

GUÍA DE LABORATORIO: ENSAYO DE TRACCIÓN

Introducción

El ensayo de tracción o tensión es una de las pruebas más fundamentales en ingeniería para determinar propiedades mecánicas de los materiales. Consiste en aplicar gradualmente una carga axial de tracción sobre una probeta del material en estudio hasta que esta se rompa. Durante el ensayo, se registran los valores de carga y el correspondiente alargamiento de la probeta. Con estos datos, se calculan el esfuerzo normal (σ) generado por la carga y la deformación unitaria (ϵ) causada por el alargamiento de la probeta. Utilizando estos cálculos, se construye el diagrama esfuerzo-deformación, que proporciona información sobre el desempeño mecánico del material objeto de estudio, como la resistencia máxima a la tensión, el límite elástico o esfuerzo de fluencia, el módulo de elasticidad y la elongación. En la figura 1, se muestra curvas típicas de esfuerzo-deformación a tracción para un cerámico o metal frágil, un metal y un polímero dúctiles. La parte inicial, hasta el límite elástico σ_y , es aproximadamente lineal (ley de Hooke), y es elástica, lo que significa que la deformación es recuperable: el material vuelve a su forma original cuando se retira el esfuerzo. Los esfuerzos por encima del límite elástico causan deformación plástica permanente (comportamiento dúctil) o fractura frágil. Dentro del régimen elástico lineal, la deformación es proporcional al esfuerzo. La deformación a tracción es proporcional al esfuerzo a tracción.

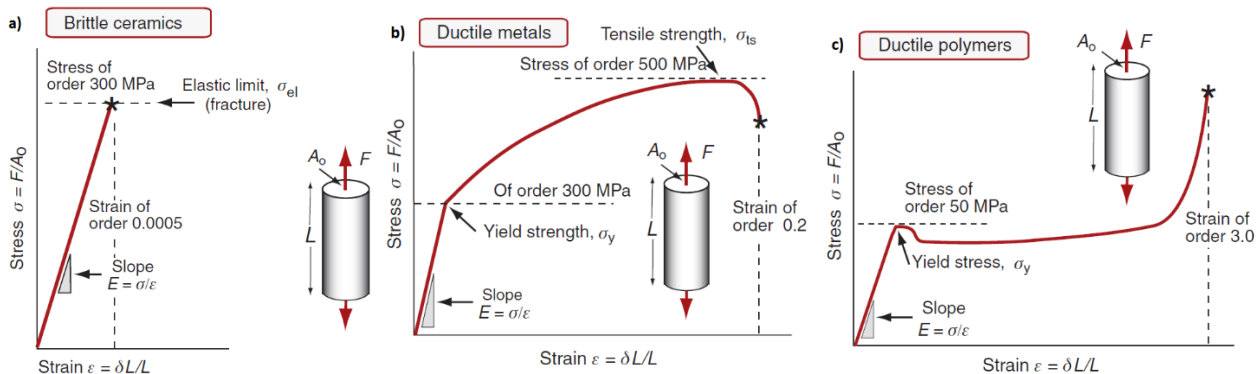


Figura 1. Curvas de esfuerzo-deformación a tracción para cerámicos, metales y polímeros.

El esfuerzo se considera cuando una fuerza F se aplica normalmente a la cara de un elemento de material, como se muestra en la Figura 2. Esta fuerza se transmite a través de la probeta y se equilibra con una fuerza igual pero opuesta en el otro lado, asegurando así su equilibrio (sin movimiento). Cada plano normal (o sección transversal) a F soporta la fuerza. Si el área de este plano es A , el esfuerzo de tracción σ en el elemento (despreciando su propio peso) es la fuerza dividida sobre el área transversal.

