

Unidad 01. Nociones básicas

Propiedades mecánicas y comportamiento de los materiales

Michael Heredia Pérez
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

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

Ensayo de tracción

Ensayo de tracción en acero: ASTM E8/NTC 2

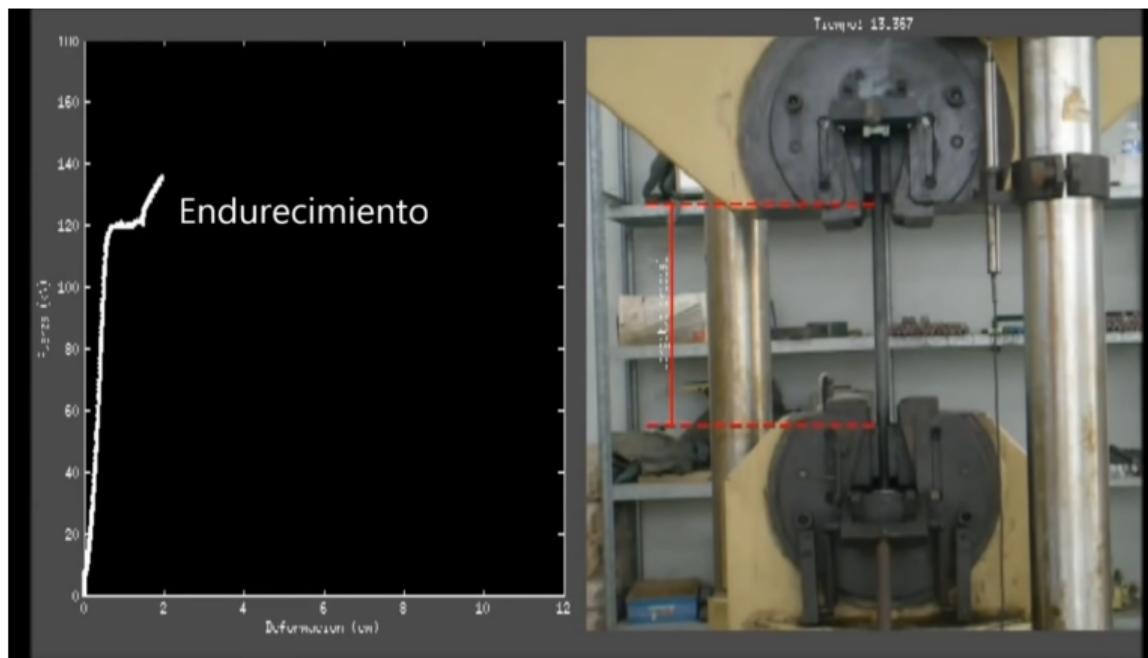


Figure: Ensayo de tracción - Resistencia de materiales. [Video](#).



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

Comportamiento plástico y elástico de los materiales dúctiles

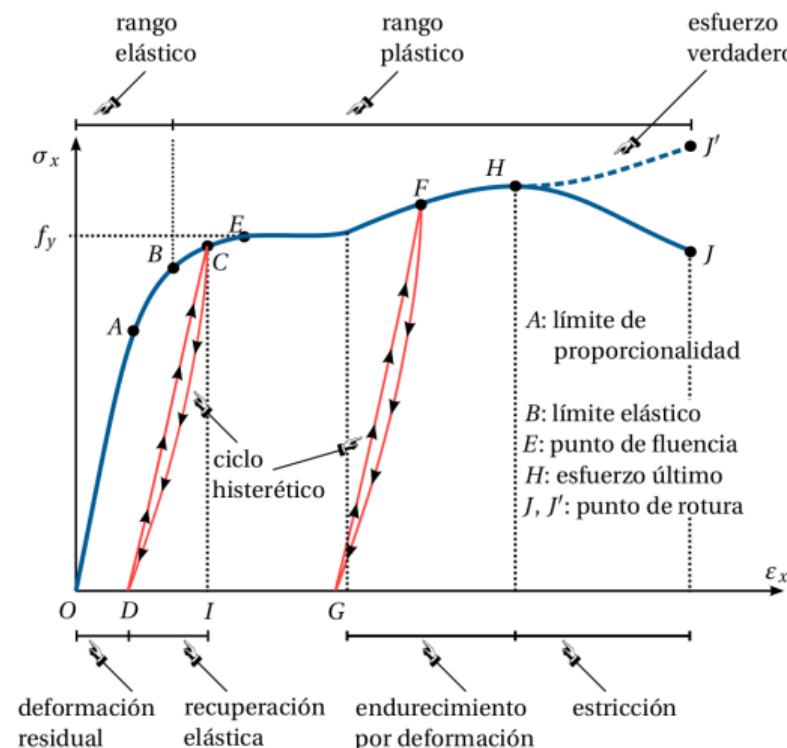


Figure: Curva esfuerzo deformación generalizada para materiales dúctiles, (Álvarez, 2023)

