ENSAYO DE TRACCIÓN EN METALES DÚCTILES Y POLÍMEROS

PAPIME-PE102421
Generación de recursos didácticos que contribuyan a la mejora en la realización de prácticas en formato no presencial y mixto del área de Ciencia e Ingeniería de Materiales

1. Objetivos

- Conocer como se hace un ensayo de tracción.
- Conocer el comportamiento de metales dúctiles y polímeros bajo esfuerzos uniaxiales.
- Encontrar propiedades de la probeta obtenidas del ensayo de tracción.
- Comparar las propiedades de los materiales ensayados.

2. Introducción

- El ensayo de tracción es el ensayo más común para estudiar las relaciones esfuerzo-deformación en ingeniería. Es más usado para metales.
- La prueba consiste en aplicar fuerzas en dirección axial a una probeta hasta su fractura.
- En la figura 1 se muestra cómo se aplican las fuerzas en dirección axial a una probeta.

Figura 1. Ensayo de tracción. Se aplican fuerzas axiales a una probeta cilíndrica.

El comportamiento mecánico de materiales metálicos se describe principalmente por sus características de deformación y fractura bajo esfuerzos de tracción, compresión o multiaxiales. La determinación del comportamiento mecánico es influenciada por variables del material, tipo de ensayo y la naturaleza de la carga aplicada. El ensayo de tracción proporciona el comportamiento bajo carga uniaxial en tracción. (Groover, 2007)

El ensayo de tracción es muy usado para proveer información básica de diseño acerca de la resistencia de materiales. También es usado para determinar si un material es adecuado para el uso que se le planea dar. (Baley, 2000)

2.1 Propiedades obtenidas

El ensayo de tracción es muy importante en la ciencia de materiales porque proporcionan la relación esfuerzo-deformación de los materiales ensayados. También nos entrega propiedades mecánicas relacionadas al rango plástico como: esfuerzo de cedencia, esfuerzo máximo y esfuerzo de fractura. Se hablará de estas propiedades más adelante.

El esfuerzo es la medida de lo que el material experimenta ante fuerzas externas. Es la resistencia interna de un cuerpo cuando se le aplica una fuerza externa. Es el resultado de las fuerzas externas aplicadas entre el área de sección transversal.

La deformación es el cambio de forma y de área de sección transversal, producto de una fuerza. Es una referencia, por lo que es adimensional.

Al conocer las propiedades de los materiales se puede hacer una selección adecuada, dependiendo de los requerimientos solicitados. También sirve para ver si el material funciona de acuerdo con la norma o, en caso de que el material haya fallado, hacer una investigación en la que se vea si fallo por haber elegido el material equivocado o que no cumplió con las normas. (*Ensayo de Tracción ¿Cuál Es Su Aplicación? Infinitia Research*, n.d.)

El ensayo se hace para saber si el material tiene la capacidad de soportar cargas sin falla, ya sea deformarse plásticamente o fracturarse. Durante las etapas de desarrollo de producto, el ensayo de tracción es crucial para para elegir el material apropiado.

Los datos obtenidos en el ensayo de tracción son importantes para la selección de diseño y materiales, compra y venta de productos, desarrollo de nuevos productos, control de calidad y seguridad de equipo.

En la industria de metales y en los laboratorios, cuando se crea una nueva aleación se hacen ensayos de tracción para validar sus propiedades mecánicas en el rango plástico. También permite determinar la resistencia para productos como cables, vigas y otros productos metálicos usados en la industria. Se usan los ensayos de tracción para comparar el comportamiento teórico con el real de los materiales. Se usa para determinar si el material es dúctil o frágil. Los materiales ensayados en laboratorios y estudiados para artículos científicos son materiales poco comunes, así que se deben ensayar para poder conocer sus propiedades relevantes para el artículo.

Al hacer un ensayo de tracción se obtiene una curva esfuerzo-deformación. Las propiedades plásticas se pueden obtener de estos diagramas. De estas propiedades se hablará a continuación. (Baley, 2000)

Las propiedades más comunes que se determinan por ensayo de tracción es el límite de cedencia y el esfuerzo máximo. (Baley, 2000)

El límite de cedencia, también llamado esfuerzo de cedencia es el esfuerzo a partir de donde el material se deforma plásticamente. (Baley, 2000)

El esfuerzo máximo es el punto máximo de la curva. Es donde inicia la formación del cuello. Se calcula a partir de la fuerza máxima en un ensayo de tracción. (Baley, 2000)

Las curvas también nos permiten calcular la resiliencia y tenacidad del material.

