

MATERIALES: ENSAYOS Y MEDIDAS DE PROPIEDADES.

por Aurelio Gallardo

6 de octubre de 2023



Materiales: Ensayos Y Medidas De Propiedades By Aurelio Gallardo Rodríguez, 31667329D Is Licensed Under A Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.

Índice General

1. INTRODUCCIÓN	2
2. TIPOS DE ENSAYOS	2
3. ENSAYO DE TRACCIÓN	2
3.1. ESTUDIO DEL DIAGRAMA	4
3.2. FORMAS Y DIMENSIONES DE LA PROBETA	4
3.3. RESULTADOS DEL ENSAYO	7
3.3.1. FLUENCIA	7
3.3.2. CURVA DE TRACCIÓN VERDADERA	7
3.3.3. TENSIÓN MÁXIMA DE TRABAJO	10
3.3.4. MÁQUINAS DE TRACCIÓN	10
4. ENSAYOS DE DUREZA	11
4.1. ENSAYOS DE DUREZA AL RAYADO	11
4.2. ENSAYOS DE DUREZA A LA PENETRACIÓN	11
4.2.1. ENSAYO BRINELL	11
4.2.2. ENSAYO VICKERS	13
4.2.3. ENSAYO ROCKWELL	15
A. APÉNDICE 1	15



FIGURA 1: ESQUEMAS TIPOS DE ENSAYO SEGÚN RIGUROSIDAD Y NATURALEZA

1. Introducción

El diseño de los elementos que forman parte de estructuras y máquinas deben cumplir con una serie de requisitos; no sólo económicos, sino también cumpliendo especificaciones de seguridad. Para cumplirlas, cobra importancia el estudio de las propiedades de los materiales, las cuales se obtienen a través de diversos ensayos normalizados.

El organismo de normalización español es **AENOR**, y las normas que publica son las especificaciones UNE (Una Norma Española).

2. Tipos de Ensayos

Los ensayos son los procedimientos de medida de las propiedades de los materiales, simulando las condiciones de trabajo o uso a las que estarán expuestos los mismos. Hay una gran diversidad de ensayos, que pueden clasificarse según diversos criterios:

3. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es considerado como uno de los más importantes a la hora de determinar las propiedades mecánicas de cualquier material. Sirve para comparar distintos materiales y si una pieza de determinado material podrá soportar determinadas condiciones de carga.

