



Ensayo de Tracción

María Sol Tadeo, Septiembre de 2016

Agenda

- Objetivos
- Introducción al ensayo de tracción en aceros
- Resolución
- Ejemplo

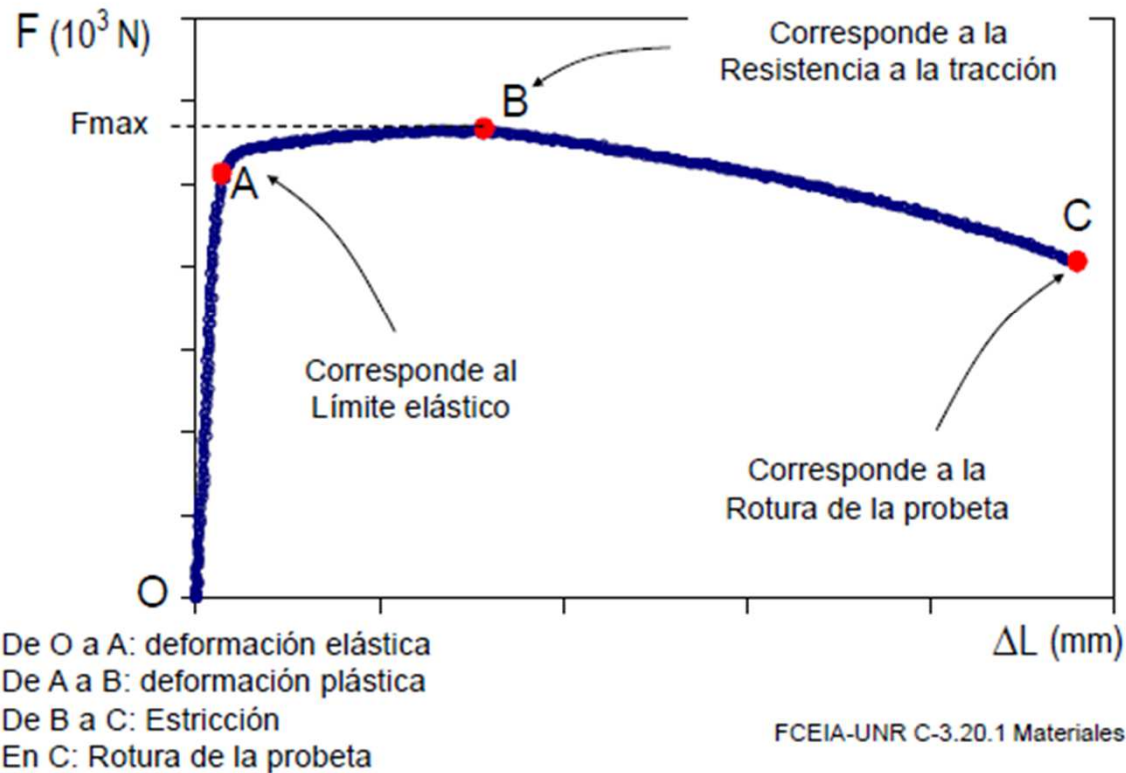
Objetivos

- Aprender a analizar el resultado del ensayo de tracción



Curva tensión deformación del acero

El ensayo de tracción



Datos que podemos extraer:

- **Tensión de fluencia**
- **Tensión de rotura**
- **Alargamiento % a la rotura**

$$\sigma_f = \frac{P_f}{S_0} \quad \sigma_r = \frac{P_r}{S_0}$$

$$A_r = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\%$$

Ensayo de tracción

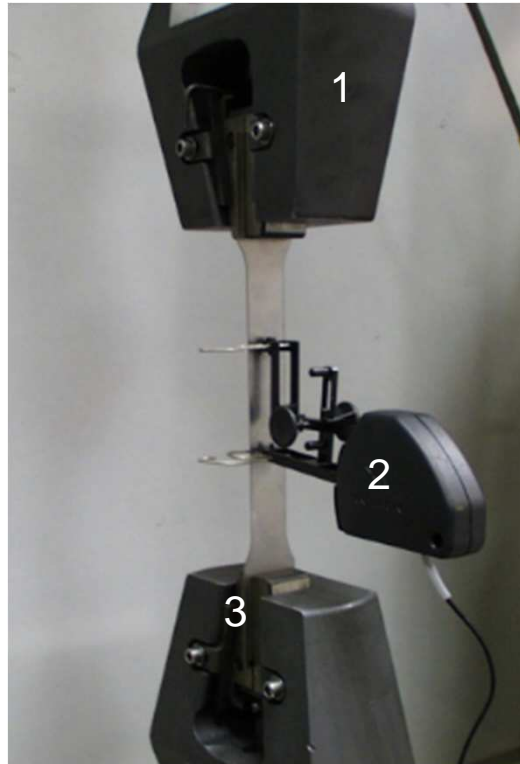
El ensayo de tracción de los aceros es un ensayo de **control destructivo**.

El **procedimiento** de ensayo se hace siguiendo la norma **IRAM IAS U 500-102**.

Sin embargo, para cada tipo de acero existe una norma en particular que indicará cómo será el muestreo, qué características tendrán las probetas, etc. A su vez, esta última norma indicará los valores con los que tenemos que comparar los resultados de ensayo. Por ejemplo:

Tipo de acero	Norma particular
Acero de construcción	IRAM-IAS U 500-103
Acero para H°A°	IRAM-IAS U 500-175

Elementos de ensayo



1. Máquina de tracción universal
2. Extensómetro
3. Cabezales
4. Computadoras

Extensómetro:

- Se coloca sobre la probeta (durante un período del ensayo).
- Tiene dos patitas, una fija y otra móvil.
- Llamaremos **base del extensómetro** a la medida entre las patitas al iniciar el ensayo.
- El extensómetro de nuestro laboratorio tiene una base de 2” (50,8 mm)

Elementos a utilizar



Resultados buscados

Los resultados que estamos buscando son:

- **Tensión de fluencia**
- **Tensión de rotura**
- **Alargamiento porcentual a la rotura**

Por ejemplo, la tabla muestra los requerimientos para los aceros para hormigones según la norma IRAM IASU 500-175. Más adelante, en tipificación de aceros, vamos a ver que dependiendo la norma tendremos diferentes requerimientos.

Tipo de acero	Fy (MPa)	Fr (MPa)	Ar (%)
ADN 420	420	500	12
AL 220	220	340	18
APL 1700	1500	1700	5

Probetas y Longitud 0

Según el acero que estemos ensayando, la norma definirá las características que tendrá la probeta; es decir, de dónde se tomará la muestra, en que sentido, etc.

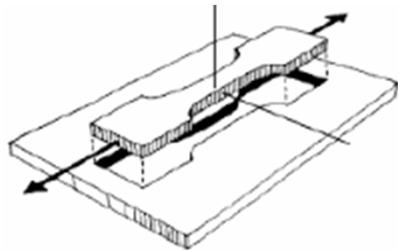
La probeta puede tener cualquier longitud. Sin embargo, la longitud inicial o L_0 será determinada por la norma. Esta longitud se marca sobre la probeta.

