Escuela Superior de Ciudad Sahagún

Fundamentos de diseño herramental

Fundamentos de diseño de herramentales

Dr. José Luis Rodríguez Muñoz

Introducción

El diseño mecánico se refiere a la creación y análisis de piezas, las cuales deben cumplir las necesidades y características que demanda una empresa o cliente en particular. Existe una gran variedad de softwares que permiten realizar el diseño y análisis de piezas mecánicas, sin embargo, es importante comprender correctamente su funcionamiento, así como la aplicación de las condiciones de operación con las que el dispositivo, componente o sistema va a operar y pueda soportar las diferentes cargas o esfuerzos a los que van a estar expuestos. Para ello, es necesario estudiar, analizar y comprender los principales temas, como son: esfuerzo, ensayos de tensión, propiedades mecánicas de los materiales, módulo de elasticidad y de Poisson, etc., a fin de determinar las condiciones óptimas de diseño

Palabras clave: Vibraciones, Desbalanceo, Resonancia, Fallas, MAS.

Objetivos

- ✓ Conocer los fundamentos del diseño herramental en el área de la ingeniería mecánica.
- ✓ Conocer los equipos e instrumentos de medición empleados en un ensayo de tensión.
- ✓ Determinar la curva de esfuerzo-deformación de materiales metálicos, así como los valores correspondientes al esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y fractura.
- ✓ Desarrollar y aplicar las ecuaciones fundamentales del diseño herramental en la solución de problemas relacionados con el campo de la ingeniería mecánica.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1. Fundamentos de diseño de herramentales

1.1. Qué es un material.

- Son sustancias con la que cualquier cosa está compuesta o hecha.

1.1.1. Pieza.

- El término genérico pieza representa el elemento material objeto de la transformación durante la ejecución del proceso. El proceso para la realización de una pieza, consiste en llevarlo desde su estado inicial hasta su estado final. En la mayoría de las situaciones, el material sobrante se elimina en una serie de operaciones sucesivas que van aproximando la geometría de la preforma a la de la pieza terminada.

1.1.2. Herramienta.

- Es el elemento que entra en contacto directo con la pieza y produce la eliminación del material sobrante de la preforma.

1.1.3. Tipos de herramienta.

- Fresas de filo doble.



- Fresas con micro-dentado.



- Fresas para ranurado en T.



1.1.3. Tipos de herramienta.

- Fresas de roscar.



- Broca.



- Fresa para planear.



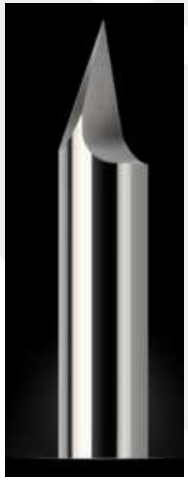
- Fresa de diamante.



- Fresas de punta esférica/radio externo.



- Herramienta de grabado estándar.



- Avellanador/Avellanador de fresado.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.1.4. Herramientas de Corte



Avellanador 3 Filos AAV HSS



Cortadores



Brocas de Zanco Recto Fraccionales R10



Buriles



Cortadores Verticales End Mills



Cuchilla Rectificadora para Tronzar



Dados



Inserto 16ERAG60TFPR1115

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.2. Materiales de herramientas.

- Existe una amplia variedad de materiales empleados en la parte activa de la herramienta. La elección de uno u otro tipo depende fundamentalmente de las propiedades mecánicas del material a mecanizar y de los requerimientos del proceso a realizar. Por lo general, se requiere una elevada dureza y una elevada resistencia al desgaste que permita la eliminación continua de material.

- Como materiales más usuales de la parte activa de la herramienta pueden considerarse los siguientes grupos

    - Aceros rápidos.
    - Carburos metálicos.
    - Materiales cerámicos.
    - Materiales diamantados.

1.3. Máquina-herramienta.

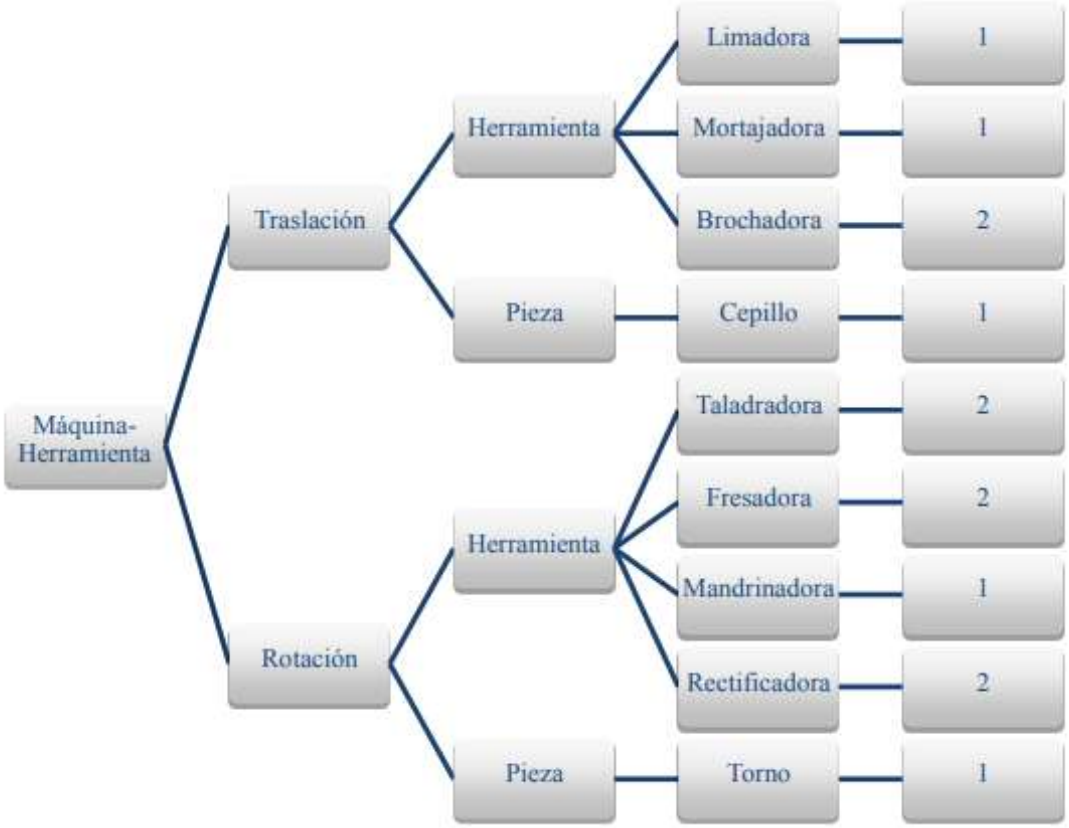
- Una máquina-herramienta puede considerarse constituida por el conjunto de dispositivos que permiten el desplazamiento relativo entre la pieza y la herramienta y la eliminación del material sobrante de la preforma. Estos dispositivos pueden agruparse dentro de las siguientes categorías:

  Dispositivos de sujeción: Son aquéllos que tienen como misión asegurar que la pieza o la herramienta se mantienen en posiciones tales que permiten la eliminación de material. Ejemplos de estos dispositivos son: platos de garras, mordazas, mesas portaherramientas, conos de sujeción, etc.

  Dispositivos de accionamiento: Son aquellos encargados de realizar el desplazamiento relativo entre la pieza y la herramienta: Motor, transmisiones, husillos, etc.

1.3.1. Las máquinas-herramienta pueden ser clasificadas según diversos criterios.

- Atendiendo a que el movimiento principal sea de rotación o de traslación y a que éste lo lleve la pieza o la herramienta, puede considerarse la siguiente clasificación representada en la siguiente figura, en la cual se incluye el tipo de herramienta normalmente empleado: (1) = Monofilo o (2) = Multifilo.



1.4. Propiedades mecánicas.

Son propiedades del material relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones.

Las propiedades mecánicas generalmente se determinan mediante ensayos aplicados a probetas o piezas. Los ensayos se clasifican de dos maneras:

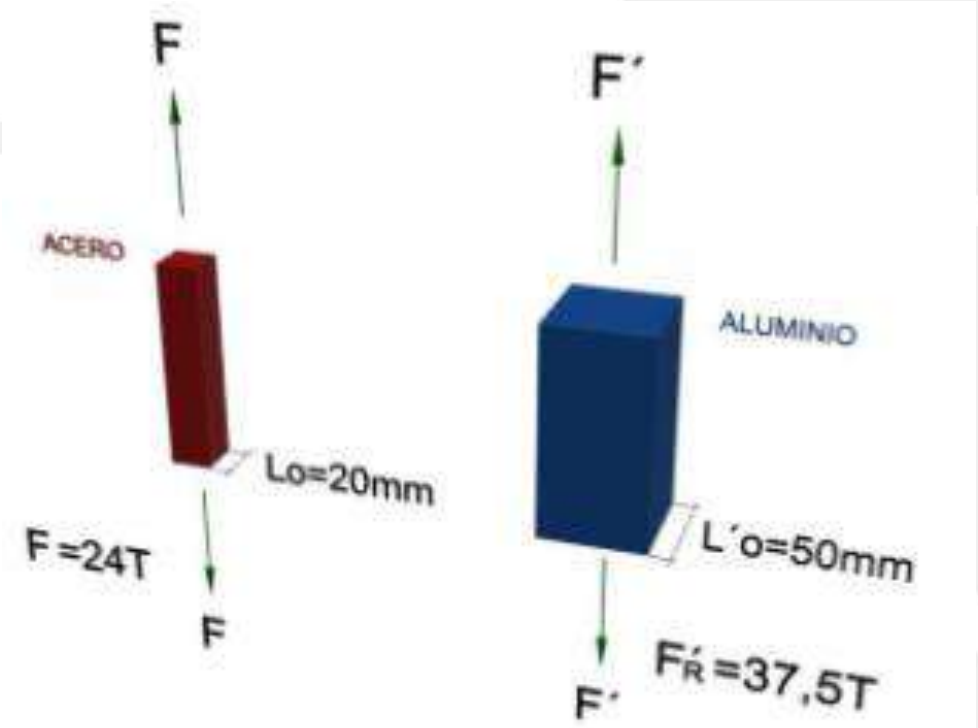
1) En cuanto a la integridad:
- Destructivos: Provocan inutilización parcial o total de la pieza (tracción, dureza, fatiga, fluencia, torsión, flexión e impacto).
- No destructivos: no comprometen la integridad de la pieza (rayos X, ultrasónico, líquidos penetrantes y microdureza).