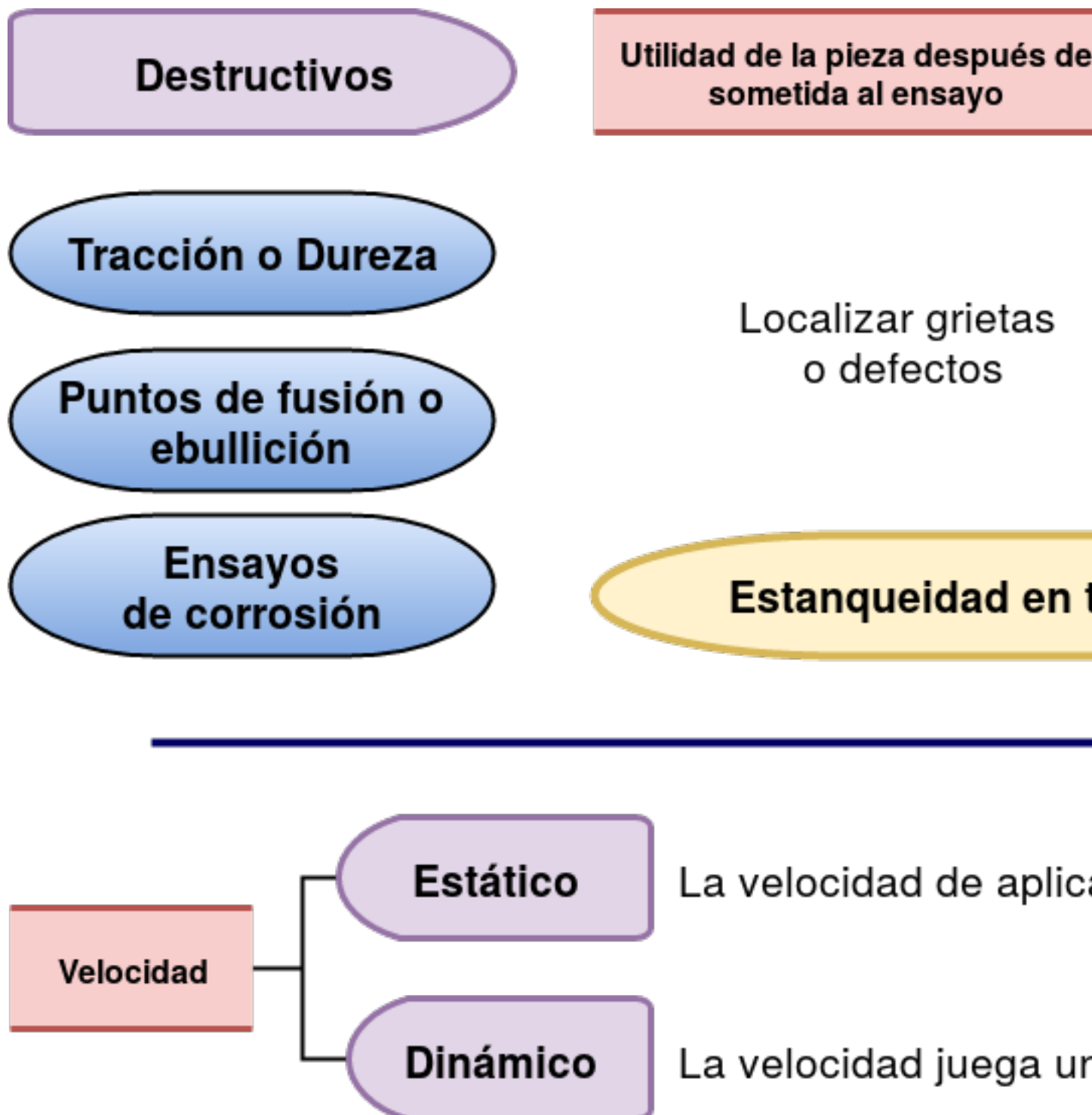


FIGURA 2: ESQUEMA SEGÚN UTILIDAD DE LA PIEZA TRAS EL ENSAYO Y SOBRE VELOCIDAD DEL MISMO

Consiste en someter a una pieza (**probeta**), cilíndrica o prismática, a fuerzas de tracción, de forma lenta y progresiva. Se miden en el ensayo los alargamientos (ΔL) en función de la Fuerza **F** aplicada, y se hace una representación de los mismos hasta la rotura de la probeta. Aunque, para evitar que las dimensiones de la probeta influyan en las mediciones se suele representar con diagramas de tensión-deformación.

La tensión es la fuerza por unidad de superficie aplicada, siendo la superficie la sección transversal S_0 de la probeta:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \text{ y se mide en } N/m^2 = Pa \text{ (Pascuales)}$$

La deformación se calcula de forma relativa, en función de la longitud inicial L_0

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}, \text{ siendo la deformación } \varepsilon \text{ una magnitud adimensional.}$$

También puede expresarse en forma de tanto por ciento $\varepsilon(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100$

3.1. Estudio del diagrama

En la zona plástica, si elijo un punto cualquiera, A, y cesa el ensayo, disminuye el alargamiento provocado, pero **no recupera la probeta la longitud inicial**. En general ocurre que:

- ✓ Recupera algo de la deformación (deformación elástica), el alargamiento ε_θ
- ✓ Conserva una deformación remanente o plástica, ε_p

3.2. Formas y dimensiones de la probeta

Las probetas pueden ser de dos tipos: o cilíndricas o de sección rectangular. La parte central de la probeta debe mecanizarse de tal forma que esta sección sea constante.

Si la probeta es **cilíndrica**:

1. Sobre la parte de sección constante, o calibrada, se marca una longitud L_0 , o longitud inicial.
2. La longitud calibrada debe ser superior. Si ϕ es el diámetro de la probeta, la longitud de la parte calibrada debe estar en el intervalo $[L_0 + \phi/2, L_0 + 2\phi]$

Si la probeta es de **sección rectangular** S_0 :

1. Al igual que antes se marca una longitud L_0 , o longitud inicial.
2. La longitud calibrada debe estar en el intervalo $[L_0 + 1,5 \cdot \sqrt{S_0}, L_0 + 2,5 \cdot \sqrt{S_0}]$

Las probetas acaban en zonas de mayor sección (llamadas **cabezas**) para que las mordazas de la máquina de tracción sujeten mejor la probeta. Para que los ensayos con probetas de distintas longitudes sean comparables deben cumplir la relación:

$$K = \frac{L_{01}}{\sqrt{S_{01}}} = \frac{L_{02}}{\sqrt{S_{02}}} \text{ siendo K una constante.}$$