Por ejemplo, **para aceros de construcción** la norma pide que la longitud inicial sea:

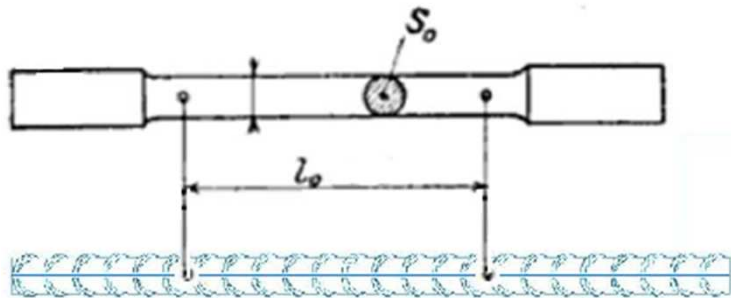
$$L_0 \sim 5,65 \sqrt{S_0} = 5d_0$$

Mientras que para **aceros para hormigón armado** usaremos una longitud de:

$$L_0 \sim 11,3 \sqrt{S_0} = 10d_0$$



Estado Inicial

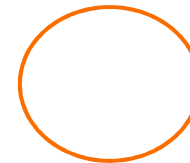


Estado antes de comenzar el ensayo:

L_0 : Longitud inicial

D_0 : Área inicial

S_0 : Área inicial



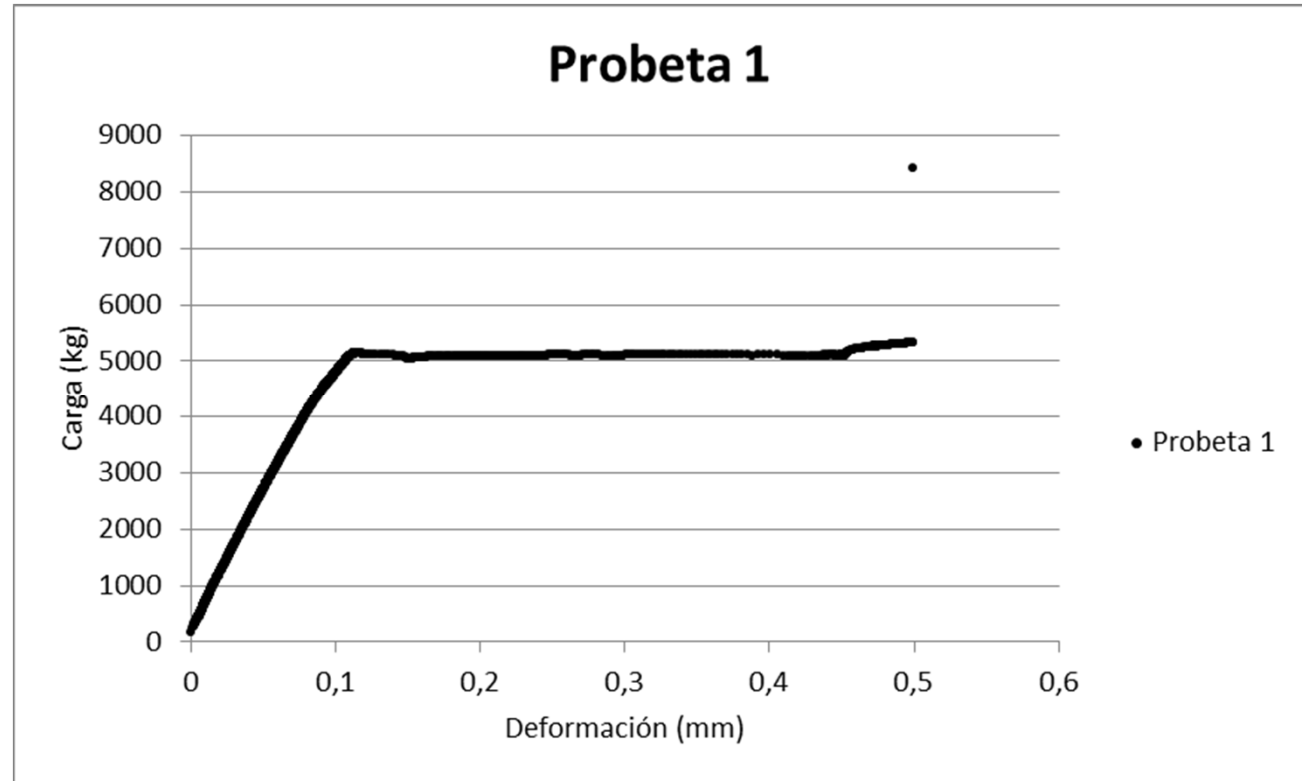
$$\pi d_e^2 0,25 l_p \delta_a = \text{peso probeta}$$

$$d_e = 12,74 \sqrt{\frac{m}{l}} = d_0$$

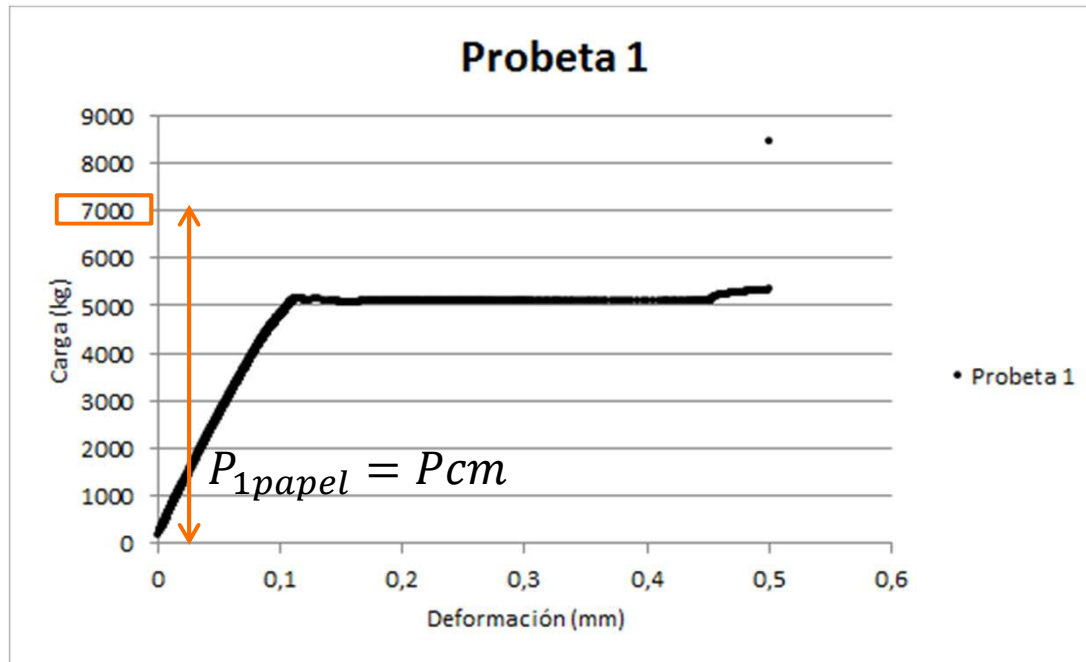
$$S_0 = \pi d_0^2 \times 0.25$$

Resultados

Probeta n:	1	
Fecha :	21/04/2016	
Hora :	11:57:29	
Carga máxima :	8430	
Módulo :	value {197.222450350}	
Extensómetro :	T1M	
Offset :	0.2	
Tiempo	Carga	Deformación
s	Kg	mm
0	67	-0,0002
0,1	102	-0,0002
0,2	168	0,0002
0,3	242	0,0011
0,4	275	0,002
0,5	281	0,0022
0,6	294	0,0024
0,7	317	0,0026
0,8	322	0,0028
0,9	328	0,0031
1	332	0,0031
1,1	338	0,0033
1,2	341	0,0033
1,3	348	0,0035
1,4	353	0,0035
1,5	358	0,0037
1,6	363	0,0037
1,7	367	0,0039



