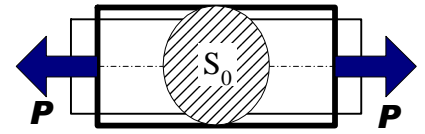


ENSAYO DE TRACCIÓN

Un cuerpo se encuentra sometido a un esfuerzo de **tracción simple** cuando sobre sus secciones transversales se le aplican cargas normales uniformemente repartidas y de modo de tender a producir su alargamiento.

$$\sigma_{et} = \frac{P}{S_o} \quad \sigma_{ET} = \frac{P_{max}}{S_o}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ET}}{coef.seg(N)} \quad \text{ó} \quad \sigma_{adm} = \frac{\sigma_f}{coef.seg(N_1)}$$



σ_{et} : tensión de tracción estática en cualquier instante del ensayo.

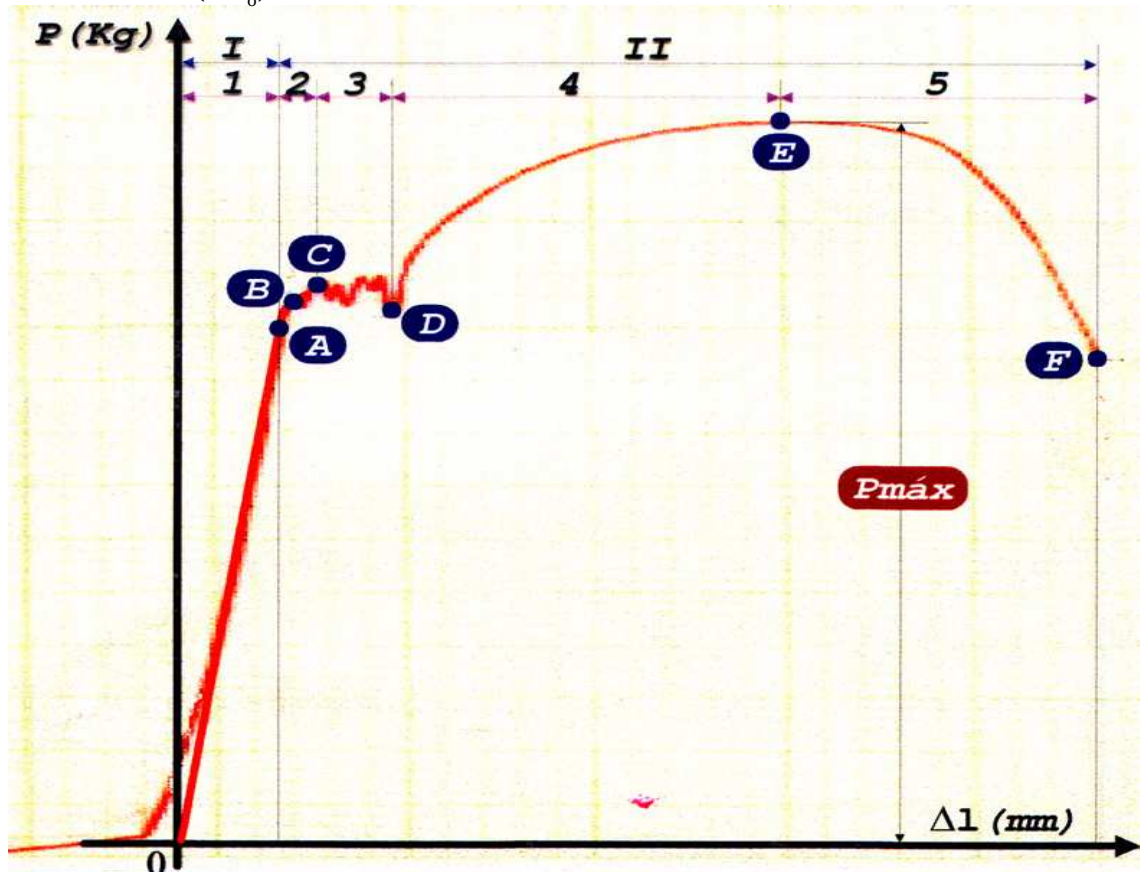
σ_{ET} : resistencia estática a la tracción.

El ensayo de tracción es el que mejor verifica el comportamiento de los metales cuando son sometidos a cargas estáticas, pues no sólo permite deducir algunas de sus propiedades tecnológicas más importantes (tenacidad, ductilidad, etc.), sino que también obtener el límite de elasticidad o el que lo reemplace prácticamente en el caso de que no lo hubiera, la carga máxima y la consiguiente resistencia estática, en base a cuyos valores se puede determinar la tensión admisible o de trabajo, y mediante el empleo de fórmulas, muchas de ellas fruto de la experiencia o empíricas, deducir las características que presentaría el material al ser sometido a otros esfuerzos y ensayos (corte, dureza, etc.).

Cuando la probeta se encuentra bajo un esfuerzo de tracción estático, se alarga en mayor o menor grado según su naturaleza, a medida que crece la carga, pudiéndose estudiar gráficamente la relación de ésta con las deformaciones que produce. Estos gráficos que pueden obtenerse directamente de la máquina de ensayo, permiten deducir las propiedades mecánicas de los metales, por lo que el conocimiento de sus puntos y zonas características reviste gran importancia.

DIAGRAMA CARGAS - DEFORMACIÓN EN EL ACERO

El caso más típico y en base al cual se analizan otros diagramas, lo presenta el gráfico de un acero dulce (bajo % de carbono) indicado en la figura, en donde el eje de las ordenadas corresponden a las **cargas P** en kilogramos, y el de las abscisas a las **deformaciones longitudinales o alargamientos** $\Delta l = (l - l_0)$ en milímetros.



Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

Tema N'4: TRACCIÓN

CARGAS PARTICULARES

- A** Límite de proporcionalidad o elástico.
- B** Límite de elasticidad práctico.
- C** Límite inicial de fluencia.
- D** Límite final de fluencia.
- E** Carga máxima.
- F** Rotura de la probeta.

I) PERÍODO ELÁSTICO

- 1** Zona elástica.

II) PERÍODO PLÁSTICO

- 2** Zona de alargamientos permanentes admitidos o convencionales.
- 3** Zona de fluencia.
- 4** Zona de alargamientos homogéneo en toda la probeta.
- 5** Zona de estricción.

Se observa en el gráfico que al comienzo, desde el punto **0** hasta el **A**, éste está representado por una recta que nos pone de manifiesto la proporcionalidad entre los alargamientos y las cargas.

Además, dentro de este período y prácticamente hasta el punto **A**, los aceros presentan la particularidad de que la barra retoma su longitud inicial al cesar la aplicación de la carga, por lo que en este caso recibe el nombre de **período de proporcionalidad o teóricamente elástico**.

El tramo curvo **AB** se confunde con la recta inicial y en el punto **B** se obtiene la máxima tensión hasta la cual el alargamiento permanente es tan pequeño que puede considerarse **prácticamente elástico**.

Pasando **B**, las deformaciones crecen más rápidamente hasta llegar al punto **C**, que es característico en los aceros dulces, a partir del cual aquéllas se incrementan sin aumento de carga, la que experimenta oscilaciones o pequeños avances y retrocesos hasta alcanzar el punto **D**. A este período se le llama de **fluencia o escurrimiento**, pues el material "**fluye**" o cede sin que aumente la tensión, siendo **C** y **D** los puntos **inicial y final de fluencia**.

Como el límite de elasticidad práctico **B** es de difícil determinación, se suele adoptar como tal al inicial de fluencia, que será entonces el **límite elástico aparente**.

Más allá del punto final de fluencia **D**, las cargas vuelven a incrementarse y los alargamientos se hacen más notables o sea que se entra en el período de las grandes deformaciones, las que son uniformes en toda la probeta hasta llegar a **E**, que nos indica la carga máxima y a partir de la cual la deformación se localiza en una determinada longitud de l material, provocando un estrechamiento de las secciones que lo llevan a la rotura. Al período **EF** se lo denomina de **estricción**.

En la zona **plástica** se produce, por efecto de la deformación, un proceso de endurecimiento, conocido con el nombre de acritud, que hace que al alcanzar el esfuerzo la resistencia del metal, éste al deformarse adquiera más capacidad de carga, lo que se manifiesta en el gráfico hasta el punto **E**. En el período de estricción, la acritud, si bien subsiste, no puede compensar la rápida disminución de algunas secciones transversales, produciéndose un descenso de la carga hasta la fractura.

La pequeña deformación que se produce entre los puntos **A**, **B** y **C** puede variar de un acero a otro, debido a que la misma se origina por la falta de uniformidad que pueda presentar su estructura, lo que hace que unos cristales cedan más pronto que otros, de allí que en aquellos de gran homogeneidad el límite inicial de fluencia tiende a confundirse con el de proporcionalidad.

DEFORMACIONES ELÁSTICAS y PLÁSTICAS

La determinación del límite de elasticidad en los aceros se puede realizar utilizando extensómetros, verificando al cargar y descargar lentamente la máquina, si la deformación elástica producida es total o parcial, operación fatigosa y de difícil ejecutoria, pues implica ensayar series de probetas hasta encontrar el límite para el que no aparecen deformaciones permanentes. Ese es el motivo por el cual se considera como límite elástico al de proporcionalidad del gráfico de ensayo, el que toma valores muy próximos a aquél en casi todos los casos, como se comprueba experimentalmente.

A este respecto tenemos que aclarar que son los aceros los únicos que poseen un límite elástico natural para valores de las tensiones comprendidos dentro de sus usos prácticos, pues los otros metales industriales presentan muy poca elasticidad y sus deformaciones plásticas se consiguen para relativamente pequeños valores de las tensiones. Del diagrama de los metales, es posible no sólo determinar el valor de las cargas y deformaciones al límite elástico, aceptando el criterio de su coincidencia con el de proporcionalidad, sino que también las deformaciones permanentes para cualquier punto del mismo.

LÍMITES PRÁCTICOS DE ELASTICIDAD

En el estudio del diagrama de ensayo de un acero dulce hemos considerado como límite práctico de elasticidad al punto B, para el cual establecimos que la deformación permanente es tan pequeña que no perjudicaría al uso del material. Este límite de elasticidad puede fijarse dentro de valores para los cuales las deformaciones permanentes oscilen entre 0,003% a 0,01% de la longitud inicial entre marcas o puntos de referencia de la probeta (0,0006 cm a 0,002 cm para $l_0 = 20\text{cm}$).

Ampliando este criterio, podemos decir además, que las deformaciones entre el punto B y el de fluencia C no afectan a las estructuras o elementos de máquinas a que pueda pertenecer el material, por lo que prácticamente se considera a este último como el que indica la tensión máxima útil, concepto que se ve favorecido por el hecho de que, desde el fenómeno de elasticidad diferida, por el cual la deformación que se produce desaparece con el tiempo. Pese a ello, el margen de seguridad que requieren los proyectos hace que el valor de la tensión admisible resulte por debajo de este límite.

MODO y TIEMPO DE APLICACIÓN DE LA CARGA

La carga debe aplicarse de tal manera que el esfuerzo resulte uniformemente distribuido sobre la sección transversal del material, condición ésta que se cumple por el sistema de sujeción de la máquina.

Tratándose de ensayos estáticos el incremento de carga se efectúa en forma muy lenta, para evitar los efectos de las fuerzas de inercia, velocidad que se fija según las normas y materiales, adoptándose generalmente una variación de 0,1 Kg/mm² y por segundo aproximadamente hasta alcanzar el límite de fluencia o de extensión, a partir del cual puede llegarse como máximo a 50 kg/mm² por minuto.

