

Table of Contents

1 MATERIALES METÁLICOS.....1

1.1 Principales propiedades mecánicas.....1

1.2 El acero.....5

1.3 Clasificación de los aceros.....7

1.4 Diagrama tensión-deformación.....10

# 1 MATERIALES METÁLICOS

Se denomina **METAL** a los elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del **CALOR** y la **ELECTRICIDAD**, poseer alta **DENSIDAD**, y ser **SÓLIDOS** a temperaturas normales (excepto el mercurio y el galio). Generalmente son **REFLECTANTES** de la luz, lo que les da su peculiar brillo. El concepto de metal refiere tanto a elementos puros, así como a **ALEACIONES** con características metálicas, como el acero (**HIERRO, CARBONO Y OTROS**) y el bronce (**COBRE Y ESTAÑO**). Los metales comprenden la mayor parte de la [tabla periódica de los elementos](#) y se separan de los no metales por una línea diagonal entre el boro y el polonio. Se extraen de los minerales de las rocas (menas). Los materiales metálicos cuyo componente principal es el HIERRO se llaman ferrosos, el resto se llaman no ferrosos, como el **ALUMINIO, COBRE, LATÓN**, etc.

## 1.1 Principales propiedades mecánicas

### 1-Plasticidad

Es la propiedad mecánica de los metales completamente opuesta a la **ELASTICIDAD**. La plasticidad se define como la capacidad que tienen los metales de **CONSERVAR** la forma que les fue dada después de ser sometidos a un esfuerzo. Los metales, usualmente son altamente **PLÁSTICOS**, por esta razón, una vez son deformados, fácilmente conservarán su nueva **FORMA**.

### 2-Fragilidad

La fragilidad es una propiedad completamente opuesta a la tenacidad, ya que denota la facilidad con la que un metal puede ser **ROTO** una vez es sometido a un esfuerzo. En muchas ocasiones, los metales son **ALEADOS** unos con otros para reducir su coeficiente de **FRAGILIDAD** y poder tolerar más las cargas. La fragilidad también se define como fatiga durante las pruebas de resistencia mecánica de los metales. De esta manera, un metal puede ser sometido varias veces al mismo esfuerzo antes de **ROMPERSE** y arrojar un resultado concluyente sobre su fragilidad.

### 3-Maleabilidad

La maleabilidad hace alusión a la facilidad que tiene un metal para ser **LAMINADO** sin que esto represente una ruptura en su estructura. Muchos metales o aleaciones metálicas cuentan con un alto coeficiente de maleabilidad, este es el caso del aluminio que es altamente maleable, o el acero inoxidable.

#### 4-Dureza

La dureza se define como la resistencia que opone un metal ante agentes abrasivos. Es la resistencia que tiene cualquier metal a ser **RAYADO** o penetrado por un cuerpo. La mayoría de metales requieren de ser aleados en algún porcentaje para aumentar su **DUREZA**. Este es el caso del oro, que por sí solo no lograría ser tan duro como lo es cuando se mezcla con el bronce. Históricamente, la dureza se medía en una escala empírica, determinada por la capacidad que tenía un metal de rayar a otro o de resistir el impacto de un **DIAMANTE**. Hoy en día, la dureza de los metales es medida con procedimientos estandarizados como lo son el test de Rockwell, Vickers o [Brinell](#). Todos estos tests buscan arrojar resultados concluyentes sin dañar mayormente el metal que está siendo estudiado.

#### 5-Ductilidad

La ductilidad es la capacidad que tiene un metal para deformarse antes de ROMPERSE. En este sentido, es una propiedad mecánica completamente opuesta a la **FRAGILIDAD**. La ductilidad puede ser dada como un porcentaje de elongación máximo o como un máximo de reducción de área. Una forma elemental de explicar ductilidad de material, es su capacidad para ser transformado en **HILO o ALAMBRE**. Un metal altamente dúctil es el **COBRE**.