Escalas para pasar de P-D a σ - δ

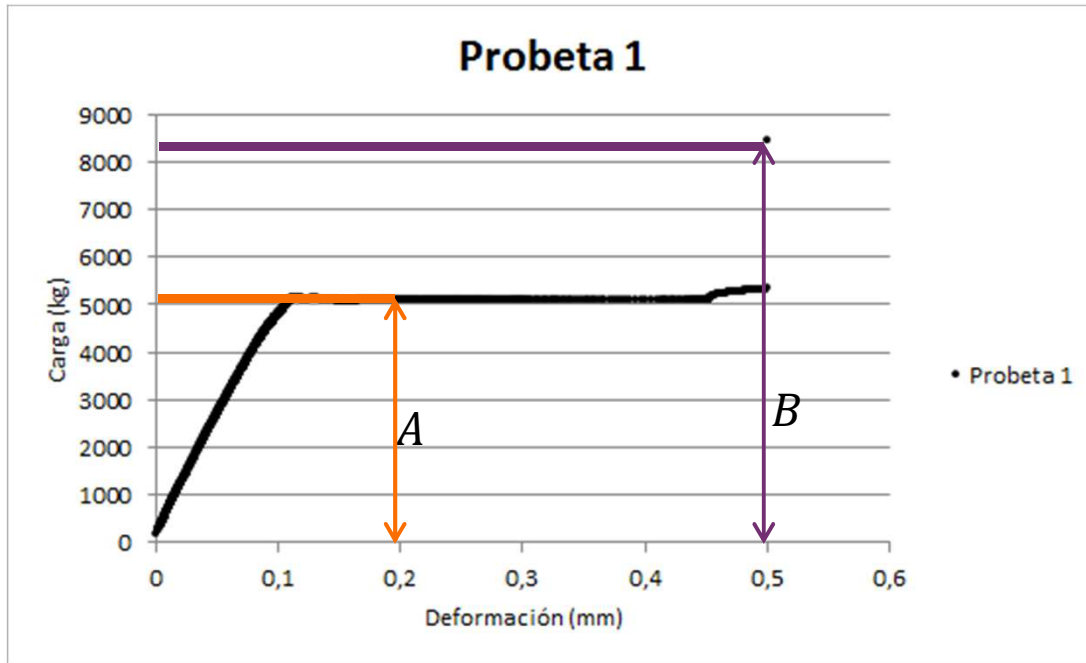


$$E_P = \frac{P_1}{P_{1papel}} = \frac{7000 \text{ kg}}{P \text{ cm}_p}$$

$$E_\sigma = \frac{E_P}{S_0} = E_P \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}_p} \right) \times \frac{1}{S_0} \left(\frac{1}{\text{cm}^2} \right)$$

$$E_\sigma = \frac{E_P}{S_0} = E_P \times \frac{1}{S_0} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}_p \text{ cm}^2} \right)$$

Cálculo de tensiones



$$E_P = \frac{P_1}{P_{1papel}} = \frac{7000 \text{ kg}}{P \text{ cm}_p}$$

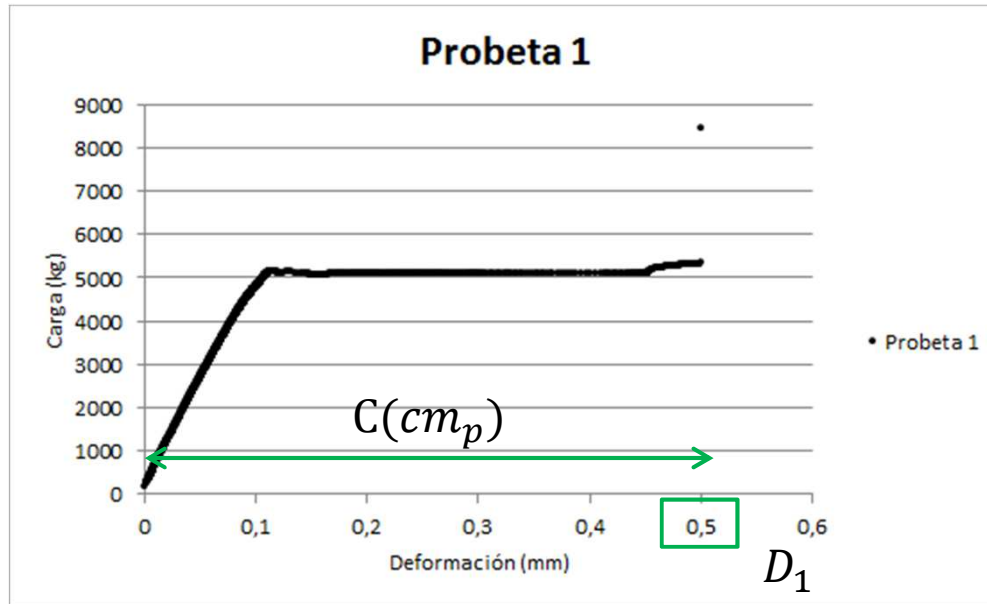
$$E_\sigma = \frac{E_P}{S_0} = E_P \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}_p} \right) \times \frac{1}{S_0} \left(\frac{1}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_f = A(\text{cm}_p) \times E_\sigma \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}_p \text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_r = B(\text{cm}_p) \times E_\sigma \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}_p \text{cm}^2} \right)$$

Observación: Obtener las escalas no es más que una regla de tres simple.

Escalas para pasar de P-D a $\sigma-\delta$



$$E_d = \frac{D_1}{C} = \frac{0,5 \text{ mm}}{C \text{ cm}_p}$$

De quién es el desplazamiento D_1 ?