Diagrama tensión -

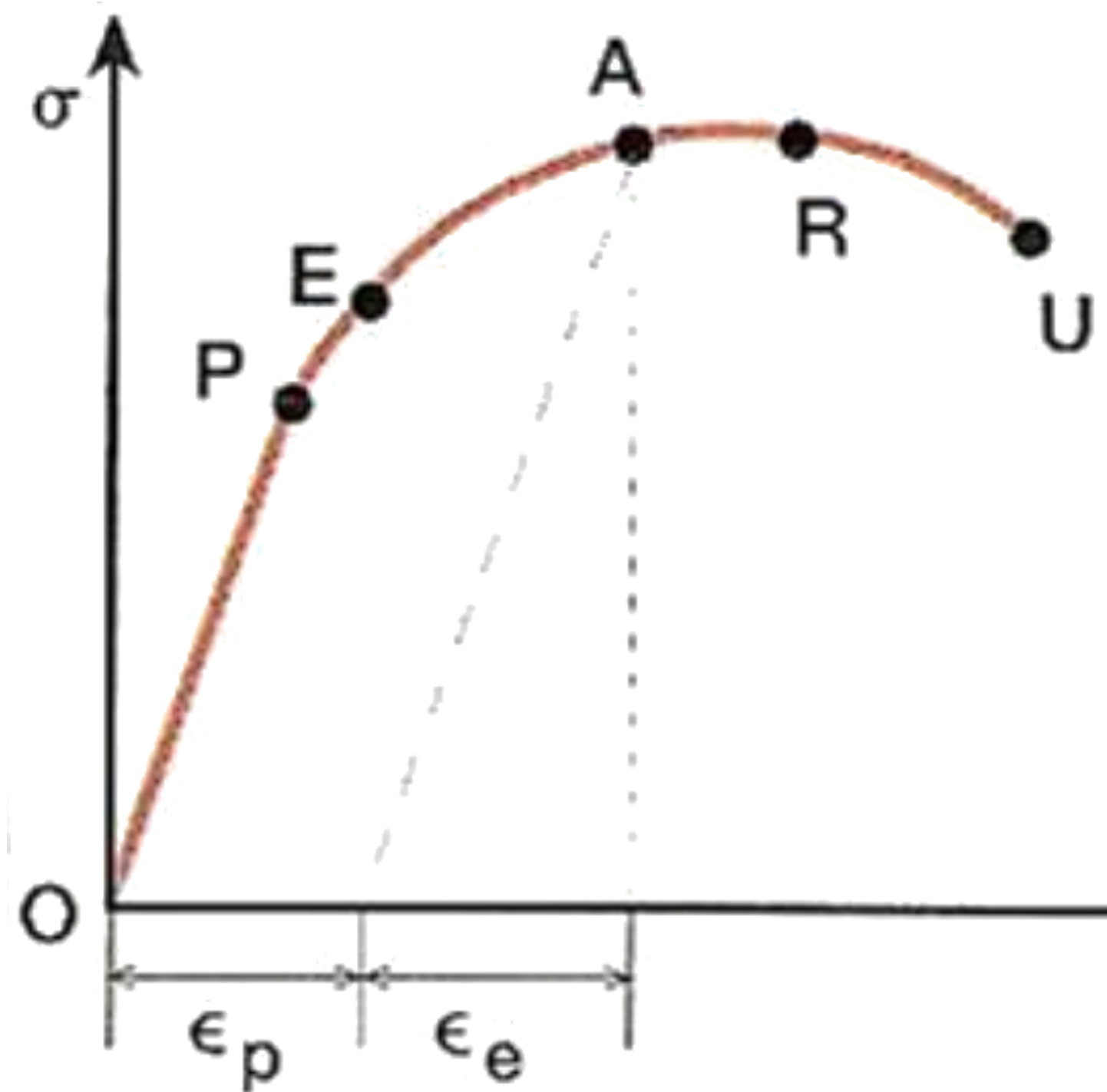


FIGURA 3: DIAGRAMA TENSIÓN DEFORMACIÓN Y ESQUEMAS DE TRACCIÓN Y FUERZAS.

