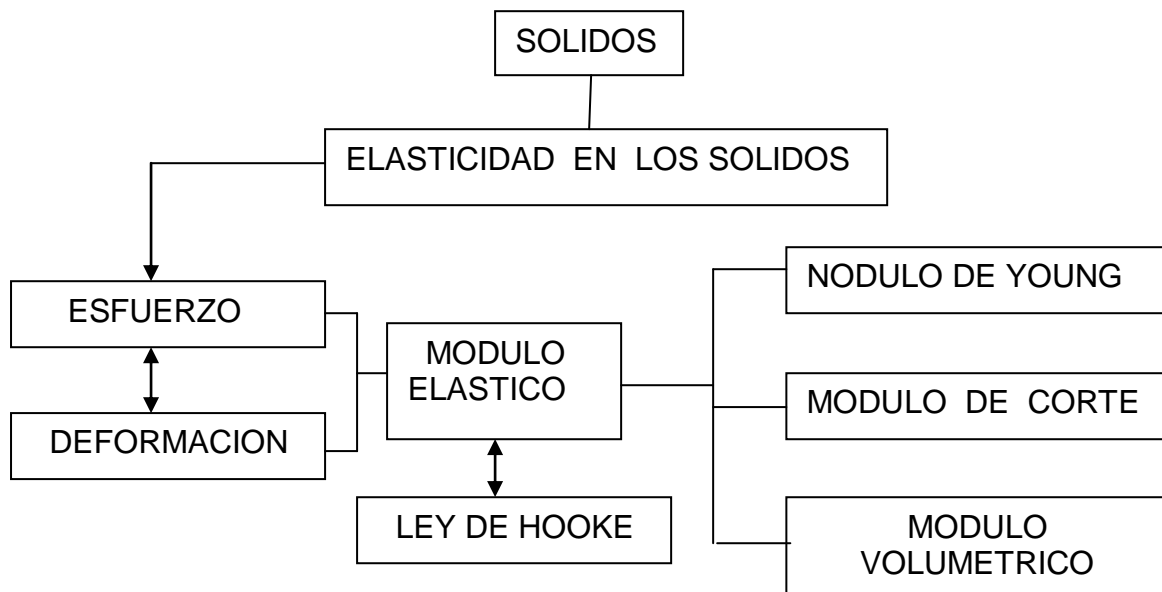


# UNIDAD 2

## ELASTICIDAD EN LOS SOLIDOS.



Logros:

### ELASTICIDAD EN LOS SOLIDOS

1. Demuestra utilizando ejemplos y el análisis la comprensión de elasticidad, esfuerzo, Deformación.
2. Escribe y aplica con facilidad fórmulas para calcular el módulo de Young, de corte y volumétrico.
3. Define y analiza el significado de maleabilidad, ductilidad y dureza para el caso de los metales.
4. Analiza los fenómenos producidos en el medio y los aplica en dar solución a problemas que se le presenten.

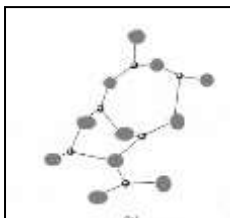
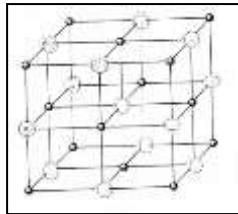
# APRENDO

## SOLIDOS.

Los cuerpos sólidos que aunque no los contenga un recipiente se mantienen con una extensión limitada, y a pesar de que sus propiedades físicas pueden ser diversas, generalmente se agrupan en una escala común. Casi todos los sólidos se sumergen al colocarlos en agua, salvo algunos materiales como los plásticos de baja densidad y algunos tipos de papel y de madera. Lo mismo sucede con el coeficiente de fricción, los sólidos en superficies pulidas tienen coeficientes más altos que los líquidos.

En un sólido puro, las partículas subatómicas están fijas, enlazadas bajo una estructura ordenada, cuyo modelo se denomina **red cristalina**.

