

A space shuttle, the Space Shuttle Discovery, is shown in orbit above Earth's horizon. The shuttle is white with black and red markings, including the word "Discovery" and "United States". It is angled upwards and to the right, with a bright orange and yellow flame trail behind it. The background is a dark blue space with a thin white line representing the Earth's horizon. A large, semi-transparent orange triangle is on the right side of the image, containing the title text.

Clase 5: Resistencia de Materiales

Ing. Esteban Jiménez Sánchez



Resistencia de Materiales



Área de ingeniería que estudia la capacidad de los materiales de resistir la aplicación de fuerzas sobre ellos.

Para la cohetería esta rama resulta fundamental dado que se trabajan con esfuerzos extremos, y la falla de los materiales tiene consecuencias graves.

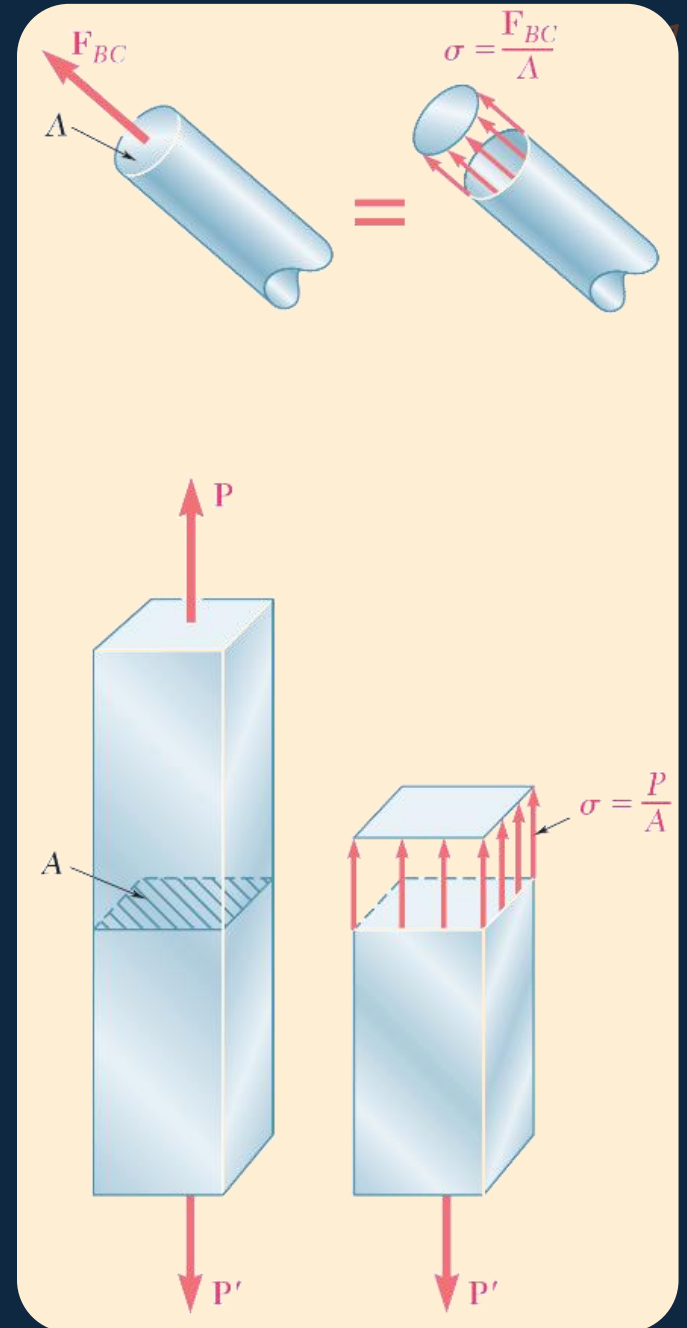
[Video: Una Introducción al Esfuerzo y Deformación](#)

Esfuerzo (σ)

Se le llama Esfuerzo a la fuerza a la que se ve expuesto un elemento entre el área transversal de dicho elemento. Es una medida de las fuerzas internas que se desarrollan cuando se somete un elemento a una fuerza.

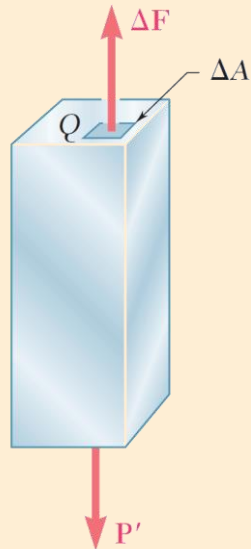
El esfuerzo sirve para evaluar la resistencia de un material, de manera independiente a la forma específica de este.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$



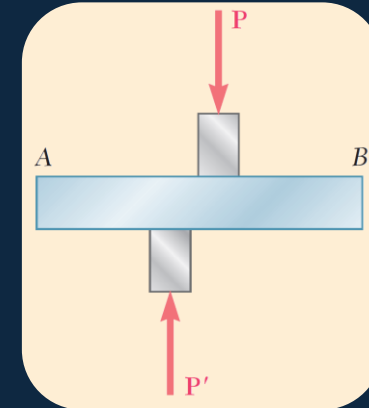
Esfuerzo Axial

Esfuerzo sobre un objeto en una dirección perpendicular al plano normal de la pieza bajo análisis.



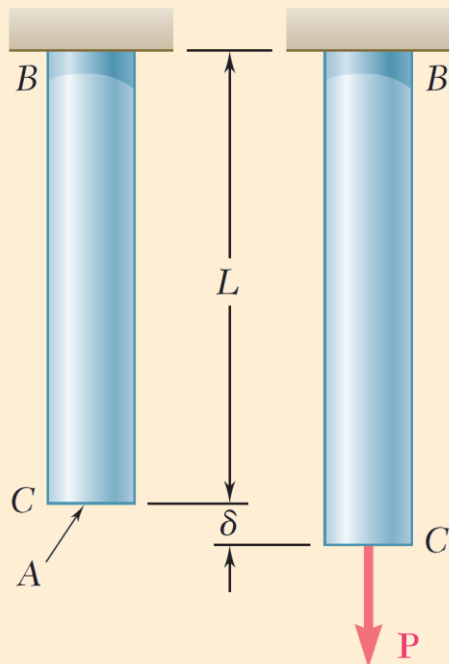
Esfuerzo Cortante

Esfuerzo ejercido sobre una pieza de manera transversal. En general el esfuerzo se aplica de forma que intenta “cortar” la pieza bajo análisis.



Deformación Total

Deformación que sufre un objeto al aplicársele una fuerza sobre el.



Deformación Unitaria

Deformación total de un objeto (δ) entre la longitud original del objeto (previo a la aplicación de la fuerza).

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$



Def. Elástica

Deformación NO permanente de un elemento bajo un nivel de esfuerzo.

Una vez se remueve la fuerza que genera el esfuerzo del objeto, este vuelve a sus dimensiones originales.