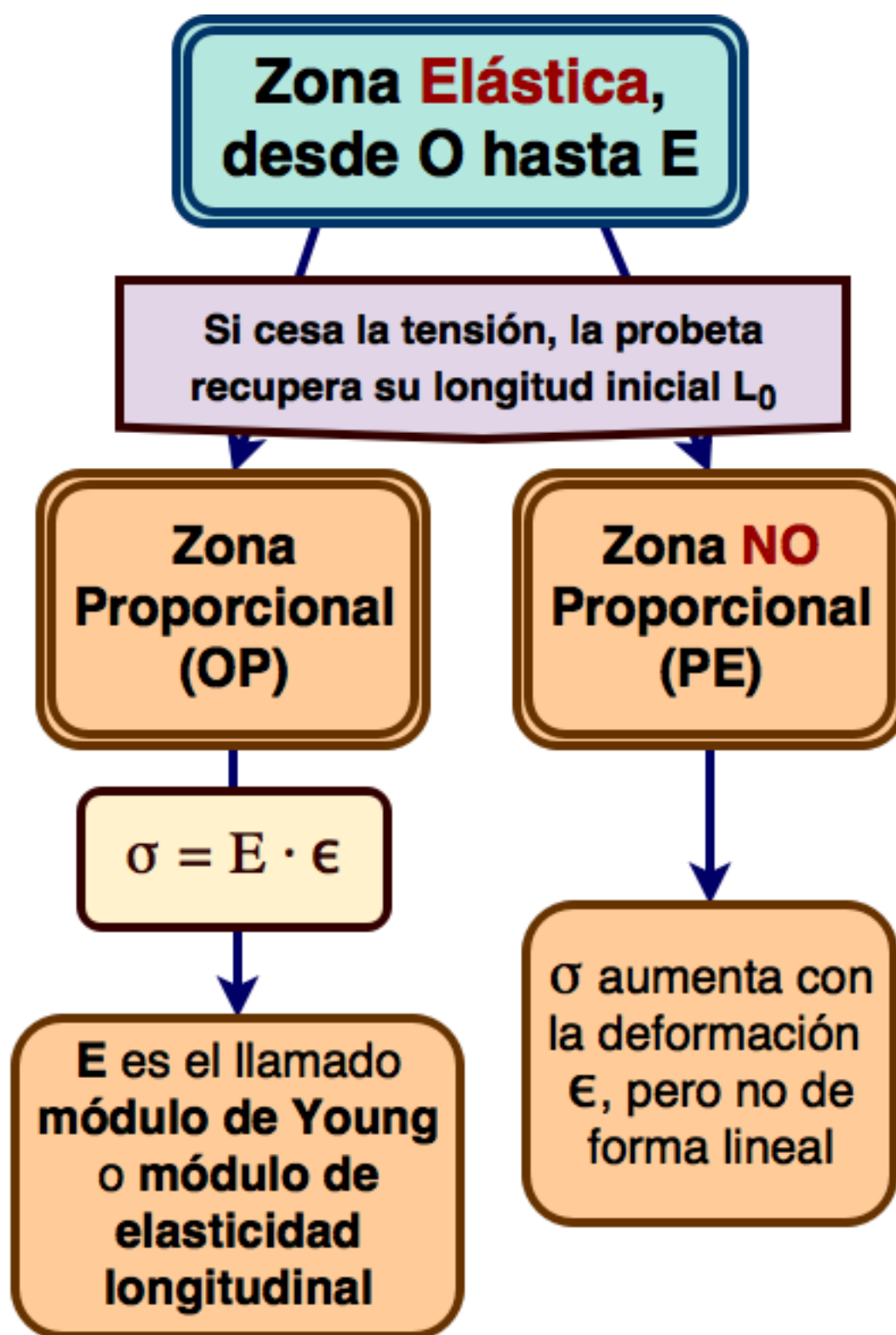


FIGURA 4: ZONAS DEL DIAGRAMA TENSIÓN - DEFORMACIÓN

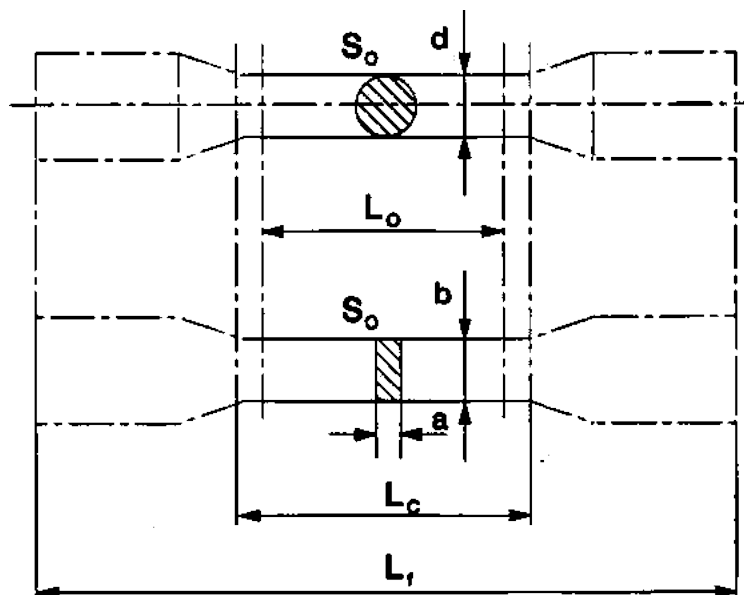


FIGURA 5: PROBETAS

3.3. Resultados del ensayo

También podemos hablar del **trabajo de deformación**, el área bajo la curva de fuerza-alargamiento $F - \Delta L$. Es el trabajo necesario para conseguir la rotura del material: $\int F \cdot dl$, o, también puede verse como la cantidad de energía que es capaz de absorber un material sin romperse, lo cual tiene interés en algunos ensayos relacionados con la industria automovilística.