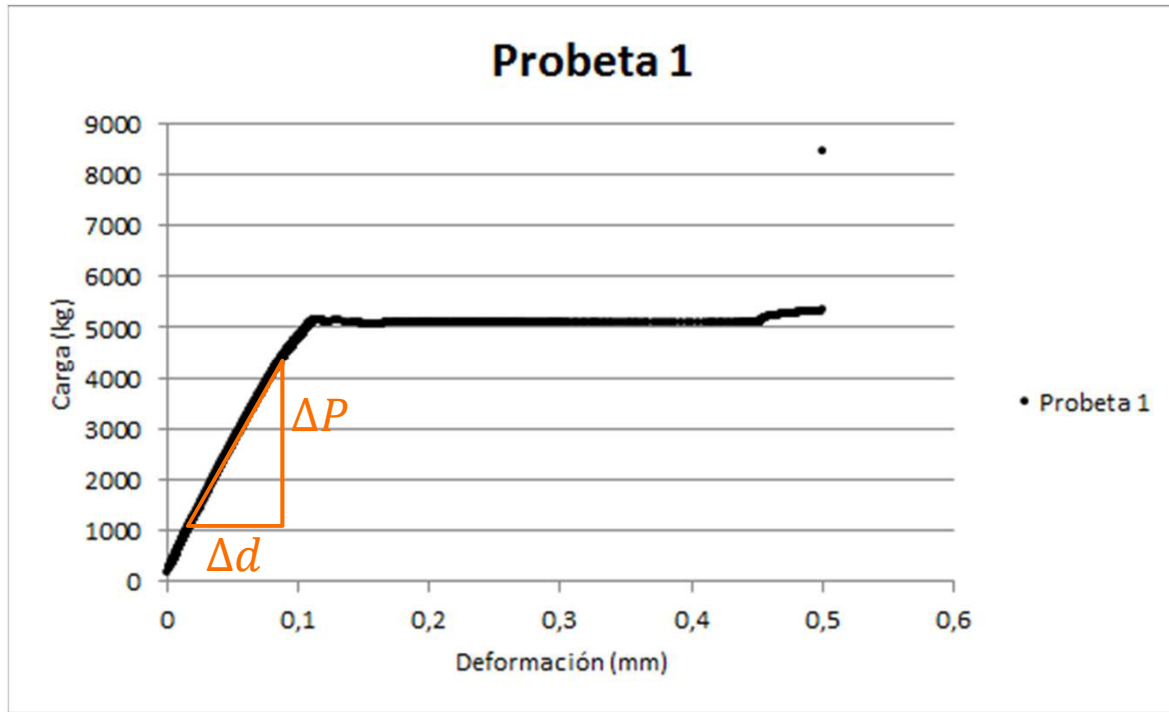
De las patitas del extensómetro

$$E_\delta = \frac{E_d}{B_{ext}} = E_d \left(\frac{\text{mm}}{\text{cm}_p} \right) \times \frac{1}{B_{ext}} \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$$

$$E_\delta = \frac{E_d}{B_{ext}} = E_d \times \frac{1}{B_{ext}} \left(\frac{1}{\text{cm}_p} \right)$$

$$E_\delta = \frac{E_d}{B_{ext}} 100\% \left(\frac{1}{\text{cm}_p} \right)$$

Módulo de elasticidad



$$\sigma = E\varepsilon$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

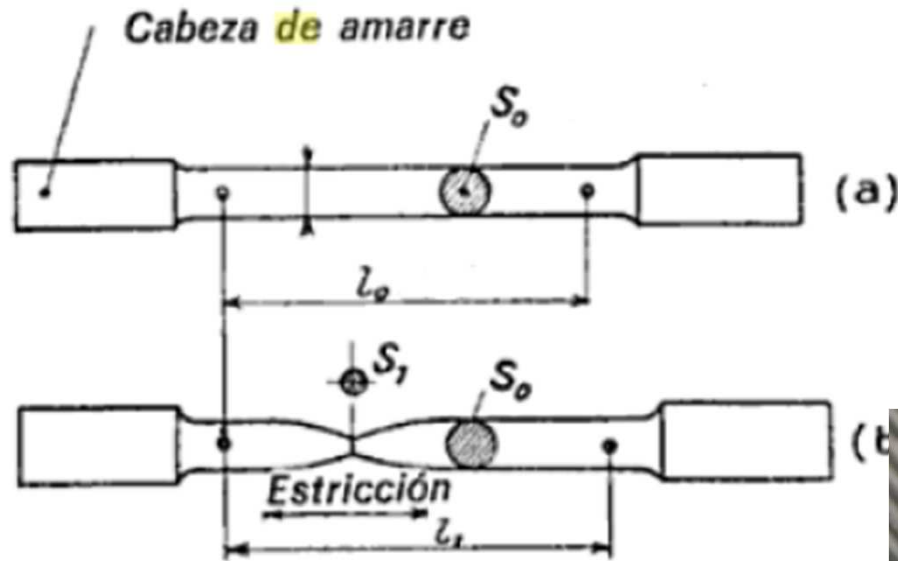
$$E = \frac{E_\sigma \Delta P}{E_\delta \Delta d}$$

$$E \sim 210.000 \text{ MPa}$$



No aprenderse las fórmulas de memoria!!!

Cálculo de alargamiento porcentual a la rotura



$$A_r(\%) = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

FIG. 1



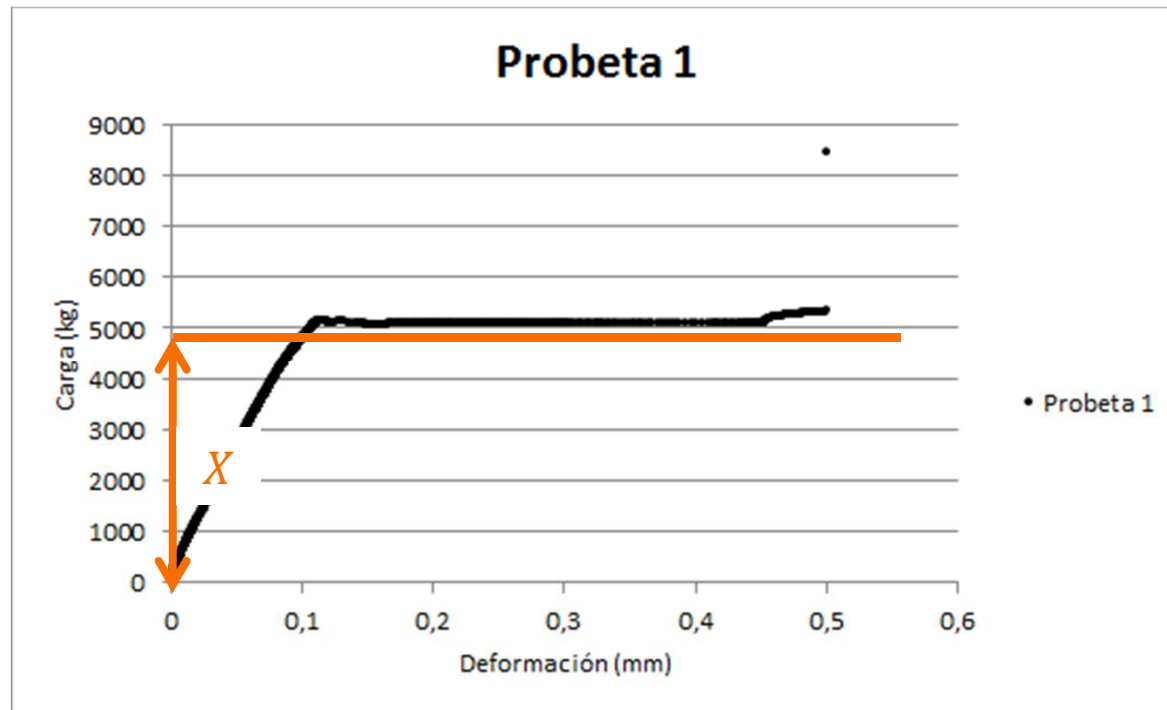
Comparación

Estos resultados se comparan con la norma en cuestión y se determina si la probeta cumple los requerimientos. Para esto, debe superar los tres valores:

- **Tensión de fluencia**
- **Tensión de rotura**
- **Alargamiento porcentual a la rotura**

Modelo Bilineal

El modelo bilineal sirve para representar **al acero teórico** con el que se tipificó al acero ensayado. El Valor N es el valor correspondiente a la tensión de fluencia que se obtiene de la norma en cuestión