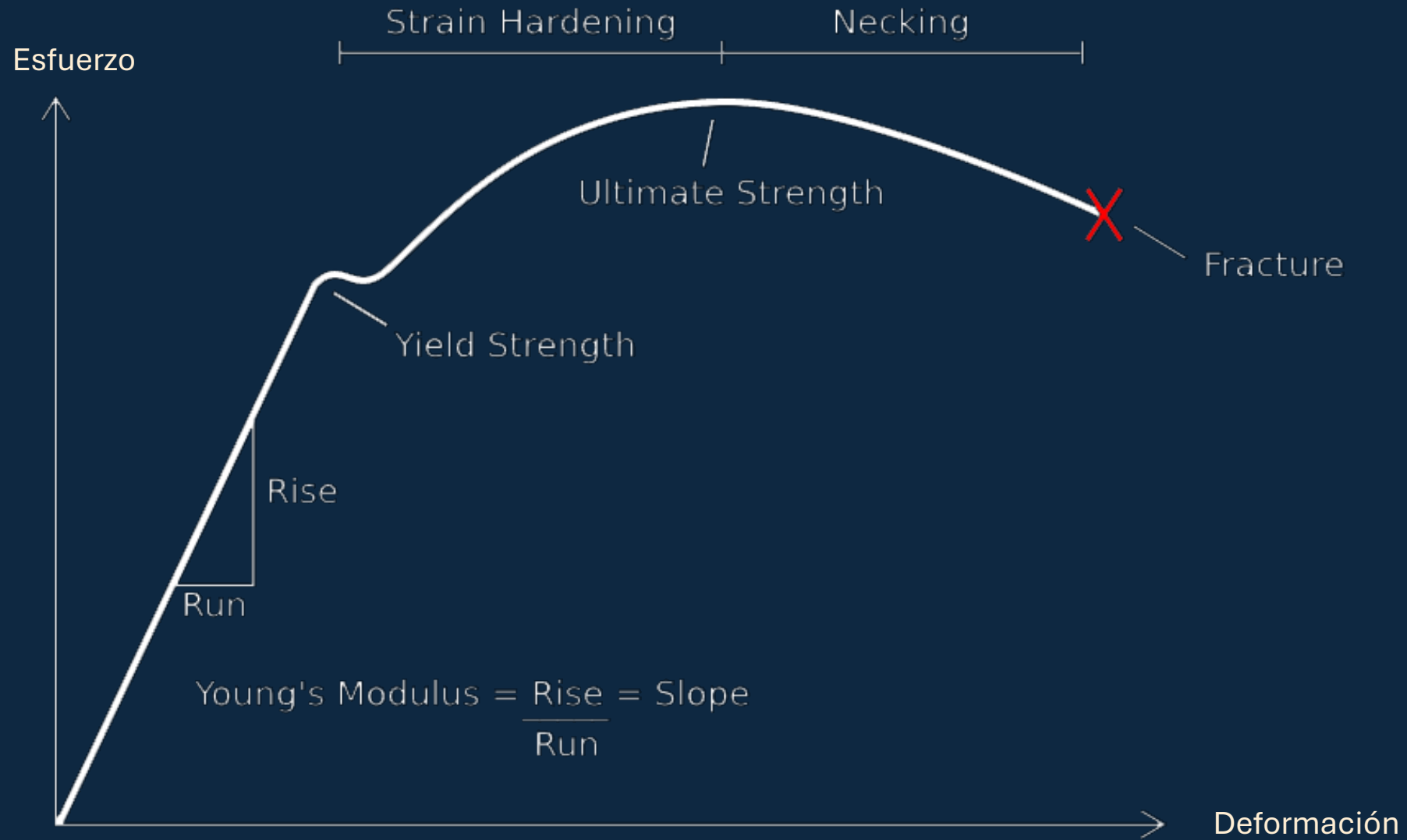
Def. Plástica

Deformación permanente de un objeto dado un esfuerzo lo suficientemente alto para superar el punto de fluencia.

Una vez el objeto sufre deformación plástica, esta no puede ser revertida.



Curva Esfuerzo - Deformación



Punto de Cedencia

- Se refiere al punto límite en el cual se pasa de una deformación elástica a una deformación plástica permanente.
- En general se busca diseñar dentro de la región elástica del material, por lo tanto, este punto permite tener un límite superior de diseño.

Punto de Esfuerzo Ultimo

- Este punto establece el valor máximo de esfuerzo que puede soportar un material.
- Es importante mantener este valor en cuenta para poder determinar el máximo valor de carga a la cual se puede llegar a someter el objeto.



Valores Comunes



	Esfuerzo de Cedencia (MPa)	Esfuerzo Ultimo (MPa)
PVC		40
Acero Estructural ASTM A36	250	400-450
Acero 1090	247	841
AISI 6150	620	940
AISI 4130	951	1110
AL 6061-T6	241	300
AL 2014-T6	414	483
Cobre	70	220
Bronce	200	500
Tungsteno	941	1510
Titanio	830	900
Fibra de Carbono	N/A	1600 -> Laminado 4137 -> Fibra
Seda de Araña	1652	
Kevlar	3620	3757
Nylon	450	750
Grafeno	N/A	130000
Nanotubo de Carbono	N/A	11000 - 63000

Modulo de Elasticidad (Young)

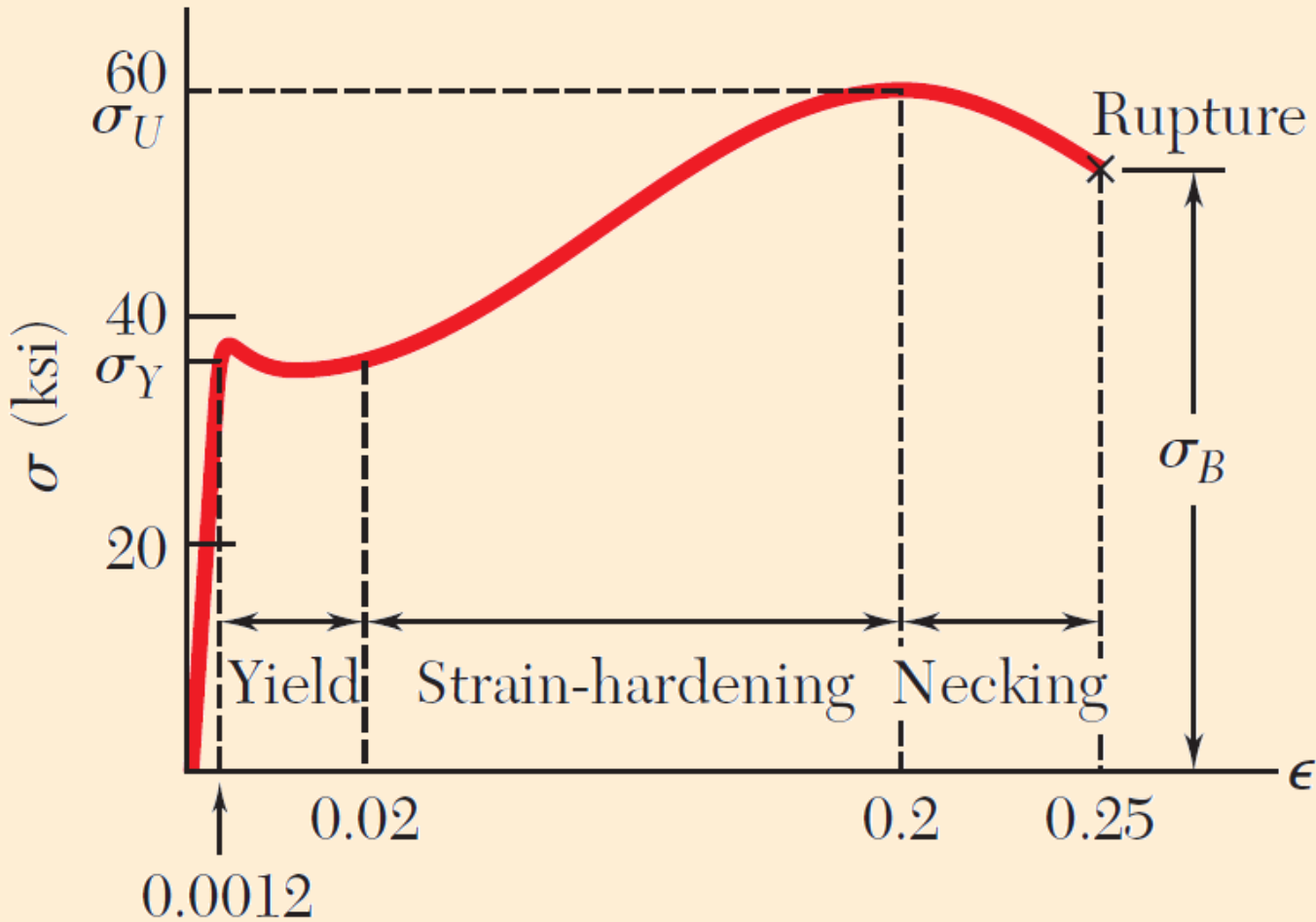


El modulo de elasticidad es una medida que relaciona el esfuerzo ejercido por una fuerza sobre una pieza y la deformación que dicho esfuerzo ocasiona.