3.3.1. Fluencia

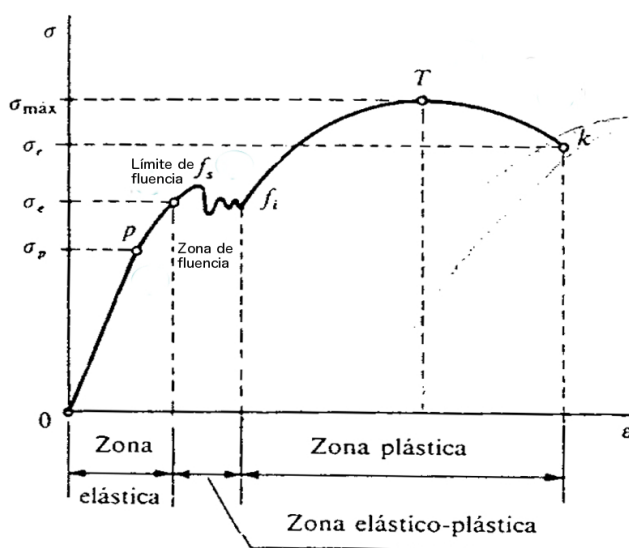


FIGURA 8: ZONA DE FLUENCIA: DE HANS TOPO1993

En algunos materiales metálicos, como el acero, al finalizar la zona elástica se produce una zona en la que se experimenta una deformación plástica considerable bajo una tensión fluctuante. Esta zona es la llamada zona de **fluencia** o **cedencia**, y los valores de las tensiones entre las que se produce se llaman tensiones límites de fluencia superior e inferior.

La fluencia es un fenómeno debido a la presencia, en el acero, de impurezas de nitrógeno.

3.3.2. Curva de tracción verdadera

Hasta ahora hemos considerado que la tensión que usamos en nuestro experimento viene dado por la relación $\sigma = \frac{F}{S_0}$ y que por tanto S_0 era constante, pero sabemos que no es así, que la superficie transversal, en general, va disminuyendo al aumentarse las deformaciones y alcanzar en la estricción antes de la rotura su mínima sección.