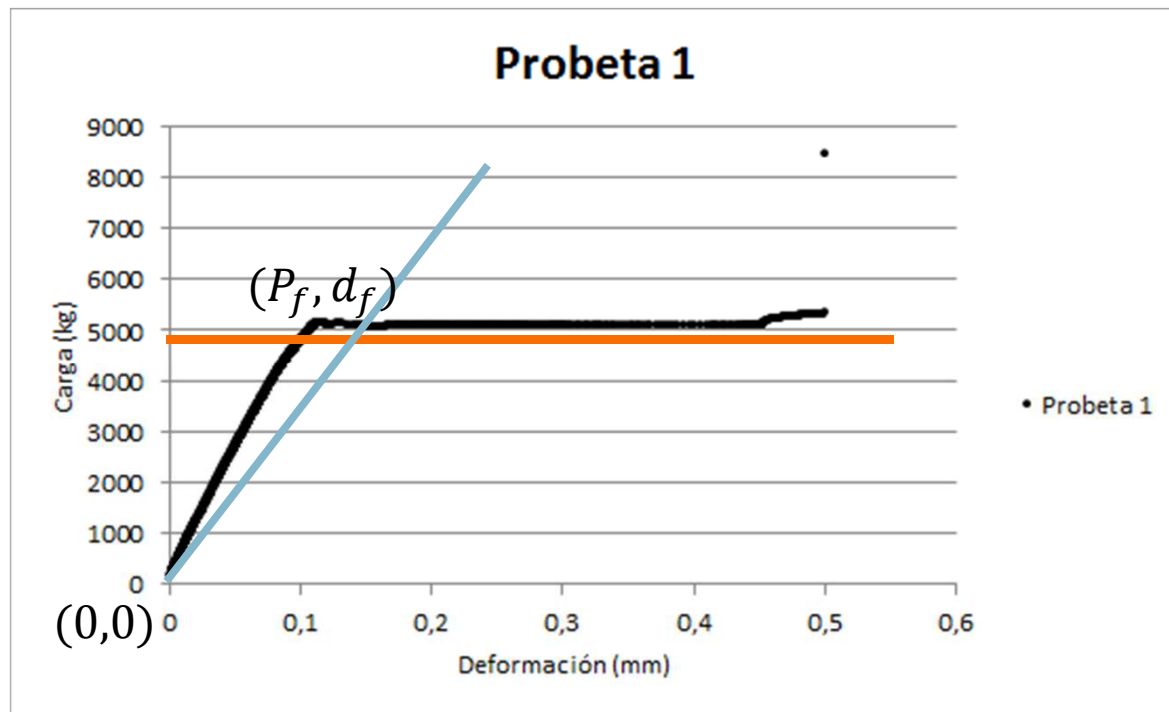
$$\sigma_{ft} = N \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_{ft} = E_{\sigma} X(cm_p)$$

$$X(cm_p) = \frac{\sigma_{ft}}{E_{\sigma}}$$

Modelo Bilineal

Para graficar la pendiente de la recta deben elegir dos puntos. El primero podría ser el origen. El segundo podría ser el punto donde comienza la fluencia del modelo. Como ya conocemos la ordenada de este punto, solo nos queda calcular el valor en el eje x.



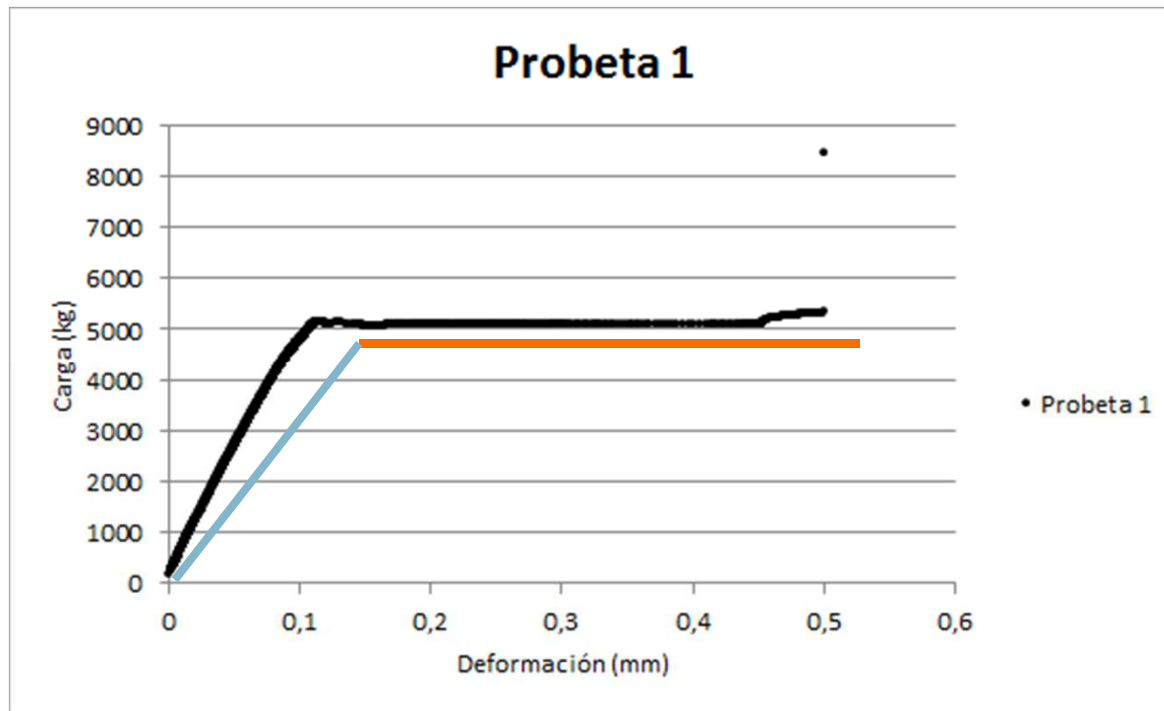
$$E = \frac{E_{\sigma} \Delta P}{E_{\delta} \Delta d}$$