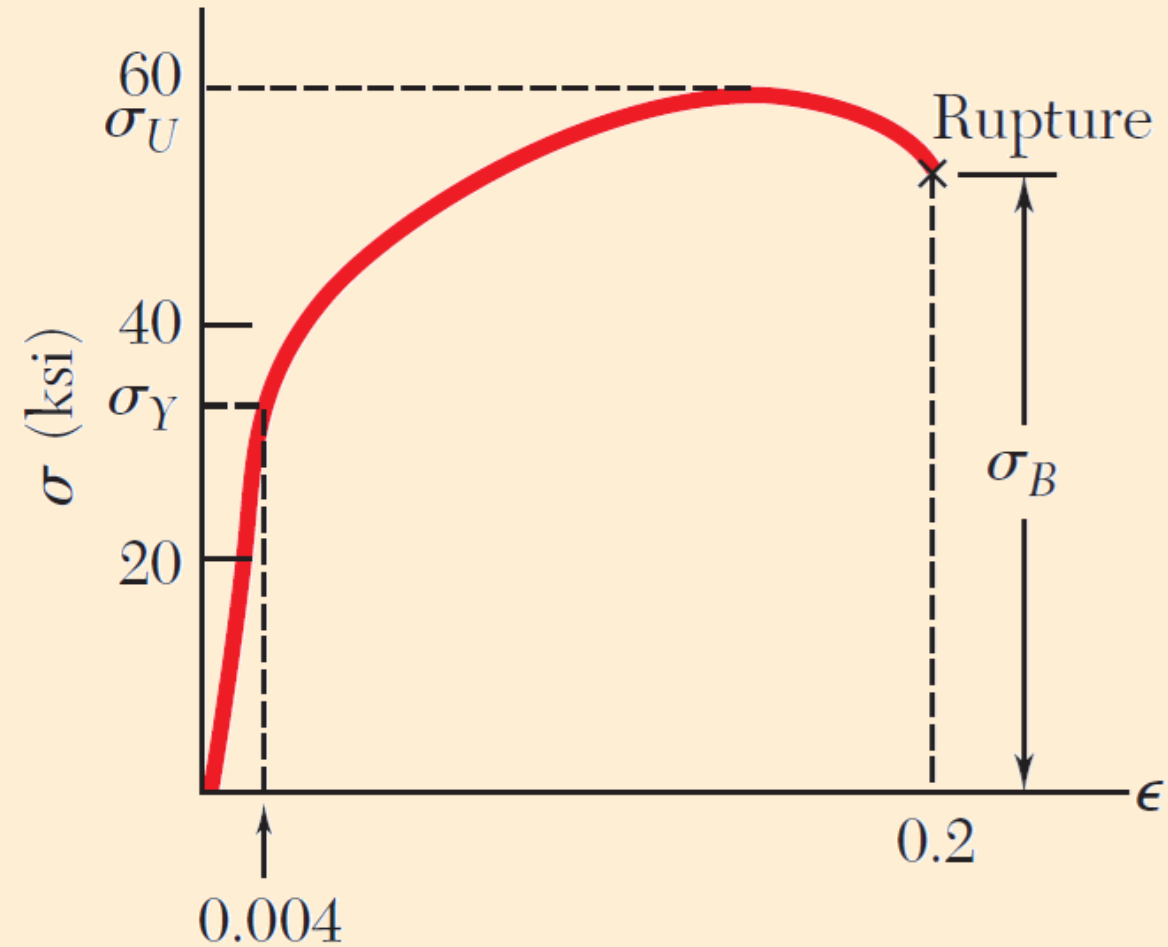
Este modulo funciona exclusivamente en el rango elástico lineal de la curva de esfuerzo deformación. Fuera de dicho rango, el módulo deja de ser efectivo.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Comparación



(a) Low-carbon steel



(b) Aluminum alloy

Comparación



Pruebas de Tensión



Instron 3367 (EIM-UCR)



