

# Unidad 01. Nociones básicas

## Propiedades mecánicas y comportamiento de los materiales

Michael Heredia Pérez  
[mherediap@unal.edu.co](mailto:mherediap@unal.edu.co)

Universidad Nacional de Colombia sede Manizales  
Departamento de Ingeniería Civil  
Análisis Estructural Básico

2023b



## Advertencia

Estas diapositivas son solo una herramienta didáctica para guiar la clase, por si solas no deben tomarse como material de estudio y el estudiante debe dirigirse a la literatura recomendada ([Gere and Goodno, 2012](#)).



# Derrotero

- Introducción
- Propiedades mecánicas de los materiales
- Elasticidad, plasticidad y creep (fluencia)
- Elasticidad lineal, ley de Hooke y coeficiente de Poisson

# Derrotero

- Introducción
- Propiedades mecánicas de los materiales
- Elasticidad, plasticidad y creep (fluencia)
- Elasticidad lineal, ley de Hooke y coeficiente de Poisson

# Introducción

- Para determinar el **comportamiento mecánico** de los materiales sometidos a cargas, se realizan experimentos en laboratorio.
- Los ensayos son estandarizados por empresas nacionales e internacionales:
  - American Society for Testing and Materials (ASTM).
  - Norma Técnica Colombiana (NTC) y similares.
- Se diferenciará entre ensayos **estáticos y dinámicos**.
- Se hablará de materiales **dúctiles** y materiales **frágiles**
- Existirán relaciones entre los esfuerzos y deformaciones, llamados **modelos constitutivos**, estos involucran constantes importantes que definen el comportamiento del material.

## Ensayos estáticos

Maquina universal de ensayos | Laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales



Figure: Presa Universal Hidroneumática (izquierda) y Presa Universal Eléctrica (derecha). Archivo personal.

# Ensayos dinámicos

Mesa vibradora | Laboratorio de Ingeniería Estructural y Sísmica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales



Figure: Mesa vibradora ensayando sismos con modelos a escala. Archivo personal.

## Ensayos dinámicos

Sistema híbrido de simulación sísmica | Laboratorio de Ingeniería Estructural y Sísmica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales



Figure: Sistema híbrido de simulación sísmica, aplicación de un sismo escalado a un perfil de acero estructural. Archivo personal.

# Derrotero

- Introducción
- Propiedades mecánicas de los materiales
- Elasticidad, plasticidad y creep (fluencia)
- Elasticidad lineal, ley de Hooke y coeficiente de Poisson

# Propiedades mecanicas de los materiales

## Lecturas

textitMechanical properties of materials, [link](#).

# Ensayo de tracción

Ensayo de tracción en acero: ASTM E8/NTC 2

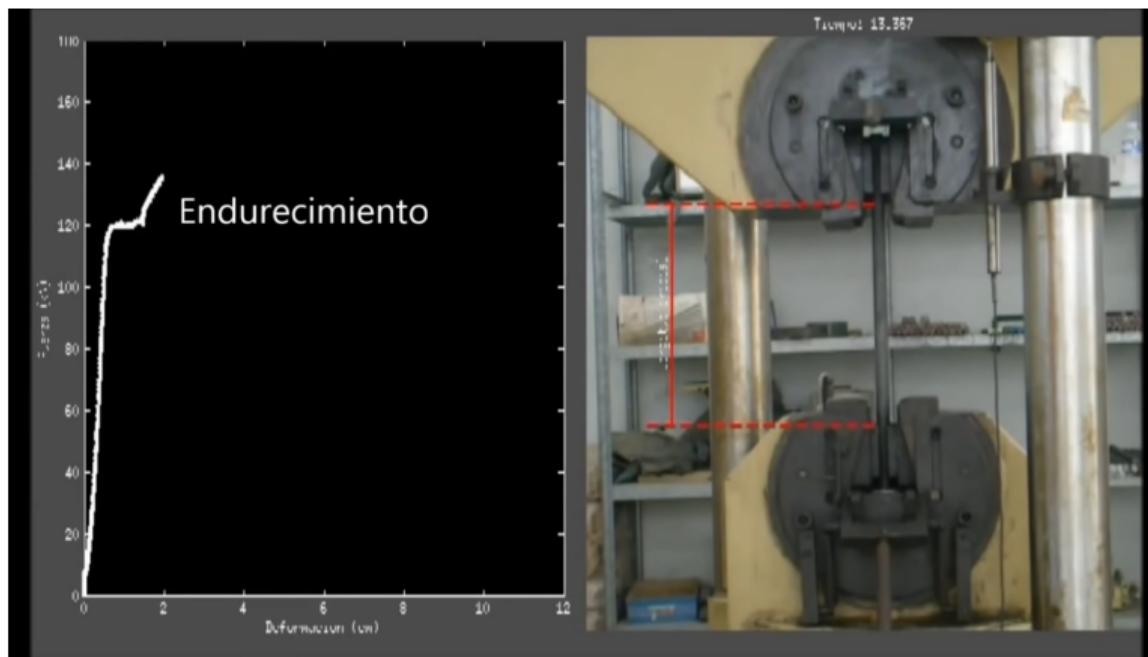


Figure: Ensayo de tracción - Resistencia de materiales. [Video](#).

