#### Resultados que se obtienen:

- Límite balístico
- Extensión del área dañada
- Capacidad de absorción de energía.

## 1.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS MATERIALES

### Ensayos dinámicos: (f) Ensayos de impacto

VELOCIDAD DE IMPACTO [m/s]	COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL
50	+ Fundamentalmente ELÁSTICO. + Inelasticidad LOCAL.
50 – 500	+ Fundamentalmente INELÁSTICO.
500 – 1000	+ VISCO-PLÁSTICO. + La Resistencia Mecánica todavía es relevante.
1000 – 3000	+ Comportamiento FLUIDO. + La densidad es el parámetro dominante.
3000 – 12000	+ Modelos HIDRODINÁMICOS + Cambio de fase.
> 12000	+ Evaporación