Si bien para pequeñas variaciones en las velocidades, los valores obtenidos prácticamente no varían, la normalización de las mismas tiene por objeto asegurar la aplicación de un criterio similar en todas las experiencias, para que los resultados sean perfectamente comparables y que además permitan que en el diagrama se puedan observar claramente sus puntos característicos.

Si el tiempo de ensayo se reduce a valores muy inferiores a los indicados, se obtiene generalmente un aumento de la carga máxima y de la de fluencia, aunque a expensas de una disminución de la zona plástica.

DETERMINACIONES A EFECTUAR EN UN ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción es el que mejor define las propiedades mecánicas de los metales sometidos a la acción de cargas estáticas.

Estas propiedades quedan definidas si se determina la aptitud del material a resistir las cargas que le pueden ser aplicadas (propiedades de resistencia) y las deformaciones que experimente por la acción de éstas (propiedades de deformabilidad).

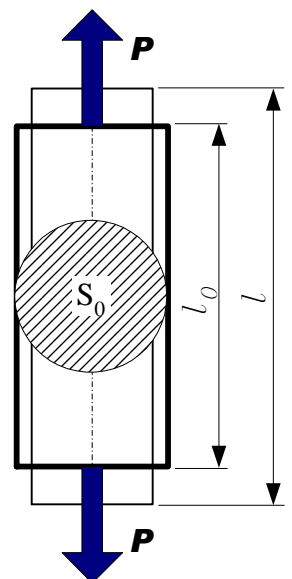
1º - PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESISTENCIA

Del gráfico de ensayo pueden determinarse los valores de las cargas a los límites proporcionales y de fluencia y la que corresponde a la máxima, que permiten calcular las tensiones que fijan las propiedades de resistencia.

Es de hacer notar que es común determinar únicamente la resistencia estática y la tensión al límite de fluencia o al límite convencional.

Resistencia estática a la tracción $\sigma_{ET} = \frac{P_{\max}}{S_0}$

Tensión al límite inicial de fluencia $\sigma_f = \frac{P_f}{S_0}$ (aceros blandos y semiduros)



Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

Tema N'4: TRACCIÓN

Si bien los límites inferiores de fluencia pueden resultar más exactos, por no encontrarse afectados por las fuerzas de inercia que se originan al aplicar las cargas de tracción, se fija como valor comparativo el que corresponde al superior inicial, que permite ser determinado más fácilmente en el gráfico de ensayo.

2º - PROPIEDADES MECÁNICAS DE DEFORMABILIDAD

Alargamiento de rotura

Si antes de comenzar la experiencia se marcan sobre la probeta, en una generatriz o recta, los puntos de referencia de acuerdo con la norma aplicada (l_o), después del ensayo, juntando los trozos, es factible medir la distancia que los separa (l), de modo que el alargamiento total resulta:

$$\Delta l = l - l_o$$

Conocido este valor, se puede determinar el *alargamiento de rotura*, que no es más que el unitario o específico correspondiente a la fractura; por lo tanto y con el objeto de distinguirlo, se lo indica con d% en lugar de e%, como se estableció para cualquier otro punto del diagrama.

$$\delta\% = \frac{\Delta l}{l_o} 100 = \frac{l - l_o}{l_o} 100$$

Estricción

Como sabemos, una vez alcanzada la carga máxima se produce un estrangulamiento en una zona determinada de la probeta. Esta disminución de sección hace que se llegue a la rotura cuando la carga es inferior a la máxima aplicada, diferencia que se acrecienta con la ductilidad del material.

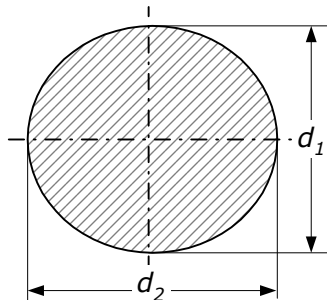
La *estricción* será, entonces, la disminución relativa porcentual de la sección transversal de rotura.

$$\psi\% = \frac{S_o - S}{S_o} 100 \quad (S : \text{sección final o de rotura de la probeta})$$

DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN DE ROTURA

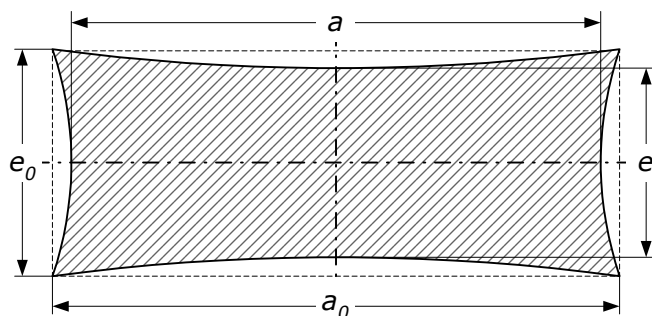
Para la determinación de la sección de rotura se procede de la siguiente manera:

a) Si la probeta es cilíndrica, se medirá el diámetro de rotura en dos direcciones normales entre sí, hallando luego el promedio.