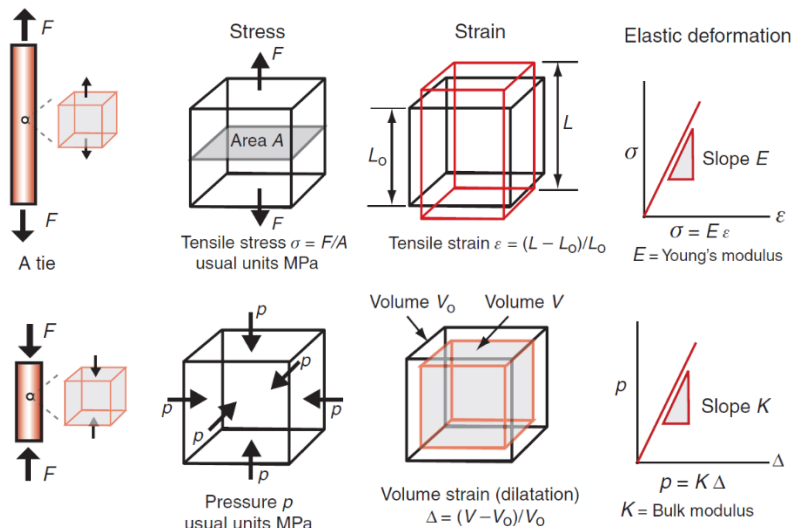


Figura 2. Definición de esfuerzo, deformación y modulo.

Si se invierte el signo de F, el esfuerzo se vuelve compresivo y se le asigna un signo negativo. Las fuerzas se miden en newtons (N), por lo que el esfuerzo tiene dimensiones de N/m². Sin embargo, un esfuerzo de 1 N/m² es muy pequeño; la presión atmosférica es de 105 N/m², por lo que la unidad habitual es MN/m² (10^6 N/m²), conocida como megapascuales, abreviado MPa, el módulo de elasticidad por lo general se reporta en gigapascuales GPa. El esfuerzo se relaciona en ingeniería con la resistencia a la tensión del material o su resistencia máxima, mientras que el módulo de elasticidad se asocia con su rigidez.

La Tabla 1 muestra la rigidez de diferentes tipos de enlace; estos valores están fuertemente determinados por el valor del módulo de Young. El enlace covalente es particularmente rígido (S = 20-200 N/m); el diamante, por tanto, tiene un módulo muy alto porque el carbono es un átomo pequeño (lo que da una alta densidad de enlaces) y sus átomos están ligados por el enlace más rígido (S = 200 N/m). El enlace metálico es menos rígido (S = 15-100 N/m) y los átomos forman a veces empaquetamientos compactos, lo que da a los metales un módulo alto, pero no tanto como el del diamante. El enlace iónico, presente en muchas cerámicas, tiene una rigidez comparable a la de los metales y, por tanto, tienen un módulo alto. Los polímeros contienen tanto enlaces covalentes fuertes (como los del diamante) a lo largo de la cadena principal como enlaces débiles de hidrógeno o Van-der-Waals (S = 0.5-2 N/m) entre las cadenas. Son los enlaces débiles los que se estiran cuando el polímero es deformado, dándoles un módulo bajo.

Tipo de enlace	Ejemplos	Rigidez del enlace S (N/m)	Módulo de Young E (GPa)
Covalente	Enlace carbono-carbono	50 - 180	200 - 1000
Metálico	Todos los metales	15 - 75	60 - 300
Iónico	Alúmina, Al ₂ O ₃	8 - 24	32 - 96
Enlace de hidrógeno	Polietileno	0.5 - 1	1 - 4
Van der Waals	Ceras		

Tabla 1. Rigidez de los enlaces, S

Fuente: Ashby et al, Materials: Engineering, Science, Processing and Design.

En la Figura 3, se presentan diferentes valores de módulo de elasticidad, resistencia a la tensión, límite elástico y resistencia a la compresión para diversas familias de materiales.