La resiliencia es la energía por unidad de volumen que se puede almacenar de forma elástica. Se obtiene mediante el área bajo la curva en la zona elástica. La ecuación 1 muestra la integral usada para calcular la resiliencia.

$$U = \int_0^{\varepsilon y} \sigma(\varepsilon) \mathrm{d}\varepsilon \tag{1}$$

La tenacidad es la energía que puede absorber la probeta hasta su fractura. Es el área bajo la curva en la sección plástica. La ecuación 2 se usa para obtener la tenacidad.

$$T = \int_0^{\varepsilon r} \sigma(\varepsilon) \mathrm{d}\varepsilon \tag{2}$$

La deformación es el aumento de longitud de la probeta dividida entre la longitud original. Se expresa como un porcentaje de la longitud original. (Baley, 2000). La ecuación indica la deformación.

$$deforamción = \frac{longitud\ final - longitud\ inicial}{longitud\ inicial} \tag{3}$$

La reducción de área es el cambio de área de sección transversal de la probeta. Se indica en la ecuación 4.

$$reduccion\ de\ area = \frac{area\ inicial - area\ final}{area\ inicial} \tag{4}$$

2.2 Norma ASTM E8

La geometría de la probeta muchas veces es influenciada por la forma del producto. Por ejemplo, probetas rectangulares se obtienen de láminas. Probetas tomadas de chapas gruesas pueden ser planas o circulares. La mayoría de las especificaciones de ensayos de tracción presentan un conjunto de dimensiones, para cada tipo de sección transversal estándar, así como conjuntos adicionales de dimensiones para piezas de ensayo alternativas. En general, las dimensiones estandarizadas de ASTM, ISO, DIN y JIS son similares.

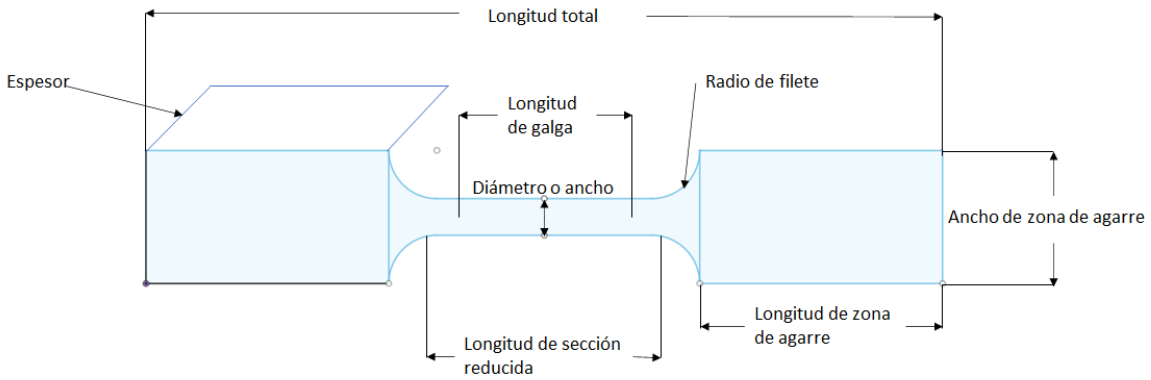

Figura 2. Nomenclatura de probeta. Para las probetas cilíndricas el espesor es el diámetro.

Para materiales metálicos, uno de los estándares más usados es la ASTM E8. A continuación se presentan dos tablas con las medidas normalizadas según la norma ASTM E8. La tabla 1 presenta las medidas de probetas planas y la tabla dos es para probetas cilíndricas.

	Tipo chapa de 40 mm	Tipo lámina de 12.5 mm	Espécimen reducido de 6 mm
G, longitud de galga	200.00 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W, ancho	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T, espesor	5	19	6
R, radio del filete	25	12.5	6
L, longitud total	450	200	100
A, longitud de sección reducida	225	57	32
B, longitud de la zona de agarre	75	50	30
C, ancho de zona de agarre	50	20	10

Tabla 1. Norma ASTM E8 para probetas planas. Se tienen de tres tipos: probetas provenientes de chapas, de láminas y un tipo de chapa de tamaño reducido.