## 6-Elasticidad

La elasticidad que define como la capacidad que tiene un metal para recuperar su **FORMA** después de haber sido sometido a una fuerza externa. En general, los metales NO son muy elásticos, por esta razón es común que presenten **ABOLLADURAS** o rastros de golpes de los que nunca se recuperarán. Cuando un metal es elástico, también se puede decir que es resiliente, ya que es capaz de absorber de forma elástica la **ENERGÍA** que le está provocando una deformación.

## 7-Tenacidad

La tenacidad es el concepto opuesto a la **FRAGILIDAD**, ya que denota la capacidad que tiene un material de resistir la aplicación de una fuerza externa sin **ROMPERSE**. Los metales y sus aleaciones son, generalmente, tenaces. Este es el caso del **ACERO**, cuya tenacidad le permite ser apto para aplicaciones de construcción que requieran de soportar altas **CARGAS** sin que haya lugar a rupturas. La tenacidad de los metales puede ser medida en diferentes escalas. En algunas pruebas, se aplican cantidades relativamente pequeñas de fuerza a un metal, como ligeros impactos o choques. En otras ocasiones, es común que sean aplicadas fuerzas mayores. De cualquier manera, el coeficiente de tenacidad de un metal será dado en la medida en la que éste no presente ningún tipo de **RUPTURA** después de haber sido sometido a un esfuerzo.

## 8-Rigidez

La rigidez es una propiedad mecánica propia de los metales. Esta tiene lugar cuando una fuerza externa es aplicada a un metal y éste debe desarrollar una fuerza interna para soportarla. Esta fuerza interna se denomina “estrés”. De esta manera, la rigidez es la capacidad que tiene un metal de **RESISTIRSE** a la deformación durante la presencia del estrés.