A pesar de que las fuerzas que mantienen a las partículas en su lugar son grandes, éstas no dejan de moverse completamente, sino que vibran alrededor de sus posiciones fijas en la red cristalina. En algunos materiales sólidos, las partículas no forman un modelo cristalino fijo. Sus posiciones son fijas, pero el modelo es variable.



Estas sustancias no tienen una estructura cristalina regular pero si tienen forma y volumen definidos y por ello se denominan **sólidos amorfos**. En este estado amorfo, los átomos y las moléculas de un sólido

están distribuidas al azar. La mantequilla, la parafina, el caucho y el vidrio son ejemplos de sólidos amorfos.

## ELASTICIDAD EN LOS SOLIDOS.

Las fuerzas externas aplicadas a un objeto sólido pueden torcerlo o doblarlo variando su forma. La **elasticidad** de un sólido es la capacidad de un objeto para regresar a su forma original cuando cesan las fuerzas externas.

Si se produce una deformación exagerada, el cuerpo no recupera su forma original porque se excede de su límite de elasticidad. La elasticidad depende de las fuerzas electromagnéticas internas, que son las encargadas de mantener juntas a las partículas de una sustancia.

Otras propiedades que poseen algunos de los sólidos son: La maleabilidad, que es la capacidad

para dejarse aplanar para formar hojas muy delgadas y la ductilidad que es la capacidad para dejarse estirar formando alambres. Estas dos propiedades, dependen de la estructura y la elasticidad de las sustancias. El oro es un material dúctil y maleable, el vidrio no lo es.

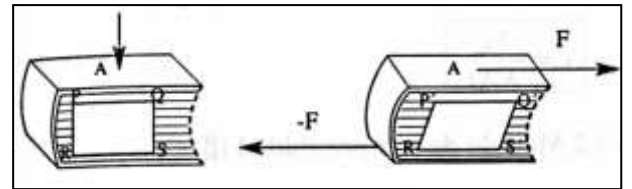
Las ligas de hule, pelotas de golf, trampolines, pelotas de futbol, básquet y resortes son ejemplos comunes de cuerpos elásticos. La plastilina y la arcilla de modelar son ejemplos de cuerpos inelásticos.

El estudio que vamos a realizar, estará centrado en las relaciones de causa-efecto entre las fuerzas deformantes y las deformaciones correspondientes.

## ESFUERZO O FATIGA

El esfuerzo (Esf) se relaciona con la fuerza que causa un cambio de forma.

Esta fuerza puede ser perpendicular o tangente a una superficie donde es aplicada.



El esfuerzo es definido como la relación de la magnitud de la fuerza aplicada F al área A donde se aplica.

Ecuación: 
$$\text{Esf} = \frac{\text{fuerza}}{\text{área sobre la que se aplica}}$$

$$\text{Esf} = \frac{F}{A}$$

Unidad ( SI ): 
$$\text{Esf} = \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]; \text{Esf} = [ \text{Pa} ]$$

( Ingles ) 
$$\text{Esf} = [ \text{lbf/pul}^2 ]$$

Dimensiones: 
$$\text{Esf} = [ \text{M L}^{-1} \text{T}^{-2} ]$$

La unidad del esfuerzo se denomina Pascal que se abrevia Pa y es igual a  $\text{Pa} = \text{N/m}^2$

La equivalencia es :  $1 \text{ lbf/pul}^2 = 6\,895 \text{ Pa}$

## DEFORMACION

La deformación ( Def ) es una medida del grado de cambio de forma de un objeto sometido a un esfuerzo.

La deformación se hace evidente en el cambio de dimensiones o forma del objeto, al estar sometido bajo la acción de una fuerza.

Ecuación:  $Def = \frac{\text{cambio en la dimensión}}{\text{dimensión original}}$

Unidad: No tiene unidades, ya que es una relación entre cantidades de igual magnitud.