Maquina de Prueba Universal

- Marca: Instron
- Modelo: 3367
- Placa: 321950

Celda de Carga

- Capacidad Máxima: 30 kN
- Numero de Serie: 71215

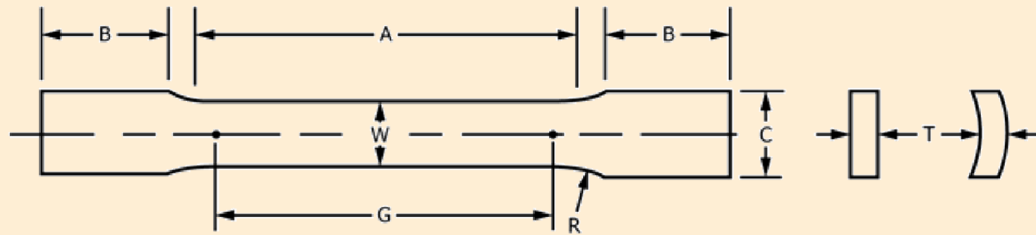
Sensor de desplazamiento

- Numero de Serie: R6561

Diseño de Probetas

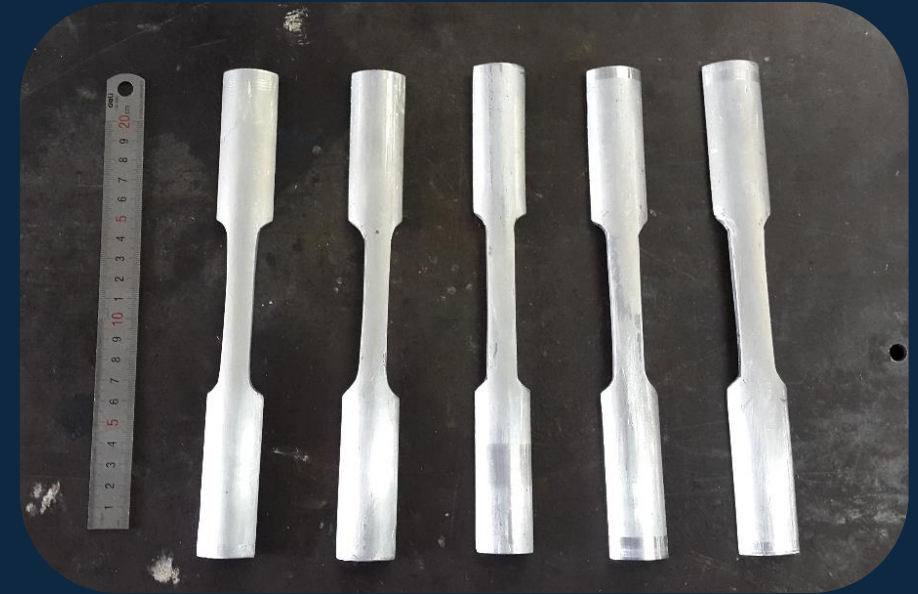
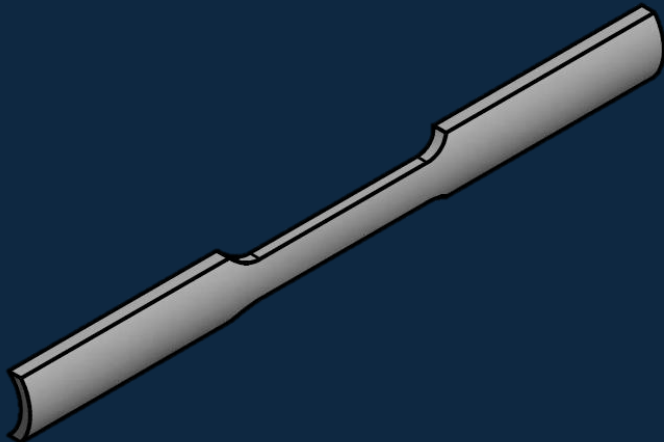
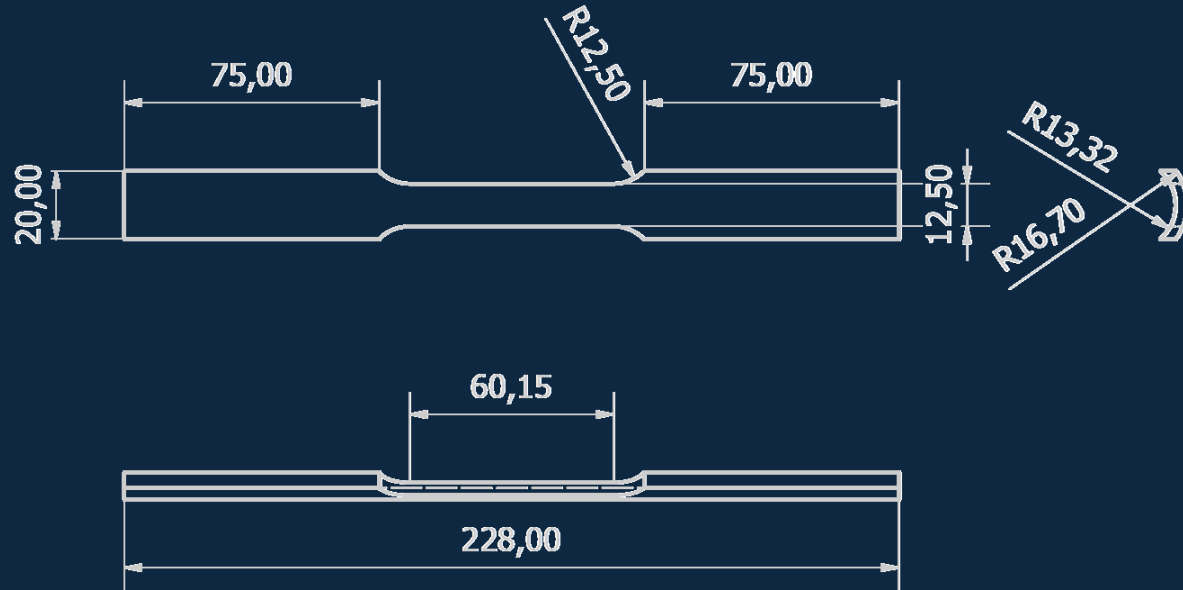


Norma: ASTM E8-E8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

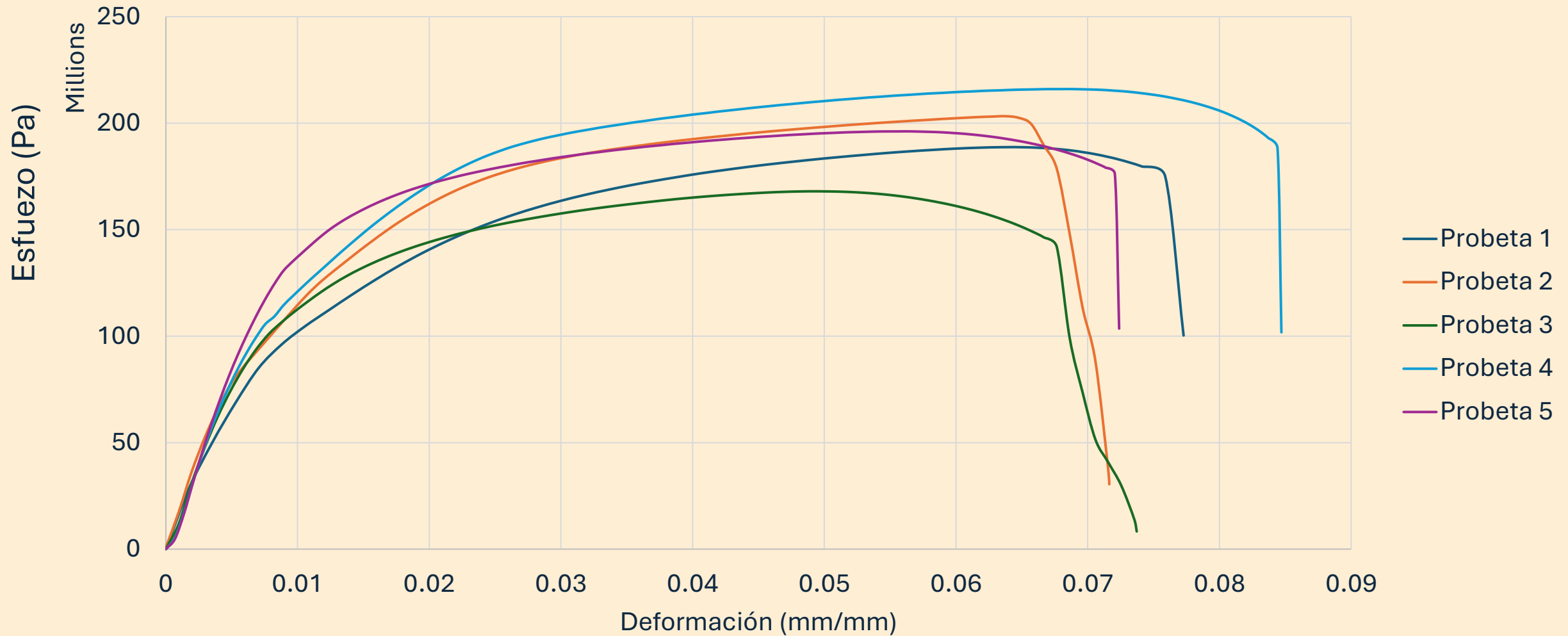


	Dimensions						
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	40.0 ± 2.0 [1.500 + 0.125, -0.250]	40.0 ± 2.0 [1.500 + 0.125, -0.250]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]
T—Thickness	measured thickness of specimen						
R—Radius of fillet, min	12.5 [0.5]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]
A—Length of reduced parallel section, min	60 [2.25]	60 [2.25]	230 [9]	60 [2.25]	120 [4.5]	60 [2.25]	120 [4.5]
B—Length of grip section, min (Note 2)	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	20 [0.75]	50 [2]	50 [2]	25 [1]	25 [1]	40 [1.5]	40 [1.5]