2) En cuanto a la velocidad:
- Estáticos: carga aplicada lentamente (tracción, compresión, flexión y dureza).
- Dinámicos: carga aplicada lentamente o de forma cíclica (fatiga e impacto).
- Carga constante: carga aplicada durante un largo periodo de tiempo (fluencia).

1.4.1 Tensión.

Tensión. En un sentido simplista, la tensión se puede pensar como Carga/Área, la cual puede ser calculada por medio de la siguiente expresión.

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



1.4.2. Unidades de conversión de presión.

$$1\,\text{psi} = 6.89 \times 10^{3}\,\text{Pa}$$

$$10^{6}\,\text{Pa} = 1\,\text{megapascal} = 1\,\text{MPa}$$

$$1\,000\,\text{psi} = 1\,\text{ksi} = 6.89\,\text{MPa}$$

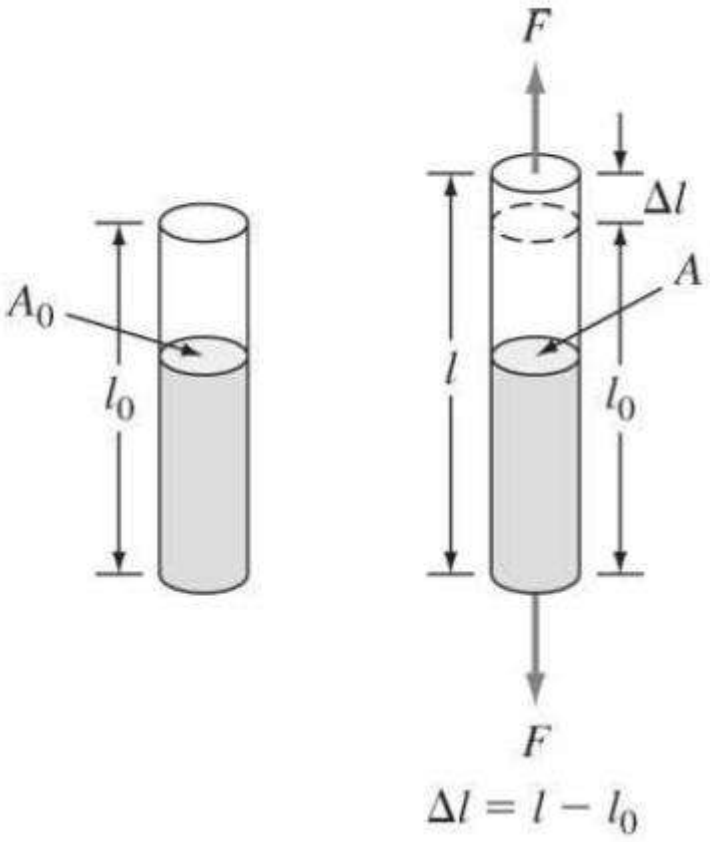
Tabla. Conversiones de unidades de presión de uso común

PRESION	Bar	atm	psi	mca	kg/cm^2	kPa
1 bar	1	1,01	14,50	10,20	1	100
1 atm	0,99	1	14,69	10,33	0,99	99
1 psi	0,0689	0,0695	1	0,68	0,0689	6,89
1 mca	0,098	0,096	1,42	1	0,098	9,8
1 kg/cm^2	1	1,01	14,5	10,20	1	100
1 KPa	0,01	0,0098	0,14	0,1	0,01	1

atm : atmósfera
mca: metro de columna de agua
KPa: kilo Pascal

1.5. Tensión convencional.

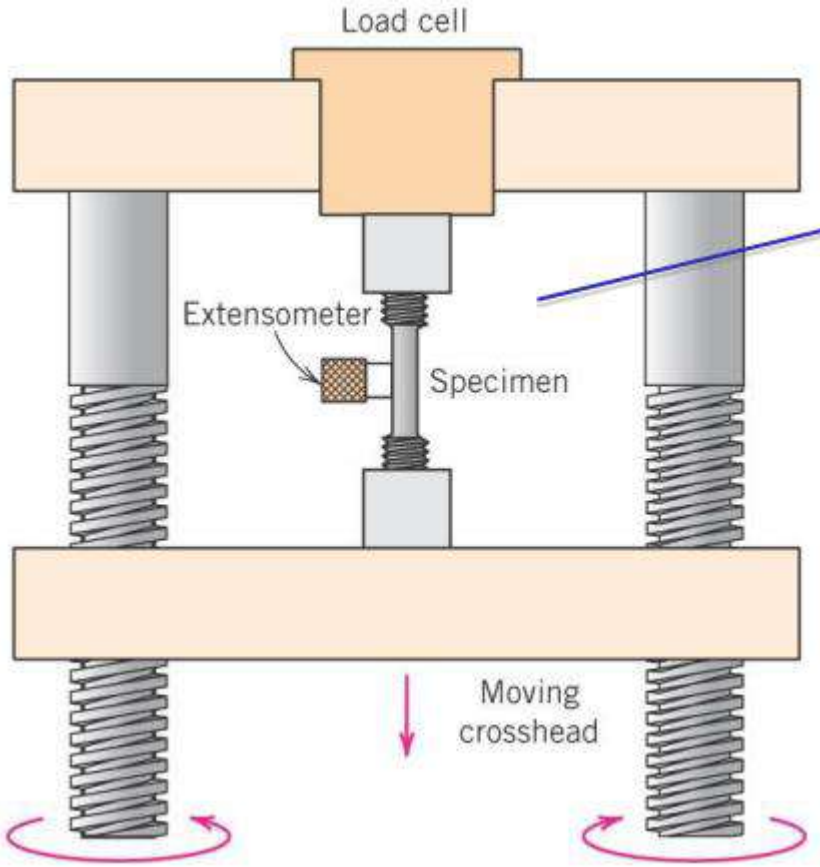
$$\text{Tensión convencional } \sigma = \frac{F(\text{fuerza media de tracción uniaxial})}{A_0(\text{área de la sección transversal original})}$$



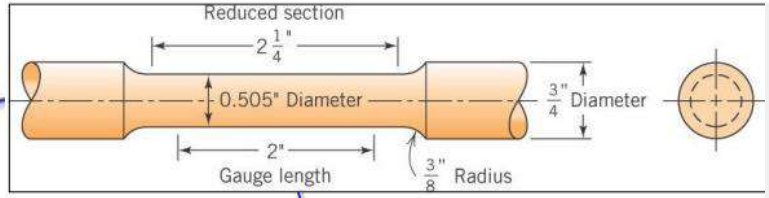
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.1. Ensayo de tensión.

Máquina de tensión.



Probeta.



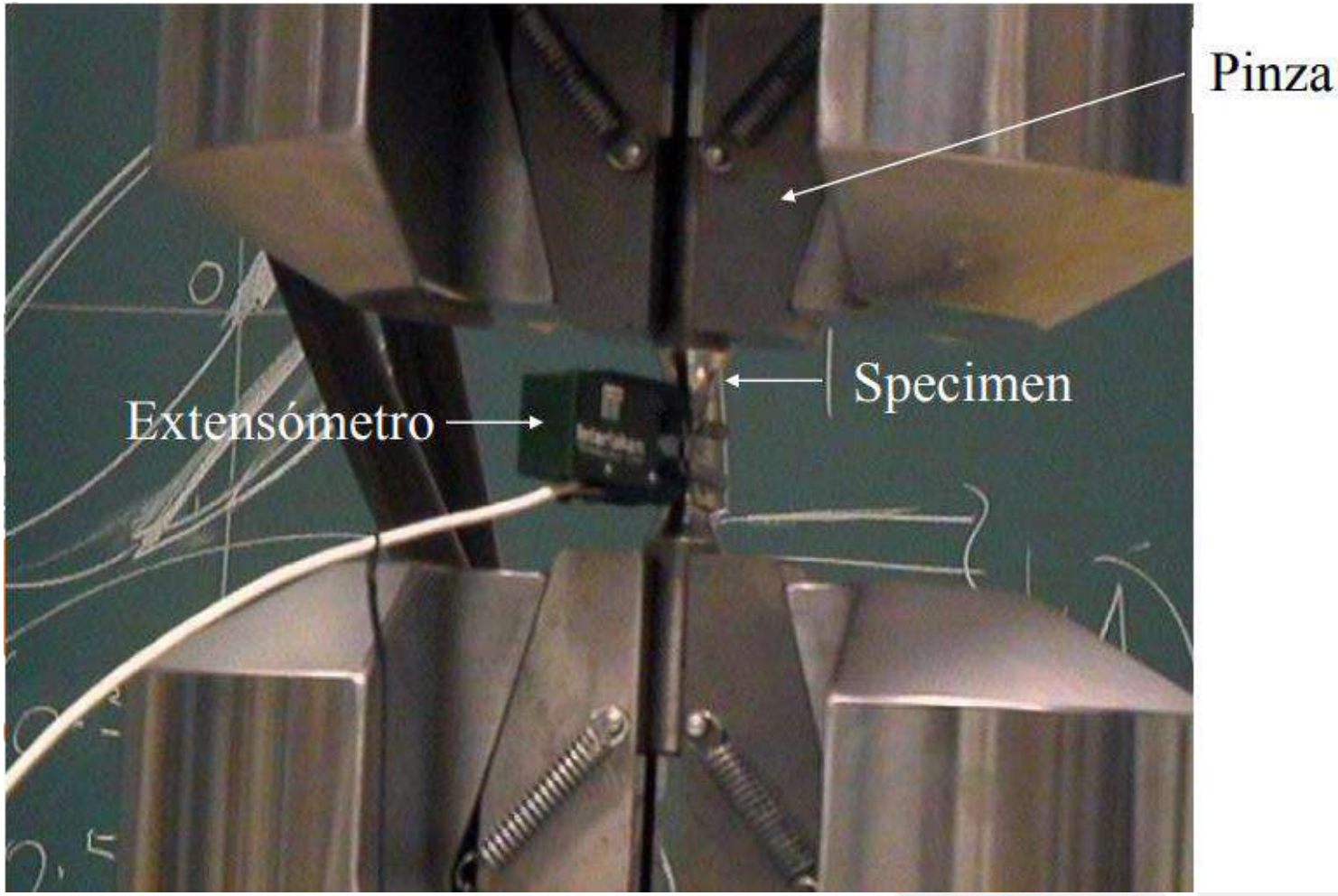
NORMAS APLICADAS A LOS ENSAYOS

Los ensayos se han realizado aplicando las correspondientes normas ASTM. Esta normativa ha sido desarrollada por la American Society for Testing and Materials (ASTM, de ahí la denominación) como estándares para la realización de ensayos de materiales estableciendo las condiciones y procedimientos más adecuados para la obtención de buenos resultados. Esta no es la única norma empleada para la realización de ensayos, existiendo otras muchas como por ejemplo las británicas (British Standards) y francesas. Se partirá de la normativa ASTM por su extendido uso a nivel internacional.