Dimensión:  $Def = [ 1 ]$

**LEY DE HOOKE**

Anteriormente ya ha sido estudiada sin embargo es necesario recalcarla, ya que entre los esfuerzos y deformaciones existe una relación que fue enunciada por el científico inglés Robert Hooke, la que señala:

Los esfuerzos son siempre proporcionales a las deformaciones mientras no se alcance el límite elástico del material.

$$F = k x$$

Esfuerzo = k deformación.

**MODULO ELASTICO**

Se ha determinado que, para esfuerzos suficientemente pequeños, el esfuerzo es proporcional a la deformación, y la constante de proporcionalidad depende del material que se deforma y la naturaleza del cambio de forma. Esta constante de proporcionalidad recibe el nombre de **módulo elástico**.

$$\text{Módulo elástico} = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{deformación}} ;$$

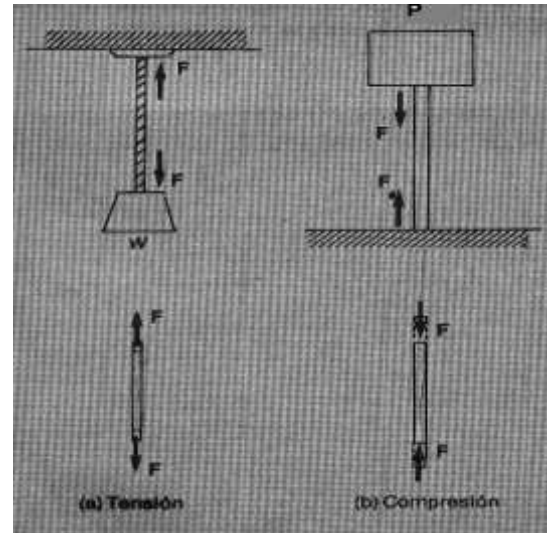
$$\text{Módulo elástico} = \frac{Esf}{Def}$$

De acuerdo al tipo de esfuerzo y deformación los módulos elásticos se clasifican en:

**1. MODULO DE YOUNG**

El módulo de Young ( Y ) es aplicado a cuerpos que tienen una elasticidad longitudinal, ya que consideraremos esfuerzos y deformaciones longitudinales aplicados a alambres, varillas o barras.

**El esfuerzo** aplicado se clasifica en dos tipos de esfuerzos normales que son perpendiculares a las superficies:

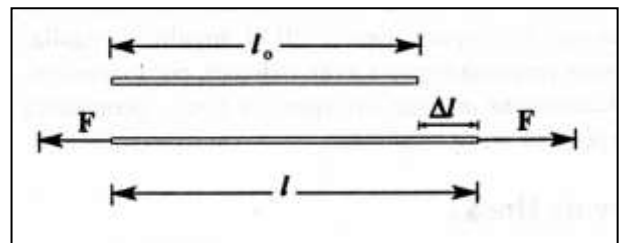


Un esfuerzo de **tensión longitudinal** cuando fuerzas iguales y opuestas tienen tienden a alejarse una de la otra, produciendo un alargamiento en las dimensiones del cuerpo. Por ejemplo un hombre suspendido por una cuerda elástica en el salto bungee.

Un esfuerzo de **compresión longitudinal** ocurre cuando fuerzas iguales y opuestas se dirigen una contra otra, produciendo una reducción de las dimensiones del cuerpo. Por ejemplo los muros de un puente están sometidos permanentemente a una compresión, las varillas de una columna para soportar el peso de la losa de una casa.

**La deformación** es lineal ( Def L ), ya que al ser el incremento o reducción de longitud que experimenta un objeto por unidad de longitud ésta sujeto a la acción de la fuerza externa.

La deformación se la considera positiva cuando hay alargamiento y negativa cuando hay contracción.



$$Def L = \frac{\Delta l}{l_0}$$

**El módulo de Young** está definido por la razón entre el esfuerzo aplicado a un cuerpo por tensión o compresión y la deformación lineal del mismo, que no sobrepase el límite de elasticidad.