Diseño de Probetas



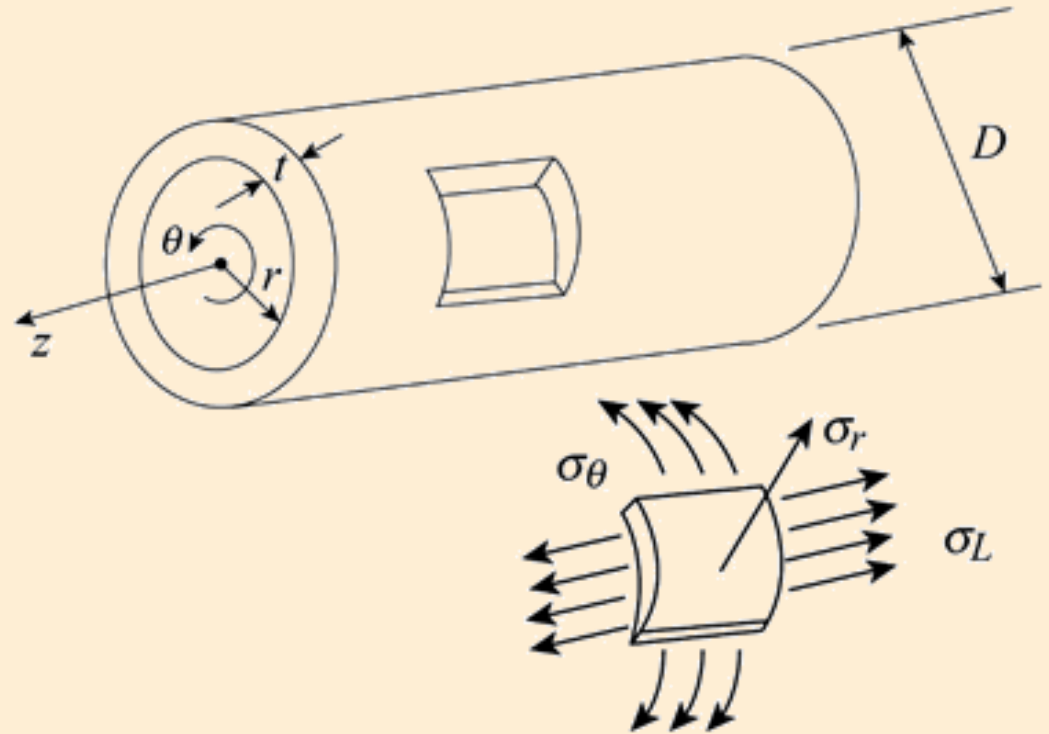
Esfuerzos en Recipientes de Presión



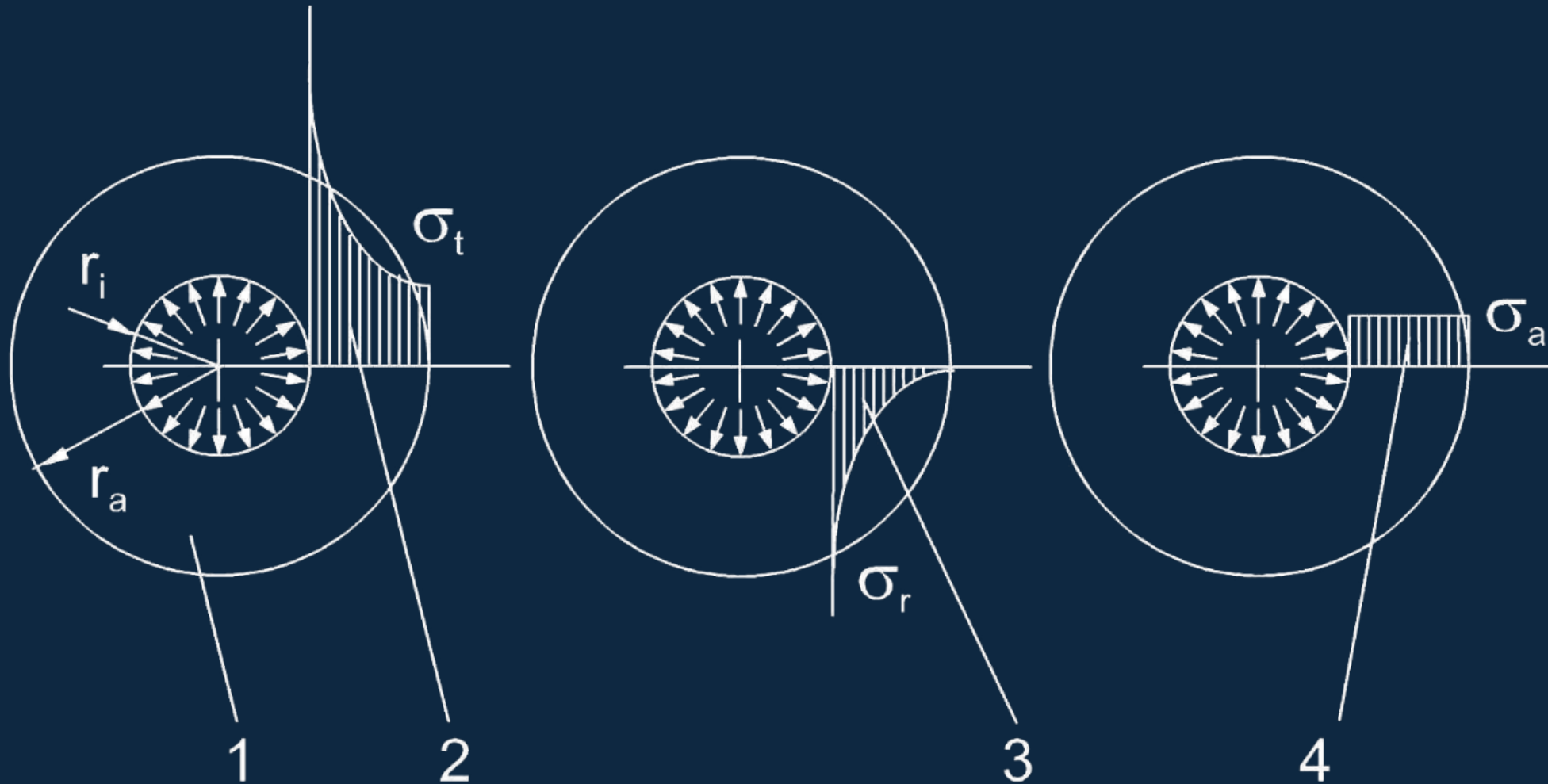
Esfuerzos en Recipientes de Presión



- Tangencial / Circunferencial (σ_θ)
- Longitudinal / Axial (σ_L)
- Radial (σ_r)



Distribución de Esfuerzos



Tipos de Tubos



Tubos Extruidos

Tubos Delgados

Tubos Gruesos

Tubos con
Soldadura

Criterio de Espesor



- En general, un tubo se considera que es de pared delgada si cumple con la siguiente inecuación:

$$\frac{R_m}{e} \geq 10$$

Donde:

R_m : Radio Medio

e : espesor

Tubos Delgados

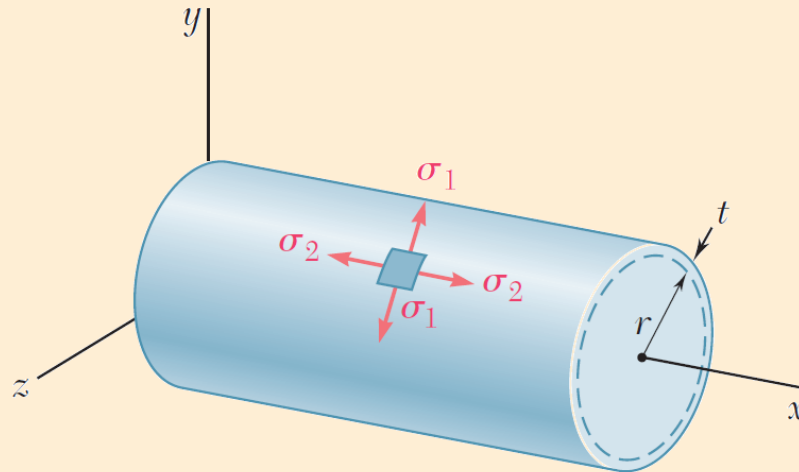


Esfuerzo Tangencial

$$\sigma_1 = \frac{P_1 * R_i}{e}$$

Esfuerzo Longitudinal

$$\sigma_2 = \frac{P_C * R_i}{2 * e}$$



Tubos Gruesos



Esfuerzo Tangencial

$$\sigma_1 = \frac{P_C * (R_e^2 + R_i^2)}{R_e^2 - R_i^2}$$

Esfuerzo Longitudinal

$$\sigma_2 = \frac{P_C * R_i^2}{R_e^2 - R_i^2}$$

Esfuerzo Radial

$$\sigma_3 = -P_C$$

Margen de Seguridad



El margen de seguridad, o factor de seguridad es una medida de cuanto se mantiene alejado el esfuerzo máximo al que estará sometida la pieza, con respecto al valor del punto de cedencia del material con el que se planea manufacturar la pieza:

- Este valor debe de ser siempre mayor a 1.
- Se recomienda trabajar con un factor de 2 o 3.