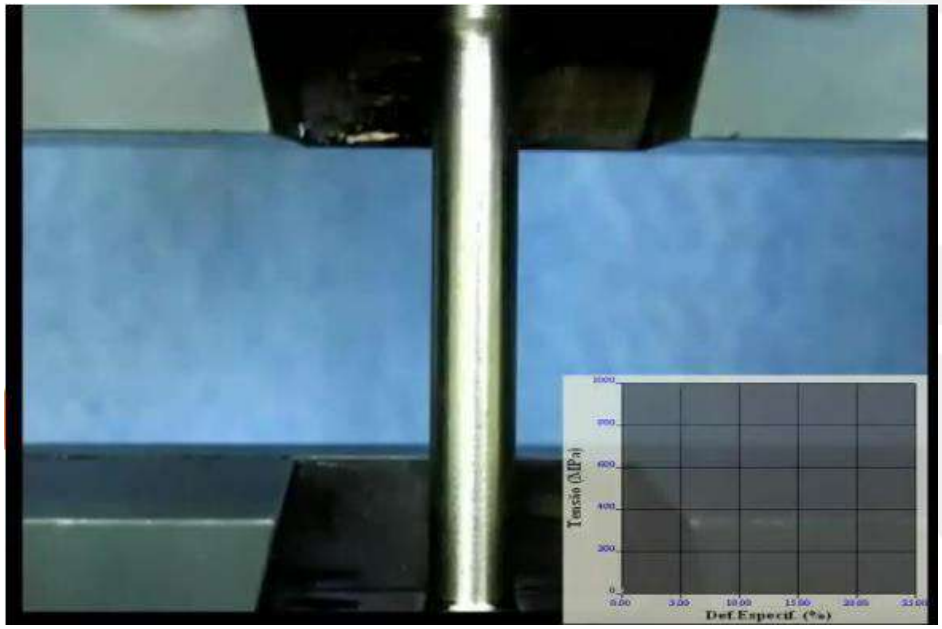
Las normas aplicables en cada caso se indican a continuación: - Ensayos de tracción: E8M – 00 - Ensayos de fatiga: E466 – 96, E739 – 91 - Crecimiento de grieta: E647 – 99, E1820 – 05.

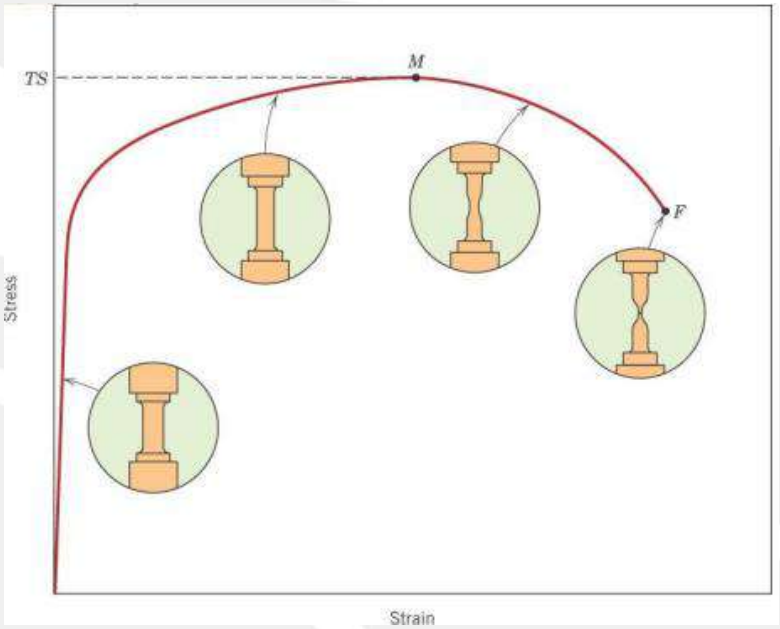
1.5.1. Ensayo de tensión.

Prueba experimental de tensión.

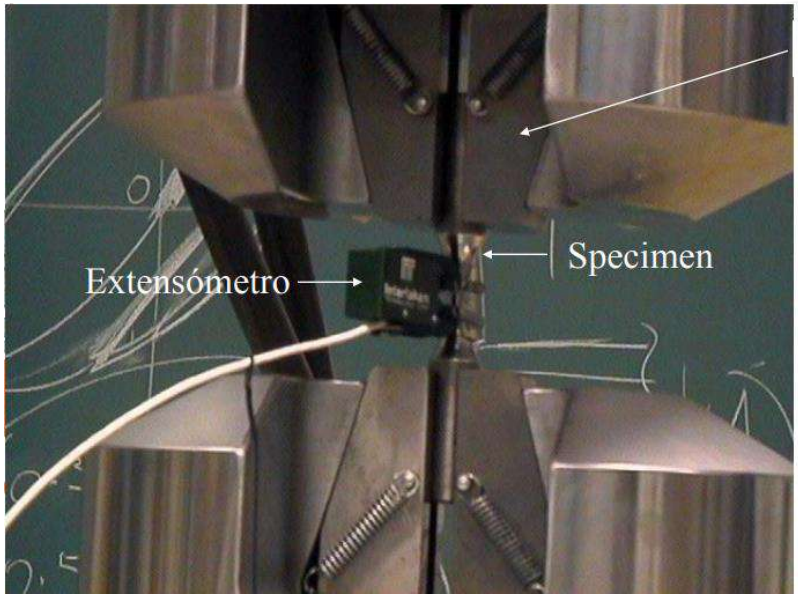


1.5.2. Resultados del ensayo de tracción





1.5.2. Resultados del ensayo de tracción



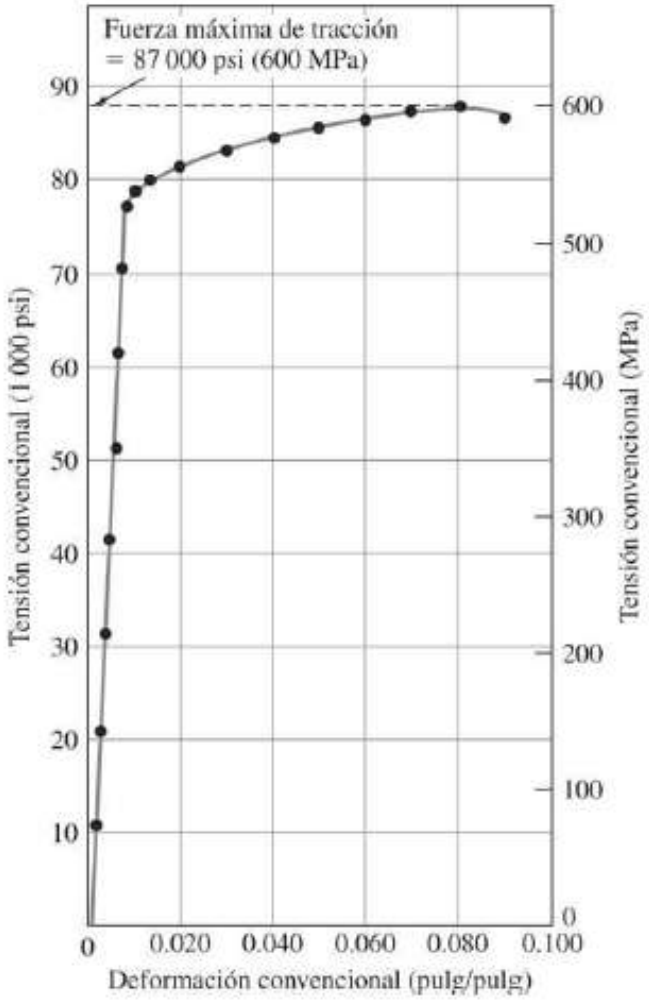
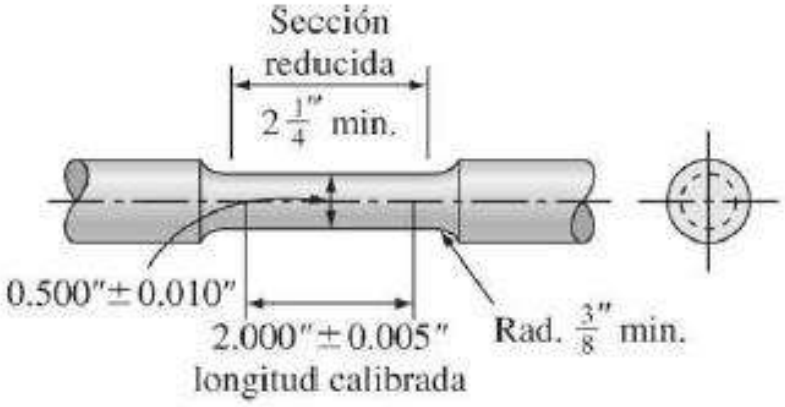


Diagrama tensión-deformación convencional de una aleación de aluminio de alta resistencia (7075-T6). La probeta para el ensayo se obtuvo de una placa de 5/8 pulg y tenía un diámetro de 0.50 pulg y 2 pulg de longitud calibrada de ensayo.