### 9-Variabilidad de las propiedades

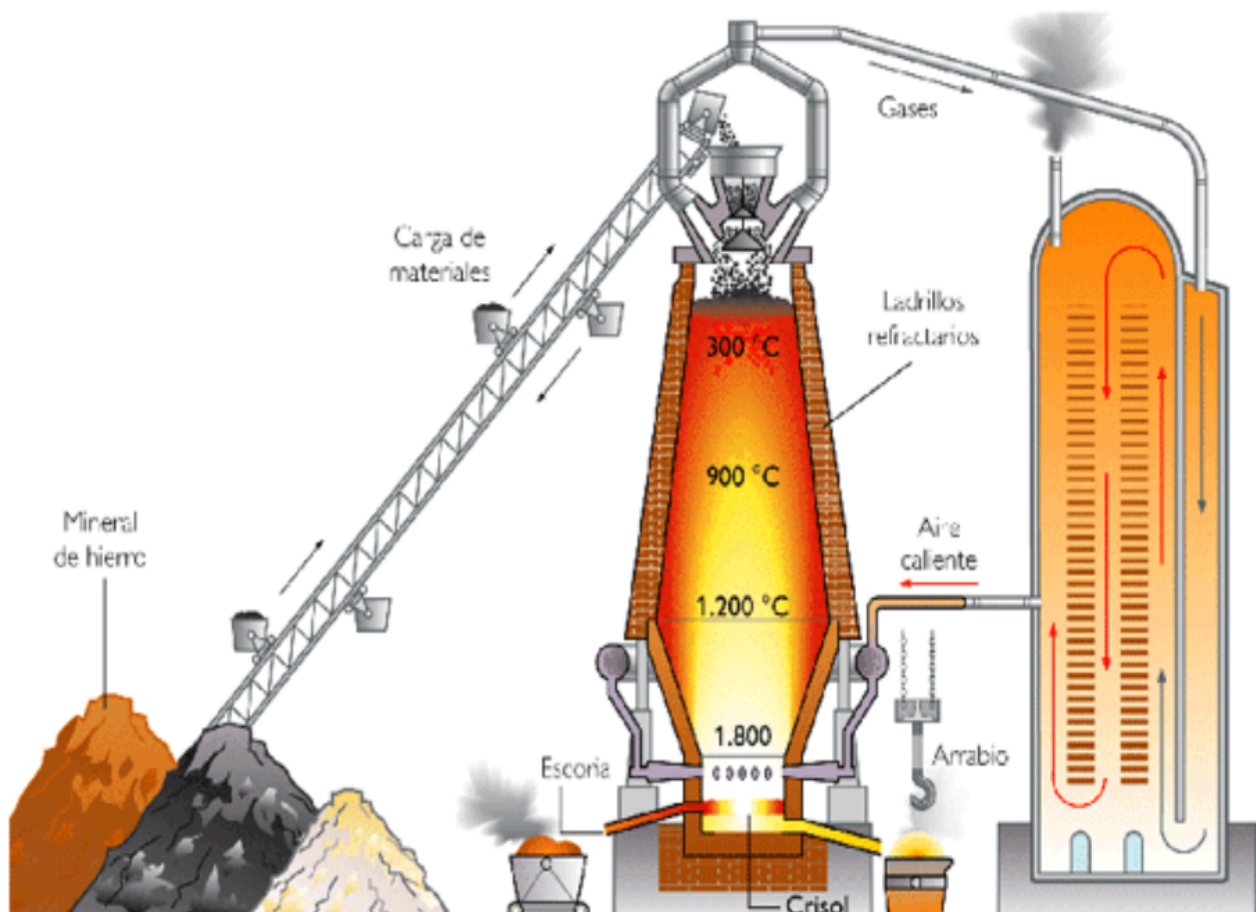
Los tests de propiedades mecánicas de los metales no siempre producen los mismos resultados, esto se debe a los posibles cambios en el tipo de equipo, procedimiento, u operario que se usa durante las pruebas. Sin embargo, incluso cuando todos estos parámetros son controlados, existe un pequeño margen en la variación de los resultados de las propiedades mecánicas de los metales. Esto se debe a que en general la fabricación o proceso de extracción de los metales difiere. Por lo tanto, los resultados a la hora de medir las propiedades de los metales se pueden ver alterados. Con el objetivo de mitigar estas diferencias, se recomienda realizar varias veces la misma prueba de resistencia mecánica en el mismo material, pero en diferentes muestras seleccionadas de forma aleatoria.

## 1.2 El acero

Los materiales más **FRECUENTES** en cualquier taller de mantenimiento industrial son los aceros. Generalmente acero al carbono del tipo A42b. Aunque actualmente también se utilizan mucho otros materiales como los aceros **INOXIDABLES**, el **ALUMINIO**, la fibra de **VIDRIO**, los **PLÁSTICOS** o los materiales **COMPUESTOS**. El acero es una aleación de **HIERRO Y CARBONO**. Se puede alear, además, con otros elementos para obtener aleaciones de diferentes características según sea necesario.

Es el metal más usado del mundo con gran diferencia por sus elevadas prestaciones **MECÁNICAS** así como su **RECICLABILIDAD**. Las aleaciones de hierro-carbono dan lugar a los aceros si el porcentaje de carbono es menor del **2%**. Si hay más carbono, dan lugar a las fundiciones. Las técnicas para la obtención del acero se denominan **SIDERURGIA**. Empieza con los minerales ricos en **HIERRO** como siderita, limonita, pirita, magnetita... El hierro se obtiene de sus óxidos, presentes en los minerales anteriores, en un **ALTO HORNO**. En el alto horno se reduce con **CARBÓN** y carbonato cálcico.

Esquema de un alto horno.