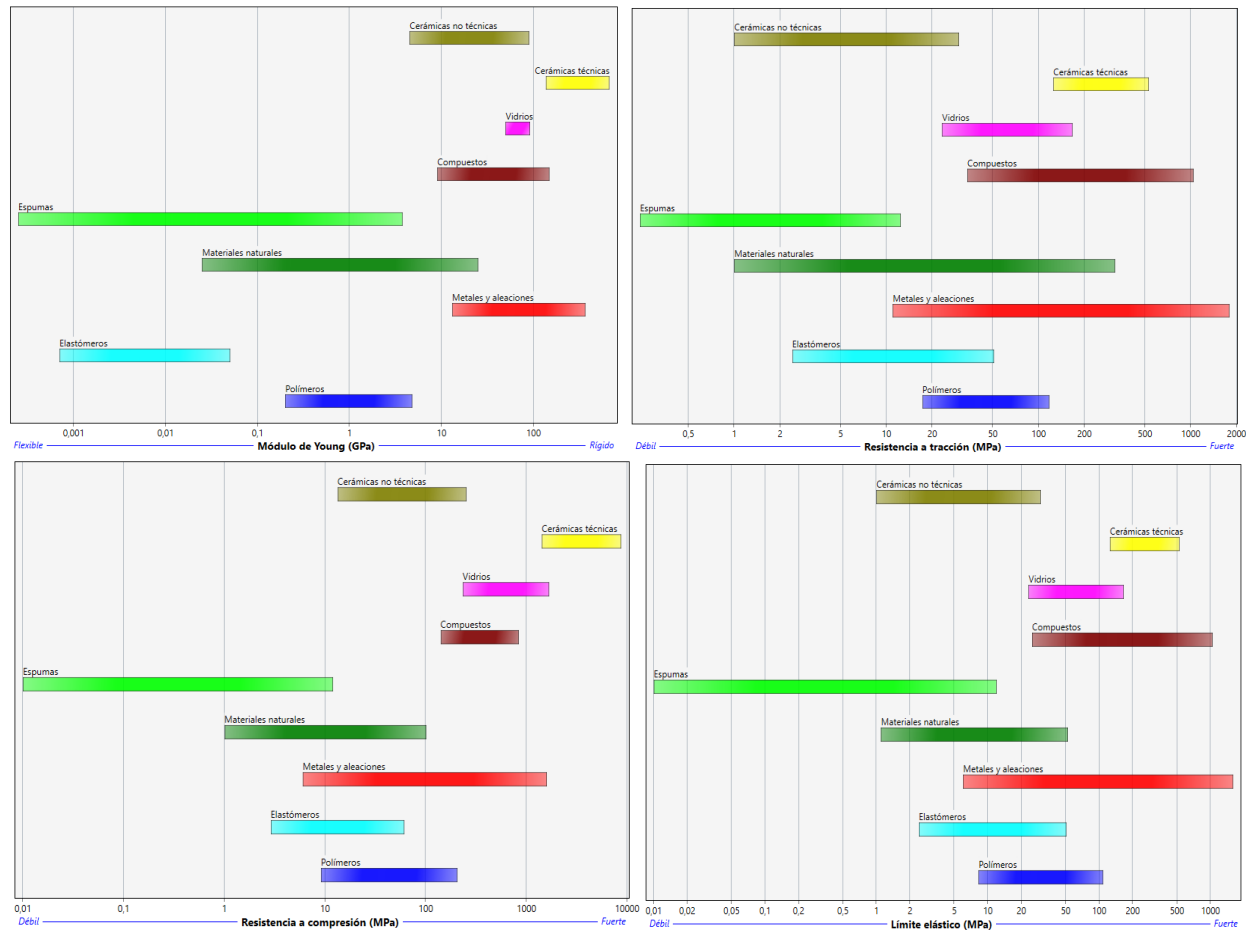


Figura 3, valores de módulo de elasticidad, resistencia a la tensión, límite elástico y resistencia a la compresión para diversas familias de materiales.

Guía de laboratorio

El laboratorio se centra en comprender las propiedades mecánicas de los materiales a través de la prueba de tracción, explorando su aplicación en la ingeniería.