	Espécimen estándar, mm		Espécimen reducido, mm		
	12.5	9	6	4	2.5
G, longitud de galga	50.0 ± 0.1	36.0 ± 0.1	24.0 ± 0.1	16 ± 0.1	10.0 ± 0.1
D, diámetro	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4 ± 0.1	2.5 ± 0.1
R, radio de filete	10	8	6	4	2
A, longitud de sección reducida	56	45	30	20	16

Tabla 2. Norma ASTM E8 para probetas cilíndricas

La norma también especifica métodos de agarre para la probeta. Para las probetas redondas se usa una zona de agarre roscada y otras sin rosca. Para las probetas planas esta con pasador o sin pasador.

Para las redondas, está el agarre roscado, mordazas dentadas y de cuello partido. Para las planas, el agarre es de cuñas dentadas o de pasador.

Cada sistema tiene ventajas e inconvenientes; por ejemplo, las probetas diseñadas para las mordazas dentadas son fáciles y baratos de fabricar, pero la alineación de la probeta depende de la habilidad del técnico.

Por otro lado, un agarre con pasador asegura una buena alineación. Los hombros y las empuñaduras roscadas también garantizan una buena alineación, pero el técnico debe saber enroscar cada hombro en la empuñadura al menos en la longitud de un diámetro, ya que, de lo contrario, las roscas pueden desprenderse antes de que la muestra se fracture.

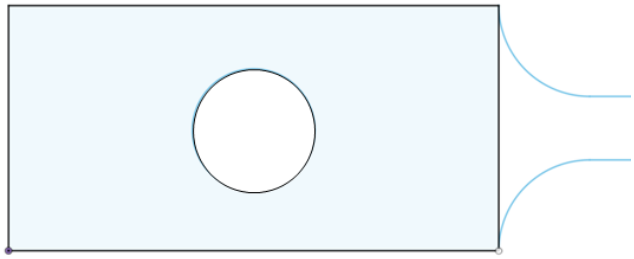

Figura 3. Probeta con agarre de pasador

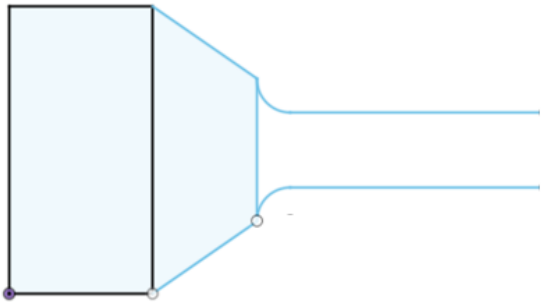

Figura 4. Probeta con hombro

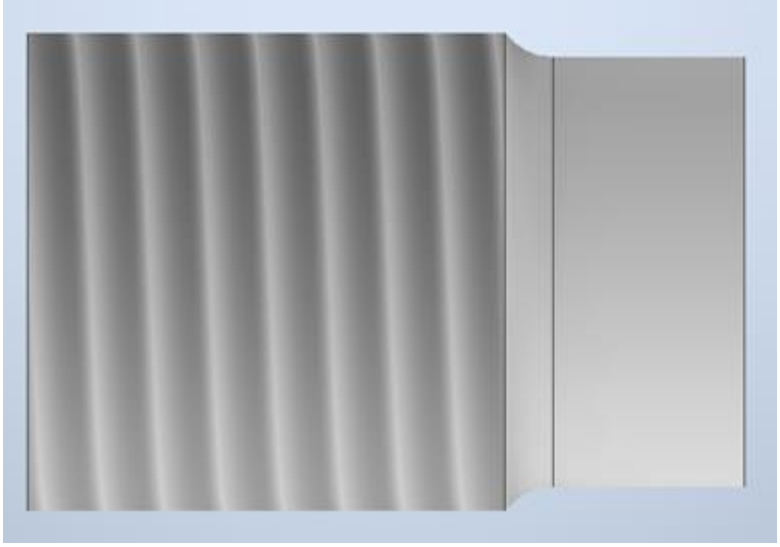

Figura 5. Probeta con rosca

Numero de probeta	Longitud de probeta	Ancho	Espesor	Radio del filete	Longitud total	Longitud de zona de agarre	Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo máximo
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

Tabla 3. Resultados

Esfuerzo de ruptura	Tenacidad calculada	Resiliencia calculada

Tabla 4. Resultados

Esfuerzo y deformación real y esfuerzo y deformación ingenieril

La curva esfuerzo deformación ingenieril no da una medida real de las características de la deformación debido a que considera las medidas originales de la probeta y las dimensiones cambian constantemente durante la prueba.