En la imagen anterior se ve cómo el alto horno se alimenta por la **BOCA** con carbón, mineral de hierro y caliza. El carbón se **QUEMA**, potenciándose el calor generado con **AIRE** a presión. Se funden los **ÓXIDOS** de hierro, mezclándose con el carbono presente en el carbón. La mezcla **HIERRO-CARBONO** (llamada arrabio), más pesada, se va al **FONDO** del alto horno (**CRISOL**). En la parte intermedia (etalaje) queda la **ESCORIA**. El arrabio se extrae por la parte **INFERIOR** del alto horno. El arrabio, al contener alrededor del **4-6%** de carbono, es un material **DURO**, pero **FRÁGIL**, que tiene menos aplicaciones prácticas. Para convertirlo en acero se le debe rebajar el contenido en **CARBONO**. Asimismo, se le pueden añadir otros **ALEANTES** para obtener características determinadas que mejoren sus propiedades.

### 1.3 Clasificación de los aceros

Según la norma UNE EN 10020:2001 define al acero como aquel material en el que el **HIERRO** es el elemento predominante, el contenido en **CARBONO** es, generalmente inferior al **2%** y contiene además a otros elementos. El límite superior del 2% en el contenido de carbono (C) es el límite que separa al acero de la **FUNDICIÓN**. En general, un aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la **TRACCIÓN**, pero como contrapartida incrementa su **FRAGILIDAD** en frío y hace que disminuya la **TENACIDAD** y la **DUCTILIDAD**. En función de este porcentaje, los aceros se pueden clasificar de la siguiente manera:

-Aceros **DULCES**: Cuando el porcentaje de carbono es del **0,25%** máximo. Estos aceros tienen una resistencia última de rotura en el rango de 48-55 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza Brinell en el entorno de 135-160 HB. Son aceros que presentan una buena **SOLDABILIDAD** aplicando la técnica adecuada. Aplicaciones: Piezas de resistencia media de buena tenacidad, deformación en frío, embutición, plegado, herrajes, etc.

-Aceros **SEMIDULCE**: El porcentaje de carbono está en el entorno del **0,35%**. Tiene una resistencia última a la rotura de 55-62 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza Brinell de 150-170 HB. Estos aceros bajo un tratamiento térmico por **TEMPLADO** pueden alcanzar una resistencia mecánica de hasta 80 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 215-245 HB.

Aplicaciones: Ejes, elementos de maquinaria, piezas resistentes y tenaces, pernos, tornillos, herrajes.

-Aceros **SEMIDUROS**: Si el porcentaje de carbono es del **0,45%**. Tienen una resistencia a la rotura de 62-70 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 280 HB. Después de someterlos a un tratamiento de temple su resistencia mecánica puede aumentar hasta alcanzar los 90 kg/mm<sup>2</sup>.

Aplicaciones: Ejes y elementos de máquinas, piezas bastante resistentes, cilindros de motores de explosión, transmisiones, etc.

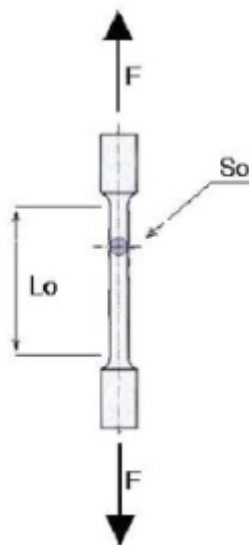


-Aceros **DUROS**: El porcentaje de carbono es del **0,55%**. Tienen una resistencia mecánica de 70-75 kg/mm<sup>2</sup>, y una dureza Brinell de 200-220 HB. Bajo un tratamiento de templado estos aceros pueden alcanzar un valor de resistencia de 100 kg/mm<sup>2</sup> y una dureza de 275-300 HB.

Aplicaciones: Ejes, transmisiones, tensores y piezas regularmente cargadas y de espesores no muy elevados.

## 1.4 Diagrama tensión-deformación

El diagrama tensión-deformación resulta de la representación gráfica del **ENSAYO DE TRACCIÓN**, normalizado en UNE-EN 10002-1, y que consiste en someter a una probeta de acero normalizada a un esfuerzo **CRECIENTE** de tracción según su eje hasta la rotura de la misma. El ensayo de tracción permite el cálculo de diversas propiedades **MECÁNICAS** del acero. La probeta de acero empleada en el ensayo consiste en una pieza **CILÍNDRICA** cuyas dimensiones guardan una relación de proporcionalidad.