$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

b) Si la probeta es prismática se calcula la sección midiendo la parte contraída en la mitad de los lados, como se indica en la figura:



Sección inicial de la probeta

$$S_o = a_o \cdot e_o$$

Sección final de la probeta

$$S = a \cdot e$$

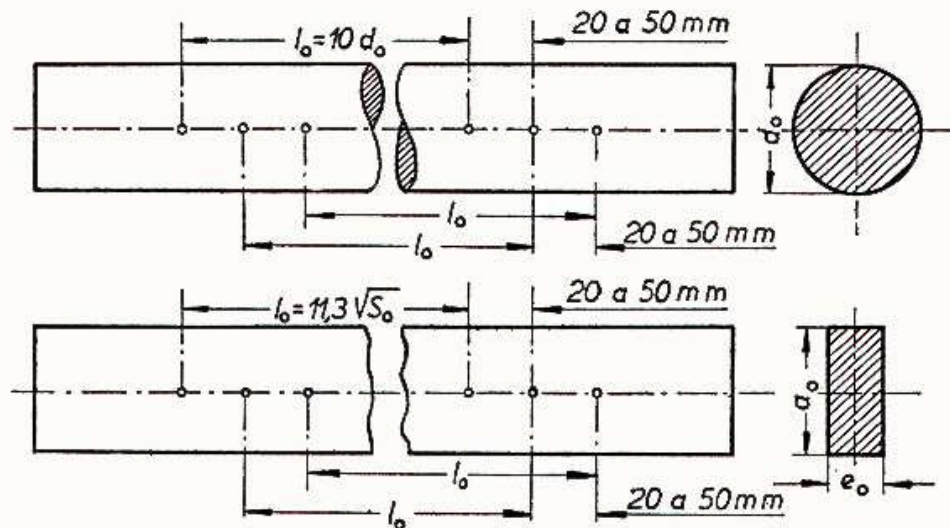
DETERMINACION DE LA LONGITUD FINAL ENTRE PUNTOS FIJOS

Para determinar correctamente el alargamiento unitario de rotura es necesario medir, con la mayor exactitud posible, las máximas deformaciones que experimenta la probeta, lo que se consigue si la zona de estricción se encuentra lo suficientemente alejada de las marcas que fijan la longitud inicial l_0 .

Es así que las normas I.R.A.M. y D.I.N. exigen, para aceptar los valores de los alargamientos unitarios de rotura, que "la fractura tenga lugar dentro del tercio medio de la longitud entre marcas".

Cuando se ensayan probetas industriales se marcan tres o más longitudes l_0 , de manera de aumentar la posibilidad de cumplir, para algunas de ellas, con la condición dada por las normas.

Si las probetas son calibradas, la marcación anterior no puede realizarse por el ensanchamiento que presentan en sus cabezas, por lo que, para evitar la repetición de la experiencia, en el caso de no obtenerse la fractura en el tercio medio, se recurre a un procedimiento que resulta aceptable si se considera al material como de iguales propiedades en todas sus secciones (isótropo).

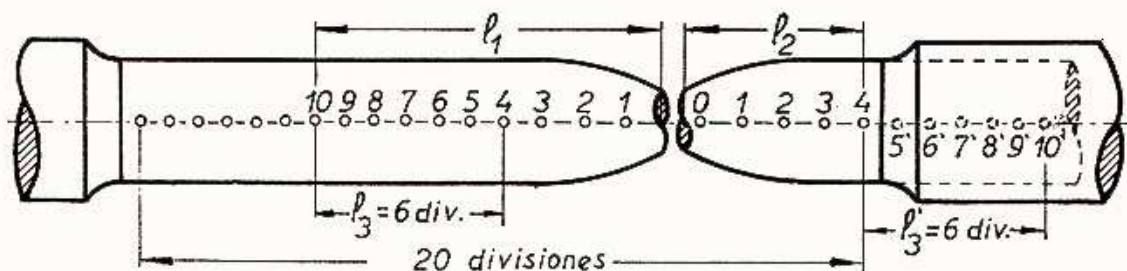


Este método indica que la longitud inicial debe marcarse en 20 ó 10 partes iguales, según que se trate de probetas largas o cortas. Determinándose la longitud final de rotura de la siguiente manera:

Si la fractura se produce dentro del tercio medio se unen los trozos y se mide directamente l entre marcas extremas, en cambio si ello no ocurre se numerarán los puntos como se indica en la figura, llamándose 0 al más próximo a la rotura en el trozo corto.

Para determinar la longitud final se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Se supone que la fractura se produce en el centro de la probeta, caso ideal, o en un punto próximo a él;
- b) Se acepta que el metal experimenta iguales deformaciones a ambos lados de la rotura.



De acuerdo con el primer criterio será necesario medir 10 puntos a cada lado de la fractura, lo que sólo puede realizarse en el trozo izquierdo de la figura (l_1); sobre el lado derecho se miden exactamente cuatro divisiones l_2 , faltando, para completar el total, seis divisiones l'_3 .

Si el material es isótropo, los puntos equidistantes de la rotura experimentarán iguales deformaciones, por lo que la longitud l'_3 resulta igual a la l_3 .

La longitud final será entonces igual a: $l = l_1 + l_2 + l'_3 = (l_1 + l_2) + l_3$

Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

Tema N°4: TRACCIÓN

Las divisiones de las probetas pueden efectuarse empleando puntos de marcar o, para mayor exactitud, las máquinas de dividir, que permiten grabar automáticamente, por el accionamiento de una palanca, marcas con separaciones entre sí de 1 a 15 milímetros.

Para materiales muy sensibles a las entallas y con el objeto de evitar el efecto de la concentración de tensiones, las marcas se efectúan empleando tizas especiales.

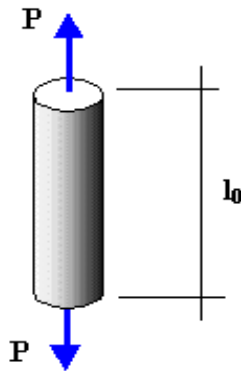
Luego de la fractura, la distancia entre puntos se determina con calibres de punta, reglas metálicas graduadas, que puede utilizarse para mediciones entre 10 y 100 milímetros.

Complemento

Elasticidad - Tensiones - Deformaciones

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Si repitiéramos la experiencia de Hooke aplicando una carga axial **P** de tracción a una barra de material dúctil se producirá un alargamiento Δl ,



P : fuerza axial

Δl : variación de longitud

$\Delta l = l_f - l_o$, diferencia entre la longitud final e inicial del elemento ensayado.