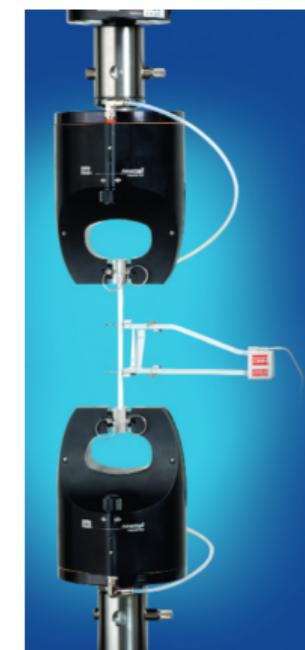


Figure: Ensayo de tracción típico con un extensómetro atado al elemento.

# Comportamiento plástico y elástico de los materiales dúctiles

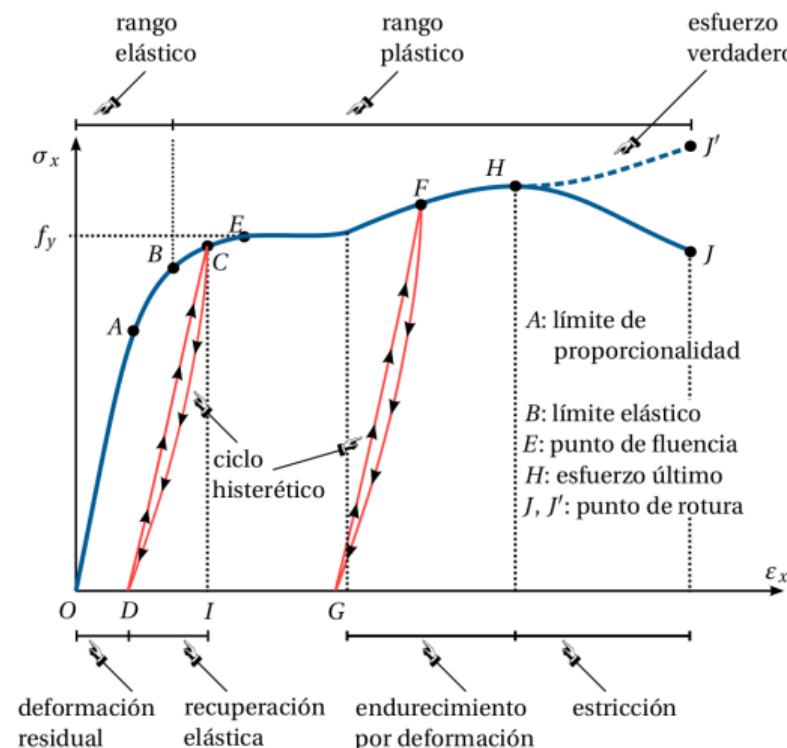


Figure: Curva esfuerzo deformación generalizada para materiales dúctiles, (Álvarez, 2023)

# Diagrama esfuerzo-deformación del acero dulce (*mild steel*)

Jacob Bernoulli (1654-1705) y J.V. POncelet (1755-1867)