Módulo de Young =  $\frac{\text{esfuerzo de tensión}}{\text{deformación por tensión}}$

Ecuación:  $Y = \frac{F/A}{\Delta l/l_0}$  ;  $Y = \frac{F l_0}{A \Delta l}$

Unidad:  $Y = [ N/m^2 ]$  ;  $Y = [ Pa ]$

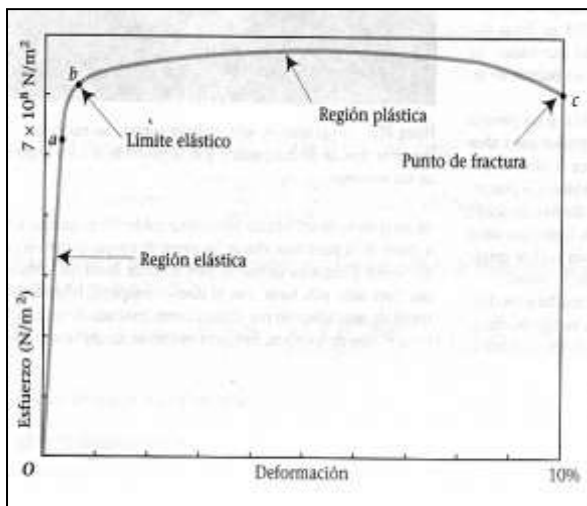
Dimensión:  $Y = [ M L^{-1} T^{-2} ]$

En la siguiente tabla se da el valor del módulo de Young de algunos materiales:

MATERIAL	Módulo de Young ( Y )
	$\times 10^{11}$ Pa
Aluminio	0,7
Acero	2,2
Bronce	0,9
Cobre	1,0
Cuarzo	0,6
Hueso (tensión)	0,18
Hueso (compresión)	0,07
Hierro fundido	1,2
Oro	0,8
Plomo	0,16
Tungsteno	3,6
Nailon	0,05
Vidrio	0,6

**Características elásticas de un material.**

Cuando un alambre se somete cada vez a esfuerzos mayores, las deformaciones correspondientes se ajustan a la ley de Hooke hasta llegar al límite de elasticidad. A partir de ese punto, el alambre se hace más fácilmente deformable, y el alambre ya no recobra su forma original, quedando una deformación permanente.



Si los esfuerzos continúan aumentando llega un momento que el alambre se rompe, llamado punto de ruptura.

Estas características elásticas se pueden representar en un gráfico esfuerzo-deformación, en que la curva es la elasticidad del material.

Esta es la gráfica para un sólido elástico, acero terminado en frío.

**Energía de Deformación.**

Las fuerzas aplicadas al cuerpo para deformarlo realizan un trabajo. En consecuencia la energía interna del cuerpo aumenta al ser deformado.

De la ecuación  $Y = \frac{F l_0}{A \Delta l}$  podemos despejar F así:

$F = \frac{Y A \Delta l}{l_0}$  ; La fuerza media de la deformación

será:  $F = 1/2 \frac{Y A \Delta l}{l_0}$

El trabajo realizado al deformarse el cuerpo es:

$T = F \cdot \Delta l$  ;  $T = 1/2 \frac{Y A \Delta l}{l_0} \cdot \Delta l$

Energía = Trabajo medio

Energía =  $1/2 F \Delta l$

**EJERCICIOS RESUELTOS**

- Una fuerza de 16 000 N actúa sobre un alambre de acero de 6 m de longitud y 2mm de diámetro. Calcular:
  - Cuánto se alarga
  - La energía necesaria para deformar el alambre
  - Sabemos que la  $l_0 = 6$  m,  $D = 2 \times 10^{-3}$  m,  $F = 16\ 000$  N ;  $Y = 2,2 \times 10^{11}$  Pa

Calculamos el área del alambre:

$A = \frac{\pi D^2}{4}$  ;  $A = \frac{\pi (2 \times 10^{-3})^2}{4}$  ;  $A = 3,14 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>