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

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

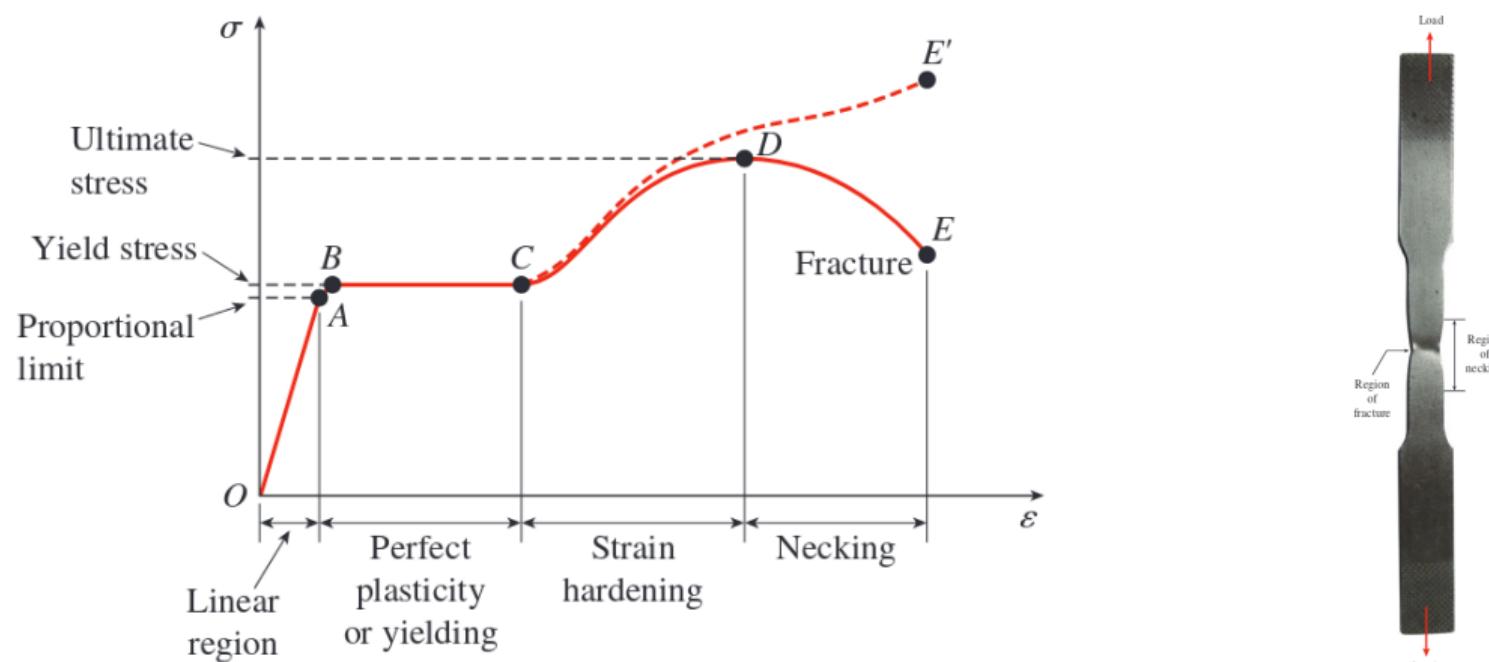


Figure: Diagrama esfuerzo-deformación para un elemento tipo metálico a tracción (no a escala). La curva CE' será la curva verdadera, mientras que la curva CE será la curva convencional.