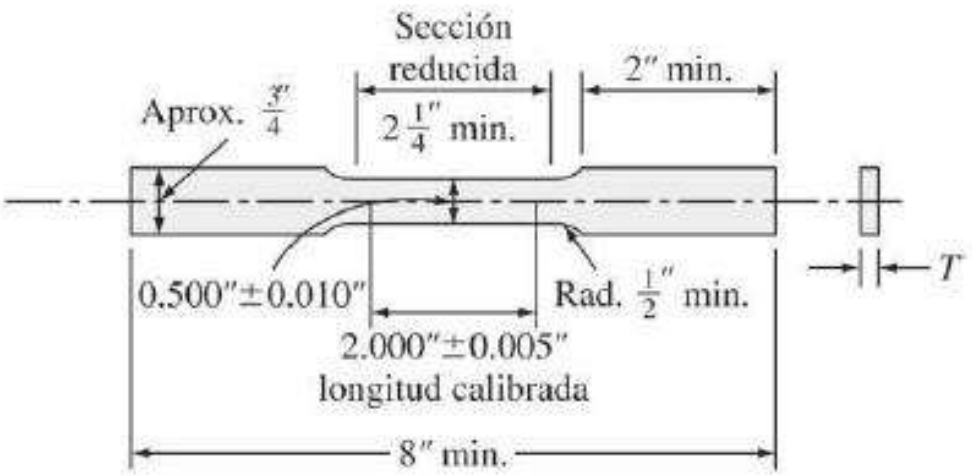
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.3. Tipos de probetas para ensayo de tracción.

Probeta circular.



Probeta plana.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.4. Límite elástico.

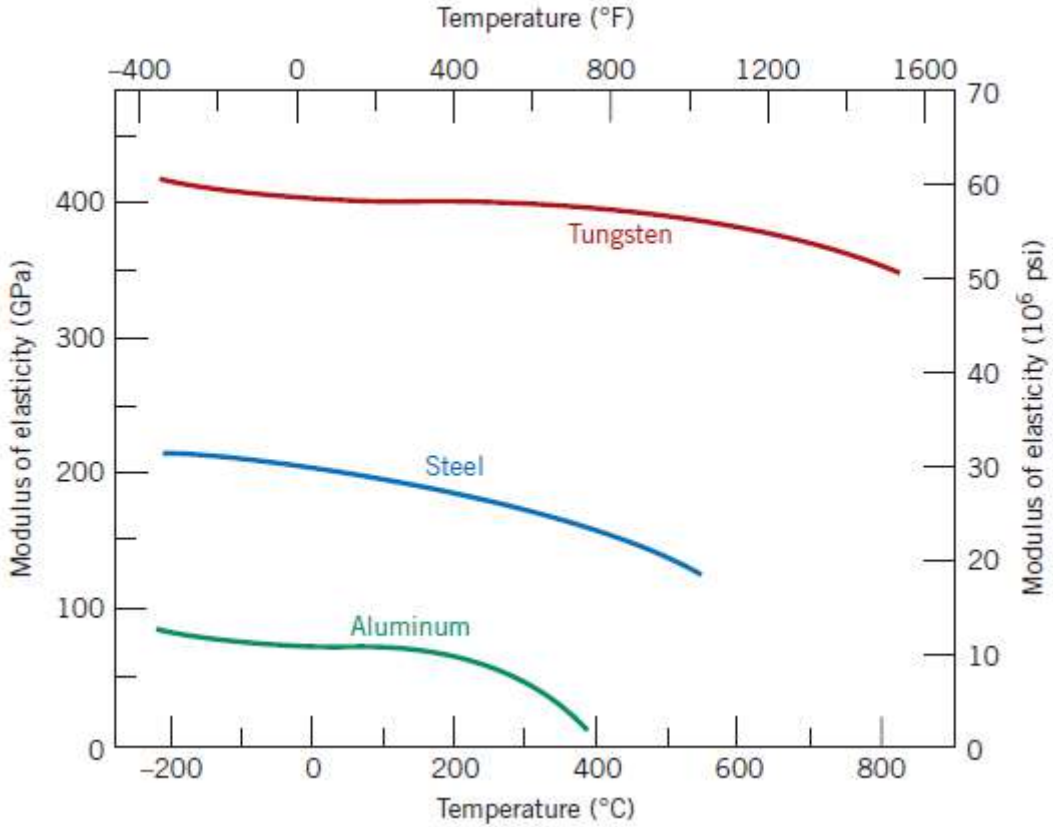
El límite elástico es un valor muy importante para el diseño estructural en ingeniería, pues es el nivel de tensión al que un metal o aleación muestran una deformación plástica significativa. Debido a que no hay un punto definido de la curva tensión-deformación donde acaba la deformación elástica y empieza la deformación plástica, se determina el límite elástico como la tensión a la que se produce una deformación elástica definida. En muchas ocasiones se determina el límite cuando se produce una deformación de 0.2 por ciento, como se muestra en el diagrama convencional de la siguiente figura.

1.5.4. Límite elástico.

El límite elástico de 0.2 por ciento, también denominado *límite elástico convencional de 0.2 por ciento*, se determina a partir del diagrama convencional. Primero se traza una línea paralela a la zona elástica (lineal) del diagrama convencional a una deformación de 0.002 pulg/pulg (mm/mm). Después se traza una línea horizontal desde el punto de intersección entre la línea anterior y la parte superior de la curva tensión-deformación hasta que alcance el eje de las tensiones. El límite elástico de 0.2 por ciento es el valor de tensión donde la línea horizontal interseca el eje de tensión, y en el caso de la curva de tensión-deformación, el valor del límite elástico es 78 000 psi. Es necesario puntualizar que el valor de 0.2 por ciento es arbitrario y puede determinarse el límite elástico para cualquier valor de deformación permanente siempre que sea pequeño; por ejemplo, en el Reino Unido es usual el límite elástico de 0.1 por ciento.

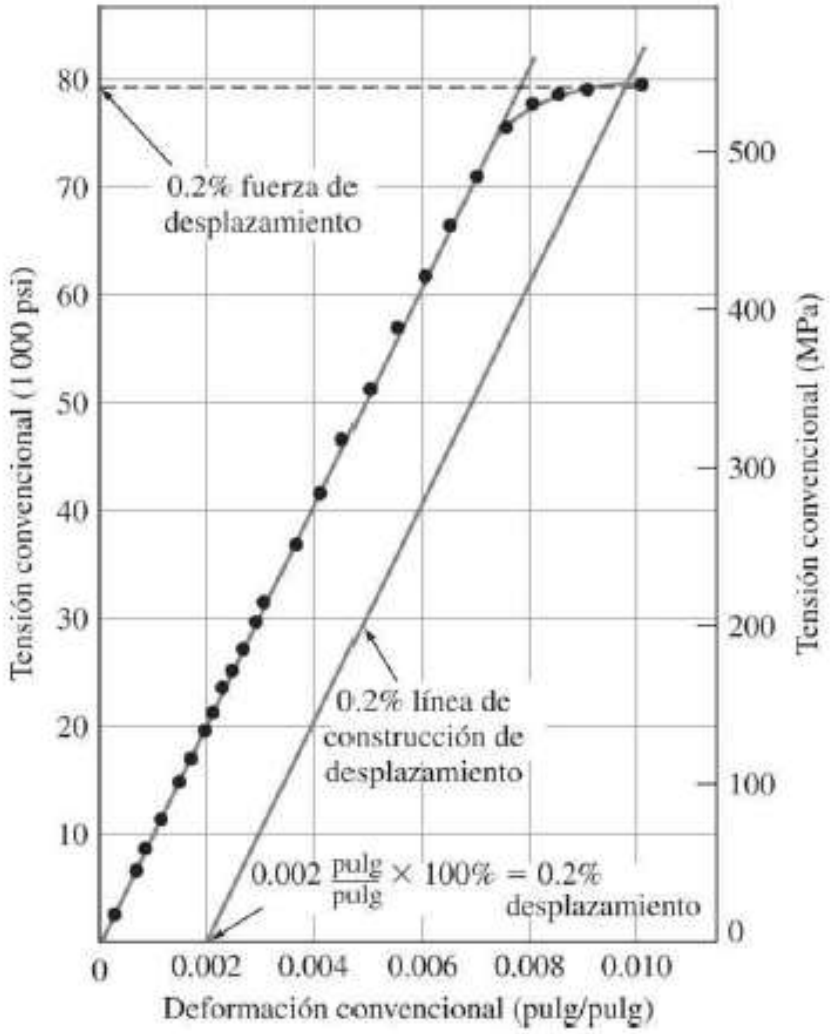
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Módulo de elasticidad para Tungsteno, acero y aluminio a diferentes temperaturas.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.4. Límite elástico.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.5. Resistencia a la tracción.

La resistencia a la tracción (Ultimate Tensile Strength UTS, por sus siglas en inglés) es la máxima tensión que se alcanza en la curva tensión-deformación. Cuanto más dúctil es el metal, mayor es la estricción antes de la fractura y más descendente la tensión alejándose del valor de resistencia a la tracción.

Este parámetro no es de mucha utilidad en el diseño ingenieril con aleaciones dúctiles porque se produce mucha deformación plástica antes de alcanzarlo. No obstante, la resistencia a la tracción puede aportar alguna información sobre la presencia de defectos. Si el metal contiene porosidad o inclusiones, estos defectos pueden producir que el valor de la resistencia máxima sea menor que la normal.