Del módulo de Young despejamos  $\Delta l$

$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{Y \cdot A}$  ;  $\Delta l = \frac{(16\ 000\ N)(6\ m)}{(2,2 \times 10^{11}\ Pa)(3,14 \times 10^{-6}\ m^2)}$

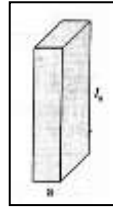
$\Delta l = 0,14$  m ;  $\Delta l = 14$  mm

- La energía necesaria constituye el trabajo realizado por la deformación:

$T = 1/2 F \Delta l$  ;  $T = 1/2 (16\ 000\ N)(0,14\ m)$ ;

$$T = 11\,200 \text{ N}$$

2. Una columna maciza de hierro fundido de forma cuadrada tiene 0,2 m de lado y 2,8 m de altura, soporta una carga de 40 000 kg de concreto. Calcular la longitud final de la columna.



Sabemos que:

$$F = P ; P = m \cdot g ;$$

$$F = (40\,000 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2) ; F = 392\,000 \text{ N}$$

$$A = a^2 ; A = (0,2\text{m})^2 ; A = 0,04 \text{ m}^2$$

De la ecuación del módulo de Young encontramos  $\Delta l$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{Y \cdot A} ; \Delta l = \frac{(392\,000 \text{ N})(2,8 \text{ m})}{(1,2 \times 10^{11} \text{ Pa})(0,04 \text{ m}^2)}$$

$$\Delta l = 2,2 \times 10^{-4} \text{ m} ; \Delta l = 0,22 \text{ mm}$$

$$\Delta l = l_f - l_0 ; l_f = \Delta l + l_0$$

$$l_f = 2,2 \times 10^{-4} \text{ m} + 2,8 \text{ m} ; l_f = 2,80022 \text{ m}$$

3. Un estudiante de física recibe el encargo de comprobar la seguridad de un ascensor en un nuevo edificio de oficinas. El ascensor puede llevar una carga máxima de 1000 kg (contando con la masa del estudiante), el cual está suspendido de un cable de acero de 3,0 cm de diámetro y 300 m de longitud cuando está del todo desenrollado. El cable, dentro de las normas de seguridad, puede estirarse como máximo 3 cm. El trabajo del estudiante consiste en determinar si el ascensor, tal como se ha diseñado, es seguro o no, teniendo en cuenta que la aceleración máxima del sistema es de  $(1,5 \text{ j}) \text{ m/s}^2$ .

Para determinar la fuerza que actúa sobre el cable se aplica la segunda ley de Newton al ascensor. Hay dos fuerzas que actúan sobre el ascensor, la Tensión del cable y el peso del ascensor:

$$T - P = m a ; T = mg + ma ; T = m (g + a)$$

$$T = 1\,000 \text{ kg} (9,8 \text{ m/s}^2 + 1,5 \text{ m/s}^2)$$

$$T = 11\,300 \text{ N}$$

$$T = F ; F = 11\,300 \text{ N}$$

Calculamos el área del alambre:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} ; A = \frac{\pi (3 \times 10^{-2})^2}{4} ; A = 7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

De la ecuación del módulo de Young encontramos  $\Delta l$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{Y \cdot A} ; \Delta l = \frac{(11\,300 \text{ N})(300 \text{ m})}{(2,2 \times 10^{11} \text{ Pa})(7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$\Delta l = 0,022 \text{ m} ; \Delta l = 2,2 \text{ cm}$$

De acuerdo con los cálculos del estudiante se alargará 2,2 cm solo 26,7 % por debajo del límite de 3 cm.

## APRENDO HACIENDO

1. Un alambre de teléfono de 393,7 pies de longitud y de 8,66 pulg de diámetro se estira por una fuerza de 380 N. Después del alargamiento tiene 394 pies. Calcular:

- El esfuerzo longitudinal
- La deformación longitudinal
- El módulo de Young del alambre:

2. Sobre un cable de aluminio de 4 m de longitud y 0,8 cm de diámetro se aplica una fuerza 2500 N. Calcular la longitud final del cable.