Zona elás

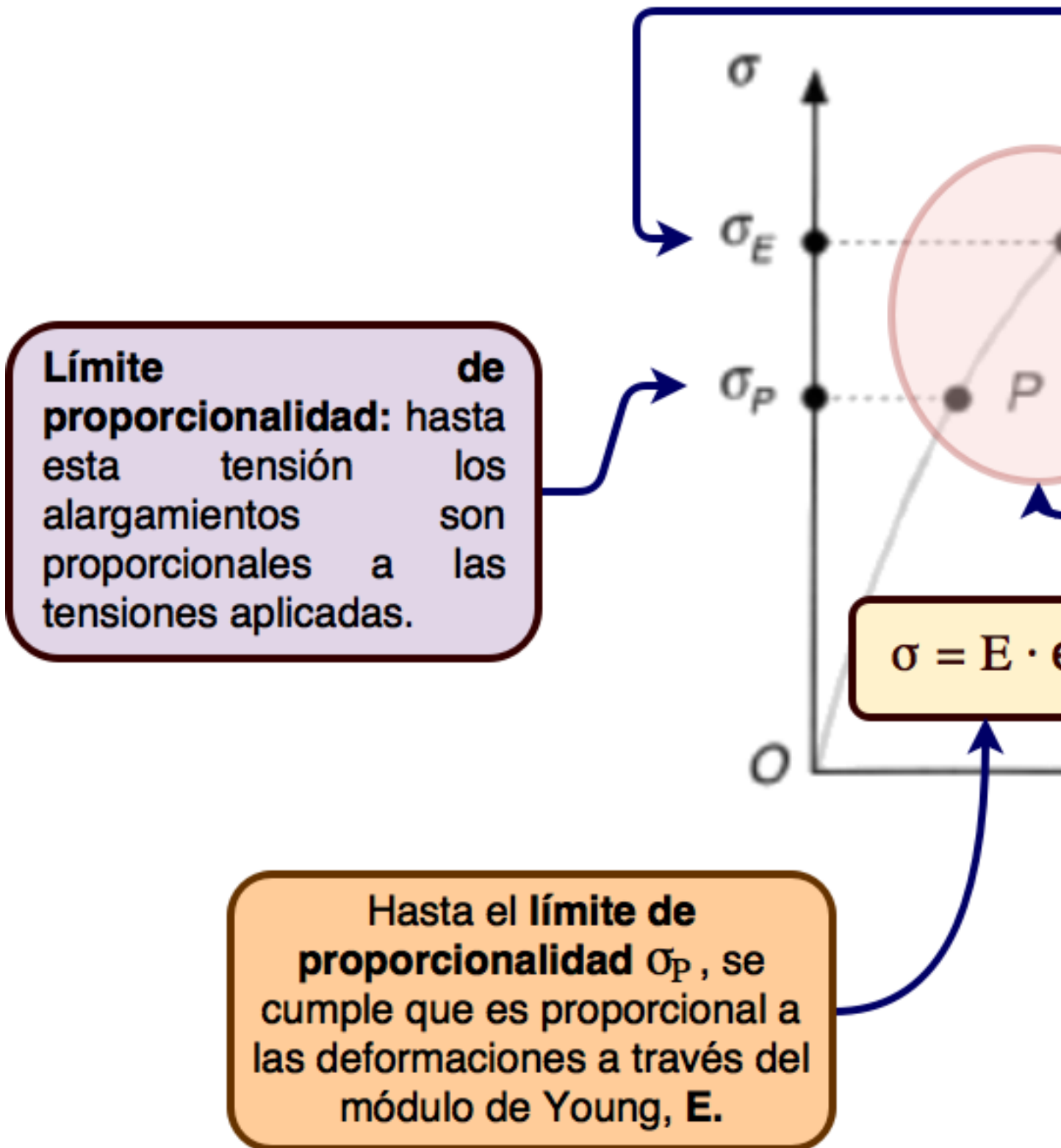
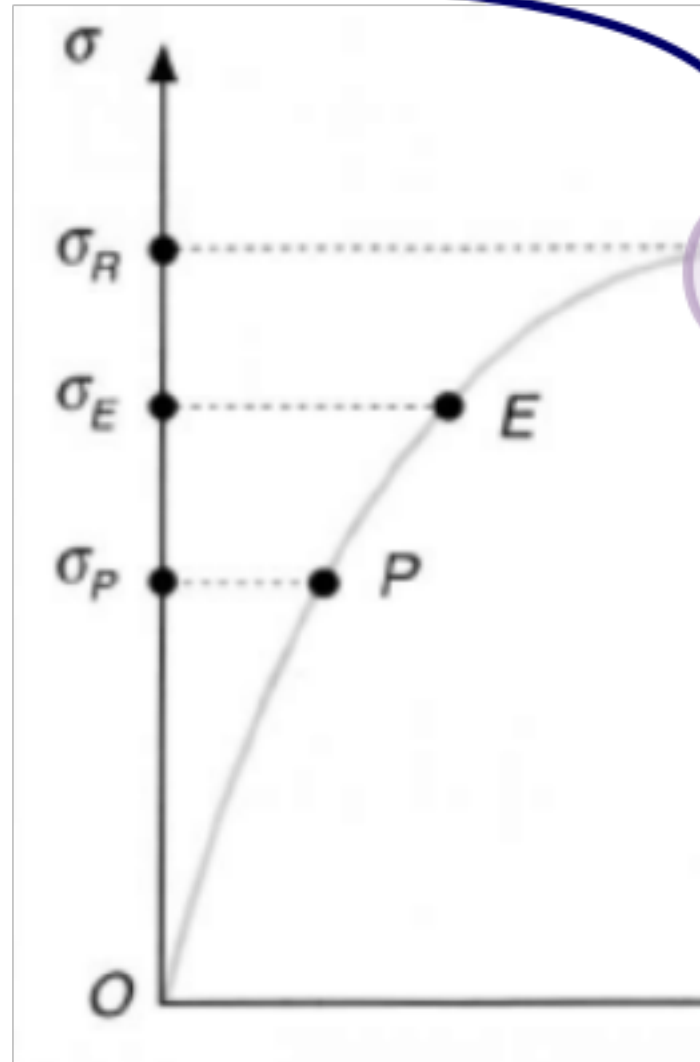


FIGURA 6: ESTUDIO DE LA ZONA ELÁSTICA.

Zona plástica

Resistencia a la tracción σ_R : Máxima tensión que resiste el material. **A partir de aquí se considera que el material está ROTO.**



Alargamiento de rotura. Se da en tantos por ciento y se calcula entre la mayor longitud alcanzada L_F y la longitud inicial L_0 . Se calcula acoplando las dos partes rotas tras el ensayo, **p longitud mayor alcanzada**. Esa longitud se da justo antes de romperse. Al producirse la rotura, ambas partes recuperan la longitud de deformación elástica provocada.

$$A(\%) = \frac{L_F - L_0}{L_0} \cdot 100$$

Por lo tanto, si conociésemos en todo momento la sección S verdadera, podríamos calcular la verdadera tensión aplicada: $\sigma_v = \frac{F}{S}$; por lo tanto, a la tensión σ se le llama **tensión aparente** y a σ_v **tensión verdadera**. La curva I, corresponde a la tensión aparente frente a las deformaciones y la II a la tensión verdadera.

Pero eso no es todo. También podemos corregir la deformación. En efecto, tomamos $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$, pero en realidad es una **deformación aparente**, ya que la longitud varía con el tiempo. Si tomamos la **deformación verdadera**, L , podríamos obtener que: $\varepsilon_v = \frac{L-L_0}{L} = \frac{\Delta L}{L}$.