Son **materiales** dúctiles los que presentan una relativa gran deformación antes de llegar al punto de rotura, como el acero, el aluminio, la madera, etc.

Los **materiales** frágiles por el contrario, presentan pequeña deformación antes de llegar a la rotura, y por lo tanto rompen repentinamente como la piedra, el hormigón simple, etc.

Para dividir unos de otros se toma un valor arbitrario de las **deformaciones específicas** ϵ ante la rotura

$$\epsilon_r = \Delta l / l_o < 0.05 \text{ materiales frágiles}$$

$$\epsilon_r > 0.05 \text{ materiales dúctiles}$$

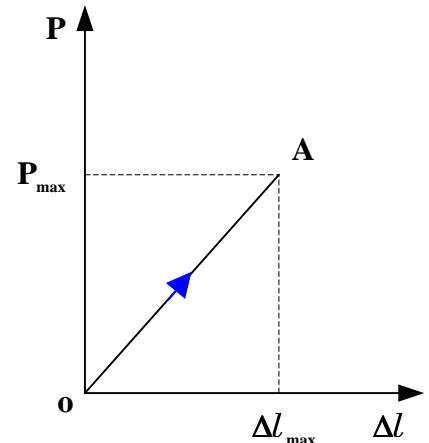
El acero utilizado hoy en día en la fabricación de perfiles laminados en caliente, posee una deformación ante la rotura $\epsilon_r \gg 20\%$ lo que lo caracteriza como material dúctil.

Si graficamos la relación entre el alargamiento Δl y la carga aplicada **P** ambos variarían en forma directamente proporcional, aumentando Δl si aumenta **P** hasta un cierto valor P_{\max} .

$$P = k * \Delta l$$

k : constante propia del material, distinta para cada material analizado, que depende de la ductilidad del mismo.

El segmento **OA** indica el periodo de carga.



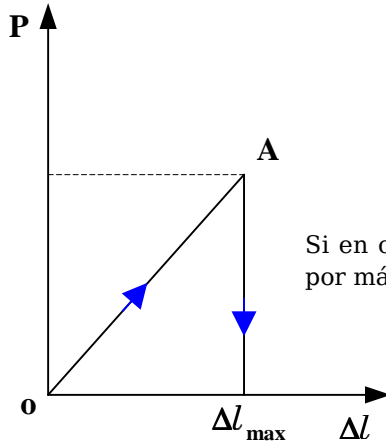
Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

Tema N°4: TRACCIÓN

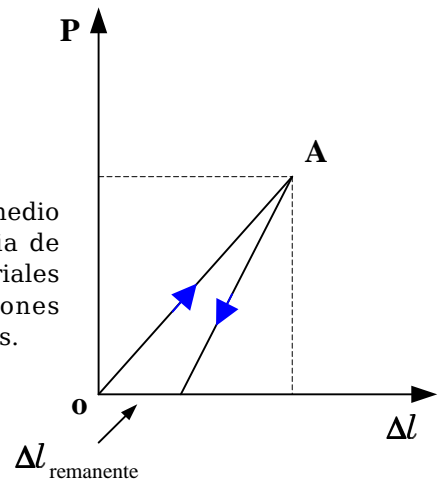
Si a continuación se hace disminuir P hasta descargar la barra analizada (período de descarga AO) puede ocurrir que Δl también logre anularse.

El material que al ser descargado recupere por completo su forma inicial (longitud l_0) se denomina **elástico ideal**.



Plástico ideal

Si en cambio la variación de longitud Δl experimentada es permanente, por más que disminuya la carga aplicada, el material será plástico ideal.



Real

En realidad, los materiales estructurales plantean un caso intermedio entre las dos posibilidades extremas anteriores. La resistencia de materiales estudia los fenómenos de deformación para los materiales que se comportan elásticamente, es decir, que las deformaciones existan mientras existan las cargas y las remanentes sean pequeñas.