$$E = \frac{E_{\sigma} (P_f - 0)}{E_{\delta} (d_{fluencia} - 0)}$$

$$d_{fluencia} = \frac{E_{\sigma} (P_f - 0)}{E \cdot E_{\delta}}$$

Modelo Bilineal

Finalmente, se obtiene el modelo



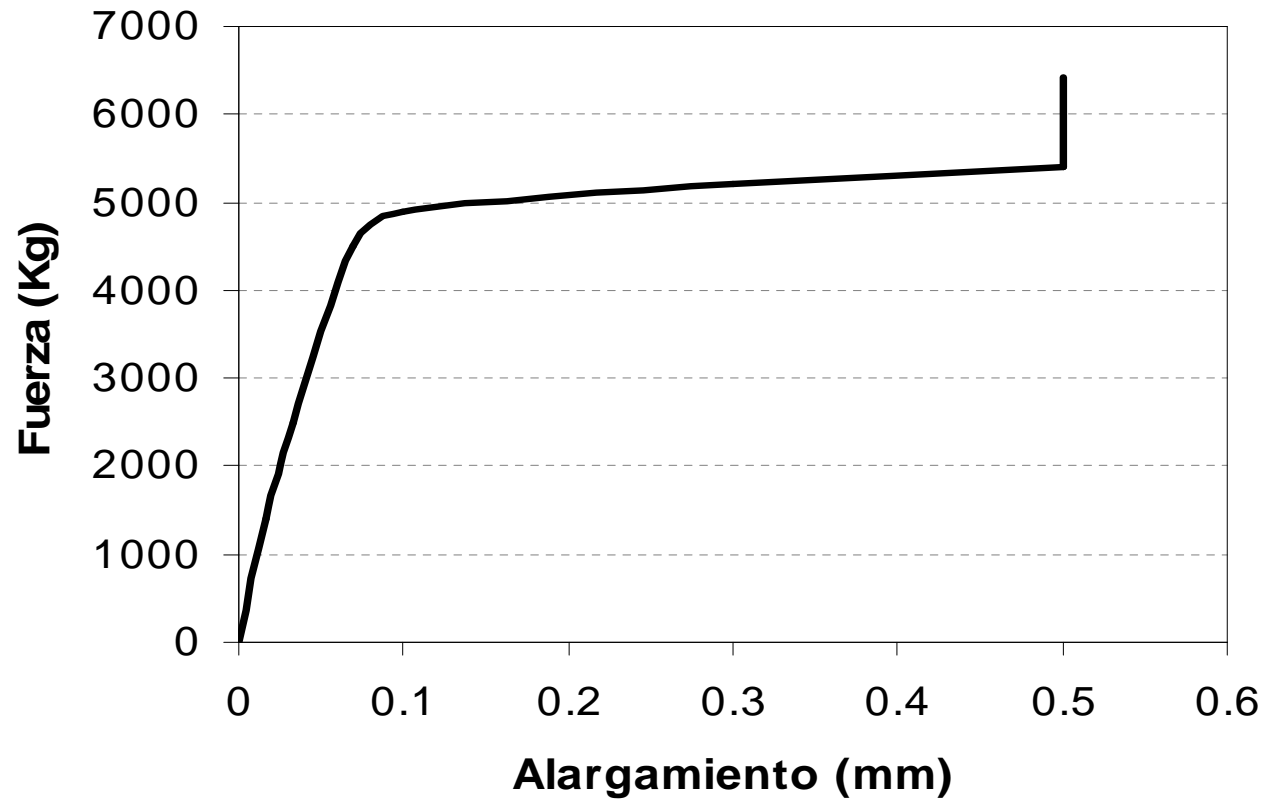
Ejercicio

Se ensayó una barra de acero de 280,6 mm de longitud total y 251,7 gr de peso como proporcionalmente larga, obteniendo la curva graficada. La longitud final entre marcas es de 141 mm. Se utilizó un extensómetro de 2" de base. La carga de rotura fue 6426 Kgf.

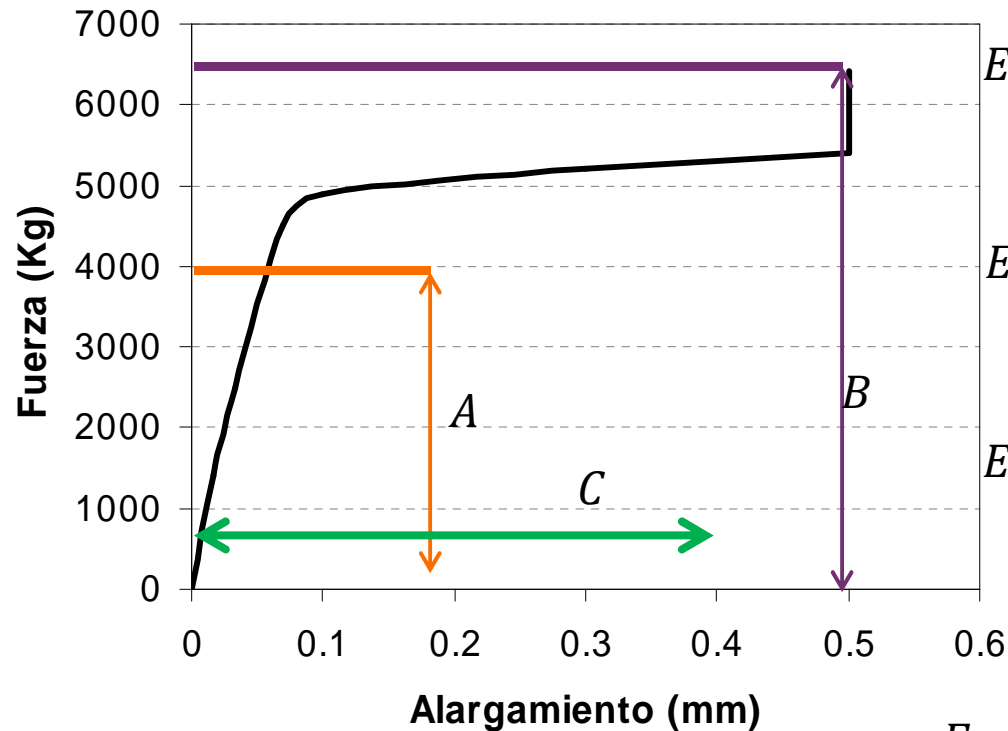
Determinar:

- A. Escala de carga, tensiones, desplazamientos y deformaciones.
- B. Tensión de fluencia, tensión de rotura, módulo de elasticidad y deformación de rotura.
- C. Cómo podríamos tipificar el material de esta probeta, teniendo en cuenta sus características mecánicas y los tipos de acero más comunes descritos en el curso. Comparar los resultados con los requerimientos mecánicos mínimos para el tipo de acero elegido.
- D. Graficar sobre la misma gráfica el modelo bilineal que lo caracterizaría.

Ejercicio



Cálculo de escalas



$$E_P = \frac{P_1}{P_{1papel}} = \frac{4000 \text{ kg}}{A \text{ cm}_p}$$

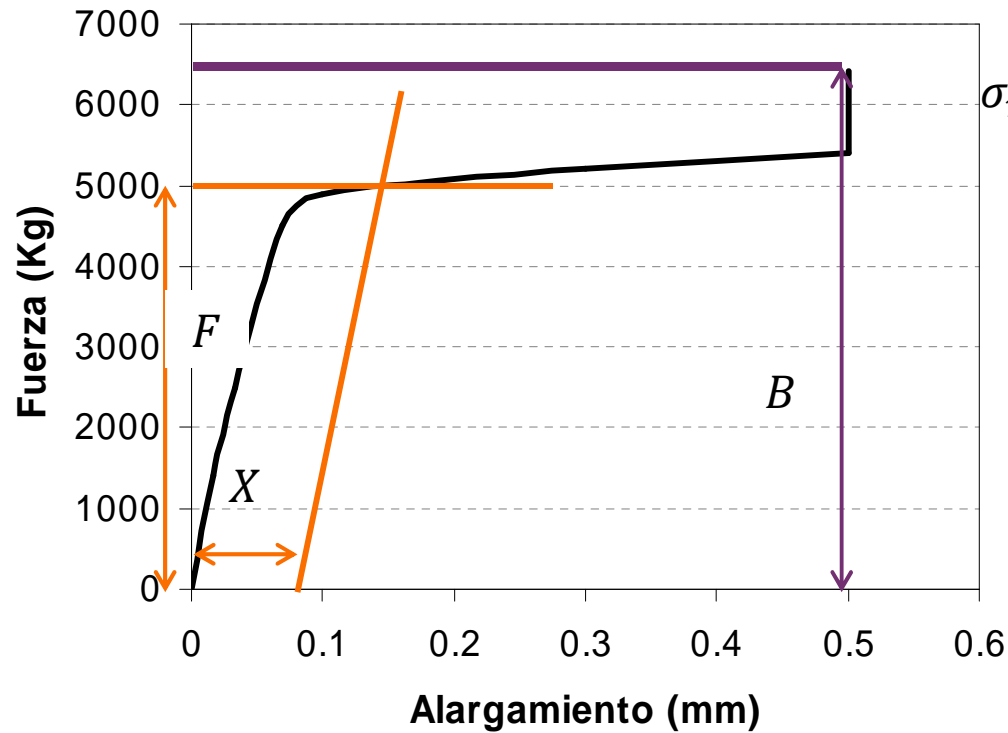
$$E_\sigma = \frac{E_P}{S_0} = E_P \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}_p} \right) \times \frac{1}{S_0} \left(\frac{1}{\text{cm}^2} \right) = 8,6 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}_p}$$

$$E_d = \frac{D_1}{D_{1papel}} = \frac{0,4 \text{ mm}}{C \text{ cm}_p}$$

$$E_\delta = \frac{E_d}{B_{ext}} = E_d \left(\frac{\text{mm}}{\text{cm}_p} \right) \times \frac{1}{B_{ext}} \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$$

$$E_\delta = \frac{E_d}{B_{ext}} = E_d \times \frac{1}{B_{ext}} \left(\frac{1}{\text{cm}_p} \right) = \frac{0,012 \%}{\text{mm}_p}$$