Representamos dichas curvas con el número III ($\sigma - \varepsilon_v$) y IV ($\sigma_v - \varepsilon_v$). Esta última curva, se denomina **curva de tracción verdadera**, pero apenas se utiliza por la dificultad de obtenerla en la práctica (habría que conocer la sección exacta en cada punto del ensayo). Sin embargo, hay una relación exacta en muchos metales entre la tensión y deformación verdaderas: la relación de Hollomon $\sigma_v = K \cdot \varepsilon_v^n$, donde K y n son constantes características de cada material.

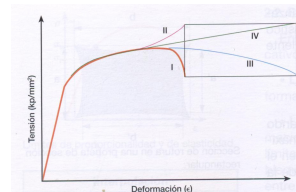


FIGURE 9: DIAGRAMAS DE TRACCIÓN APARENTE Y DE TRACCIÓN VERDADERA

3.3.3. Tensión máxima de trabajo

Cuando en una estructura queremos asegurarnos que sus elementos responderán de forma segura a los esfuerzos a los que se verán sometidos cada uno, debemos asegurarnos que éstos trabajan en la zona de **deformación elástica**, para que cualquier variación pueda ser reversible (se eligen por tanto materiales con más o menos resistencia y se calculan sus secciones). A veces, estos esfuerzos son casi imposibles de ponderar; pensemos, por ejemplo, en el tirante de un puente. No sólo debemos calcular el peso de la estructura que soporta y de los vehículos que circularán por él sino otros imponderables, como nieve acumulada o la fuerza del viento.

Por lo tanto, y dependiendo de la reglamentación de cada país, se suele actuar de una de estas dos formas:

1. Maximizando las fuerzas a las que se pueda ver sometida cada pieza.
2. Minimizando la resistencia del material.

En el primer caso, las fuerzas que pensamos que actuarán sobre un elemento se multiplican por un factor mayor que la unidad (**coeficiente de seguridad**) y se realizan los cálculos de longitudes y secciones en función de este factor. En el segundo, una tensión indicativa del material (por ejemplo, el límite superior de la zona de fluencia o el límite de rotura) y **se divide por un coeficiente mayor que la unidad**, tomando como la tensión máxima que aguantará el material.

3.3.4. Máquinas de tracción

Suele tener estas características:

- ✓ Consta de dos dispositivos: uno productor de cargas y otro medidor de cargas y desplazamientos.
- ✓ La tracción se realiza siguiendo el eje de la probeta.
- ✓ Debe ser posible regular la velocidad tanto a la carga como a la descarga.
- ✓ Normalmente el sistema de producción de cargas es neumático.



Algunos vídeos de YouTube

1. [Ensayo de tracción de la Universidad de Almería](#)
2. [Ensayo de Tracción Universidad Nacional De Trujillo - Escuela De Ingeniería Mecánica](#)

4. Ensayos de dureza

La dureza es una propiedad mecánica importante de los materiales, pero no muy claramente definida. En algunos se obtiene por comparación con otros materiales que lo rayan y en otros por otros materiales que penetran. Por lo tanto, existe dos tipos de ensayos de dureza, y, en cada caso siempre hay que indicar el procedimiento usado:

- ✓ Ensayos de dureza al rayado.
- ✓ Ensayos de dureza a la penetración.

La dureza depende de:

- ✓ Elasticidad del material.
- ✓ Estructura cristalina.

En los **metales puros**, la dureza aumenta **proporcionalmente a la cohesión y número de átomos por unidad de volumen**.

En las **aleaciones**, la dureza puede aumentar usando **tratamientos térmicos o deformaciones**.

La dureza es una propiedad de gran importancia práctica, ya que el desgaste del material depende de ella así como su comportamiento ante la mecanización de piezas.

4.1. Ensayos de dureza al rayado

4.2. Ensayos de dureza a la penetración

En estos ensayos una pieza, llamada **penetrador**, se aplica en la pieza con una fuerza controlada durante un tiempo. La velocidad de aplicación de la carga debe ser lenta para no influir en la medida. La relación entre la fuerza y la superficie de la huella nos dará la medida (a menor huella para una misma fuerza, mayor dureza).

4.2.1. Ensayo Brinell

- ✓ Propuesto por Johann August Brinell (1849-1925) en los años 1900.
- ✓ Penetrador: esfera de acero templado de gran dureza, de diámetro entre 1 y 10mm.
- ✓ Carga: entre los 3000kp y 1.25kp
- ✓ Intervalo de tiempo: suele ser de 15 s, a menos que sea un material muy blando y se necesite más.