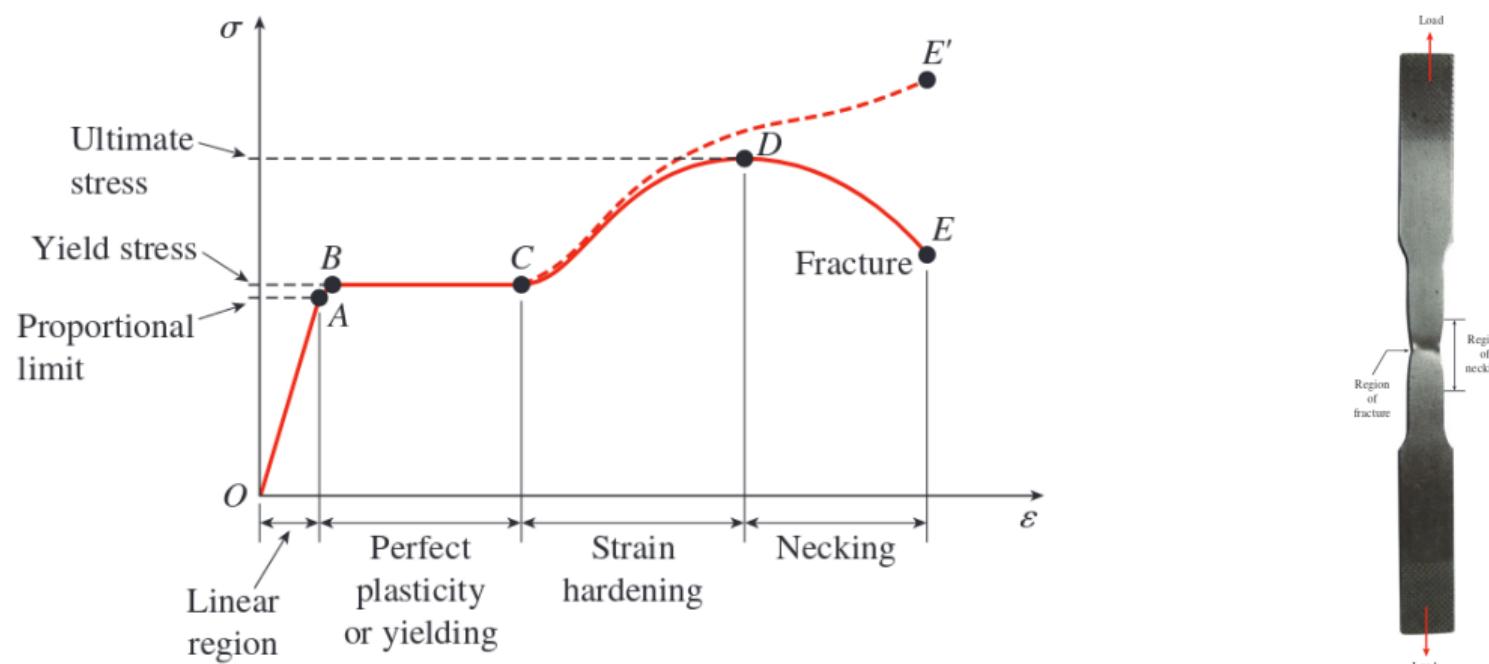


Figure: Diagrama esfuerzo-deformación para un elemento tipo metálico a tracción (no a escala). La curva  $CE'$  será la curva verdadera, mientras que la curva  $CE$  será la curva convencional.

Figure: Estricción en una barra de acero dulce a tracción.

## Comportamiento de diferentes materiales a tracción

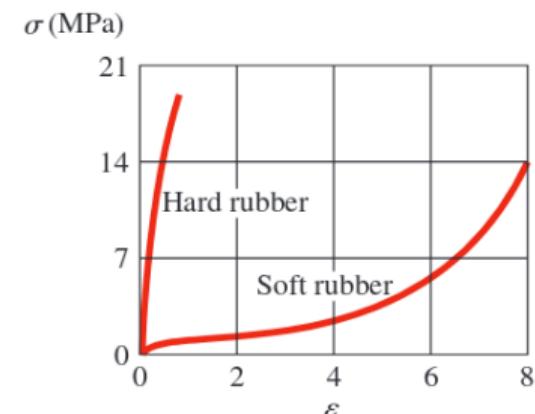
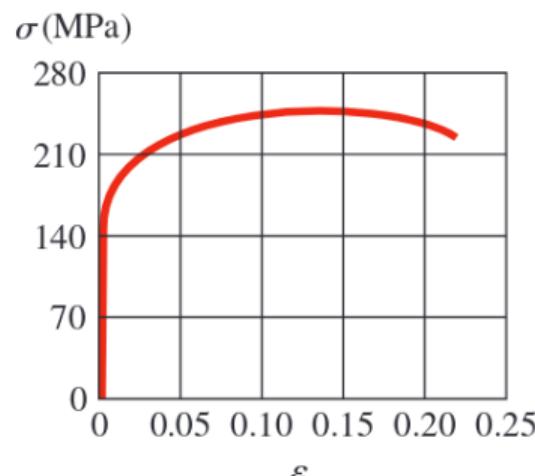
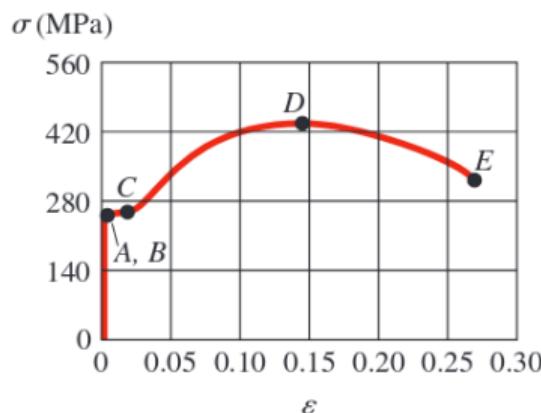


Figure: Diagramas esfuerzo deformación a escala para (izquierda) un elemento tipo metálico, (centro) una aleación de aluminio y (derecha) dos clases de caucho.

## Diagramas esfuerzo-deformación sin claridad del límite de fluencia

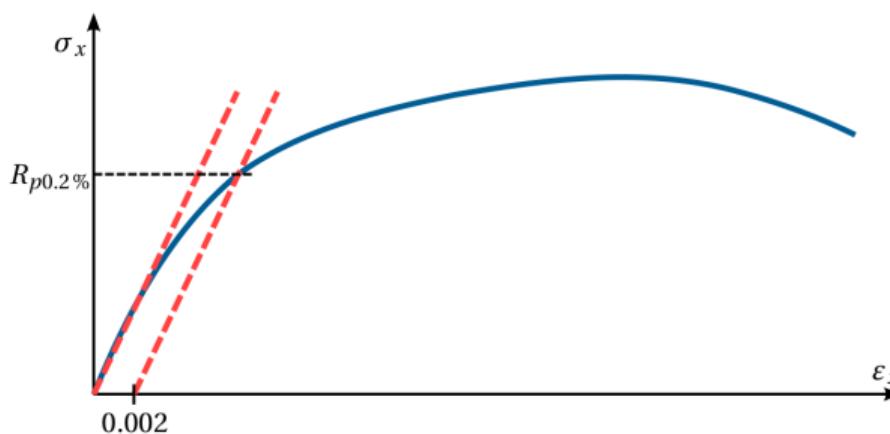


Figure: Método de la compensación o corregimiento ASTM A370. (Álvarez, 2023)