1.5.6. Porcentaje de estricción.

La ductilidad de un metal o aleación también se puede expresar en términos de porcentaje de reducción de área o estricción. Esta magnitud normalmente se obtiene del ensayo de tracción utilizando una probeta de 0.50 pulgadas (12.7 mm) de diámetro. Después del ensayo, se determina el diámetro de la sección transversal de la zona de fractura. Utilizando las medidas del diámetro inicial y del diámetro final, el porcentaje de estricción se determina según la siguiente ecuación:

$$\%\ \text{reducción en área} = \frac{\text{área inicial} - \text{área final}}{\text{área inicial}} \times 100\% = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100\%$$

1.5.7. Porcentaje de alargamiento

El porcentaje de alargamiento que una probeta a tracción soporta durante el ensayo proporciona un valor de la ductilidad del metal. La ductilidad de metales suele expresarse como porcentaje de alargamiento, usualmente determinado en probetas de 2 pulgadas (5.1 cm). En general, a mayor ductilidad del metal (a mayor capacidad de deformación), mayor porcentaje de deformación.

$$\text{Deformación convencional } \varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l (\text{cambio de la longitude de la muestra})}{l_0 (\text{longitude orginial de la muestra})}$$

$$\%\ \text{alagamiento} = \frac{\text{longitud final}^{*} - \text{longitud inicial}^{*}}{\text{longitud inicial}} \times 100\%$$

$$= \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

1.5.7. Porcentaje de alargamiento

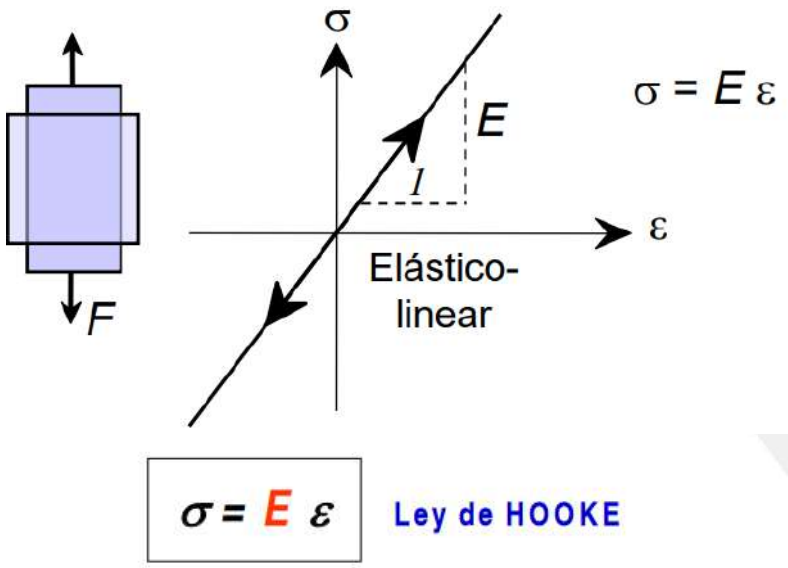
El porcentaje de reducción en el área, como el porcentaje de alargamiento, es una medida de la ductilidad del metal y un índice de su calidad. El porcentaje de reducción en el área se puede disminuir si existen defectos como inclusiones y/o porosidad en la muestra metálica.

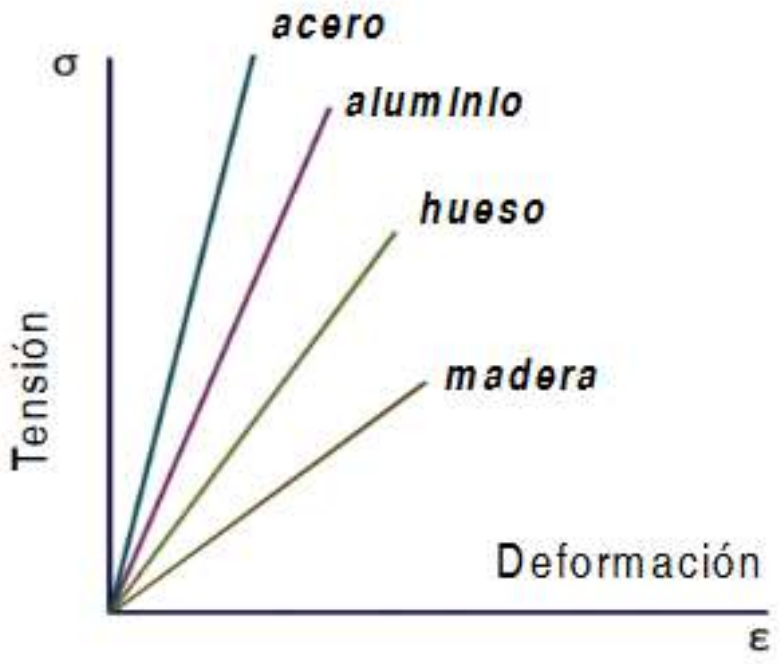
El porcentaje de alargamiento a fractura tiene importancia no sólo como medida de la ductilidad, sino también como índice de la calidad del metal. Si existe porosidad o inclusiones en el metal, o si existe un deterioro debido a un sobrecalentamiento del mismo, el porcentaje de alargamiento decrecerá por debajo del valor normal.

Ejemplo: Una probeta de acero al carbono 1030 de 0.500 pulgadas de diámetro se ensaya hasta la fractura en una máquina de ensayo. El diámetro de la probeta en la zona de fractura es de 0.343 pulgadas. Calcule el porcentaje de estricción de la muestra.

1.5.8. Módulo de elasticidad

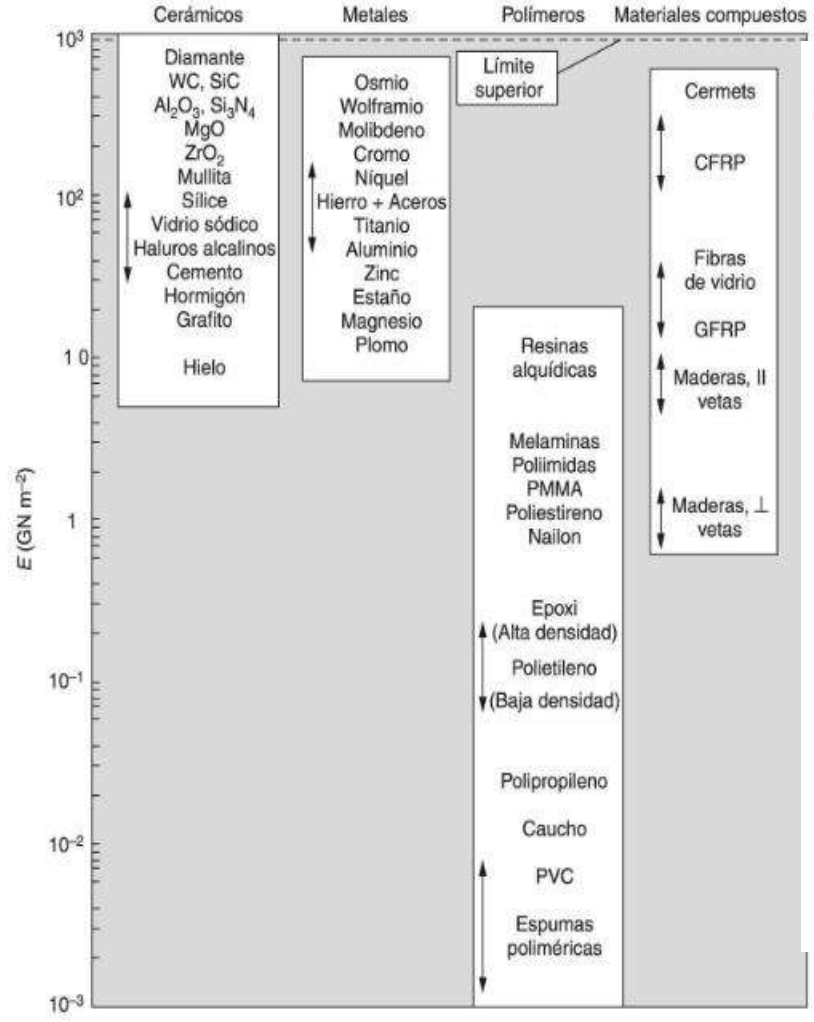
Ley de Hooke: Para materiales elásticos la tensión es linealmente proporcional a la deformación e independiente del tiempo.





Nota: Elástico-lineal (mayoría de los materiales) Elástico-no lineal (Hormigón y muchos polímeros)

1.5.9. Módulo de elasticidad de algunos materiales



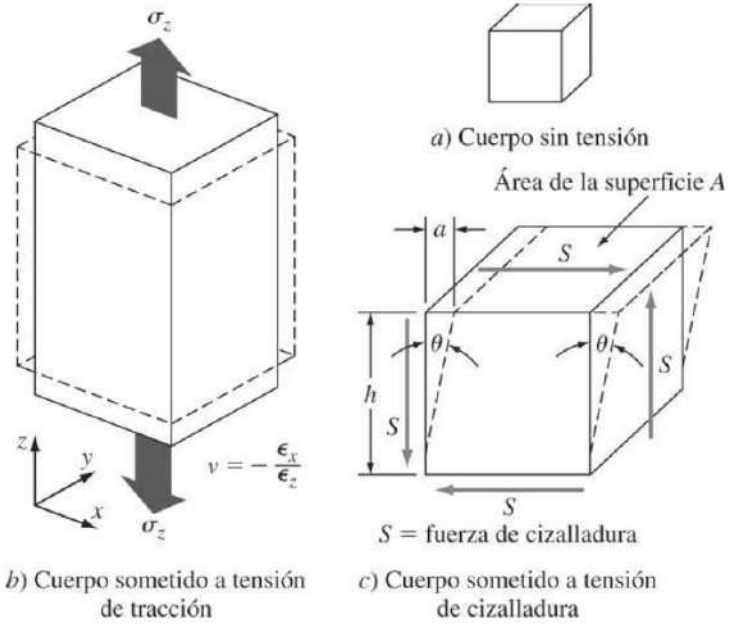
Datos del módulo de Young, *E*.

Material	*E* (GN m^{-2})
Diamante	1000
Carburo de wolframio, WC	450-650
Osmio	551
Cermets de cobalto/carburo de wolframio	400-530
Boruros de Ti, Zr, Hf	450-500
Carburo de silicio, SiC	430-445
Boro	441
Wolframio y sus aleaciones	380-411
Alúmina, Al_2O_3	385-392
Óxido de berilio (berilia), BeO	375-385
Carburo de titanio, TiC	370-380
Carburo de tántalo, TaC	360-375
Molibdeno y sus aleaciones	320-365
Carburo de niobio, NbC	320-340
Nitruro de silicio, Si_3N_4	280-310
Berilio y sus aleaciones	290-318
Cromo	285-290
Magnesia, MgO	240-275
Cobalto y sus aleaciones	200-248
Circona, ZrO_2	160-241
Níquel	214
Aleaciones de níquel	130-234
CFRP	70-200
Hierro	196
Superaleaciones base hierro	193-214
Aceros ferríticos, aceros de baja aleación	196-207
Aceros inoxidables austeníticos	190-200
Aceros dulces	200
Fundiciones de hierro	170-190
Tántalo y sus aleaciones	150-186
Platino	172
Uranio	172
Materiales compuestos boro/epoxi	80-160
Cobre	124
Aleaciones de cobre	120-150
Mullita	145
Vanadio	130
Titanio	116
Aleaciones de titanio	80-130
Paladio	124
Latones y bronces	103-124
Niobio y sus aleaciones	80-110
Silicio	107

Datos del módulo de Young, *E* (*continuación*).