Objetivos:

- Determinar las principales propiedades mecánicas de diversos materiales, como el límite elástico, la resistencia máxima a la tensión, el módulo de elasticidad y la elongación porcentual, mediante la prueba normalizada de tracción.
- Adquirir habilidades en la elaboración e interpretación del diagrama esfuerzo-deformación σ - ϵ , identificando las zonas características para cada tipo de material ensayado.
- Estudiar experimentalmente la ley de Hooke y comparar los resultados con los conceptos analíticos, especialmente al determinar el módulo de elasticidad E (módulo de Young) de distintos materiales.
- Investigar las diversas aplicaciones del ensayo de tensión en distintos materiales y productos, así como su relevancia en la ingeniería.
- Realizar un estudio comparativo del desempeño mecánico de los materiales analizados y de materiales comerciales utilizando bases de datos de la industria.

Procedimiento del ensayo:

Durante las clases presenciales guiadas por el profesor, se llevarán a cabo ensayos de tensión conforme a las normas ASTM. Estos ensayos se realizarán a probetas previamente preparadas de diferentes materiales. A continuación, se proporcionan videos complementarios para facilitar el análisis de datos utilizando Excel y Origen:

- Video Ensayo de tracción ASTM E8 ACERO: <https://www.youtube.com/watch?v=k37grT5bxl8>
- Video: Ensayo de Tensión ASTM E8 y ASTM D638 (Análisis de datos de ensayos con Excel); https://www.youtube.com/watch?v=HLD-e3PMY_U&t=2563s
- Video: Análisis de resultados de ensayos mecánicos (Tensión) con OriginLab; <https://www.youtube.com/watch?v=1pKmCQyUUDE>

Aspectos teóricos y condiciones del ensayo de tensión:

Las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) proporcionan pautas para ingenieros de todo el mundo para ensayar una amplia variedad de materiales de ingeniería, cubriendo procedimientos que cumplen con diversas exigencias de la industria y la investigación. Aunque existen diferencias entre los ensayos, también hay características comunes. En esta práctica, nos enfocaremos en las normas aplicables a materiales metálicos y poliméricos:

Materiales metálicos:

ASTM E8/E8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

La prueba estándar certificada y normalizada debe realizarse a temperatura ambiente, a 23°C y con un 50% de humedad relativa. Para esta práctica demostrativa, es importante tener en cuenta que pueden existir diferencias, especialmente en la humedad relativa, en nuestro laboratorio. Si es posible medirla, se deben reportar los valores a los cuales se realizaron los ensayos.

Es importante destacar que la velocidad del ensayo puede influir en los resultados, muchos materiales son sensibles al tiempo, al esfuerzo y a la temperatura. Las dimensiones de la probeta están determinadas por cada norma, dependiendo de la disposición del material utilizado, ya sea varillas, platinas, láminas, cilindros, ejes, etc. Se recomienda revisar la norma correspondiente para obtener las especificaciones precisas de las dimensiones de la probeta.

La norma ASTM E8 proporciona diversas recomendaciones específicas para el ensayo de tensión para metales. Algunas de estas recomendaciones incluyen:

Preparación de probetas: Especifica las dimensiones y geometría de las probetas que se deben utilizar. Por ejemplo, para probetas de tipo I, las dimensiones pueden ser de aproximadamente 12.5 mm de diámetro y 50 mm de longitud calibrada.

Condiciones de ensayo: Establece las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad relativa, a las que deben realizarse los ensayos para garantizar la consistencia de los resultados. Por ejemplo, se puede recomendar una temperatura de ensayo de 23°C y una humedad relativa del 50%.

Velocidad de carga: Define la velocidad a la que se debe aplicar la carga axial de tensión a la probeta durante el ensayo. Por ejemplo, la velocidad de carga puede ser de 2-5 mm/min.

Métodos de medición: Detalla los procedimientos para medir con precisión la carga aplicada y el alargamiento de la probeta durante el ensayo, utilizando equipos como extensómetros y celdas de carga.

Criterios de fallo: Establece los criterios para determinar el punto de ruptura de la probeta, como la reducción de área, la elongación o la fractura.