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

Comportamiento de diferentes materiales a tracción

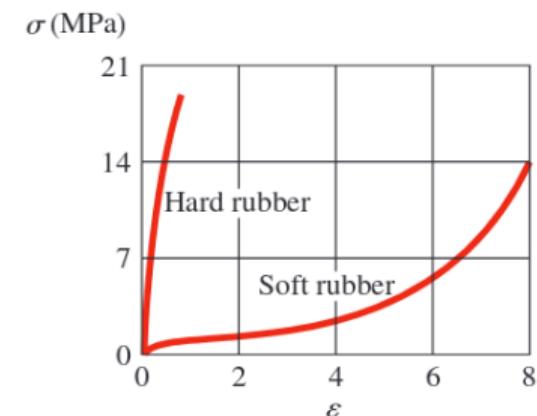
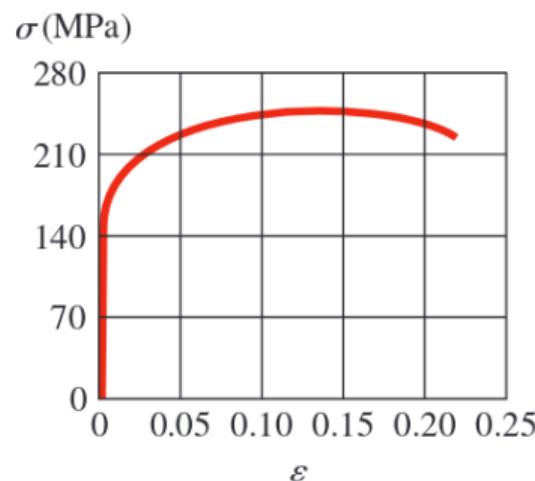
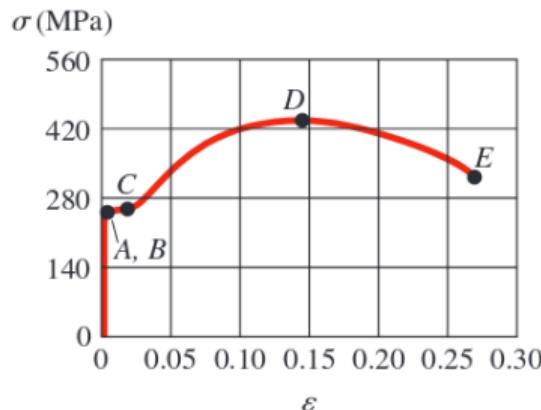


Figure: Diagramas esfuerzo deformación a escala para (izquierda) un elemento tipo metálico, (centro) una aleación de aluminio y (derecha) dos clases de caucho.

Comportamiento de diferentes materiales a tracción

El acero de preesfuerzo

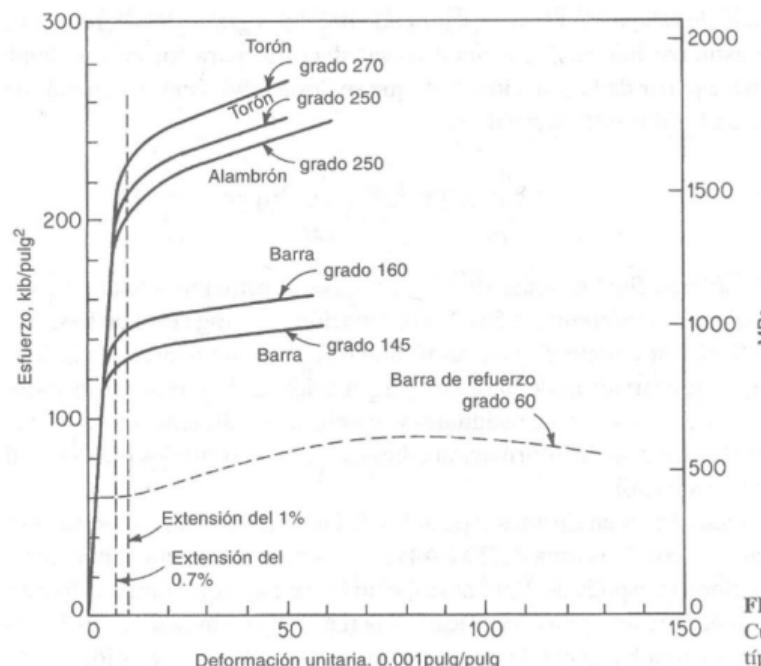


FIGURA 2.15
Curva esfuerzo-deformación unitaria típica de aceros de preesfuerzo.

Figure: Curva esfuerzo-deformación unitaria típica de aceros de preesfuerzos, curso de Concreto Preeforzado [Herrara, 2023].