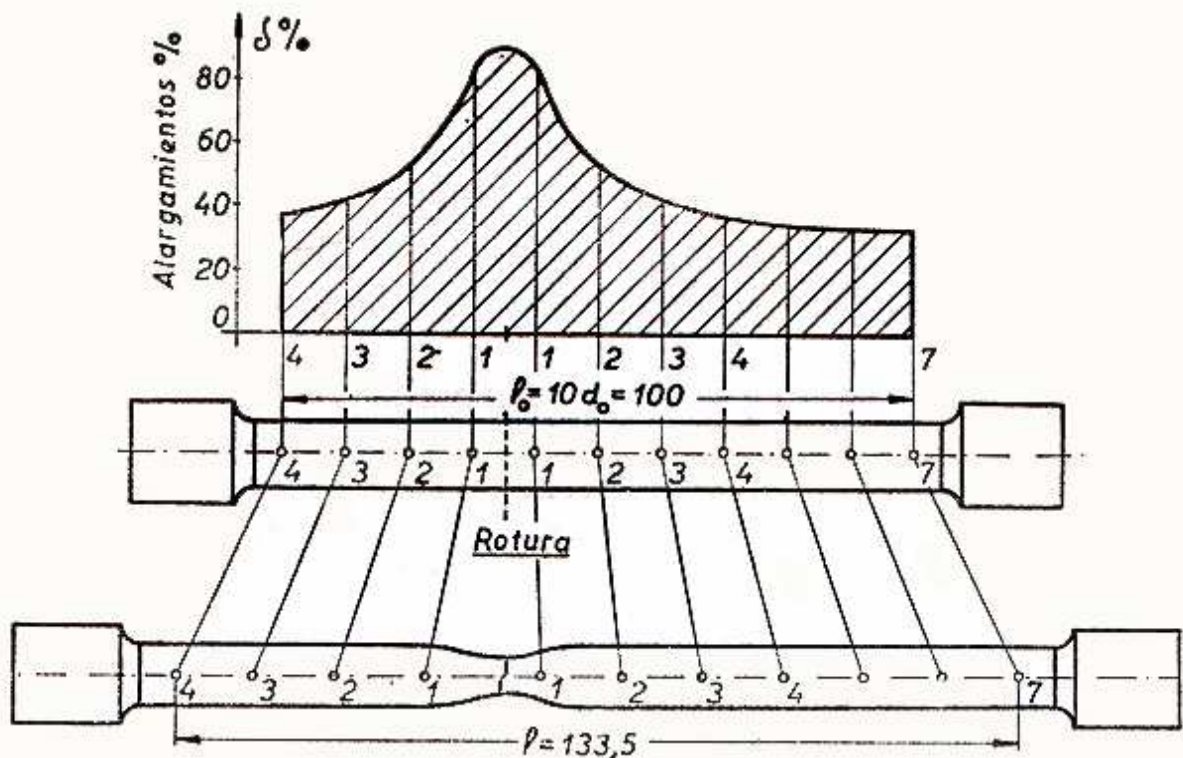
PROBETAS PARA TRACCION

Las probetas para los ensayos de tracción pueden ser, como ya se ha visto, industriales o calibradas; las primeras se presentan en barras o perfiles de secciones más o menos constantes y sirven exclusivamente para ensayos de verificación; en cambio, las calibradas, se emplean en experiencias más rigurosas y adoptan formas perfectamente cilíndricas o prismáticas, con extremos ensanchados, no sólo para facilitar su sujeción en la máquina de ensayo, sino que para asegurar la rotura dentro del largo calibrado de menor sección, en la cual se marcan los denominados puntos fijos o de referencia a una distancia inicial preestablecida (l_0), que permitirá después de la fractura, juntando los trozos, determinar la longitud final entre ellos (l).

El alargamiento ($\Delta l = l - l_0$) se habrá calculado así con referencia a una determinada longitud inicial y en su valor estará incluida la deformación uniforme de toda la probeta hasta la carga máxima y principalmente, en los casos de materiales dúctiles, la que corresponde al período de estricción, que afectará a una zona mayor, aún para un mismo metal, cuando sus probetas presentan mayores secciones transversales, obteniéndose por lo tanto, en estos casos, mayores alargamientos a igualdad de valores de l_0 .

A su vez, para idénticas secciones, el efecto de la estricción será más notorio para menores valores de l_0 , por lo que resulta un mayor alargamiento de rotura.

La importancia que adquiere la variación del alargamiento de rotura según la longitud que se considere, se pone perfectamente en evidencia en el ensayo indicado en la figura, sobre una probeta de acero dulce.



Estos hechos han motivado la normalización de la longitud inicial, estipulándose que dos o más ensayos pueden compararse en sus alargamientos, si las probetas son geoméricamente semejantes, lo que se logra cuando l_0 es proporcional al diámetro o raíz cuadrada de la sección.

$$l_0 = K \cdot \sqrt{S_0} \quad \therefore \quad K = \frac{l_0}{\sqrt{S_0}}$$

o sea que los ensayos sobre probetas distintas resultan comparables si se cumple que:

$$\text{Ley de semejanza : } \frac{l_0}{\sqrt{S_0}} = \frac{l'_0}{\sqrt{S'_0}} = \dots = K$$

Si se toma la inversa de esta igualdad se obtiene la ley de Borda, conocida como ley de similitud.

Comprobaciones prácticas han demostrado que la deformación relativa que experimenta un material hasta la carga máxima, puede considerarse la misma para cualquier tipo de probeta y que la variación fundamental se manifiesta en la estricción, por lo que la diferencia entre los alargamientos de rotura se hace más notable a medida que aumenta la ductilidad del material.

Otro de los factores que influye en los valores de ensayo es la forma de transición entre la parte calibrada y las cabezas, no sólo porque puede provocar una concentración de tensiones por cambio brusco de sección, sino que aún en aquellos casos en que se utilicen superficies de continuidad para evitar este efecto, el aumento de la sección sirve de freno a la contracción transversal que se genera al producirse el estiramiento, provocando una disminución en el valor de éste y un aumento en la resistencia del material. Es por esta causa que la longitud calibrada es mayor que la correspondiente entre los puntos fijos, y que las superficies de enlace se encuentra convenientemente normalizadas.

Por todo lo expuesto se aconseja consignar en la planilla de valores el tipo de probeta utilizada.

La tabla siguiente nos da las variaciones de la ley de semejanza según las distintas normas, y la longitud inicial, que por comodidad de medida, se adopta para probetas cilíndricas.

Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

Tema N°4: TRACCIÓN

NORMA	PROBETAS	d_0	LEY DE SEMEJANZA	l_0	S_0 (mm ²)
I.R.A.M.	Normal Larga	20 mm	$l_o = 11,3 \sqrt{S_o}$	10 d_0	314,16
	Normal Corta	20 mm	$l_o = 5,65 \sqrt{S_o}$	5 d_0	314,16
	Proporcional Larga	Cualquiera	$l_o = 11,3 \sqrt{S_o}$	-----	Cualquiera
	Proporcional Corta	Cualquiera	$l_o = 5,65 \sqrt{S_o}$	-----	Cualquiera
A.S.T.M.	Standard	0.5" = 12,7 mm	$l_o = 4,5 \sqrt{S_o}$	4 d_0 = 2"	126,67
Francesa y Española	Larga Corta	27,7 mm 13,82 mm	$l_o = 8,16 \sqrt{S_o}$	200 mm 100 mm	602,3 150
B.S.I.	Standard	0.564" = 14,33mm 0.798" = 20,27mm 0.977" = 24,82mm	$l_o = 4 \sqrt{S_o}$	2"=50,8mm 3"=76,2mm 3,5"=88,9mm	161,3 322,5 483,6
D.I.N.	Proporcional Larga Proporcional Corta	s/norma 50.125	$l_o = 11,3 \sqrt{S_o}$	10 d_0 5 d_0	según d_0

Alargamiento de rotura - Ley de semejanza

La fórmula indica que el alargamiento de rotura se mide con respecto a una longitud inicial l_o , que se marca sobre la probeta con antelación al ensayo. Por lo tanto δ resulta función de esa longitud inicial.