Cálculo de tensiones



$$\sigma_r = B(cm_p) \times E_\sigma \left(\frac{kg}{cm_p cm^2} \right) = 568 MPa$$

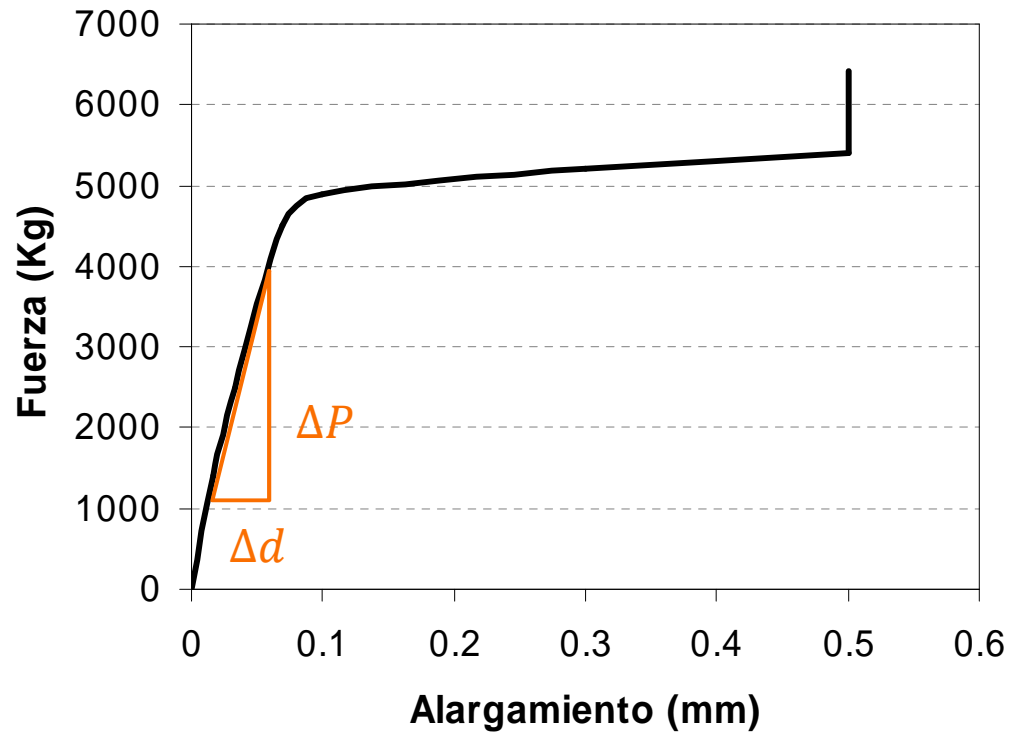
$$d_{0,2\%} = X_{d0,2\%}(cm_p) \times E_\sigma \left(\frac{kg}{cm_p cm^2} \right)$$

$$X_{d0,2\%}(mm_p) = 9mm_p$$

$$\sigma_f = F(cm_p) \times E_\sigma \left(\frac{kg}{cm_p cm^2} \right)$$

$$\sigma_f = 430MPa$$

Cálculo de E



$$\sigma = E\varepsilon$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

$$E = \frac{E_{\sigma} \Delta P}{E_{\delta} \Delta d}$$

$$E = 261373 \text{ MPa}$$



Alargamiento porcentual a la rotura

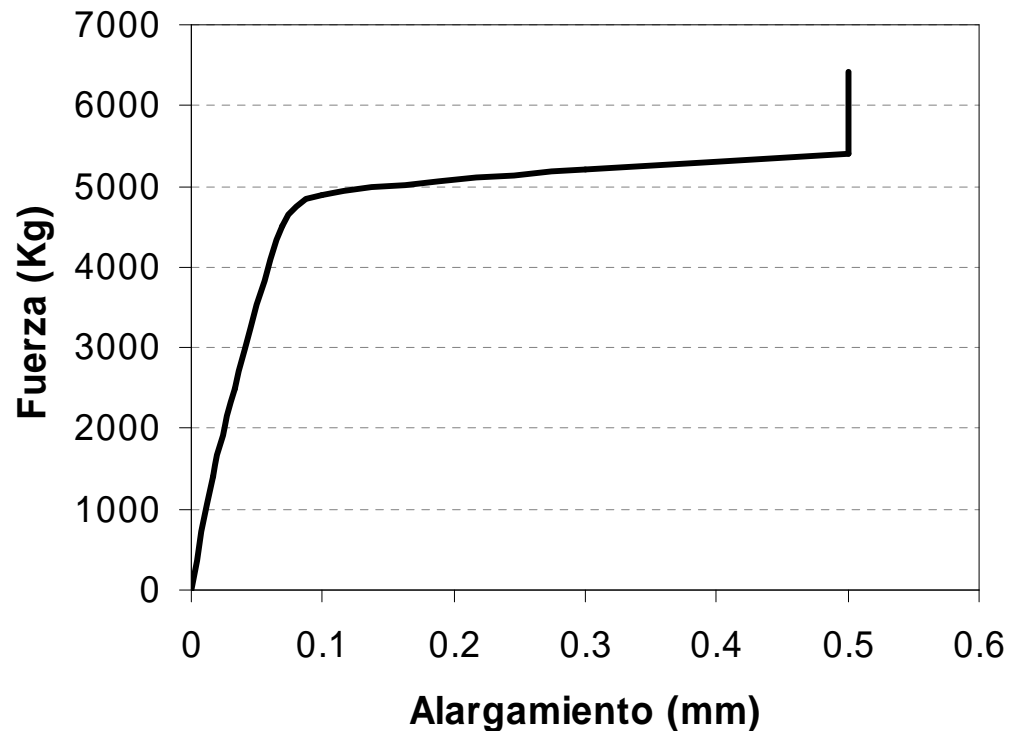
$$A_r(\%) = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 = 17,5\%$$