Diagramas esfuerzo-deformación sin claridad del límite de fluencia

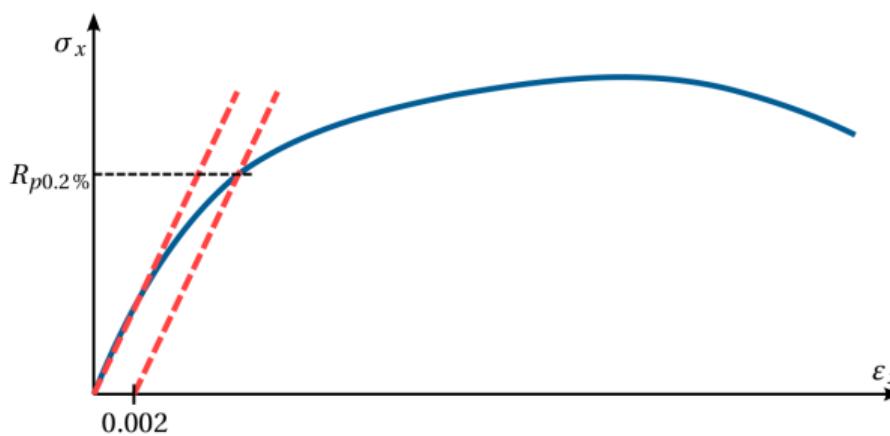


Figure: Método de la compensación o corregimiento ASTM A370. (Álvarez, 2023)

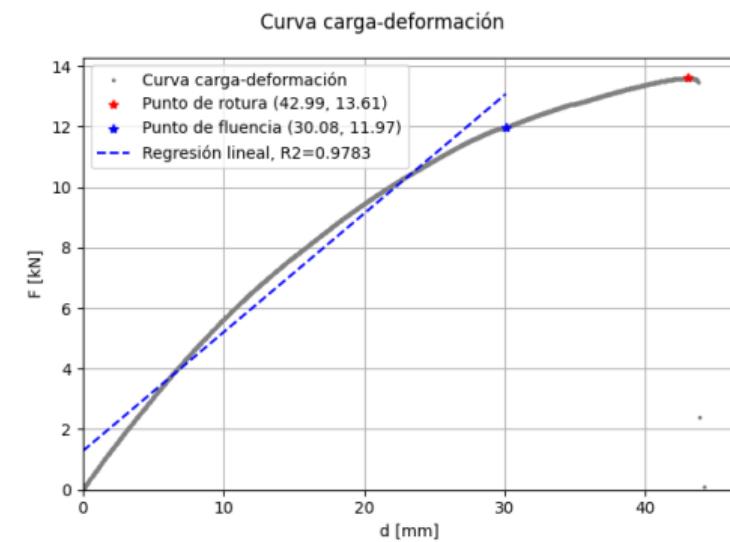


Figure: Ensayo de madera plástica (plastic lumber) realizado en el Laboratorio de Ingeniería Estructural y Sísmica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Archivos personales.

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

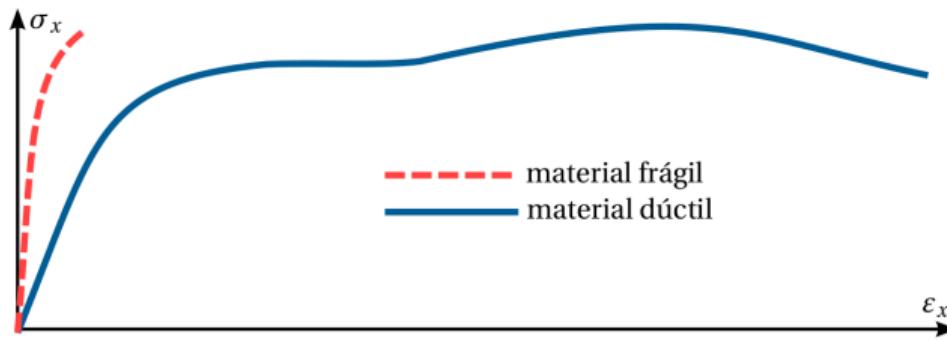


Figure: Curva esfuerzo-deformación para materiales dúctiles y frágiles. (Álvarez, 2023)

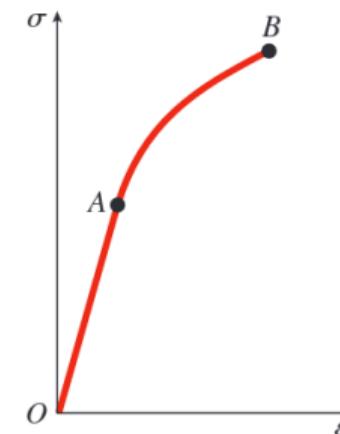


Figure: Diagrama esfuerzo-deformación típico para materiales frágiles, mostrando el límite de proporcionalidad (punto A) y el esfuerzo de fractura (punto B).