Material	*E* (GN m^{-2})
Circonio y sus aleaciones	96
Vidrio de sílice, SiO_2 (cuarzo)	94
Zinc y sus aleaciones	43-96
Oro	82
Calcita (mármol, piedra caliza)	70-82
Aluminio	69
Aluminio y sus aleaciones	69-79
Plata	76
Vidrio sódico	69
Haluros alcalinos (NaCl, LiF, etc.)	15-68
Granito	62
Estaño y sus aleaciones	41-53
Hormigón, cemento	30-50
Fibra de vidrio (fibra de vidrio/epoxi)	35-45
Magnesio y sus aleaciones	41-45
GFRP	7-45
Grafito	27
Esquisto	18
Maderas comunes, paralelo a la veta	9-16
Plomo y sus aleaciones	16-18
Resinas alquídicas	14-17
Hielo, H_2O	9,1
Melaminas	6-7
Poliimidas	3-5
Poliésteres	1,8-3,5
Acrílicos	1,6-3,4
Nailon	2-4
PMMA	3,4
Poliestireno	3-3,4
Epoxis	2,6-3
Policarbonato	2,6
Maderas comunes, perpendicular a la veta	0,6-1,0
Polipropileno	0,9
PVC	0,2-0,8
Polietileno, alta densidad	0,7
Polietileno, baja densidad	0,2
Elastómeros	0,01-0,1
Corcho	0,01-0,03
Espumas poliméricas	0,001-0,01

1.5.9. Coeficiente de Poisson



Material	Módulo de elasticidad, 10^{-6} psi (GPa)	Módulo de rigidez 10^{-6} psi (GPa)	Coeficiente de Poisson
Aleaciones de aluminio	10.5 (72.4)	4.0 (27.5)	0.31
Cobre	16.0 (110)	6.0 (41.4)	0.33
Acero (aceros al carbón y de baja aleación)	29.0 (200)	11.0 (75.8)	0.33
Aceros inoxidables (18-8)	28.0 (193)	9.5 (65.6)	0.28
Titanio	17.0 (117)	6.5 (44.8)	0.31
Volframio	58.0 (400)	22.8 (157)	0.27

Fuente: G. Dieter, "Mechanical Metallurgy", 3a. ed., McGraw-Hill, 1986.

$$V = -\frac{\varepsilon(\text{lateral})}{\varepsilon(\text{longitudinal})} = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.9. Coeficiente de Poisson

TABLA 2 **Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio forjado**

Datos provenientes de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de aluminio forjado	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia a la fatiga a 5E8 ciclos		Elongación en 2 in	Dureza Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	-HB
1100	recocido en hoja	5	34	13	90			35	23
	laminado en frío	22	152	24	165			5	44
2024	recocido en hoja	11	76	26	179			20	-
	tratamiento térmico	42	290	64	441	20	138	19	-
3003	recocido en hoja	6	41	16	110			30	28
	laminado en frío	27	186	29	200			4	55
5052	recocido en hoja	13	90	28	193			25	47
	laminado en frío	37	255	42	290			7	77
6061	recocido en hoja	8	55	18	124			25	30
	tratamiento térmico	40	276	45	310	14	97	12	95
7075	recocido en barra	15	103	33	228			16	60
	tratamiento térmico	73	503	83	572	14	97	11	150

Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., *Metals Handbook*, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Example: A piece of copper originally 305 mm (12 in.) long is pulled in tension with a stress of 276 Mpa (40,000 psi). If the deformation is entirely elastic, what will be the resultant elongation?

Solution

Because the deformation is elastic, strain is dependent on stress according to Equation 6.5. Furthermore, the elongation Δl is related to the original length l_0 through Equation 6.2. Combining these two expressions and solving for Δl yields

$$\sigma = \varepsilon E = \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right) E$$

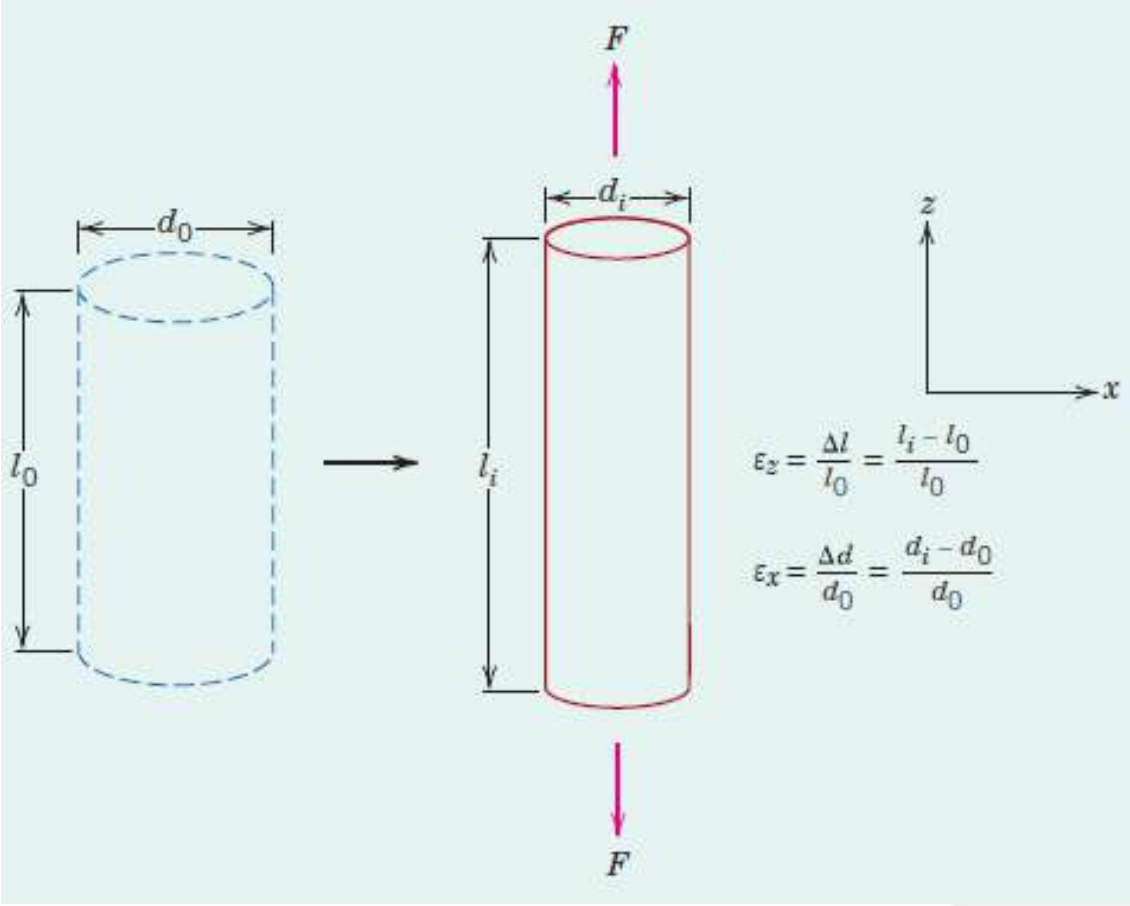
$$\Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$$

The values of σ and l_0 are given as 276 MPa and 305 mm, respectively, and the magnitude of E for copper from Table 6.1 is 110 GPa (16×10^6 psi). Elongation is obtained by substitution into the preceding expression as

$$\Delta l = \frac{(276\ \text{MPa})(305\ \text{mm})}{110 \times 10^3\ \text{MPa}} = 0.77\ \text{mm}\ (0.03\ \text{in.})$$

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Example. A tensile stress is to be applied along the long axis of a cylindrical brass rod that has a diameter of 10 mm (0.4 in.). Determine the magnitude of the load required to produce a 2.5 × 10−3-mm change in diameter if the deformation is entirely elastic.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{-2.5 \times 10^{-3}\ \text{mm}}{10\ \text{mm}} = -2.5 \times 10^{-4}$$

which is negative because the diameter is reduced.

It next becomes necessary to calculate the strain in the z direction using Equation 6.8. The value for Poisson's ratio for brass is 0.34 (Table 6.1), and thus

$$\varepsilon_z = -\frac{\varepsilon_x}{\nu} = -\frac{(-2.5 \times 10^{-4})}{0.34} = 7.35 \times 10^{-4}$$

The applied stress may now be computed using Equation 6.5 and the modulus of elasticity, given in Table 6.1 as 97 GPa (14×10^6 psi), as

$$\sigma = \varepsilon_z E = (7.35 \times 10^{-4})(97 \times 10^3\ \text{MPa}) = 71.3\ \text{MPa}$$