## APLICO LO APRENDIDO.

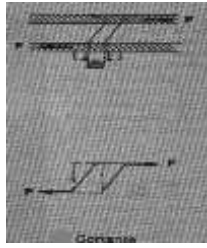
1. Se cuelga una bola de 50 kg de un alambre de acero de 5 m de longitud y 2 mm de radio. Determinar cuánto se alarga el alambre
2. A un alambre de acero de longitud 1,5 m y diámetro 1 mm se suelda otro alambre de aluminio de dimensiones idénticas para formar un alambre de 3 m. Calcular la longitud del alambre compuesto cuando soporta una masa de 6 kg.
3. La cuerda E de acero de un violín está bajo una tensión de 53 N. El diámetro de la cuerda es 0,20 mm y su longitud tensada es 35 cm. Calcular:
  - a) La longitud sin tensar de la cuerda.
  - b) El trabajo necesario para tensar la cuerda.
4. Un montañista utiliza una cuerda de nailon de 50 m de largo y 1 cm de diámetro. Cuando él alpinista de 90 kg esta sostenido por la cuerda está se alarga 1,6 m. Calcular el módulo de Young de la cuerda de nailon.

## 2. MODULO DE CORTE O DE RIGIDEZ.

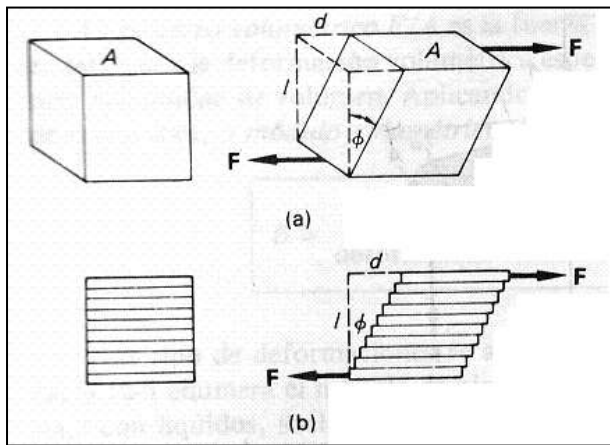
El módulo de **corte o de rigidez** ( $S$ ) es aplicado a cuerpos que tienen una elasticidad de forma, ya que consideraremos esfuerzos cortantes y deformaciones por cizallamiento aplicados a remaches, turcas.

**El esfuerzo cortante** ocurre cuando fuerzas iguales y opuestas no tienen la misma línea de acción.

Estas fuerzas son tangentes a la superficie sobre la cual actúa, las que alteran su forma geométrica pero no su volumen.



Consideremos las fuerzas paralelas no concurrentes que actúa sobre un cubo de gelatina (a). La fuerza aplicada ocasiona que cada una de las capas sucesivas de las moléculas de gelatina se deslice sobre la otra, en forma muy parecida a las páginas de un libro de física (b), si se les aplica un esfuerzo parecido. Las fuerzas internas restituyen al cubo de gelatina su forma original cuando se suprime el esfuerzo.



**El esfuerzo cortante** se define como la razón de la **fuerza tangencial**  $F_t$  respecto al área A sobre la que actúa.

$$\text{Esf} = \frac{F_t}{A}$$

**La deformación de corte o tangencial** se define como la razón " d " que es la distancia horizontal, que la cara sometida a esfuerzo se desplaza y " l " que es la altura del objeto.

$$\text{Def} = \frac{d}{l}$$

La deformación de corte también se define con la tangente del ángulo  $\Phi$  ( en radianes ) llamado ángulo de cizallamiento o tangencial.

$$\text{Def} = \tan \Phi$$

El módulo de corte está definido por:

$$S = \frac{\text{Esfuerzo de corte}}{\text{Deformación longitudinal}}$$

$$S = \frac{F/A}{d/l} ; \quad S = \frac{F \cdot l}{d \cdot A}$$

$$S = \frac{F/A}{\tan \Phi}$$

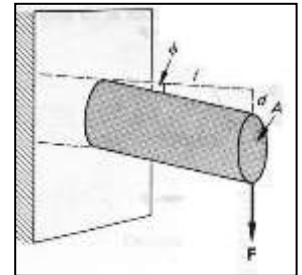
Este valor de S indica la rigidez de un cuerpo, por lo que también es conocido como módulo de rigidez.