Materiales poliméricos: ASTM D638 - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

La fuerza axial de tensión aplicada a la probeta se controla a una velocidad específica según las normas ASTM D638 para polímeros. La velocidad del ensayo puede influir en los resultados, debido a que muchos materiales son sensibles al tiempo, al esfuerzo y a la temperatura. Las dimensiones de la probeta son determinadas por cada norma, dependiendo del tipo de material utilizado y despoñlé. Se recomienda revisar la norma correspondiente adjunta para obtener las especificaciones precisas. En el caso de los polímeros, es importante acondicionar las probetas según lo indicado en la norma, debido a que algunos materiales pueden absorber humedad del ambiente, lo que requiere un secado controlado previo al ensayo.

La norma ASTM D638 proporciona recomendaciones específicas para el ensayo de tracción en probetas de polímeros.

Algunas de estas recomendaciones incluyen:

Preparación de probetas: Especifica las dimensiones y la geometría de las probetas que se deben utilizar, así como los métodos para cortarlas o moldearlas adecuadamente. Por ejemplo, para polímeros, la norma puede especificar el ancho, el espesor y la longitud de la probeta.

Condiciones de ensayo: Se establecen las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad relativa, a las que deben realizarse los ensayos. Por ejemplo, la temperatura ambiente suele ser de 23°C.

Velocidad de carga: La norma define la velocidad a la que se debe aplicar la carga de tensión a la probeta durante el ensayo. Por ejemplo, puede especificar una velocidad de deformación nominal, como 5 mm/min.


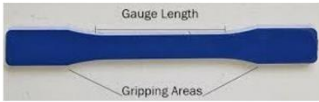
Métodos de medición: Detalla los procedimientos para medir con precisión la carga aplicada y el alargamiento de la probeta durante el ensayo, utilizando equipos como extensómetros y celdas de carga.

Criterios de fallo: Establece los criterios para determinar el punto de ruptura de la probeta, como la reducción de área, la elongación o la fractura.

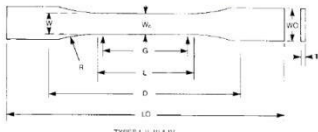
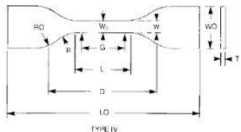
A continuación, se presentan algunos ejemplos de probetas utilizadas para los ensayos de tensión:

Ejemplo de probetas utilizadas durante el ensayo demostrativo en el laboratorio

Para polímeros: se utilizan las probetas Tipo 1, Tipo 4 o Tipo 5, con dimensiones de acuerdo con la tabla registrada en la respectiva norma.

D 638

Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)^A

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under			Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl.		4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	Type IV ^B		
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	6 (0.25)	$\pm 0.5 (\pm 0.02)^{B,C}$	
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	33 (1.30)	$\pm 0.5 (\pm 0.02)^{B,C}$	
W_0 —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	9.53 (0.375)	19 (0.75)	$+ 6.4 (+ 0.25)$	
W_0 —Width overall, max ^H	—	—	—	—	9.53 (0.375)	—	$+ 3.18 (+ 0.125)$	
L_0 —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	115 (4.5)	no max (no max)	
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	7.62 (0.300)	7.62 (0.300)	7.62 (0.300)	$\pm 0.25 (\pm 0.010)^{B,C}$	
G —Gage length ^J	—	—	—	25 (1.00)	—	25 (1.00)	$\pm 0.13 (\pm 0.005)$	
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	65 (2.5)	$\pm 5 (\pm 0.2)$	
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	14 (0.56)	$\pm 1 (\pm 0.04)^{B,C}$	
RO —Outer radius (Type IV)	—	—	—	25 (1.00)	—	25 (1.00)	$\pm 1 (\pm 0.04)$	

PLÁSTICOS RÍGIDOS Y SEMIRRÍGIDOS:

- Tipo I se utilizará cuando hay suficiente material disponible con un espesor de 7 mm o menos.
- Tipo II puede usarse cuando un el material no se rompe en la sección estrecha.
- Tipo V se utilizará cuando hay disponible material limitado con un espesor de 4 mm o menos, o cuando una gran cantidad de las muestras deben exponerse en un espacio limitado (térmico y pruebas de estabilidad ambiental, etc.).
- IV debe usarse cuando se requieren comparaciones entre materiales en no rígidos y semi rígido.
- Tipo III debe usarse para todos materiales con un espesor de más de 7 mm pero no mas de 14 mm.