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

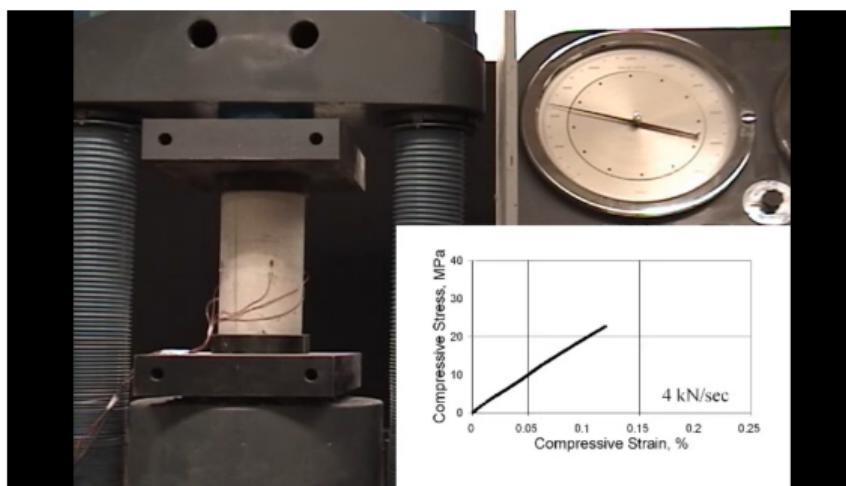


Figure: Compression testing of concrete. [Video](#).



Figure: Núcleo de roca siendo ensayado a compresión.

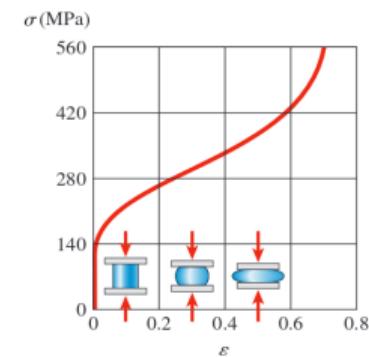


Figure: Diagrama esfuerzo - deformación del cobre a compresión

Curvas esfuerzo-deformación tradicionales en ingeniería civil



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

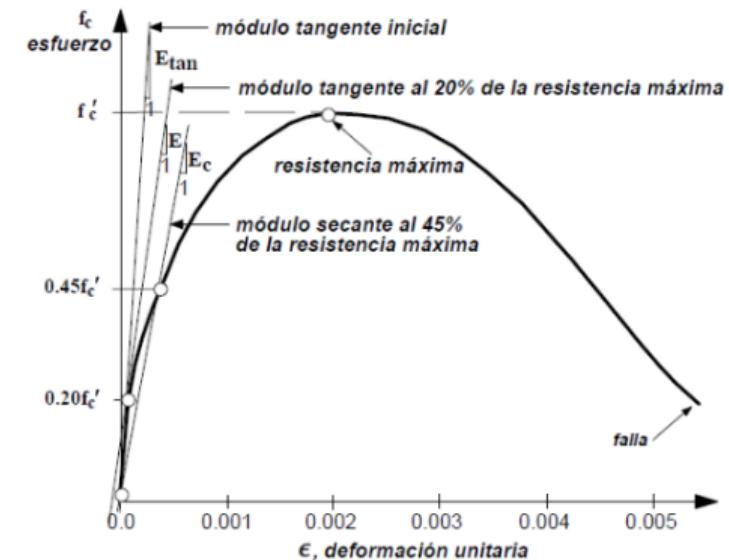


Figura 6-2(b) - Curva esfuerzo-deformación del concreto no confinado

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

Comportamiento del acero estructural

Material de complemento, curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado

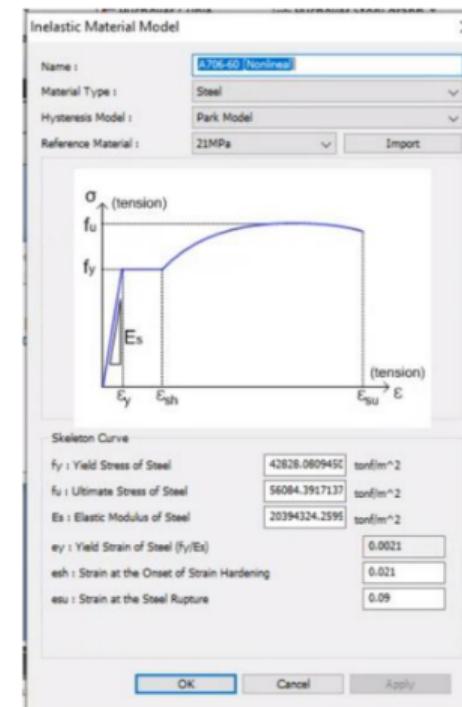
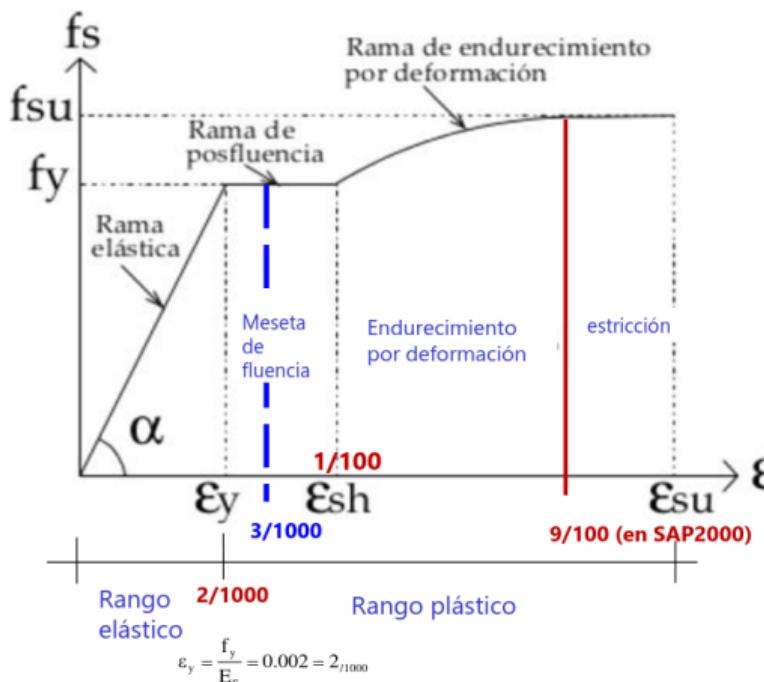


Figure: Curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado; [Bedoya, 2022].

Comportamiento del concreto reforzado

Material de complemento, curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado

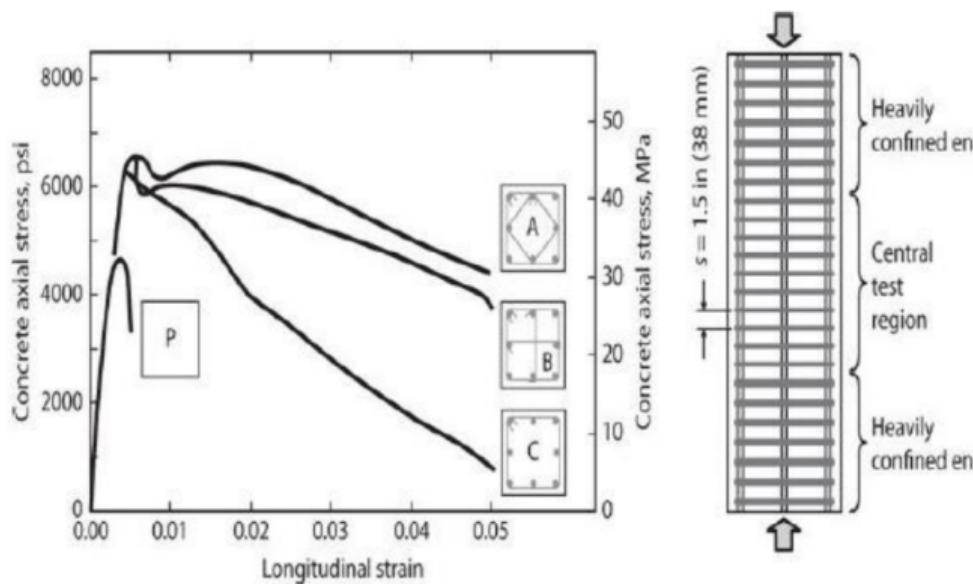


FIGURE 4.1 Stress-strain response of plain concrete (P) and three confined concrete cross sections.
(After Moehle and Cavanagh, 1985, used with permission from ASCE.)