$$L_0 = 10 d_e$$

$$L_f = 141 \text{ mm}$$

Modelo Bilineal

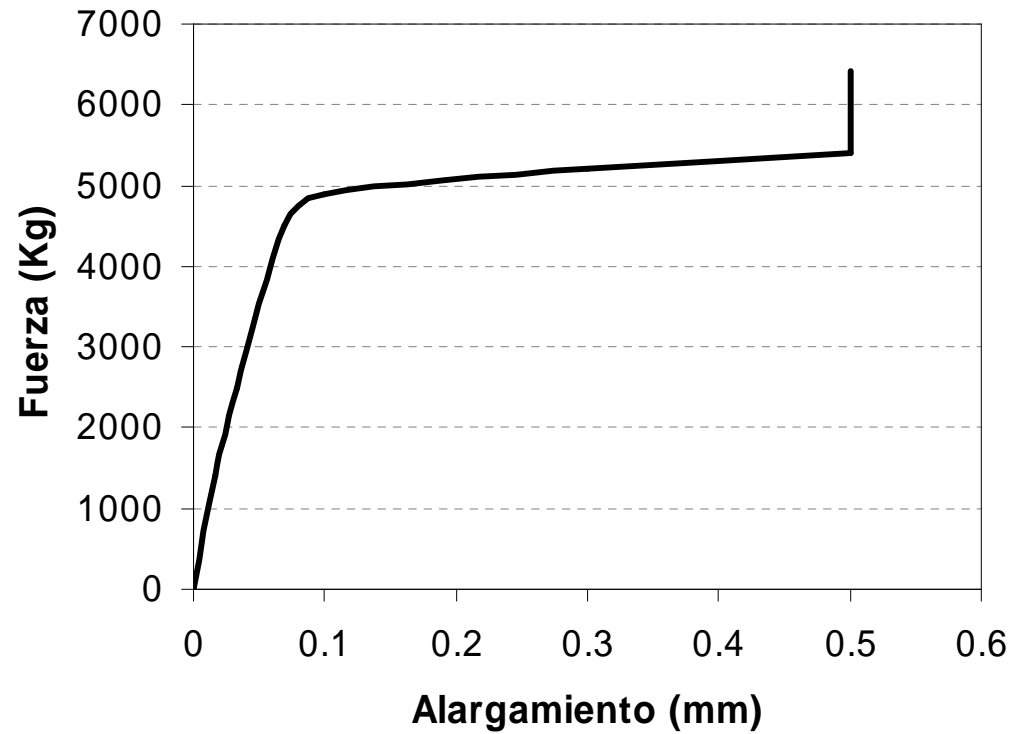
Para graficar la pendiente de la recta deben elegir dos puntos. El primero podría ser el origen. El segundo podría ser el punto donde comienza la fluencia del modelo. Como ya conocemos la ordenada de este punto, solo nos queda calcular el valor en el eje x.



$$E = \frac{E_{\sigma} (P_f - 0)}{E_{\delta} (d_{fluencia} - 0)}$$

$$d_{fluencia} = ???$$

Modelo Bilineal



$$\sigma_{ft} = N \text{ (MPa)}$$

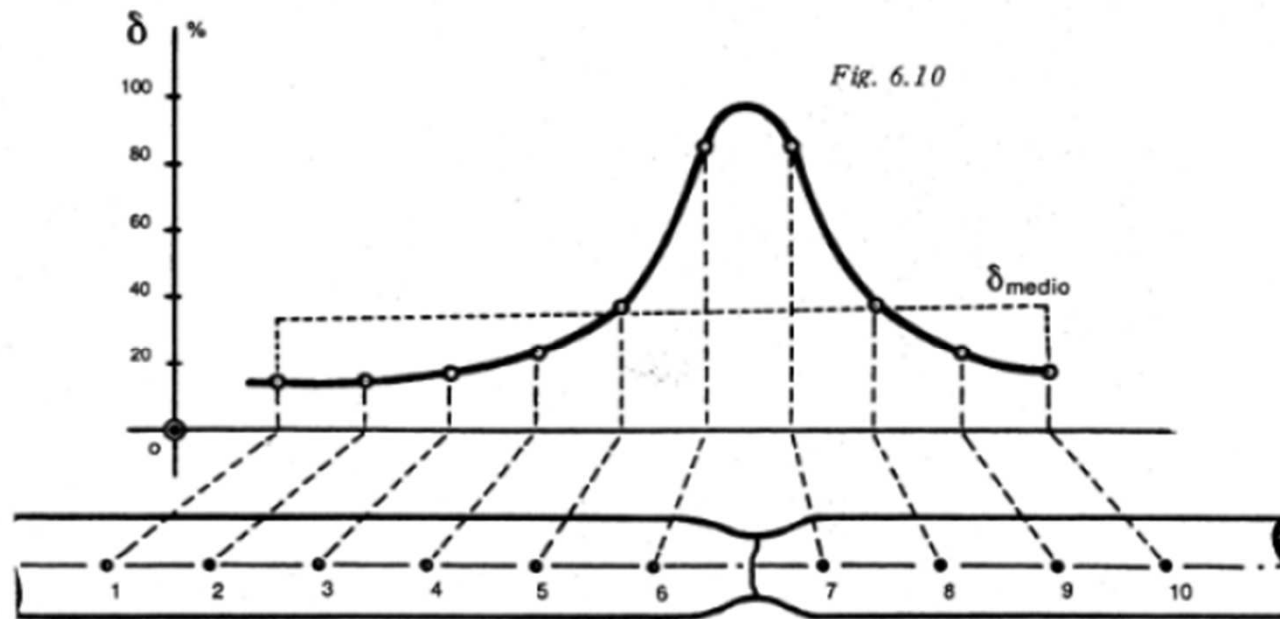
$$\sigma_{ft} = E_{\sigma} X(cm_p)$$

$$X(cm_p) = \frac{\sigma_{ft}}{E_{\sigma}}$$

$$X(cm_p) = 9 \text{ mm}$$

Ley de Semejanza

Si sometemos dos probetas de igual longitud pero de diferentes diámetros a tracción, la probeta de mayor diámetro tendrá una longitud final mayor.



Ley de Semejanza

Para poder comparar ensayos de aceros de diferentes diámetros se establece una relación de modo tal que la sección de la probeta no tenga influencia en el resultado final:

Primero, se divide el alargamiento en 2 partes, el alargamiento en función de la longitud y el alargamiento en función de la sección:

$$\delta = \frac{\alpha L_0 + \beta \sqrt{S_0}}{L_0}$$

$$\delta = \alpha + \frac{\beta \sqrt{S_0}}{L_0}$$

Para poder hacer los resultados comparables, el segundo término debe ser constante.

$$cte = \frac{\beta \sqrt{S_0}}{l_0} \quad \longrightarrow \quad L_0 = \frac{\beta \sqrt{S_0}}{cte} \quad \longrightarrow \quad L_0 = K \sqrt{S_0}$$

Ley de Semejanza

La norma establece que los valores de K serán:

- Probetas proporcionalmente cortas: $K = 5,65$
- Probetas proporcionalmente largas: $K = 11,3$

Si reemplazamos estos valores en la fórmula anterior podemos encontrar los valores de longitud inicial que usamos al principio del ensayo:

$$L_0 = 5,65\sqrt{\pi d^2 0,25} = d 5,65\sqrt{\pi 0,25} = d 5,006 \sim 5 d$$

$$L_0 = 11,3\sqrt{\pi d^2 0,25} = d 11,3\sqrt{\pi 0,25} = d 10,01 \sim 10 d$$

Por lo tanto, si usamos estas longitudes, el alargamiento de la probeta no tendrá influencia de la sección de la misma.

Probetas geoméricamente semejantes de un mismo metal, experimentan deformaciones geoméricamente semejantes cuando son ensayadas en condiciones idénticas