PLÁSTICOS NO RÍGIDOS:

- Tipo IV para probar plásticos no rígidos con un espesor de 4 mm o menos.
- Tipo III debe usarse para todos materiales con un espesor mayor de 7 mm pero sin operaciones de mecanizado, o troquelado, a partir de materiales en forma de lámina, placa, o similar.

Para metales:

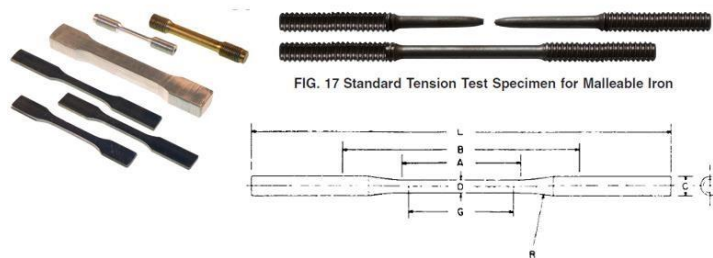


FIG. 17 Standard Tension Test Specimen for Malleable Iron

Dimensions, mm [in.]		
G —Gauge length		50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D —Diameter (see Note)		6.4 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
R —Radius of fillet, min		75 [3]
A —Length of reduced section, min		60 [2.25]
L —Overall length, min		230 [9]
B —Distance between grips, min		115 [4.5]
C —Diameter of end section, approximate		10 [0.375]

Este ensayo también permite determinar las siguientes propiedades:

- Resistencia a la tensión
- Rigidez (Módulo de elasticidad E)
- Ductilidad
- Fragilidad
- Elasticidad
- Plasticidad
- Resiliencia
- Tenacidad

Descripción de equipos a utilizar:

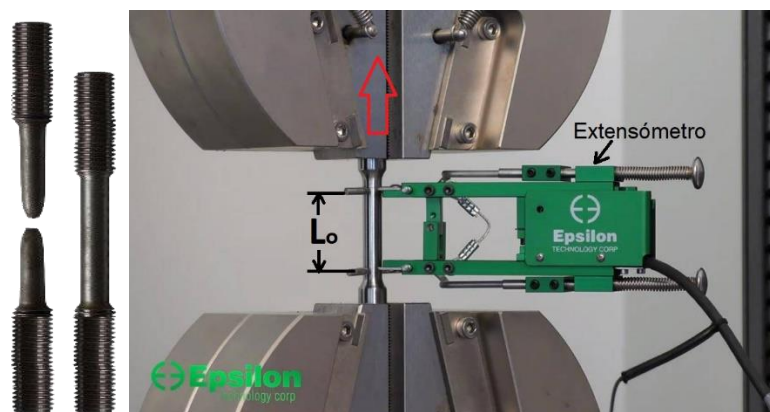
La práctica para polímeros se lleva a cabo utilizando una máquina universal de ensayos INSTRON, equipada con una celda de carga de 10 kN específica para polímeros y un extensómetro calibrado a 50 mm (Lo), 25 mm o 10 mm. Se pueden encontrar más detalles sobre los equipos INSTRON en el siguiente enlace: <https://www.instron.com/en/resources/test-types/tensile-test>

En la siguiente imagen se muestran los elementos utilizados:



El procedimiento de ésta práctica se hace conforme a especificaciones internacionales ASTM. (https://www.astm.org/america_sp/index.html).

La práctica para materiales metálicos, fibra de vidrio, o carbono, se realizan en una máquina universal de ensayos UTS del laboratorio de materiales de la UAO, de capacidad de hasta 20 toneladas de fuerza para carga axial aplicada a tensión o compresión, y un extensómetro Epsilon de longitud calibrada de 50 mm o 25 mm :