En la siguiente tabla se da el valor del módulo de Corte de algunos materiales:

MATERIAL	Módulo de Corte ( S )
	$\times 10^{10}$ Pa
Aluminio	2,37
Acero	8,27
Bronce	3,5
Cobre	4,23
Latón	3,53
Hierro fundido	6,89
Plomo	0,5

## EJERCICIO RESUELTO

1. Una varilla de hierro de 0,04 m de diámetro, sobresale 0,25 m fuera de la pared. Se aplica una fuerza cortante de 53600 N. Calcular:



- a) La deflexión  
b) El ángulo de cizallamiento.

- a) Determinamos el área de la sección transversal de la varilla:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}; A = \frac{\pi (4 \times 10^{-2})^2}{4}; A = 1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

De la ecuación el módulo de corte despejamos d que es la deflexión de la varilla.

$$S = \frac{F \cdot l}{d \cdot A} ; d = \frac{F \cdot l}{A \cdot S}$$

$$d = \frac{(53\,600 \text{ N})(0,25 \text{ m})}{(1,25 \times 10^{-3})(6,89 \times 10^{10} \text{ Pa})}$$

$$d = 1,56 \times 10^{-4} \text{ m} ; d = 0,156 \text{ mm}$$

- b) El ángulo de cizallamiento esta dado por:

$$\tan \Phi = \frac{d}{l} ; \Phi = \tan^{-1} \left( \frac{d}{l} \right)$$

$$\Phi = \tan^{-1} \left( \frac{1,56 \times 10^{-4} \text{ m}}{0,25 \text{ m}} \right) ;$$

$$\Phi = 0,036^\circ$$

## APRENDO HACIENDO

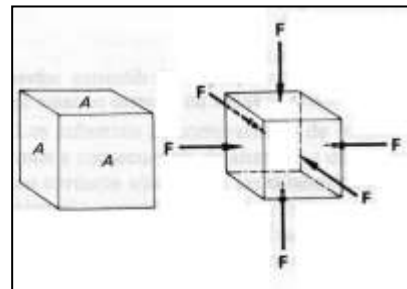
- Un cubo de cobre mide 12 cm de lado, sobre la cara superior del cubo se ejerce una fuerza tangente a 890 000 N, la que se desplaza 0,030 cm con relación a la cara inferior. Calcular:
  - EL esfuerzo de cizallamiento
  - La deformación cortante
  - El módulo de rigidez.
- Dos placas de aluminio del ala de un avión se sostienen unidas por medio de remaches de aluminio con sección transversal de  $7 \times 10^{-3}$  m. El esfuerzo cortante sobre cada remache no debe exceder de un decimo del límite elástico del aluminio ( $F_{lim} = 1,31 \times 10^8$  Pa). Calcular, el número de remaches necesario, si cada uno debe soportar la misma fricción de un esfuerzo cortante de 530 000 N

## APLICO LO APRENDIDO.

- Una gelatina con forma de caja tiene un área en su base de  $16 \text{ cm}^2$  y una altura de 4 cm. Se aplica una fuerza cortante de 0,60 N a la cara superior de la gelatina y esta se desplaza 5 mm en relación a la cara inferior. Calcular:
  - EL esfuerzo de corte
  - La deformación de corte.
  - El módulo de corte para la gelatina.