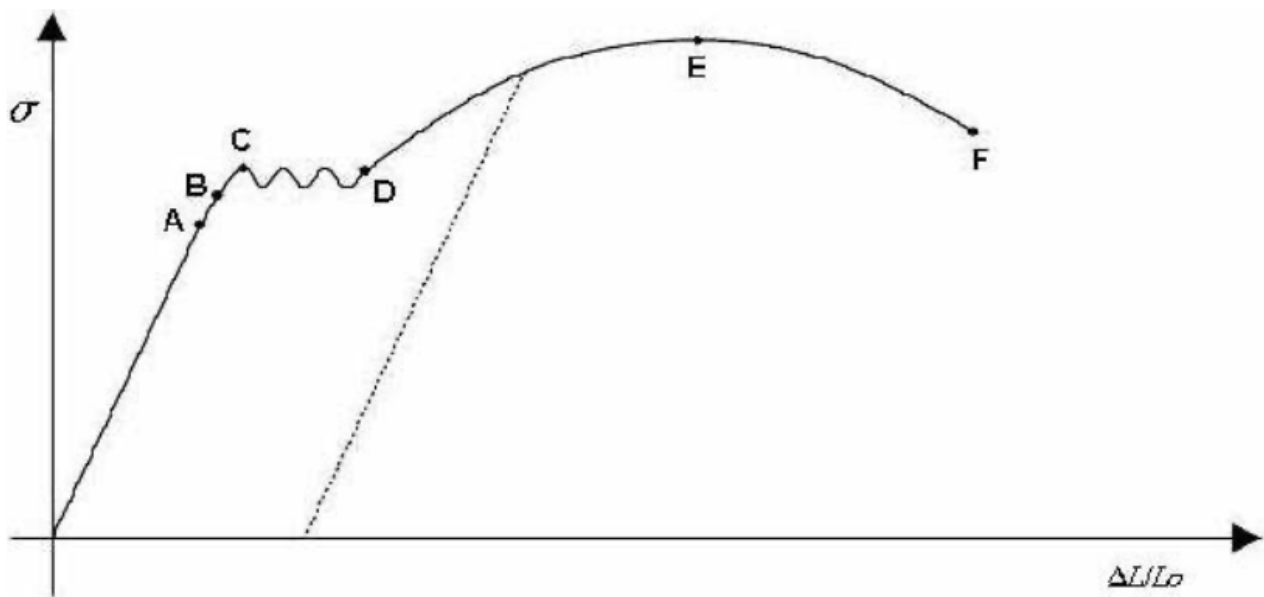
$L_0$  es la longitud inicial,  $S_0$  es la sección inicial y  $D_0$  es el diámetro inicial de la probeta. Para llevar a cabo el ensayo de tracción, las anteriores variables pueden tomar los siguientes valores:

$D_0 = 20 \text{ mm}$ ,  $L_0 = 100 \text{ mm}$ , ó bien,  $D_0 = 10 \text{ mm}$ ,  $L_0 = 50 \text{ mm}$ .

El ensayo comienza aplicando gradualmente la fuerza de **TRACCIÓN** a la probeta, lo cual provoca que el recorrido inicial en la gráfica discorra por la línea **RECTA** que une el origen de coordenadas con el punto A. Hasta llegar al punto A se conserva una proporcionalidad entre la tensión alcanzada y el **ALARGAMIENTO** producido en la pieza. Es lo que se conoce como Ley de Hooke, que relaciona linealmente tensiones con las **DEFORMACIONES** a través del módulo de elasticidad  $E$ . El módulo de elasticidad es específico y constante para cada material. En el caso de los aceros y fundiciones es aproximadamente **2.100.000 Kg/cm<sup>2</sup>**. Otra particularidad de este tramo es que al cesar la tracción, la pieza recupera su **LONGITUD INICIAL**. Es decir, se comporta de manera

**ELÁSTICA** y el punto A se denomina “**LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD**”.

Pasado el punto A y hasta llegar al punto B, los alargamientos producidos crecen de manera más rápida con la tensión, y se cumple que al **CESAR** la carga, la pieza **RECUPERA** de nuevo su geometría inicial, es decir, se sigue comportando elásticamente. El punto B marca el límite a este comportamiento, y por ello al punto B se le denomina Límite Elástico.