Para probar materiales como aceros, aleaciones, materiales compuestos de fibra de vidrio, carbono y cerámicos, se requiere el uso de máquinas más robustas, especialmente adaptadas para este propósito en los laboratorios de la UAO. Las probetas utilizadas son muestras normalizadas según las normas ASTM, con un acabado fino, pulidas y lisas, cuyos extremos se sujetan mediante mordazas a la máquina. Dependiendo del tipo de sujeción requerida, se utilizan extremos lisos, con ranuras o probetas planas. Estas muestras pueden ser mecanizadas, cortadas o moldeadas, asegurando que la carga se distribuya uniformemente a lo largo de su eje en la sección transversal. La aplicación de la carga es automática y controlada por una computadora. Los dispositivos de sujeción de las mordazas están diseñados con apoyo esférico o provistos de plaquitas para garantizar una alineación precisa de la probeta. Esto elimina curvaturas no deseadas y asegura que la muestra esté sujeta solo a cargas axiales, logrando así una distribución uniforme de los esfuerzos normales en cualquier sección transversal. La medición de las

deformaciones longitudinales se realiza con un extensómetro acoplado a la parte central de la probeta, tal como se muestra en la imagen adjunta. Dado que las deformaciones longitudinales son pequeñas, el extensómetro debe transferir la información a través de medios mecánicos, eléctricos, ópticos u otros para obtener una lectura precisa.

INDICACIONES PARA PREPARAR EL INFORME

Cada estudiante debe entregar su respectivo informe en un único archivo .pdf, subido a la plataforma, el informe es individual.

El informe debe contener lo siguiente:

- 1 PORTADA: Incluye el título, nombre del ensayo, nombre y código, profesor, Universidad, Facultad, Programa Académico, Asignatura, ciudad y fecha de entrega.
- 2 TABLA DE CONTENIDO: Enumera todos los elementos del documento.
- 3 RESUMEN: Se presenta de manera concisa el ensayo, destacando su relevancia, resumiendo las aplicaciones adicionales investigadas, los materiales utilizados durante la práctica y algunos resultados significativos, como el más rígido, el más resistente y el tipo de falla observada, entre otros, con un máximo de 500 palabras.
- 4 ABSTRACT: Summary in English.
- 5 INTRODUCCIÓN: Explicación general del ensayo y las normas utilizadas, resaltando las condiciones del ensayo como velocidad, tipo de pruebas, materiales, máquinas utilizadas y uso de materiales.
- 6 MATERIALES Y MÉTODOS: Descripción detallada de los materiales y métodos empleados.
 - a. Se incluye plano de las probetas según las normas ASTM utilizadas, con dimensiones iniciales y cálculo de las dimensiones de las probetas ensayadas a partir de fotografías, junto con información completa de las condiciones del ensayo según la normativa ASTM correspondiente.
 - b. Realización y análisis de todas las gráficas de esfuerzo versus deformación (σ - ϵ) de los materiales ensayados a tensión suministrados por el profesor en la plataforma virtual, tanto de manera individual como una gráfica comparativa que los englobe a todos.
 - c. Tabla comparativa con el cálculo de las propiedades de los materiales ensayados, que incluye: resistencia máxima a la tensión, límite elástico, esfuerzo de fractura, módulo de elasticidad, elongación porcentual, tenacidad y resiliencia.
 - d. Proporcionar una explicación de cada propiedad, con ejemplos de aplicaciones en la resolución y aplicaciones a problemas de ingeniería.
 - e. Incluir todas las propiedades calculadas de los materiales experimentales en un archivo del GrantaEDUPACK NIVEL 2 y crear un gráfico comparativo con los demás materiales de la base de datos. Esto implica realizar gráficas comparativas de límite elástico versus módulo de elasticidad, resistencia máxima versus elongación porcentual, resiliencia versus densidad, tenacidad versus rigidez y resistencia específica versus límite elástico.
 - f. Analizar el tipo de fractura de cada material utilizando fotografías. Se llega a una conclusión sobre si cada material puede clasificarse como dúctil o frágil.
 - g. CONCLUSIONES (mínimo tres)

7 REFERENCIAS

Referencias:

- ASTM E8 / E8M - 16a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- ASTM D638 - 14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- Groover Mikell P. "Fundamentos de Manufactura Moderna"
- Michael F. Ashby, Materials: Engineering, Science, Processing and Design.