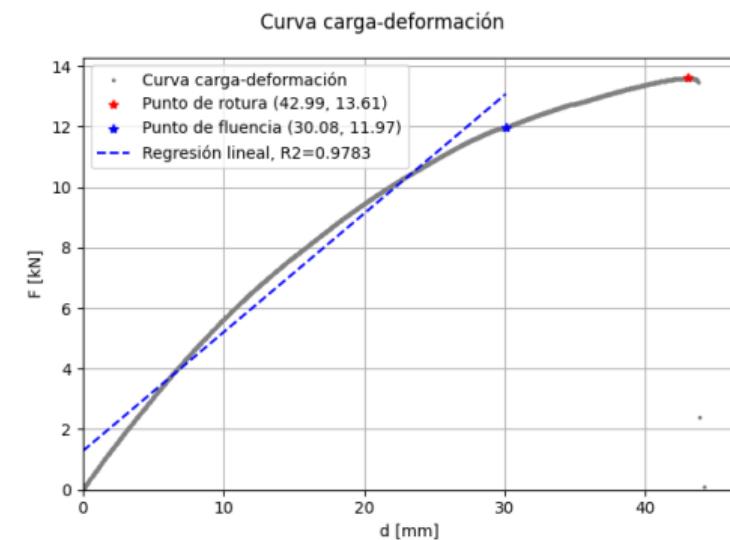


Figure: Ensayo de madera plástica (plastic lumber) realizado en el Laboratorio de Ingeniería Estructural y Sísmica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Archivos personales.

## Materiales dúctiles

Metáles, algunos polímeros y compuestos

La **ductilidad**, es la capacidad que tiene un material para alcanzar grandes deformaciones plásticas antes de su rotura o falla.

Dos medidas de la ductilidad para materiales a tracción:

- Porcentaje de elongación:

$$\% \text{ elongación} = \frac{L_f - L_i}{L_i}$$

- Porcentaje de reducción de área:

$$\% \text{ reducción de area} = \frac{A_i - A_f}{A_i}$$

# Materiales fráiles

Porcelanas, rocas y cristales

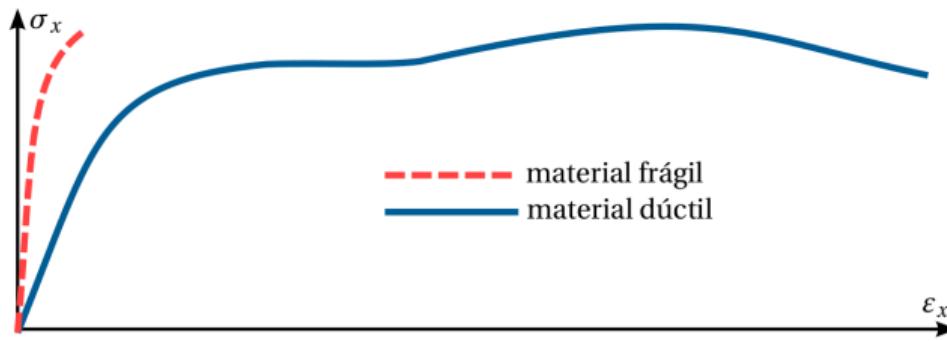


Figure: Curva esfuerzo-deformación para materiales dúctiles y frágiles. (Álvarez, 2023)

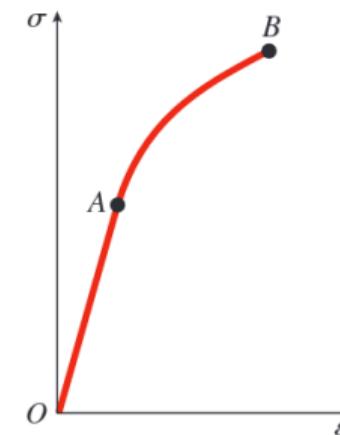


Figure: Diagrama esfuerzo-deformación típico para materiales frágiles, mostrando el límite de proporcionalidad (punto A) y el esfuerzo de fractura (punto B).

## Observaciones:

- La temperatura puede afectar el comportamiento de los materiales, haciéndolos más o menos dúctiles.
- A mayor resistencia del material, usualmente menor ductilidad
- Desarrollo de nuevos materiales: fibre-reinforced y compuestos.

# Ensayo de compresión

Ensayo de compresión en concreto: ASTM C39/ NTC673

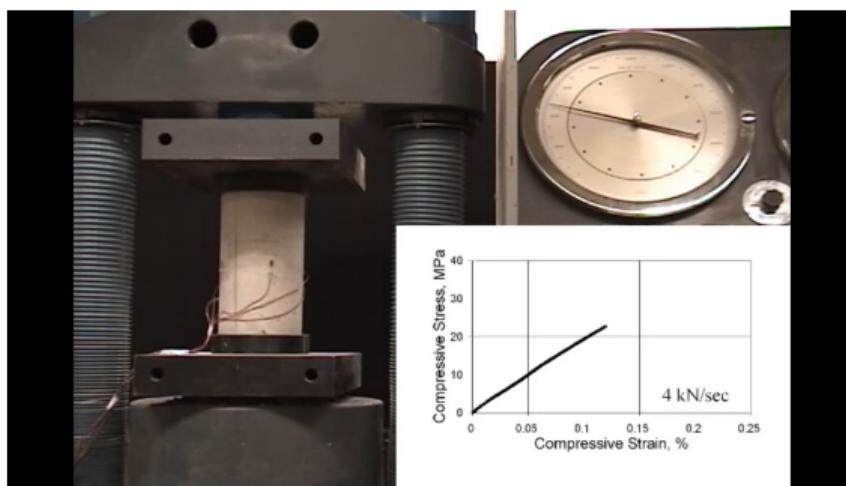


Figure: Compression testing of concrete. [Video](#).