Tras pasado el punto B, el material pasa a comportarse de manera **PLÁSTICA**, es decir, que no recupera su **LONGITUD** inicial, quedando una deformación remanente al cesar la carga. De esta manera, el proceso de descarga se realiza siguiendo la trayectoria según la línea punteada mostrada del diagrama **TENSIÓN-DEFORMACIÓN**, que como se ve, corta al eje de deformaciones,  $\Delta L/L_0$ , a una cierta distancia del origen, que se corresponde con la deformación **REMANENTE** que queda. Concretamente, el punto B o “**LÍMITE ELÁSTICO**” es aquel que le corresponde una deformación remanente del **0.2%**.

Si se sigue aplicando carga se llega al punto identificado en la gráfica como C, a partir de aquí y hasta el punto D, las deformaciones **CRECEN** de manera rápida mientras que la carga fluctúa entre dos valores, llamados límites de fluencia, **SUPERIOR E INFERIOR**. Este nuevo estadio, denominado de **FLUENCIA**, es característico exclusivamente de los aceros **DÚCTILES**, no apareciendo en los aceros **ENDURECIDOS**.

Más allá del punto de fluencia D es necesario seguir aplicando un **AUMENTO** de la carga para conseguir un pronunciado aumento del alargamiento. Entramos ya en la zona de las grandes

**DEFORMACIONES** plásticas hasta alcanzar el punto F, donde la carga alcanza su valor **MÁXIMO**, lo que dividida por el área inicial de la probeta proporciona la tensión máxima de **ROTURA** o resistencia a la tracción.

A partir del punto E tiene lugar el fenómeno de estricción de la probeta, consistente en una **REDUCCIÓN** de la sección en la zona de la rotura, que es la causa de la siguiente bajada de la curva, dado que al reducirse el valor de la **SECCIÓN**, el valor de la carga aplicado a partir del punto E también se va reduciendo hasta alcanzar el punto F de **ROTURA**.

#### LÍMITE ELÁSTICO Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La determinación de las propiedades mecánicas en el acero, como el **LÍMITE ELÁSTICO**, la **RESISTENCIA A TRACCIÓN**, así como de otras características mecánicas del acero como el **MÓDULO DE ELASTICIDAD**, o el **ALARGAMIENTO MÁXIMO** que se produce en la rotura, se efectuará mediante el anteriormente definido ensayo de tracción normalizado en la UNE-EN 10002-1.

El valor de la tensión última o **RESISTENCIA A TRACCIÓN** se calcula a partir de este ensayo, y se define como el cociente entre **LA CARGA MÁXIMA** que ha provocado el fallo a rotura del material por tracción y la **SUPERFICIE** de la sección transversal inicial de la probeta, mientras que el **LÍMITE ELÁSTICO** marca el umbral que, una vez se ha superado, el material trabaja bajo un comportamiento plástico y deformaciones remanente.

En la sección ANEXOS de este tutorial se pueden consultar los valores del límite elástico y la resistencia a tracción para las distintas calidades de aceros según las normativas europea y americana.

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ACERO

- Aleación de color pardo/oscurο.
- Resistencia a tracción: **2.600Kg/cm<sup>2</sup>**.
- Alargamiento rotura: **20%**.
- Densidad: **7,85 Kg/dm<sup>3</sup>**.
- Fusión a **1.375° – 1.610° C** en función de los aleantes empleados.
- **Tenaz, resistente, duro, maleable (hojas finas), dúctil (alambres). Soldable. Conductor.**
- Se **CORROE/OXIDA** en presencia de agua/humedad
- Es **MAGNÉTICO**, el imán se pega.