Finally, from Equation 6.1, the applied force may be determined as

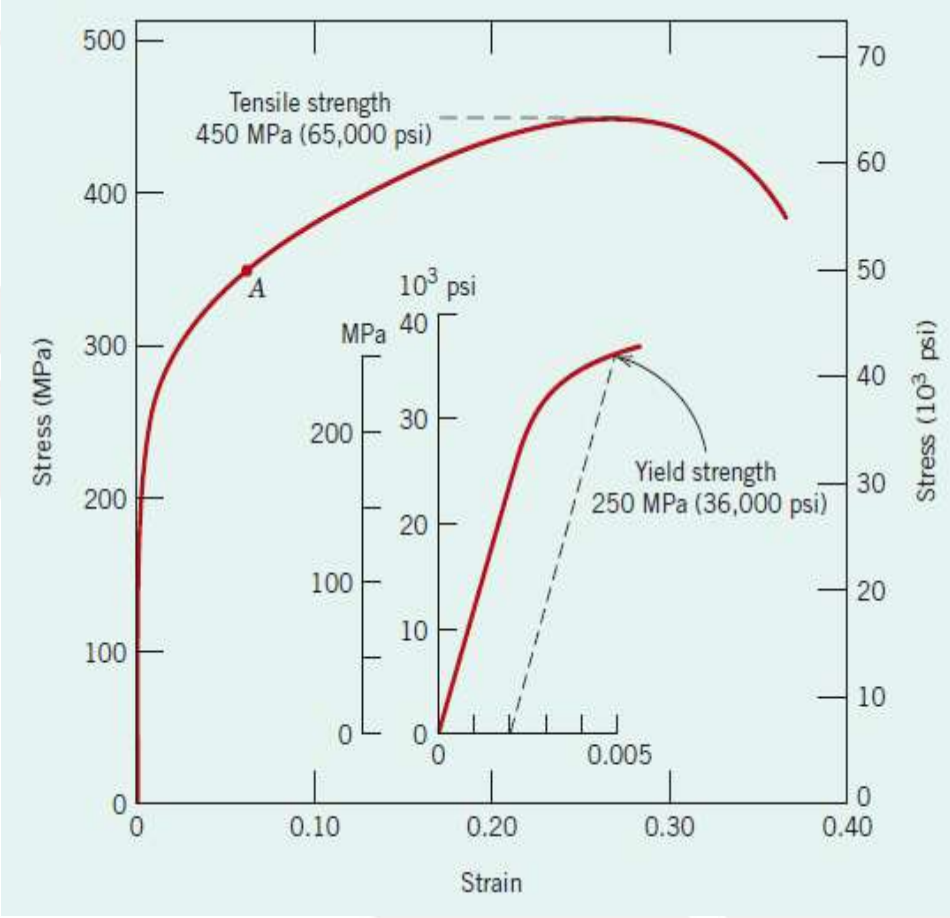
$$F = \sigma A_0 = \sigma \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \pi$$

$$= (71.3 \times 10^6\ \text{N/m}^2)\left(\frac{10 \times 10^{-3}\ \text{m}}{2}\right)^2 \pi = 5600\ \text{N}\ (1293\ \text{lb}_\text{f})$$

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Example: From the tensile stress–strain behavior for the brass specimen shown in Figure 6.12, determine the following:

(a) The modulus of elasticity
(b) The yield strength at a strain offset of 0.002
(c) The maximum load that can be sustained by a cylindrical specimen having an original diameter of 12.8 mm (0.505 in.)
(d) The change in length of a specimen originally 250 mm (10 in.) long that is subjected to a tensile stress of 345 MPa (50,000 psi)



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

$$E = \text{slope} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \tag{6.10}$$

Inasmuch as the line segment passes through the origin, it is convenient to take both σ_1 and ε_1 as zero. If σ_2 is arbitrarily taken as 150 MPa, then ε_2 will have a value of 0.0016. Therefore,

$$E = \frac{(150 - 0)\text{ MPa}}{0.0016 - 0} = 93.8\text{ GPa } (13.6 \times 10^6\text{ psi})$$

which is very close to the value of 97 GPa (14×10^6 psi) given for brass in Table 6.1.

(b) The 0.002 strain offset line is constructed as shown in the inset; its intersection with the stress–strain curve is at approximately 250 MPa (36,000 psi), which is the yield strength of the brass.

(c) The maximum load that can be sustained by the specimen is calculated by using Equation 6.1, in which σ is taken to be the tensile strength, from Figure 6.12, 450 MPa (65,000 psi). Solving for F, the maximum load, yields

$$F = \sigma A_0 = \sigma\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 \pi$$

$$= (450 \times 10^6\text{ N/m}^2)\left(\frac{12.8 \times 10^{-3}\text{ m}}{2}\right)^2 \pi = 57{,}900\text{ N } (13{,}000\text{ lb}_\text{f})$$

(d) To compute the change in length, Δl, in Equation 6.2, it is first necessary to determine the strain that is produced by a stress of 345 MPa. This is accomplished by locating the stress point on the stress–strain curve, point A, and reading the corresponding strain from the strain axis, which is approximately 0.06. Inasmuch as $l_0 = 250$ mm, we have

$$\Delta l = \varepsilon l_0 = (0.06)(250\text{ mm}) = 15\text{ mm } (0.6\text{ in.})$$

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.10. Tipos de aceros

Algunas veces, los aceros se clasifican con base en el amplio rango de contenido de carbono, como sigue:

1) Aceros al bajo carbono: hasta 0.25% de carbono.
2) Aceros de medio carbono: de 0.25 a 0.55% de carbono.
3) Acero de alto contenido de carbono: más de 0.55% de carbono.

1.5.11. Factores que afectan el módulo de elasticidad:

- Temperatura
- Porosidad
- Humedad



1.5.12. Ductilidad

Deformación plástica que ocurre hasta el fallo del material

Elongación

$$EL\% = \frac{L_f - L_o}{L_o} \text{ x } 100$$

Reducción Área

$$RA\% = \frac{A_o - A_f}{A_o} \text{ x } 100$$

Dúctil si EL% > 5% (aproximadamente)
Frágil si EL% < 5% (aproximadamente)

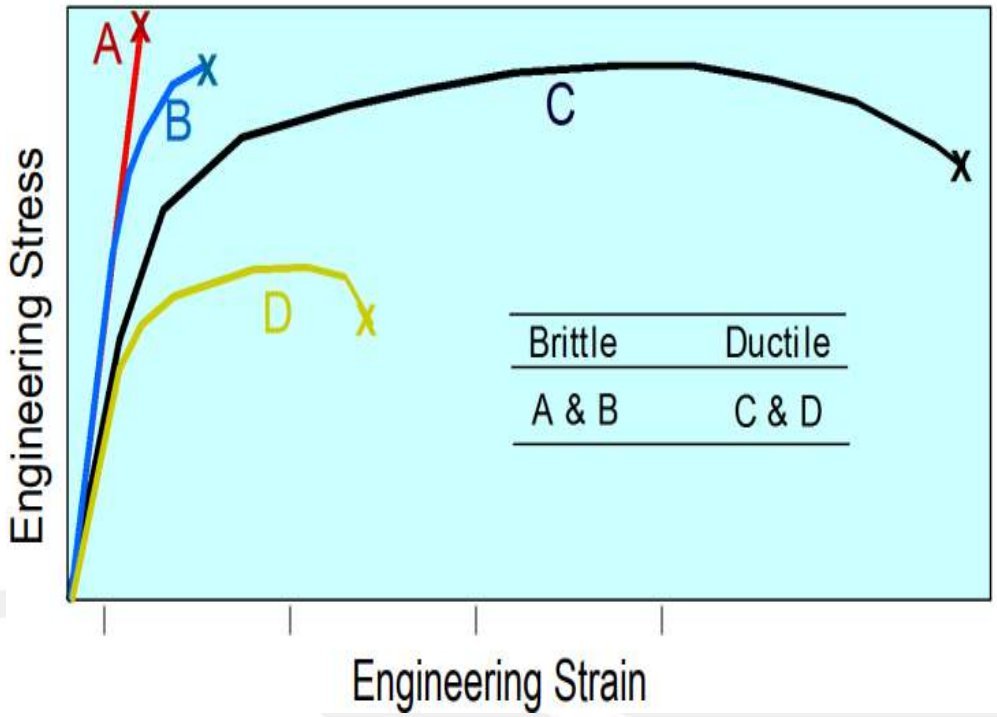
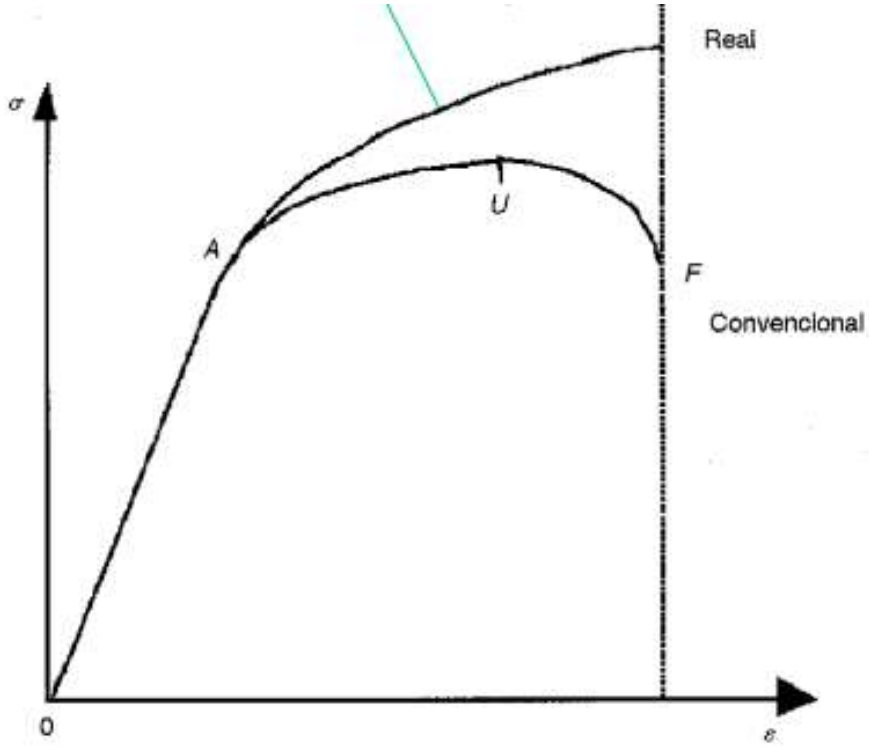


Table 6.2
Typical Mechanical Properties of Several Metals and Alloys in an Annealed State

Metal Alloy	*Yield Strength, MPa (ksi)*	*Tensile Strength, MPa (ksi)*	*Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)]*
Aluminum	35 (5)	90 (13)	40
Copper	69 (10)	200 (29)	45
Brass (70Cu–30Zn)	75 (11)	300 (44)	68
Iron	130 (19)	262 (38)	45
Nickel	138 (20)	480 (70)	40
Steel (1020)	180 (26)	380 (55)	25
Titanium	450 (65)	520 (75)	25
Molybdenum	565 (82)	655 (95)	35