Figure: Núcleo de roca siendo ensayado a compresión.

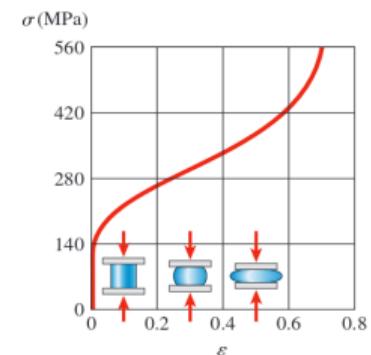


Figure: Diagrama esfuerzo - deformación del cobre a compresión

## Curvas esfuerzo-deformación tradicionales en ingeniería civil

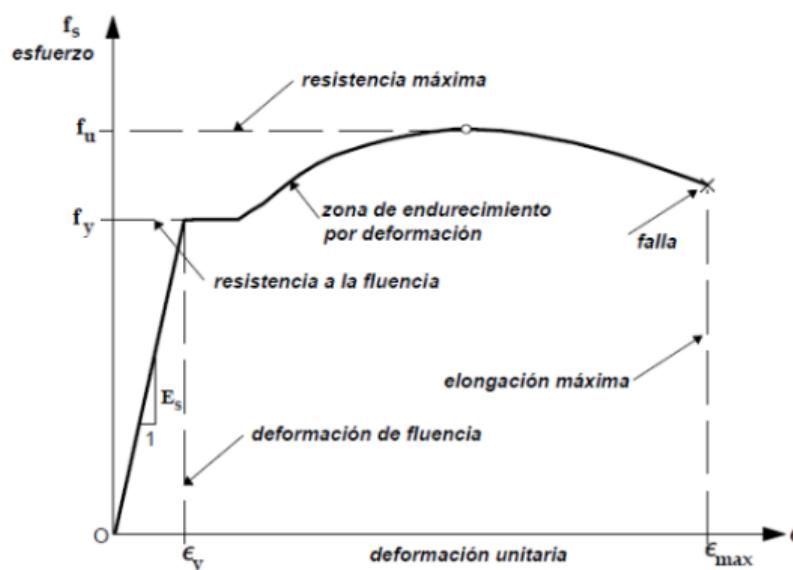


Figura 6-2(a) - Curva esfuerzo-deformación del acero de refuerzo

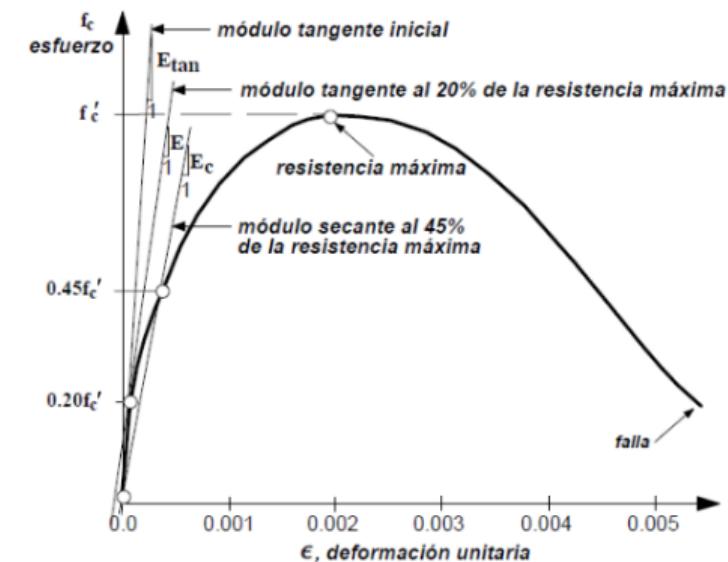


Figura 6-2(b) - Curva esfuerzo-deformación del concreto no confinado

Figure: Tomado de Reyes, 1998. No comparar escalas.

# Comportamiento del acero estructural

Material de complemento, curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado

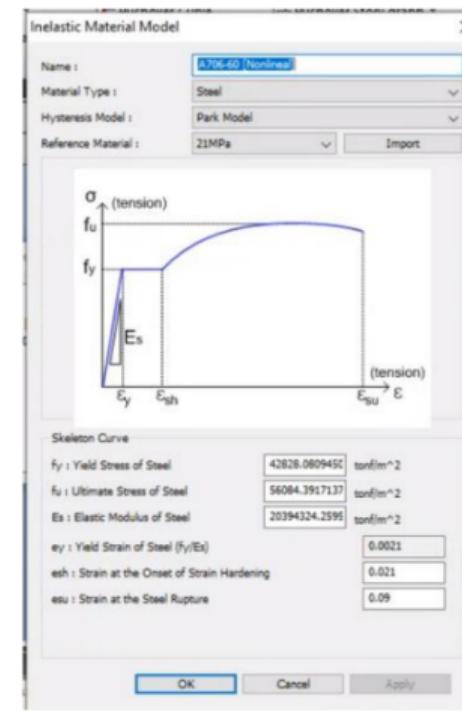
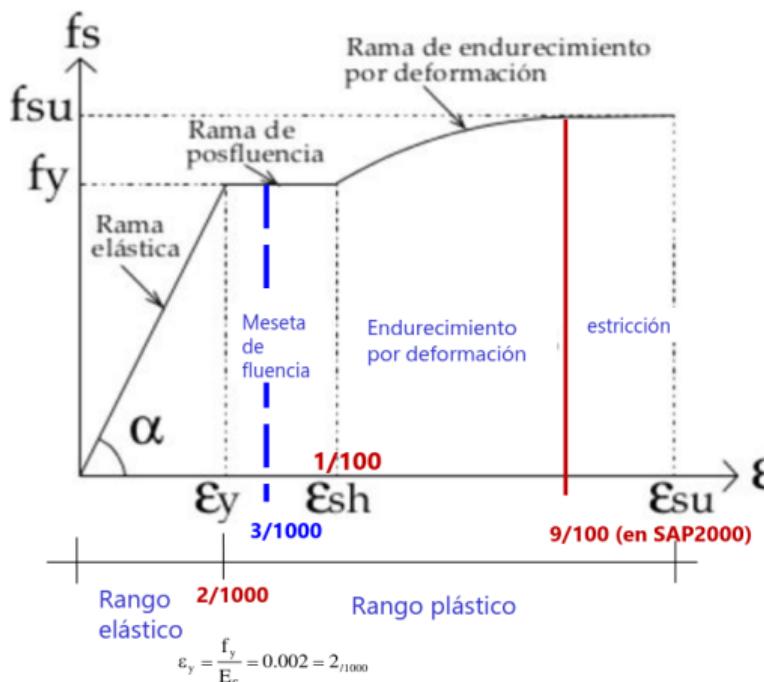
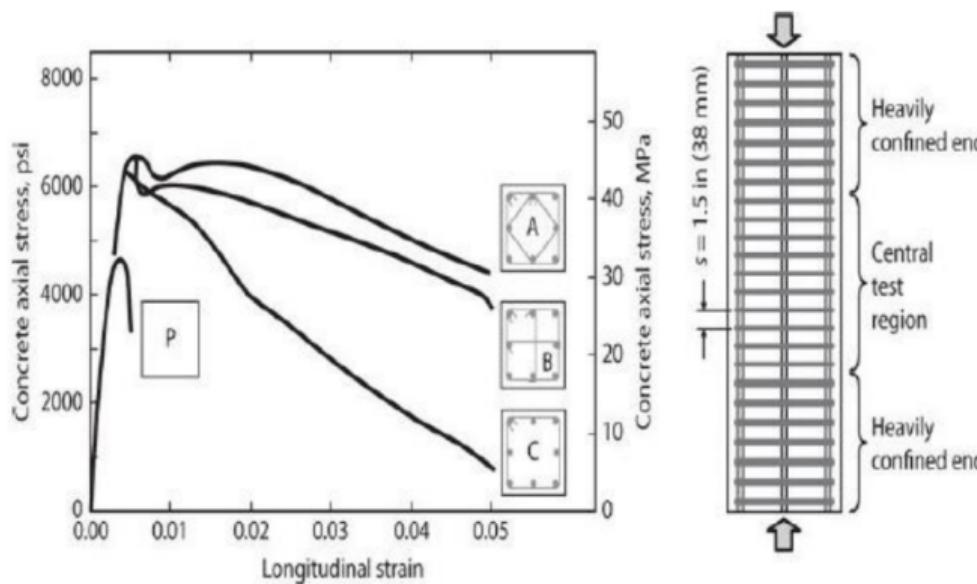


Figure: Curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado; [Bedoya, 2022].

# Comportamiento del concreto reforzado

Material de complemento, curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado



**FIGURE 4.1** Stress-strain response of plain concrete (P) and three confined concrete cross sections.  
(After Moehle and Cavanagh, 1985, used with permission from ASCE.)

Figure: *Curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado; [Bedoya, 2022]*.

# Derrotero

- Introducción
- Propiedades mecánicas de los materiales
- Elasticidad, plasticidad y creep (fluencia)
- Elasticidad lineal, ley de Hooke y coeficiente de Poisson

## Comportamientos de carga y descarga

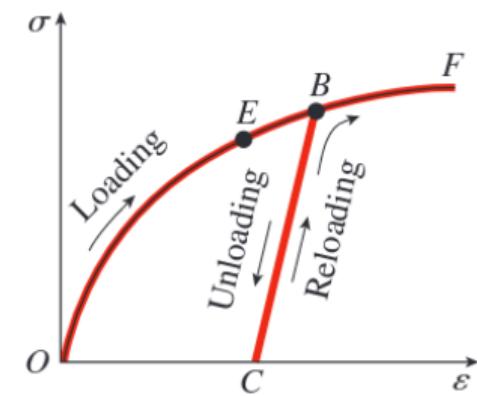
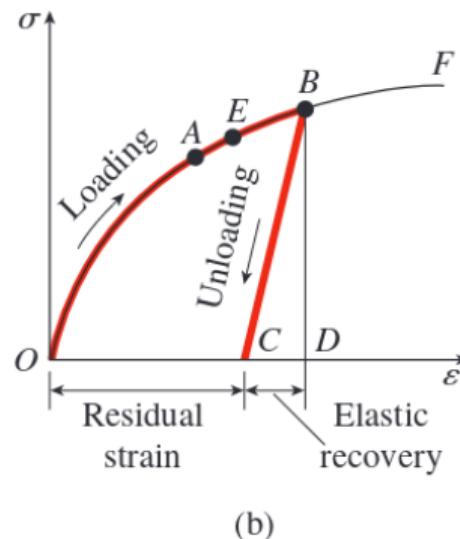
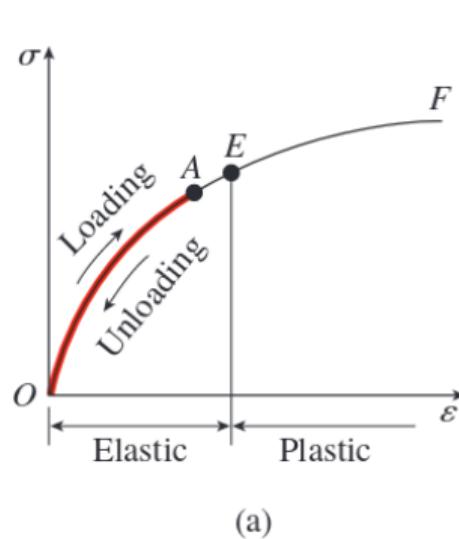