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{MAX}}$$

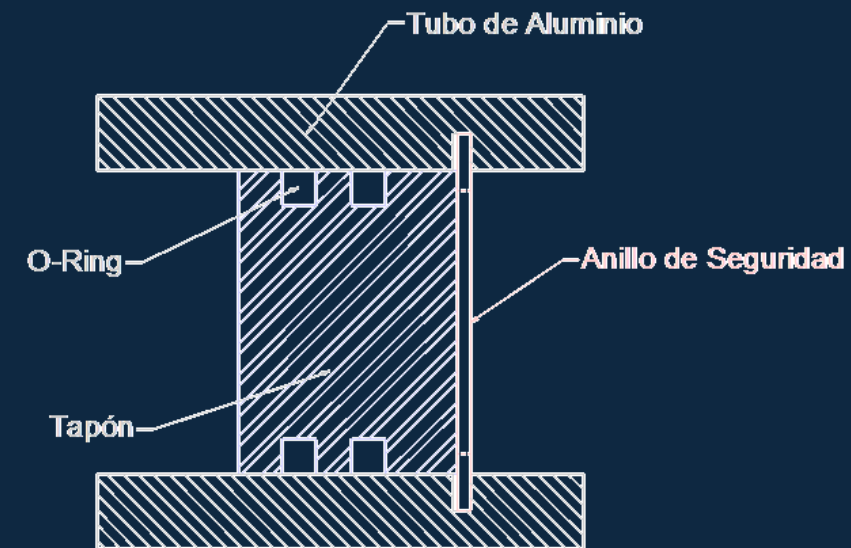
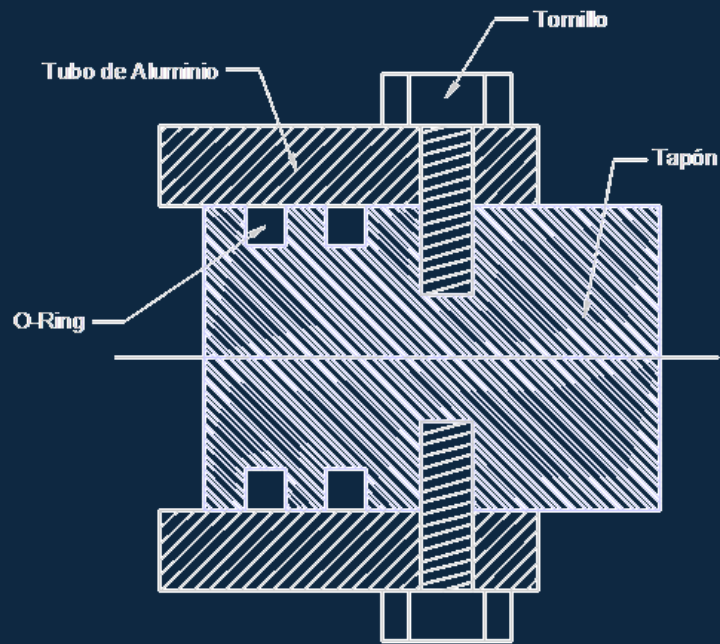
Tipos de Unión



Tornillo en Cortante

Roscada

Anillo de Seguridad



Ashby Plots

Selección de Materiales



[Video: How to select materials using Ashby plots and performance indexes](#)

Chart 1: Young's modulus, E and Density, ρ

This chart guides selection of materials for light, stiff components. The moduli of engineering materials span a range of 10^7 ; the densities span a range of 3000. The contours show the longitudinal wave speed in m/s; natural vibration frequencies are proportional to this quantity. The guide lines show the loci of points for which

- $E/\rho = C$ (minimum weight design of stiff ties; minimum deflection in centrifugal loading, etc)
- $E^{1/2}/\rho = C$ (minimum weight design of stiff beams, shafts and columns)
- $E^{1/3}/\rho = C$ (minimum weight design of stiff plates)

The value of the constant C increases as the lines are displaced upwards and to the left; materials offering the greatest stiffness-to-weight ratio lie towards the upper left hand corner. Other moduli are obtained approximately from E using

- $\nu = 1/3$; $G = 3/8E$; $K \approx E$ (metals, ceramics, glasses and glassy polymers)
- or $\nu \approx 0.5$; $G \approx E/3$; $K \approx 10E$ (elastomers, rubbery polymers)

where ν is Poisson's ratio, G the shear modulus and K the bulk modulus.