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

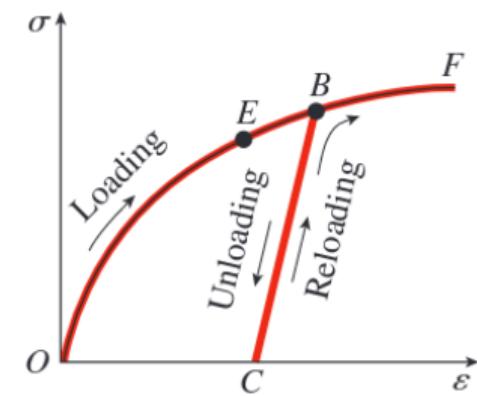
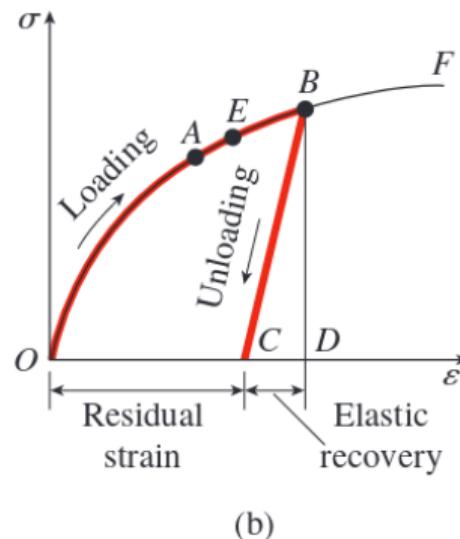
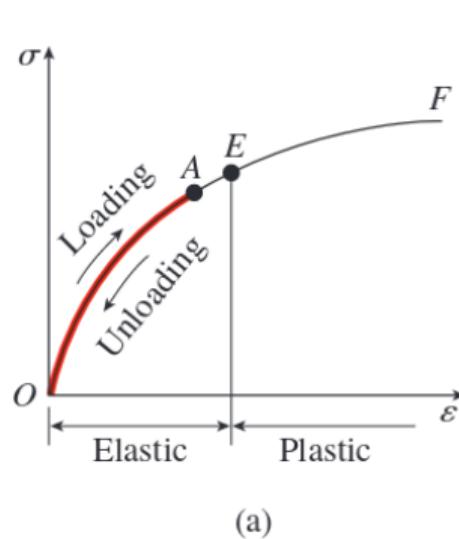


Figure: Diagramas esfuerzo-deformación ilustrando (a) comportamiento elástico y (b) comportamiento elasto-plástico.

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](#).

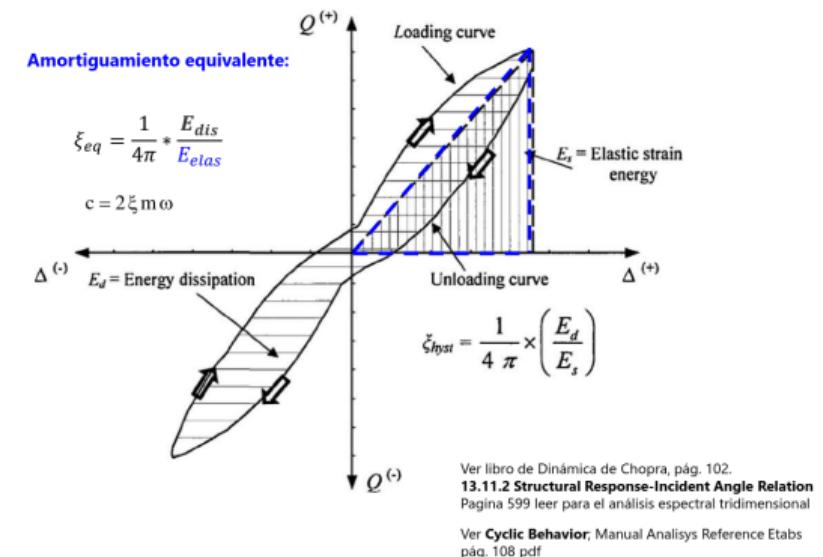
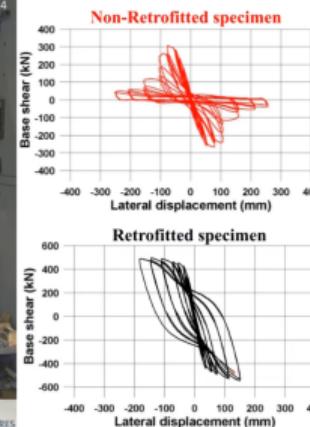


Figure: Curso de Diseño Sísmico de Concreto Reforzado; [[Bedoya, 2022](#)].

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, o en las pérdidas del acero de preesfuerzo.

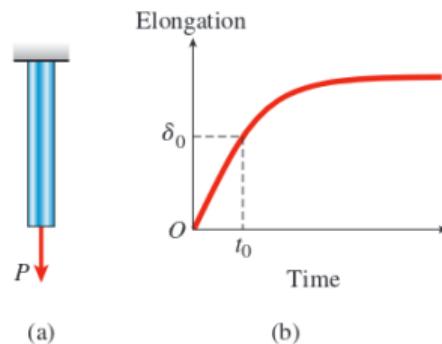


Figure: Flujo en una barra sometida a carga constante.