Además, en procesos como el trefilado, la pieza experimenta una reducción de área significativa y requiere una medida de esfuerzos y deformaciones basadas en las medidas instantáneas.

El esfuerzo verdadero es la carga en cualquier instante dividida entre el área de sección transversal en el momento que actúa la fuerza.

El esfuerzo ingenieril es la carga dividida entre el área de sección transversal original.

La deformación real es el cambio instantáneo de longitud en la probeta durante el ensayo de tracción.

La deformación ingenieril es el cambio de longitud de la probeta considerando su longitud inicial. (Dieter, 1988)

En las ecuaciones 5 – 8 se mostrará como obtener dichos valores.

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{5}$$

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{6}$$

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{7}$$

$$\varepsilon = ln\frac{L}{L_0} \tag{8}$$

Las deformaciones verdaderas e ingenieriles son iguales cuando las deformaciones son muy pequeñas, como en el rango elástico. Pero cuando hay deformación plástica la probeta tiene cambios significativos de longitud.

La tabla 5 muestra algunos ejemplos de las equivalencias entre deformaciones reales e ingenieriles.

Deformación real ε	0.01	0.10	0.20	0.50	1.0	4.0
Deformación ingenieril e	0.01	0.105	0.22	0.65	1.72	53.6

Tabla 5. Valores de deformaciones reales e ingenieriles. Solo son iguales en el rango elástico, es decir, antes de 0.02 de deformación. Se hablará de esto más adelante.

La relación entre la deformación real e ingenieril se muestra en la ecuación 9.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1$$

$$e + 1 = \frac{L}{L_0}$$

$$\varepsilon = ln\frac{L}{L_0} = \ln\,(e + 1)$$

(9)

Se dará un ejemplo del porque es conveniente usar la deformación real: considere un cilindro uniforme que se deforma al doble de su longitud original. La deformación ingenieril es de $e = \frac{2L_0 - L_0}{L_0} = 1.0$. Para llegar a esta deformación en compresión, el cilindro debería comprimirse hasta un espesor de 0. Pero sabemos intuitivamente que para una compresión a la mitad de su longitud original tendríamos la misma deformación que si se estirara al doble de su longitud original.

Si se usa deformación verdadera, la equivalencia se obtiene en los dos casos. Para el doble de su longitud es $\varepsilon = \ln\left(\frac{2L_0}{L_0}\right) = \ln 2$ y para la compresión $\varepsilon = \ln[(\frac{L_0}{2})/L_0] = \ln\frac{1}{2} = -\ln 2$.

La figura 6 muestra una comparación entre la curva esfuerzo-deformación real e ingenieril.

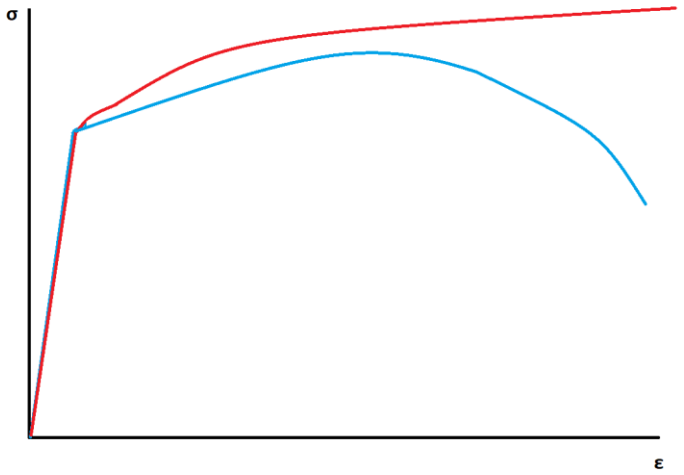

Figura 6. Curvas esfuerzo-deformación real e ingenieril. La curva ingenieril es la que se obtiene de la máquina que hace el ensayo de tracción. La curva azul es la curva ingenieril y la roja es la real

La estricción es una manera de ver la ductilidad en el ensayo del material. También es la responsable del descenso en la curva esfuerzo-deformación. La estricción es la reducción proporcional de la sección transversal en la zona donde se fractura la probeta. El área de estricción se define como la diferencia entre la sección transversal final e inicial dividida entre la sección inicial, todo multiplicado por 100. En la figura 7 se ve la reducción de área de la probeta, lo que indica la estricción. Ahí se encuentra la elongación localizada, lo que significa que inicio la formación del cuello.