La composición y las proporciones de los elementos de aleación tienen gran influencia sobre las características resultantes de los aceros.

El carbono eleva la **dureza, resistencia y templabilidad** del acero y disminuye su tenacidad; el silicio mejora la **ELASTICIDAD**, y el azufre y el fósforo pueden considerarse perjudiciales.

Entre los metales, el níquel incrementa la **TENACIDAD**, el cromo la **RESISTENCIA Y DUREZA**, el vanadio la **RESISTENCIA AL DESGASTE**, el tungsteno y el cobalto la dureza a alta **TEMPERATURA**.

### ALEANTES PRINCIPALES.

- Plomo: Reduce resistencia. Fácil de mecanizar.
- Cromo: Dureza, Resistencia, inoxidable
- Vanadio: Resistencia, corrosión.
- Molibdeno: Tenacidad, resistencia, corrosión.
- Silicio: Flexibilidad. Muelles.
- Níquel: Tenacidad, resistencia corrosión.
- Cobalto: Gran dureza. Para corte.
- Tungsteno o Wolframio: Resistencia a alta temperatura, para herramientas de corte.

### APLICACIONES DE ACUERDO A SU COMPOSICIÓN.

- Aceros al Carbono: Para elementos constructivos (vigas, pilares), piezas mecánicas.
- Aceros al Silicio: Muelles, ballestas.
- Aceros al Cromo-Vanadio: Herramientas.
- Aceros al Cromo- Molibdeno: Herramientas, piezas de alta resistencia.
- Aceros al Cobalto o Tungsteno: Herramientas de corte.

### Cálculo del alargamiento

$$\sigma = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot E$$

$\sigma$       tensión en  $\frac{kg}{cm^2}$

$\frac{\Delta L}{L}$       alargamiento relativo sin unidad

$E$       módulo de elasticidad en  $\frac{kg}{cm^2}$

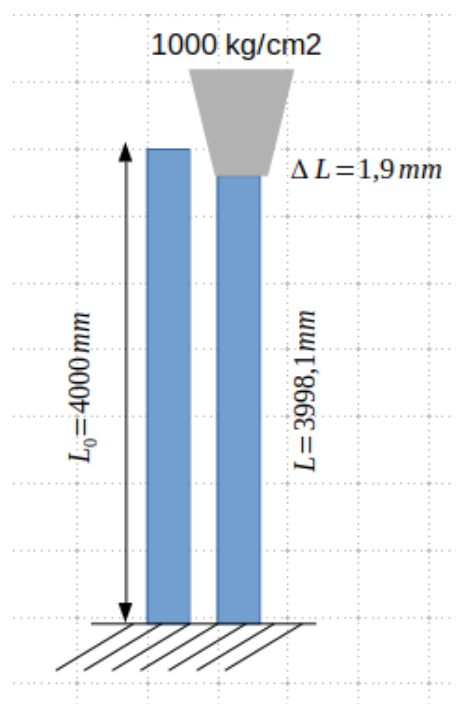
### Ejemplo

Si a una viga de acero de 4 m de longitud se le aplica una tensión de compresión de  $1000 \frac{kg}{cm^2}$ , su

$$\text{alargamiento relativo será de } \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\sigma}{E} = \frac{-1000 \frac{kg}{cm^2}}{2100000 \frac{kg}{cm^2}} = -0,0004762$$

$$\rightarrow \text{alargamiento} = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot L_0 = -0,0004762 \cdot 4000 \text{ mm} = -1,9 \text{ mm}$$

El esfuerzo de compresión se considera negativo para indicar que el alargamiento es negativo (acortamiento).



**Ejercicio 1.4-1**

Una viga de acero de 10 m se somete a una tensión de tracción de  $500 \frac{kg}{cm^2}$  .

¿Cuanto se alarga la viga?