Figure: Diagramas esfuerzo-deformación ilustrando (a) comportamiento elástico y (b) comportamiento elasto-plástico.

Figure: Recarga de un material y alza del límite de proporcionalidad y límite elástico.

# Ciclos de histéresis (*hysteresis loop*)

Material de complemento, curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado



Figure: Hysteretic Behavior of non-retrofitted and retrofitted bridge piers reinforced by UHPFRC. [Video](#).

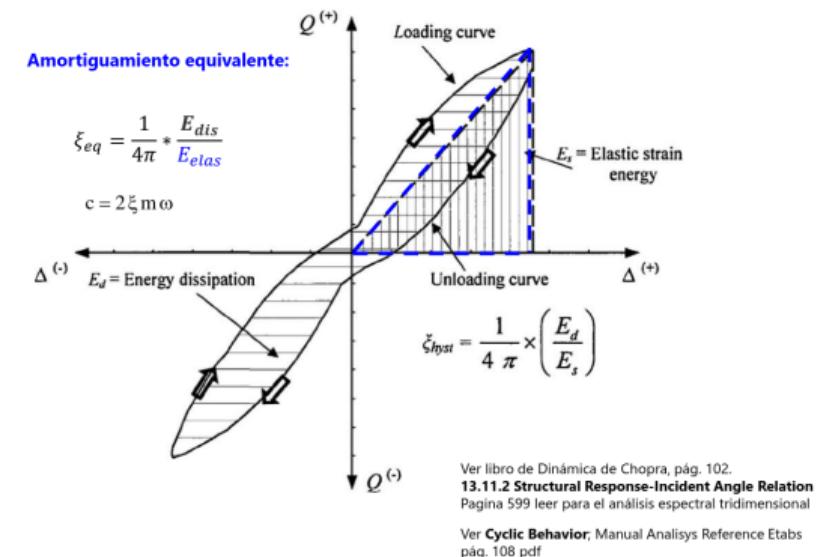


Figure: Curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado; [[Bedoya, 2022](#)].

## Fluencia o creep

- Cuando los materiales se cargan por largos periodos de tiempo, estos desarrollan deformaciones adicionales y se dice que han *fluido*.
- Con el tiempo, las deformaciones llevan a una **relajación** de los esfuerzos.
- Muy importante cuando se introducen la temperatura como una solicitud a la estructura.

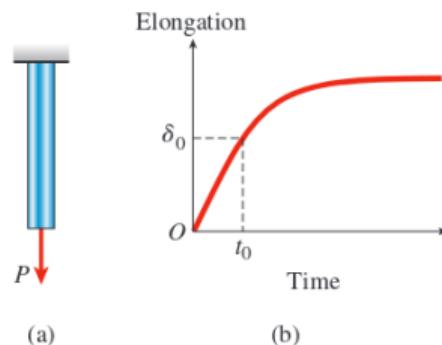


Figure: Fluo en una barra sometida a carga constante.

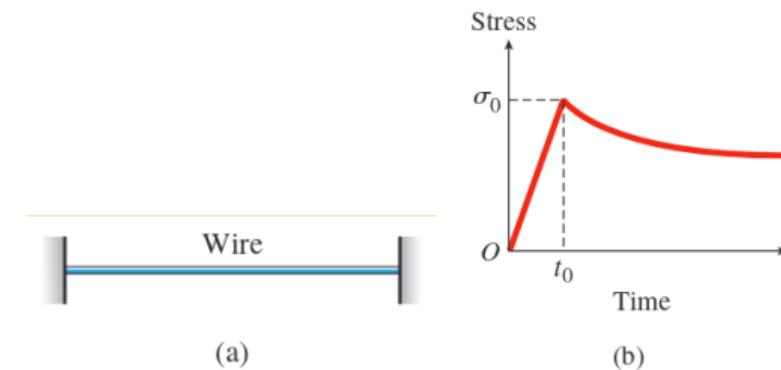


Figure: Relajación de esfuerzos en un cable sometido a deformación constante.