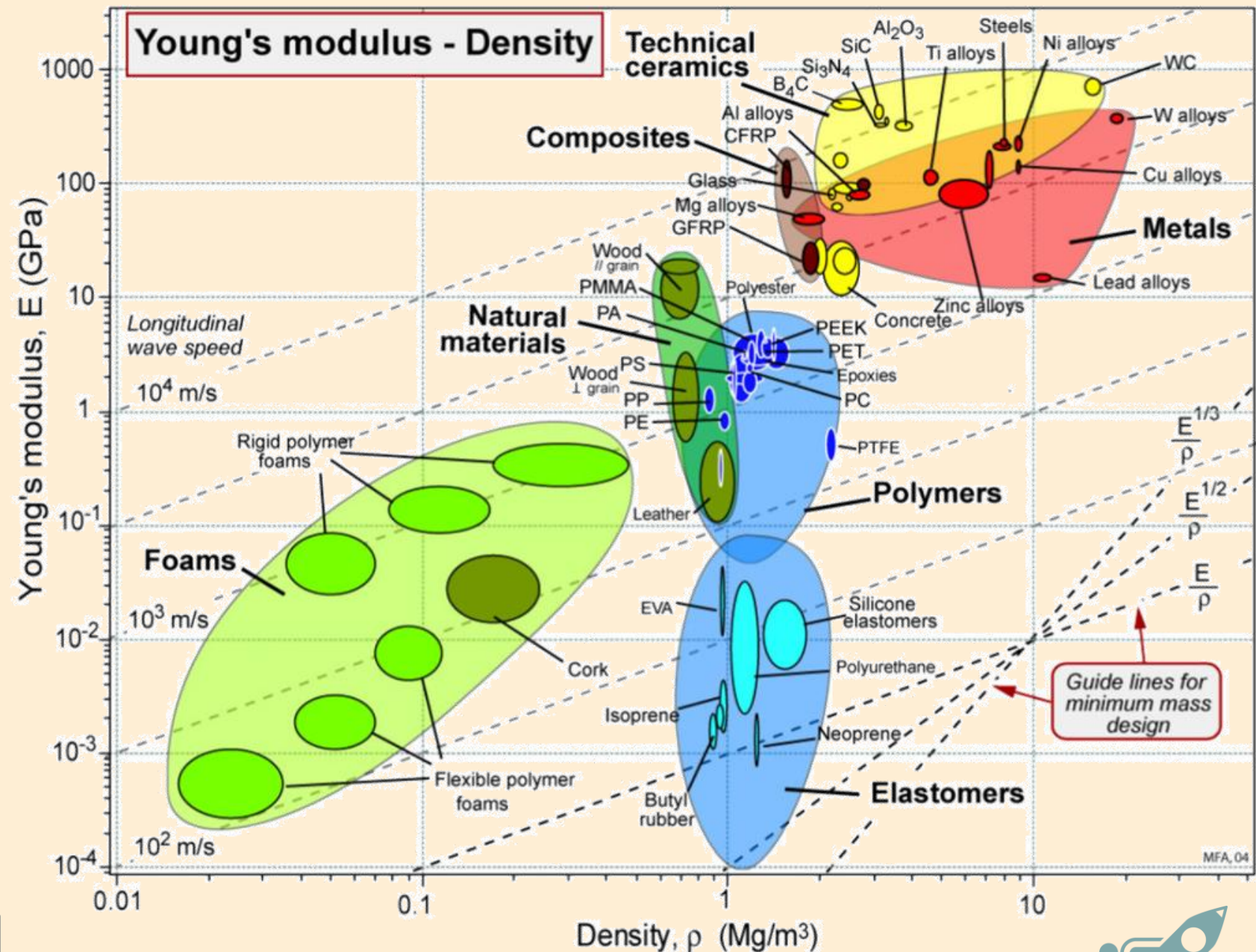


Chart 2: Strength, σ_f against Density, ρ

This is the chart for designing light, strong structures. The "strength" for metals is the 0.2% offset yield strength. For polymers, it is the stress at which the stress-strain curve becomes markedly non-linear - typically, a strain of about 1%. For ceramics and glasses, it is the compressive crushing strength; remember that this is roughly 15 times larger than the tensile (fracture) strength. For composites it is the tensile strength. For elastomers it is the tear-strength. The chart guides selection of materials for light, strong, components. The guide lines show the loci of points for which:

- (a) $\sigma_f / \rho = C$ (minimum weight design of strong ties; maximum rotational velocity of disks)
- (b) $\sigma_f^{2/3} / \rho = C$ (minimum weight design of strong beams and shafts)
- (c) $\sigma_f^{1/2} / \rho = C$ (minimum weight design of strong plates)

The value of the constant C increases as the lines are displaced upwards and to the left. Materials offering the greatest strength-to-weight ratio lie towards the upper left corner.