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{l - l_o}{l_o}$$

A mayor ductilidad del metal, tanto mayor es la incidencia e la estricción en la cantidad de alargamiento que sufre la muestra llevada hasta la rotura por tracción. A su vez, la intervención de ese alargamiento por estricción es tanto más notorio, cuanto menor es la longitud inicial de ensayo l_o , o longitud inicial entre puntos de referencia para medir el alargamiento de rotura δ .

El diagrama de la figura de la pag.21 muestra la variación del alargamiento $\delta(\%)$ en función de la longitud calibrada que se considere.

Ello hace necesario establecer una longitud inicial fija para poder comparar la ductilidad de los diferentes aceros u otros metales dúctiles, sobre la base del alargamiento porcentual de rotura. Esa comparación es posible si las probetas se hacen geoméricamente semejantes.

El alargamiento de una probeta de acero, cobre, aluminio, es decir metales dúctiles, está integrado por dos partes:

- 1- una Δl_1 , proporcional a la longitud de la probeta y
- 2- otra Δl_2 que es función de la estricción.

La primera se puede expresar en función de la longitud l_o de la probeta,

$$\Delta l_1 = \alpha \cdot l_o \quad (1)$$

y la segunda en función de la sección S_o de la misma,

$$\Delta l_2 = \beta \cdot \sqrt{S_o} \quad (2)$$

Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

Tema N°4: TRACCIÓN

de donde

$$\delta = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{l_0} = \frac{\alpha \cdot l_0 + \beta \cdot \sqrt{S_0}}{l_0} = \alpha + \frac{\beta \cdot \sqrt{S_0}}{l_0} \quad (3)$$

Para que dos o más ensayos sean comparables se debe cumplir

$$\frac{\beta \cdot \sqrt{S_0}}{l_0} = K' \quad (4)$$

o sea

$$l_0 = \frac{\beta}{K'} \sqrt{S_0} = K \sqrt{S_0} \quad (5)$$

La condición expresada mediante la fórmula (4) puede escribirse también del siguiente modo:

$$\frac{\sqrt{S_{02}}}{\sqrt{S_{01}}} = \frac{l_{02}}{l_{01}}; \quad \frac{\sqrt{S_{03}}}{\sqrt{S_{01}}} = \frac{l_{03}}{l_{01}}; \text{ etc} \quad (6)$$

que constituye la llamada **Ley de homología** o de **similitud** de Barba. Esta establece el requisito enunciado por Martens según la cual probetas geoméricamente semejantes de un mismo metal, sometidas a iguales tensiones, experimentan deformaciones geoméricamente semejantes cuando son ensayadas en condiciones idénticas.

De la fórmula (5) surge que la longitud inicial de ensayo, o longitud entre puntos de referencia para medir el alargamiento de rotura es función de la raíz cuadrada de la sección recta de la probeta.

El valor de la constante de proporcionalidad **K** es distinto en los diversos países. De acuerdo con la norma **IRAM** los valores que puede tomar **K** son 11,3 y 5,65, según se trate de **probetas proporcionales largas** o **cortas**. Con esos valores resulta para probetas cilíndricas.

$$l_0 = 10 \cdot d_0 \quad \text{y} \quad l_0 = 5 \cdot d_0 \quad (7)$$

La proporcionalidad de las probetas se conserva hasta un cierto valor de la sección. Cuando ésta se hace muy pequeña (como en el caso de los alambres), se recurre a otra longitud de ensayo mayor que la que de aplicar la fórmula (7).

Es de hacer notar que a pesar de la ley de semejanza en el ensayo de tracción de los materiales metálicos, expresada mediante la fórmula (5), el tamaño de la probeta tiene influencia nada despreciable sobre el resultado del ensayo. En primer lugar, se debe tener en cuenta que los cuerpos no son perfectamente homogéneos e isótropos, lo cual se manifiesta con tanto mayor énfasis cuanto mayor es el tamaño de la probeta. Por tal razón cabe siempre esperar una mayor resistencia en probetas de tamaño reducido, en cuyo seno la distribución de tensiones se acerca mucho más a la distribución regular que postula la teoría.

MÓDULO DE YOUNG - LEY DE HOOKE

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Generalmente los materiales existentes son elásticos, y se deforman en cierto grado. Al construir un elemento se debe buscar que el material sea resistente, pero a su vez flexible para no romperse ante una situación extrema de sollicitación; por ejemplo queremos que las alas de un avión puedan flexionarse, pero que a su vez sean resistentes según las cargas que estarán sometidas.

En muchos casos, y siempre que el esfuerzo no exceda un determinado límite, podemos decir que las **deformaciones unitarias** que experimenta un material son proporcionales a las **tensiones** que soporta. Esta proporcionalidad en los metales es coincidente con la elasticidad del material, quedando expresado con la ecuación de una recta, conocida con el nombre de "**Ley de Hooke**", que se observa en detalles en los gráficos de los ensayos de tracción realizados con instrumentos de gran sensibilidad como son los extensómetros. De allí que para determinar las propiedades elásticas de un material dado, es necesario en general someter a ensayos una muestra del material y así se calculan estos valores constantes para cada material como es el **Módulo de Elasticidad Longitudinal**.

"Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de tensión y el cambio correspondiente a la deformación unitaria". Si el esfuerzo es en tracción o una compresión, el módulo se denomina **Módulo de Young** y tiene el mismo valor para ambas sollicitaciones, siendo una constante independiente del esfuerzo, siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico. Tanto el módulo de Young como el límite elástico, son naturalmente distintos para los diversos materiales.

El hecho de que la variación de deformación unitaria sea directamente proporcional a la variación de esfuerzo, se cumple siempre que no se sobrepase el límite elástico.

Si se somete un cuerpo a la acción de cargas estáticas de tracción o compresión y vamos relacionando las tensiones σ y los alargamientos unitarios ϵ (del diagrama del ensayo). La **ley de Hooke** se verifica solamente en el primer tramo recto, que se puede expresar matemáticamente

$$\epsilon = a \cdot \sigma \quad (1)$$

Esta ecuación se cumple para algunos materiales especialmente los metales, mas precisamente los aceros. La constante a varía con los materiales y su valor inverso se denomina Índice de rigidez, capacidad de deformación elástica, o módulo de Young o de elasticidad longitudinal E .

La ley de Hooke, en función de E resulta: $\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2)$ de donde: $E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$

cuyas unidades son **Kgf/cm²** o **Kgf/mm²**, también en **Pa** (N/m²) o **Mpa** (N/mm²).

Determinación del módulo de elasticidad longitudinal por medio del ensayo de tracción.

En la ecuación (3) reemplazamos el valor de tensión $\sigma = \frac{P}{S_0}$

y el de deformación unitaria $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

nos queda: $E = \frac{P \cdot l_0}{S_0 \cdot \Delta l} \quad (4)$

Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

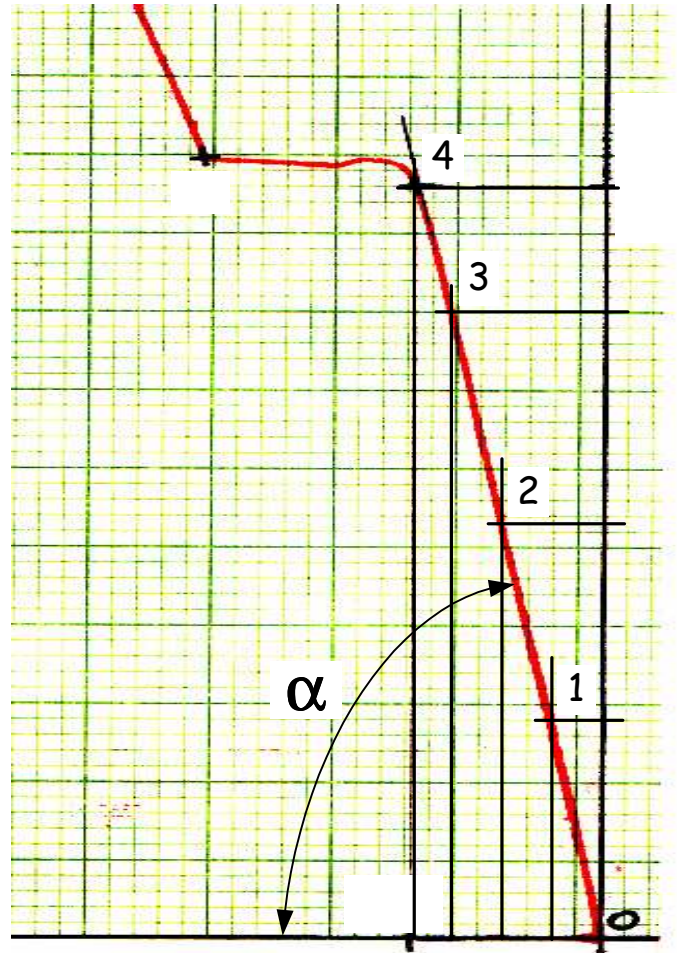
Tema N°4: TRACCIÓN

Analizando la ecuación (4), observamos que las variables para el cálculo resultan la carga **P** y el alargamiento Δl que se pueden determinar desde el diagrama de ensayo obtenido con el registrador en donde se utilizó el medidor de deformación o extensómetro. Otra forma de determinar **E** consiste en medir sobre el diagrama obtenido en el ensayo de tracción el ángulo que forma la recta inicial con el eje de la abscisa, pudiendo determinarse el módulo:

$$E = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{Esc. \sigma}{Esc. \varepsilon}$$

La variación de la composición química de los metales permite obtener distintos valores del módulo, por ejemplo:

Aluminio	E= 7170 kgf/mm ²
Cobre	E= 12480 kgf/mm ²
Hierro	E= 21580 kgf/mm ²
Acero bajo %C	E= 18500 a 20000 kgf/mm ²
Fund. de hierro	E= 9500 a 14000 kgf/mm ² .



Valores del Módulo de Young para diversos materiales

MATERIAL	E (GPa)	σ_{ET} (Mpa)	σ_{EC} (Mpa)
Acero	200	520	520
Aluminio	70	90	---
Cobre	110	230	---
Hierro	190	390	---
Hormigón	23	2	17
Hueso			
Tracción	16	200	---
Compresión	9	----	270
Latón	90	370	---
Plomo	16	12	---

- El módulo de Young de los huesos es muy distinto según se trate de deformaciones por tensión o compresión, al contrario que en otras muchas sustancias. Este hecho tiene una importancia biológica, ya que el principal objetivo de los huesos es resistir a las cargas por compresión ejercidas por los músculos contráctiles
- Si el material es no-homogéneo el módulo E es menor para efectos de compresión y mayor para los de tracción.
- Si el material es homogéneo el módulo E es el mismo para la compresión y tracción.
- Un material con un gran E no se estira mucho, se requiere de un gran esfuerzo para lograrlo.

Curso: DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES FERROSOS

E.E.T. N° 466 Gral. M.N.Savio

Tema N°4: TRACCIÓN