Ensayos de dureza al rayado

Escala de Mohs



Impreciso y no puede usarse en metales

Se raya el m
de diamante

Siempre o

En los mater
es grande. E

Si "a" es la
entonces la

HM

$$HM = \frac{10^4}{a^2}$$

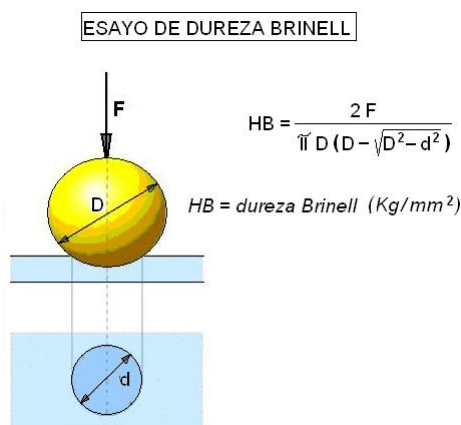


FIGURA 12: DUREZA BRINELL

La fórmula de la dureza BRINELL es (ver problema 1 de demostración)

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Siendo F la fuerza ejercida en el ensayo, D el diámetro de la bola y d el diámetro de la huella. Para que el ensayo sea válido se ha demostrado que $0,25D < d < 0,5D$; así no hay ni rebajes ni realces en la huella y el ensayo es válido.

Más consideraciones

1. Ladureza Brinell suele expresarse en kp/mm^2 (kilopondios por milímetro cuadrado).
2. El diámetro de la bola no puede ser mayor que el espesor del material. Por ejemplo, si el espesor es 5mm, la bola tiene que tener un diámetro de 2.5mm
3. Según los materiales, los ensayos deben cumplir que la fuerza aplicada sea proporcional al Diámetro de la bola según una constante $F = K \cdot D^2$. Esa constante es distinta para cada material; por ejemplo, para el bronce y el latón $K=5$, pero para materiales férricos $K=30$
4. Para cada material, hay una proporcionalidad entre la dureza Brinell y su resistencia a la tracción.
5. La dureza Brinell se puede aplicar en materiales no muy duros, con durezas muy inferiores al penetrador.
6. Si d es muy pequeña, se pueden cometer grandes errores.
7. No se puede aplicar a materiales de por sí esféricos o cilíndricos.
8. Ejemplo de medición y nomenclatura: **250 HB 10 500 30** indicaría que se ha obtenido una dureza de $250 \cdot kp/mm^2$, y el ensayo se ha obtenido con una bola de 10mm de diámetro, ejerciendo una carga de 500kp durante 30 segundos.

4.2.2. Ensayo Vickers

En el ensayo Vickers se usa una punta de diamante con forma de pirámide de base cuadrada, con un ángulo de 136° entre caras opuestas.¹

En realidad, la dureza Vickers usa la misma fórmula que la Brinell: $HV = \frac{F}{S}$, pero la superficie de penetración, lógicamente, no será la misma, y la expresión cambia.

Dureza Vickers

Huella cuadrada, por tanto

$$d = d_1 = d_2$$

->) De lado a , siendo $\overline{AB} = a$ y $\overline{OE} = h$. La superficie de las 4 caras sería 4 veces el área del triángulo \widehat{AOB}

$$->) S = 4 \cdot \frac{a \cdot h}{2} = 2ah ; \text{ además } h \cdot \sin(68^\circ) = a/2$$

->) Solemos medir la diagonal de la huella, por lo que

$$d^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$$

->) Luego la superficie, en función de "d" sería

$$S = 2ah = 2 \cdot a \cdot \frac{a}{2 \cdot \sin(68^\circ)} = \frac{a^2}{\sin(68^\circ)} = \frac{d^2}{2 \cdot \sin(68^\circ)} = \frac{d^2}{1.8544}$$

->) Y por fin, la fórmula de la dureza Vickers

$$HV = \frac{F}{S} = 1.8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

FIGURA 13: DUREZA VICKERS

1. La diagonal de la huella se mide mediante el uso de un microscopio.
2. Si la penetración no ha sido totalmente vertical, la huella tendrá dos diagonales (no será cuadrada). Se cogería el valor medio de ambas.
3. Se suele usar una carga de 30kp, aunque pueden variar entre 1 y 120 kp.
4. Debe cumplirse que el espesor de la prueba cumpla $s > 8 \cdot h \cdot \cos(68) \rightarrow s > 8 \cdot d/7$ y para mayor seguridad, $s > 1,2 \cdot d$
5. Presenta algunas ventajas: el penetrador siempre es el mismo, y no hay que cambiarlo según la carga; las superficies pueden ser curvas; el valor es independiente prácticamente del valor de la carga y se puede realizar sobre materiales muy duros.

4.2.3. Ensayo Rockwell

APÉNDICES

A. Apéndice 1

¹El ángulo de 136° no es casual. Coincide con el ángulo $2 \cdot \phi$ del ensayo Brinell cuando se cumple que $d/D = 0,375$. Así las durezas Brinell y Vickers coinciden, hasta, aproximadamente, el valor 300. A partir de ese valor la dureza Vickers es superior a la Brinell, ya que la deformación de la bola falsea los resultados.