# Derrotero

- Introducción
- Propiedades mecánicas de los materiales
- Elasticidad, plasticidad y creep (fluencia)
- Elasticidad lineal, ley de Hooke y coeficiente de Poisson

## Algunas definiciones

Material elástico-lineal, homogéneo e isótropo

- Cuando los materiales se comportan elásticamente y además exhiben una relación lineal entre esfuerzos y deformaciones, se dirá que es **elástico lineal** (*linearly-elastic*). “**Al diseñar estructuras actuando de esta manera, se evitarán deformaciones permanentes por fluencia.**”
- Los materiales **homogéneos** son aquellos que cuentan con la misma composición en todo su volumen, y por lo mismo, las mismas propiedades mecánicas en cada punto.
- Cuando la medición de las propiedades mecánicas es la misma en todas las direcciones, diremos que ese material es **isótropo**.

## Ley de Hooke (axial)

Robert Hooke (1635-1703) científico inglés

Si el elemento es sometido a un esfuerzo de tracción (o compresión) en la dirección  $x$ , el elemento se estira (o contrae) en esta misma dirección. Dicha ley relaciona los esfuerzos normales  $\sigma_x$  y las deformaciones longitudinales  $\varepsilon_x$ , por medio de la expresión

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

Cuando el comportamiento de un sólido elástico sigue la ley de Hooke, se dice que el sólido tiene un comportamiento elástico lineal.

### Módulo de elasticidad $E$

- Thomas Young (1773-1829), científico y egiptólogo inglés
- Indica qué tan rígido es un material, es decir, cuál es la oposición que ofrece al ser estirado o contraido.
- Disminuye con el aumento de la temperatura.
- $f_y$  también disminuye con el aumento de la temperatura.

# Efecto de Poisson

Siméon Denis Poisson (1781-1840), matemático y físico francés

Si sobre el cuerpo de la figura se aplica una fuerza de tracción en dirección x, se produce un alargamiento relativo (deformación longitudinal)  $\varepsilon_x$  en esa dirección y un acortamiento, encogimiento o contracción relativa  $\varepsilon_y$  y  $\varepsilon_z$  en las dos direcciones transversales.

$$\varepsilon_y = -\nu \varepsilon_x \quad \varepsilon_z = -\nu \varepsilon_x$$

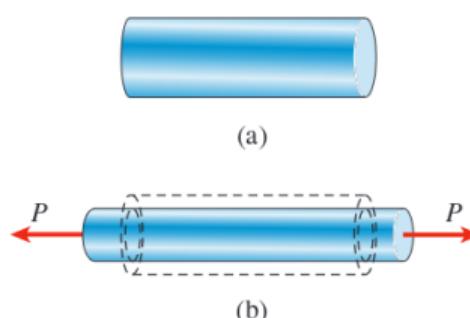


Figure: Elongación axial y contracción lateral de una barra prismática a tracción:  
(a) barra antes de la carga y (b) barra después de la carga (exagerado).

## Coefficiente de Poisson $\nu$

$$\nu = -\frac{\varepsilon_{transversal}}{\varepsilon_{longitudinal}}$$

- Expresa una relación entre las deformaciones transversales y longitudinales.
- Varían con los cambios de temperatura.
- $f_y$  también disminuye con el aumento de la temperatura.

# Algunos valores del módulo de elasticidad $E$ y el coeficiente de Poisson $\nu$

## Materiales augéticos

Material	Módulo de Young (GPa) $E$	Coeficiente de Poisson $\nu$
Acero	200	0.27 – 0.30
Arcilla saturada	4 – 20	0.40 – 0.499
Caucho	0.01 – 0.1	$\approx 0.499$
Concreto	21.5 – 39	0.20
Corcho	0.032	$\approx 0$
Material auxético		negativo
Nanotubos de carbono	1000 – 5000	-0.2 – -0.06

Figure: Módulos de Young y coeficientes de Poisson para diferentes materiales, ([Álvarez, 2023](#)).

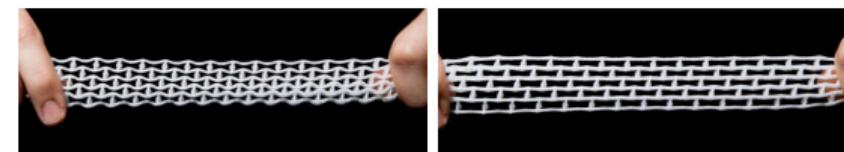


Figure: Auxetic MetaMaterials. [Video](#).

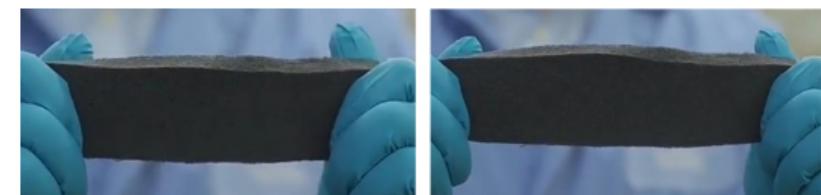


Figure: Material Connexion Bilbao, espuma auxética. [Link](#).

## Referencias

Gere, J. M. and Goodno, B. J. (2012). *Mechanics of materials*. Cengage learning.

Reyes, L. E. G. (1998). *Dinámica de estructuras aplicada al diseño sísmico*. Universidad de los Andes.

Álvarez, D. A. (2023). *Teoría de la Elasticidad usando Matlab y Máxima. Tomo 1: Fundamentos*, volume 1. Universidad Nacional de Colombia.