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Tensión Real (teniendo en cuenta la reducción de la sección transversal)



$$\sigma_r = K \cdot \varepsilon_r^{\,n}$$

•K y n son constantes que dependen del material

Material	n	K (MPa)
Acero con bajo contenido de C	0,26	530
Acero 4340 recocido	0,15	640
Acero inox 304 recocido	0,45	1275
Alumínio recocido	0,2	180
Liga de Alumínio 2024 T	0,16	690
Cobre recocido	0,54	315
Latón 70-30 recocido	0,49	895

The parameter *n* is often termed the *strain-hardening exponent* and has a value less than unity

		K	
Material	***n***	***MPa***	***psi***
Low-carbon steel (annealed)	0.21	600	87,000
4340 steel alloy (tempered @ 315°C)	0.12	2650	385,000
304 stainless steel (annealed)	0.44	1400	205,000
Copper (annealed)	0.44	530	76,500
Naval brass (annealed)	0.21	585	85,000
2024 aluminum alloy (heat-treated—T3)	0.17	780	113,000
AZ-31B magnesium alloy (annealed)	0.16	450	66,000

$$\varepsilon_T = \ln\frac{l_i}{l_0}$$

$$\sigma_T = \sigma(1+\varepsilon)$$

$$\varepsilon_T = \ln(1+\varepsilon)$$

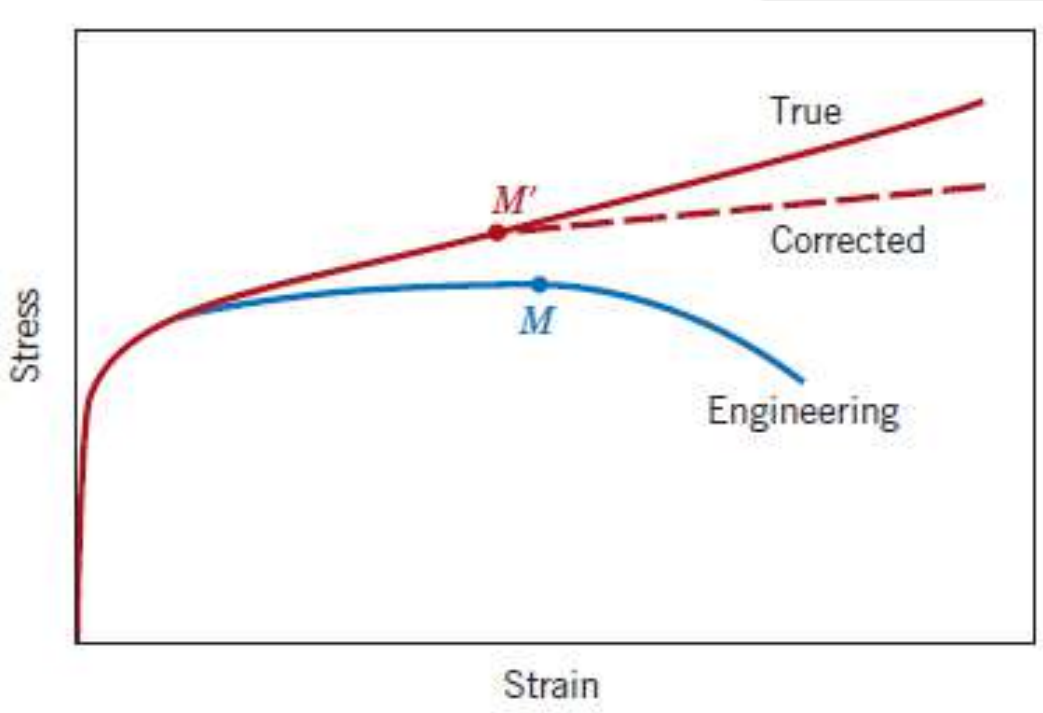
$$\sigma_T = K\varepsilon_T^n$$

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

1.5.13. Tenacidad y resilencia

Tenacidad: Una medida de la capacidad de un material para absorber energía sin romperse. (J/m3 o N.mm/mm3= MPa)

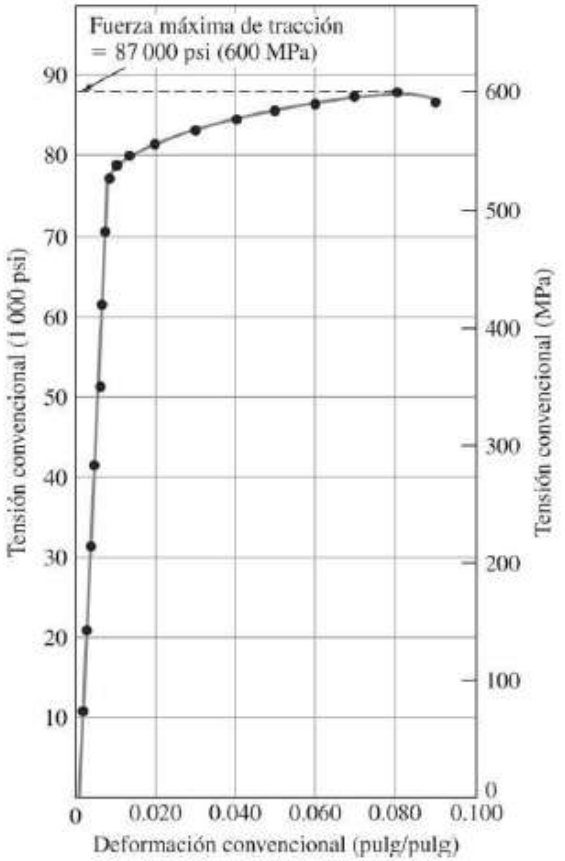
Resiliencia: Una medida de la capacidad de un material para absorber energía sin sufrir una deformación permanente o plástica. (J/m3 or N.mm/mm3= MPa)



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Actividad: Resolver cada uno de los siguientes ejercicios.

1.- Determinar la tensión convencional del 0.2% para el diagrama tensión deformación para la aleación 7075-T6 mostrada en la figura.



2.- Una barra de 125 cm de diámetro está sujeta a un peso de 2 500 kg. Calcule la tensión convencional que actúa en la barra en megapascales (MPa) y en kg/cm2.

3.- Una barra de aluminio de 0.500 pulgadas de diámetro está sometida a una fuerza de 2500 lb*f*. Calcule la tensión convencional que actúa en la barra en libras por pulgada cuadrada (psi), en kPa y en kg/cm2.

4.-Una probeta de un material de dimensiones 10 x 10 x 10cm con un comportamiento elástico lineal rompe cuando la carga ha alcanzado un valor de 15.000kg, registrándose en ese momento un acortamiento de 0,3mm. Determinar:

- La representación gráfica del comportamiento mecánico del material y tipo de fractura que experimenta.
- Calcular la tensión de compresión en rotura
- Calcular la deformación unitaria en rotura
- Calcular el módulo de elasticidad del material
- Sabiendo que el coeficiente de Poisson del material es 0,3, calcular la deformación transversal de la probeta en rotura.
- Calcular el área que deberá tener la probeta para que con la misma carga del ensayo la tensión de trabajo del material se reduzca a la mitad y acortamiento de la probeta.

5.- Se ensaya a tracción una barra de sección circular de 2cm de diámetro y 10cm de longitud construida con un material con un comportamiento elastoplástico caracterizado por una primera fase elástica lineal con módulo de Young E=2.5 x 106 kg/cm² y máxima deformación elástica del 0,2% y, previamente a la rotura, un segundo periodo plástico en el cual, sin aumento de carga respecto al periodo anterior, el material alcanza una deformación de 8 veces el valor de la deformación elástica. Se pide:

- Representación gráfica del comportamiento mecánico del material y tipo de fractura que presenta
- Límite elástico del material
- Carga máxima de tracción a la que se puede ensayar la barra para que trabaje en régimen elástico
- Longitud de la barra bajo una carga de tracción de 100000N .
- Si tras alcanzar en el ensayo una deformación del 0,3% dejamos de aplicar la carga, calcular la longitud de la barra tras la descarga. Representar gráficamente el proceso de carga-descarga.
- ¿Se puede volver a ensayar la barra de nuevo?. Justificar la respuesta.

Conclusiones.

El diseño mecánico es muy importante a nivel industrial, debido a la cantidad de piezas, componentes o sistemas que se requieren fabricar o mejorar. El correcto diseño conlleva a reducir las fallas en dichos componentes o sistemas y alargando su vida útil. Para tal efecto, existe una gran variedad de softwares que permiten realizar el diseño y análisis de piezas mecánicas, sin embargo, es importante comprender correctamente su funcionamiento, así como la aplicación de las condiciones de operación con las que el dispositivo, componente o sistema va a operar y pueda soportar las diferentes cargas o esfuerzos a los que van a estar sometidos. Por tal motivo, es necesario estudiar, analizar y comprender temas tales como: esfuerzo, ensayos de tensión, propiedades mecánicas de los materiales, módulo de elasticidad y de Poisson, etc., a fin de determinar las condiciones óptimas de dichos diseños.

Bibliografía.

Shigley, J. E., Mischke, C. R., Bocanegra, F. P., & Correa, C. O. (1990). Diseño en ingeniería mecánica.

Shigley, J. E. (1989). Manual de diseño mecánico.

Briano Murillo, L. S. (2024). Fractura de acero 22MnB5 en las inmediaciones de la transición dúctil-frágil (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Armijos Campos, D. E., & Uzhca Merchán, D. M. (2024). Diseño y construcción del cuarto y quinto eje para una fresadora CNC de joyería (Bachelor's thesis).

Morales Castro, C. A. (2024). Diseño de la transmisión mecánica de potencia de un vehículo eléctrico para el transporte humano en ciudades.

Ochoa Camargo, G. A., & Moreno Triviño, D. A. Diseño y fabricación del sistema de fijación y nivelación para los tornos AUTOMAC/AS 360/1000 pertenecientes a los laboratorios y talleres de mecánica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas aplicando Ingeniería Inversa (Bachelor's thesis).

Méndez Navarro, P. A., & Aguilar González, V. H. (2024). Determinación del coeficiente de endurecimiento por deformación en una aleación de aluminio y un acero estructural ASTM A500.