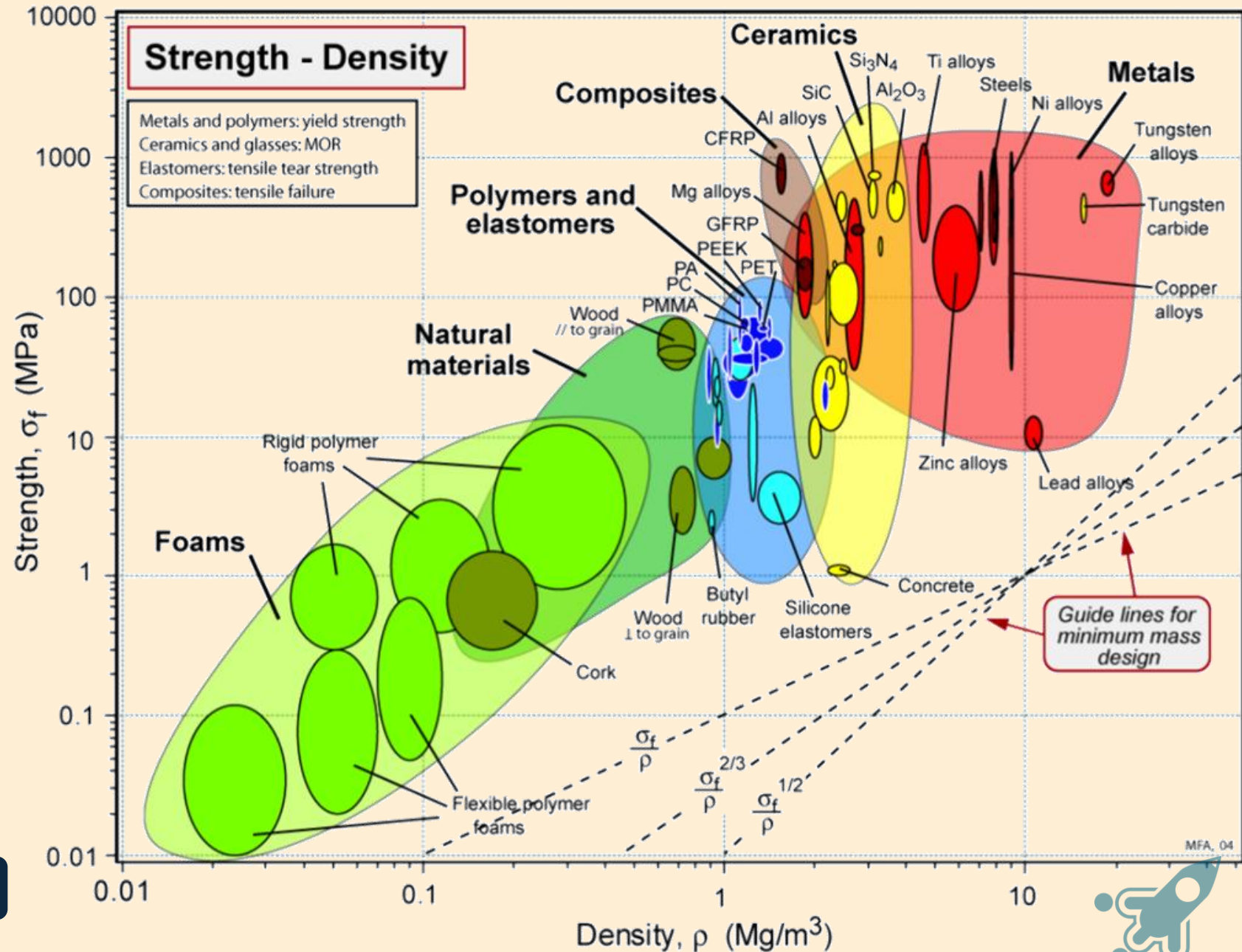


Chart 4: Specific modulus, E/ρ , against Specific strength, σ_f/ρ

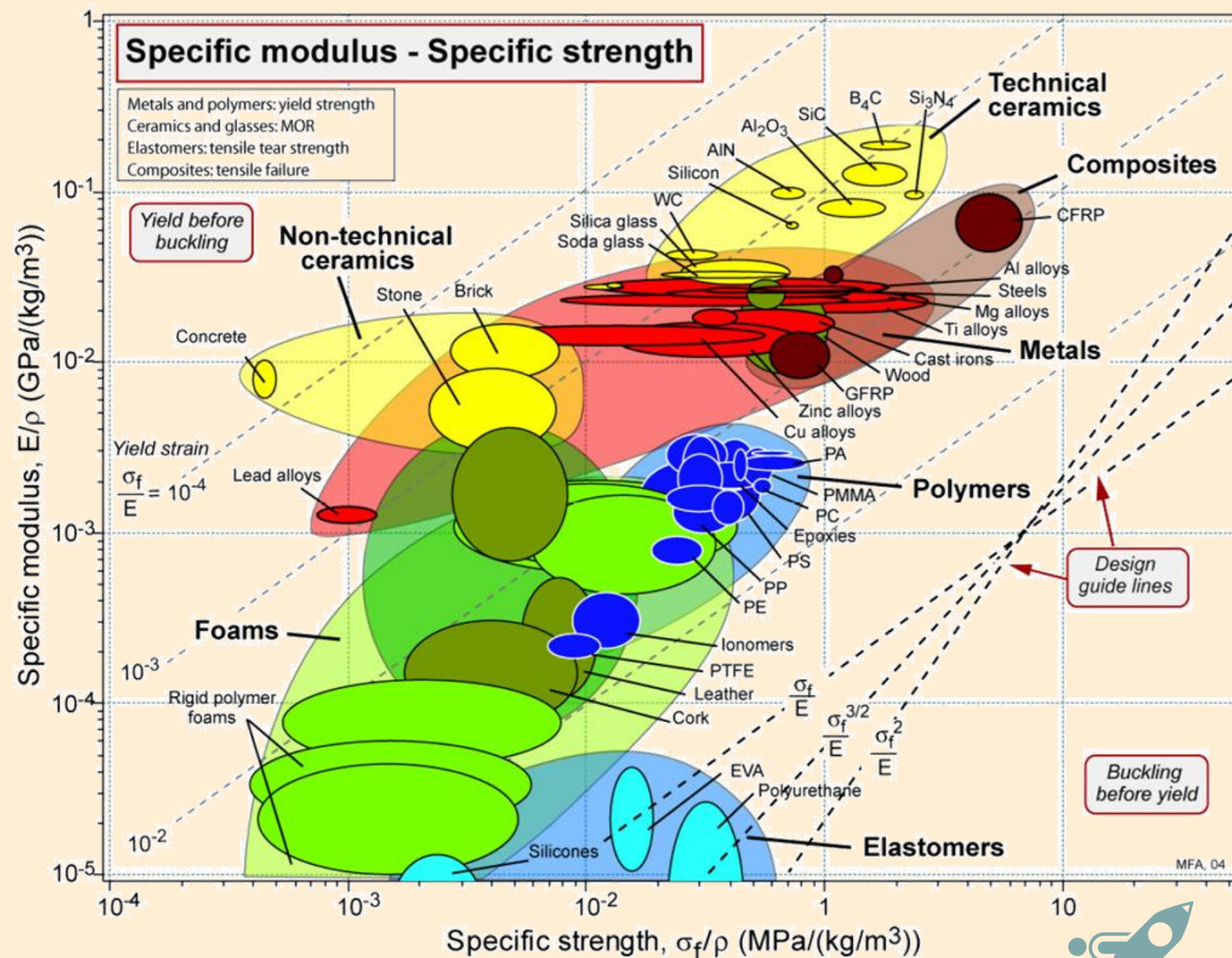
The chart for specific stiffness and strength. The contours show the yield strain, σ_f/E . The qualifications on strength given for Charts 2 and 4 apply here also. The chart finds application in minimum weight design of ties and springs, and in the design of rotating components to maximize rotational speed or energy storage, etc. The guide lines show the loci of points for which

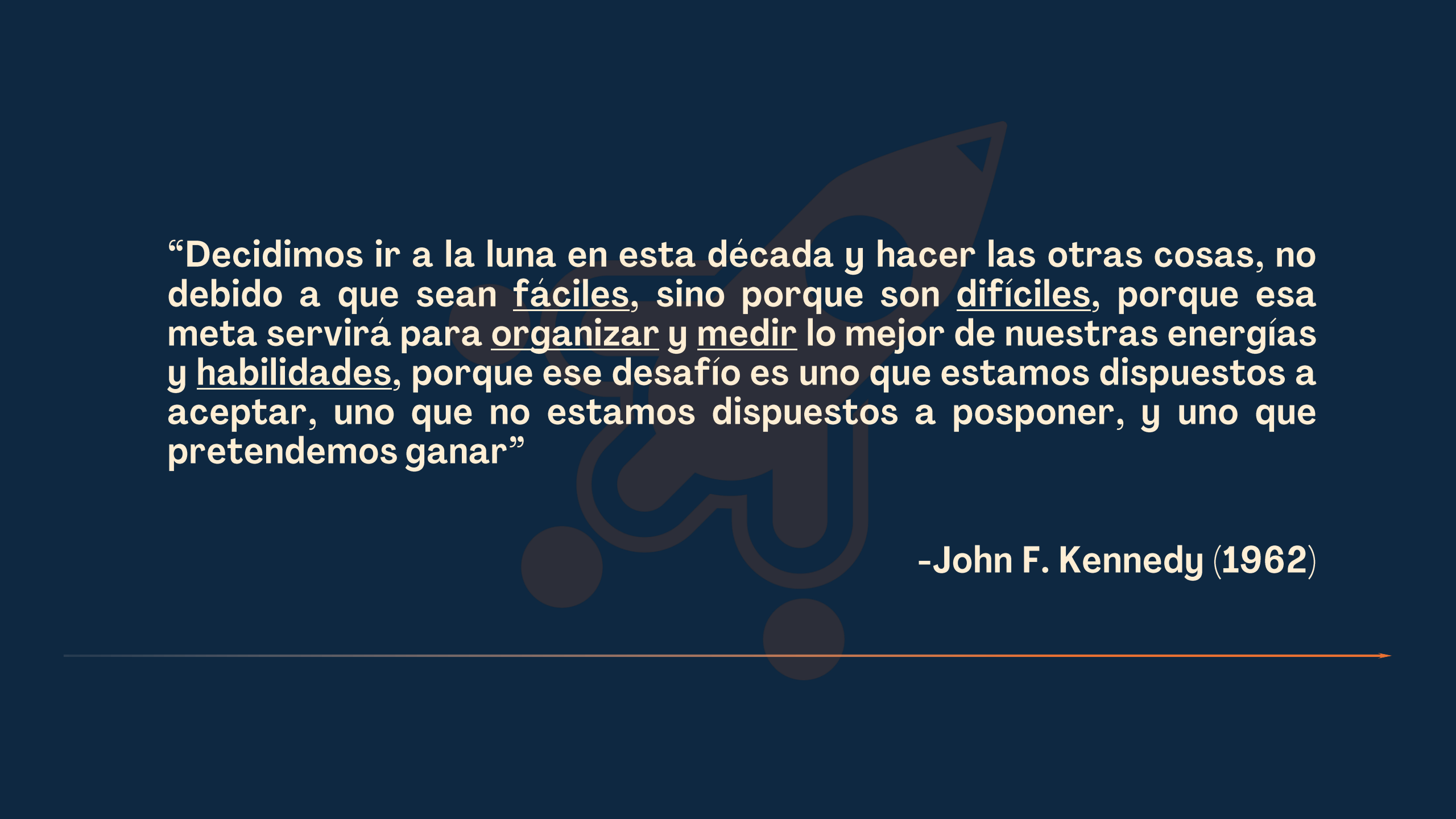
(a) $\sigma_f^2/E\rho = C$ (ties, springs of minimum weight; maximum rotational velocity of disks)

(b) $\sigma_f^{2/3}/E\rho^{1/2} = C$

(c) $\sigma_f/E = C$ (elastic hinge design)

The value of the constant C increases as the lines are displaced downwards and to the right.

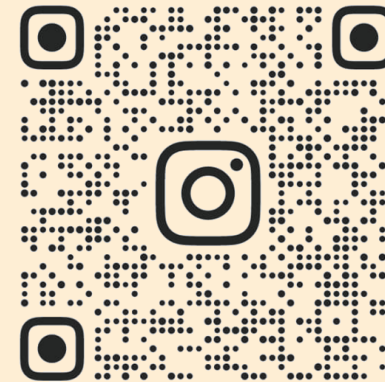
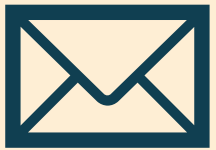




“Decidimos ir a la luna en esta década y hacer las otras cosas, no debido a que sean fáciles, sino porque son difíciles, porque esa meta servirá para organizar y medir lo mejor de nuestras energías y habilidades, porque ese desafío es uno que estamos dispuestos a aceptar, uno que no estamos dispuestos a posponer, y uno que pretendemos ganar”

-John F. Kennedy (1962)

iTrabajemos Juntos!



@COHETERIACR



@EJIMENEZS_93