Figura 7. Estricción. La probeta durante el ensayo reduce su área de sección transversal, lo que produce la caída en la curva. La estricción se encuentra en el círculo rojo.

Como se mencionó, la estricción está relacionada con el inicio del cuello. El punto de la curva que indica la formación del cuello es el UTS (Ultimate Tensile Strenght). El UTS es el esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de fracturarse. Es el punto más alto de la curva. Esto significa que en el UTS empieza la estricción.

Hay una propiedad de la que no se ha hablado y esa es el límite de proporcionalidad. Ya se ha mencionado que el límite de cedencia es el punto de la curva esfuerzo-deformación en la que el material se deforma plásticamente. Se mencionó que este punto se encuentra en la parte de la curva que deja de comportarse linealmente, pero hay curvas en las que

esta distinción no se puede hacer tan fácil. Aquí es donde se aplica el límite de proporcionalidad.

El límite de proporcionalidad es el punto de la curva donde ocurre la transición entre región elástica y plástica. Es decir, determina el mayor esfuerzo que es proporcional a la deformación.

El límite de proporcionalidad puede ocurrir en el mismo punto que el límite de cedencia. Dependiendo del comportamiento del material en el punto de cedencia, se puede considerar el límite de proporcionalidad como el punto de cedencia. Para algunos metales, por norma de la ASTM, se tiene un estándar que indica que la cedencia ocurre al 0.2% de deformación.

Secuencia para llevar a cabo el ensayo de tracción

1. Tomar las medidas de la probeta.
2. Colocar las mordazas en la máquina de ensayo. El tipo de probeta a ensayar determina qué tipo de mordaza se va a usar.
3. Asegurar la probeta con las mordazas. Centrar bien la probeta.
4. Iniciar el ensayo de tracción.
5. Cuando ocurra la falla, retirar la probeta y medir la longitud y diámetro.
6. Analizar el tipo de fractura, si es dúctil o frágil.

3. Material y equipo

- Probetas de acero 1018 y polímero (por determinar)
- Calibrador vernier
- Mordazas para cada tipo de probeta
- Máquina de ensayo de tracción

4. Desarrollo

1. Tomar las medidas de la probeta.
2. Colocar las mordazas en la máquina de ensayo. El tipo de probeta a ensayar determina qué tipo de mordaza se va a usar.
3. Asegurar la probeta con las mordazas. Centrar bien la probeta.
4. Iniciar el ensayo de tracción.
5. Cuando ocurra la falla, retirar la probeta y medir la longitud y diámetro.
6. Analizar el tipo de fractura, si es dúctil o frágil.
7. Anotar las propiedades obtenidas y que se solicitan en la tabla 3 y 4.
8. Calcular la resiliencia y tenacidad de cada curva.

5. Resultados

Después de ensayar las probetas, registrar los resultados en las siguientes tablas.

Esfuerzo de ruptura	Tenacidad calculada	Resiliencia calculada

6. Análisis de resultados

- Comparar las fracturas y analizar que material es dúctil y que material es frágil.
- Cual fue el alargamiento en cada probeta
- Comparar curvas. ¿Sin calcular la tenacidad, se puede saber cuál material es más tenaz?
- ¿Puede ver cual material es más elástico? Hay que recordar que el ensayo de tracción no se usa para esto.

7. Conclusiones

- Hablar de como estas propiedades afectan a los materiales.
- Que usos se le puede dar a estos materiales basados en sus propiedades.
- ¿Qué probetas se usaron, según la norma?
- ¿Por qué se usaron probetas con esas medidas

8. Referencias

Baley, J. A. , B. J. et al. (2000). *Mechanical testing and evaluation* (Vol. 8). ASM .

Dieter, G. E., B. D. (1988). *Mechanical Metallurgy* (SI Metric Edition, Vol. 1). McGraw-Hill.

Ensayo de Tracción ¿Cuál es su aplicación? Infinitia Research. (n.d.). Retrieved September 15, 2021, from https://www.infinitiaresearch.com/noticias/ensayo-de-traccion-y-su-aplicacion-en-materiales/

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (Tercera edición). McGraw-Hill Interamericana.