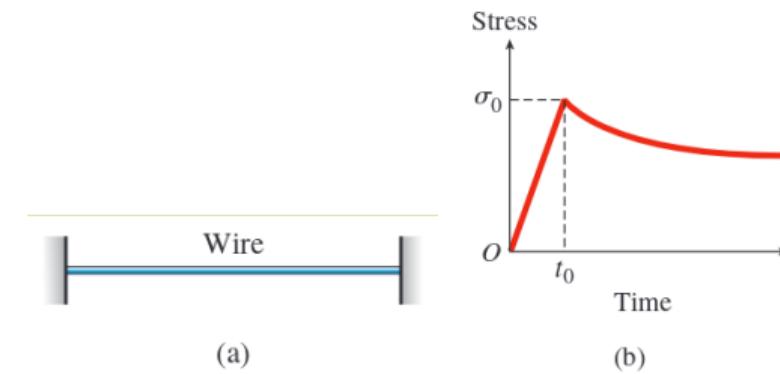


Figure: Relajación de esfuerzos en un cable sometido a deformación constante.

Fluencia o creep

Lectura recomendada

Importancia de considerar Creep y Shrinkage en el diseño de puentes en concreto, especialmente puentes segmentales de grandes luces. [Link](#).

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 σ_x y las deformaciones longitudinales ε_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) ε_x en esa dirección y un acortamiento, encogimiento o contracción relativa ε_y y ε_z en las dos direcciones transversales.

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

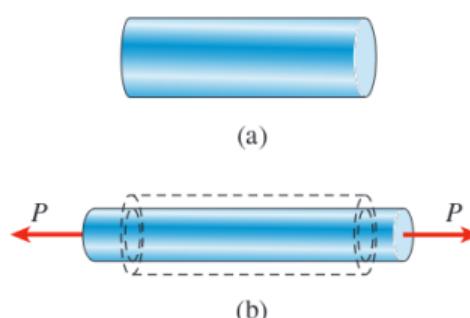


Figure: Elongación axial y contracción lateral de una barra prismática a tracción:
(a) barra antes de la carga y (b) barra después de la carga (exagerado).

Coefficiente de Poisson ν

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

- 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 ν

Materiales augéticos

Material	Módulo de Young (GPa) E	Coeficiente de Poisson ν
Acero	200	0.27 – 0.30
Arcilla saturada	4 – 20	0.40 – 0.499
Caucho	0.01 – 0.1	≈ 0.499
Concreto	21.5 – 39	0.20
Corcho	0.032	≈ 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](#)).

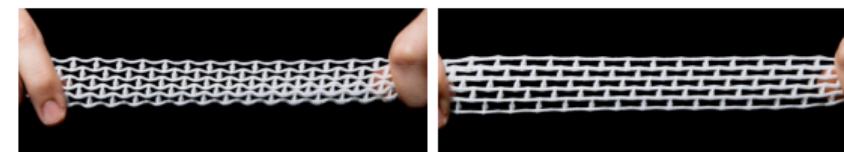


Figure: Auxetic MetaMaterials. [Video](#).

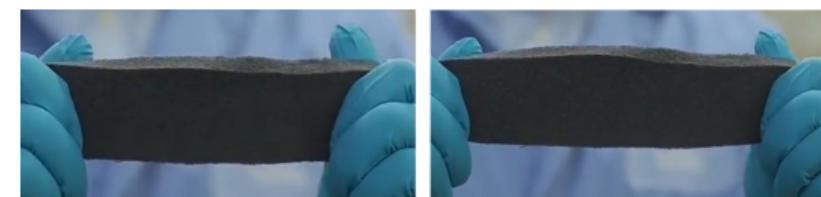


Figure: Material Conexión Bilbao, espuma auxética. [Link](#).

Los materiales auxéticos en para la absorción de la energía sísmica



Article

Metamaterials of Auxetic Geometry for Seismic Energy Absorption

Ahmed Abdalfatah Saddek¹, Tzu-Kang Lin^{1,*}, Wen-Kuei Chang¹, Chia-Han Chen² and Kuo-Chun Chang³

¹ Department of Civil Engineering, National Yang Ming Chiao Tung University, Hsinchu 300093, Taiwan; ahmedsaddek3@gmail.com (A.A.S.)

² National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei 106219, Taiwan

³ Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei 106319, Taiwan; ciekuo@ntu.edu.tw

* Correspondence: tklin@nycu.edu.tw; Tel.: +886-3-571-2121 (ext. 54919)

Figure: Artículo: Metamaterials of Auxetic Geometry for Seismic Energy Absorption, <https://doi.org/10.3390/ma16155499>.

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.