## 3. MODULO VOLUMETRICO O DE COMPRESIBILIDAD.

El módulo volumétrico o de compresibilidad ( $B$ ) es aplicado a cuerpos que tienen una elasticidad de volumen, ya que consideraremos esfuerzos que producen deformaciones de compresión es decir que disminuye el volumen de los cuerpos pero no cambian de forma.



La compresión para que sea uniforme en todo el cuerpo, este está sometido a fuerzas externas que actúan formando ángulos rectos con todas las



caras, y están distribuidas de manera uniforme en todas ellas. Esto sucede cuando el objeto es sumergido en un líquido.

El **esfuerzo de volumen** se define como la razón de la magnitud del cambio de la fuerza normal  $F$ , al área del cuerpo,  $A$ .

$$\text{Esf} = \frac{F}{A}$$

Cuando se estudie los líquidos la relación  $\frac{F}{A}$ , se la conoce como **presión**.

La **deformación de volumen** es igual al cociente del cambio de volumen  $-\Delta V$  (menos ya que se comprime el cuerpo), entre el volumen original  $V_0$ .

$$\text{Def} = - \frac{\Delta V}{V_0}$$

Por tanto el módulo volumétrico está dado por:

$$B = \frac{\text{Esfuerzo volumétrico}}{\text{Deformación volumétrica}}$$

$$B = \frac{F/A}{-\Delta V/V_0} ; \quad B = - \frac{F \cdot V_0}{A \cdot \Delta V}$$

Esta forma de deformación es aplicada tanto para sólidos como para líquidos.

Cuando se trabaja con los líquidos se debe representar al esfuerzo volumétrico como una **presión  $Pr$** , que se define como la fuerza aplicada por unidad de área.  $F/A$ . La ecuación queda:

$$B = \frac{-Pr}{\Delta V/V_0} ; \quad B = - \frac{Pr V_0}{\Delta V}$$

En las siguientes tablas se da el valor del módulo volumétrico de algunos materiales y líquidos:

MATERIAL	Módulo Volumétrico ( B )
	$\times 10^{10}$ Pa
Aluminio	6,89
Acero	15,9
Bronce	6,1
Cobre	11,7
Latón	5,86
Hierro fundido	9,65
Plomo	0,8
Vidrio	4,9

LIQUIDO	Módulo Volumétrico ( B )
	$\times 10^9$ Pa
Benceno	1,05
Alcohol etílico	1,10
Mercurio	27,0
Aceite	1,7
Agua	2,1

## EJERCICIO RESUELTO

- Una máquina que sirve para comprimir fluidos llamada prensa hidrostática contiene  $180\,000\text{ cm}^3$  de agua. Calcular la disminución en el volumen del agua cuando se aplica una presión de  $1,66 \times 10^7$  Pa.

Sabemos que el volumen inicial del agua es:  
 $V_0 = 180\,000\text{ cm}^3$  ;  $V_0 = 0,18\text{ m}^3$

De la ecuación del módulo volumétrico despejamos  $\Delta V$ :

$$B = \frac{-Pr V_0}{\Delta V} ; \quad \Delta V = \frac{-Pr V_0}{B}$$

$$\Delta V = \frac{-(1,66 \times 10^7 \text{ Pa})(0,18 \text{ m}^3)}{2,1 \times 10^9 \text{ Pa}}$$

$$\Delta V = -0,00142\text{ m}^3 ; \quad \Delta V = -1\,422\text{ cm}^3$$

## APRENDO HACIENDO

- Se deja caer en el océano Pacífico frente a las costas Ecuatorianas, hasta una profundidad donde la presión aumenta en  $2,4 \times 10^7$  Pa, una esfera de plomo sólida cuyo volumen es de  $0,55\text{ m}^3$ . Calcular el cambio de volumen de la esfera.

2. Un cubo de acero mide 6 cm de arista, al cual se lo somete a una prensa industrial que le presiona a  $1,04 \times 10^{11}$  Pa. Calcular el volumen de reducción del cubo.

## APLICO LO APRENDIDO.

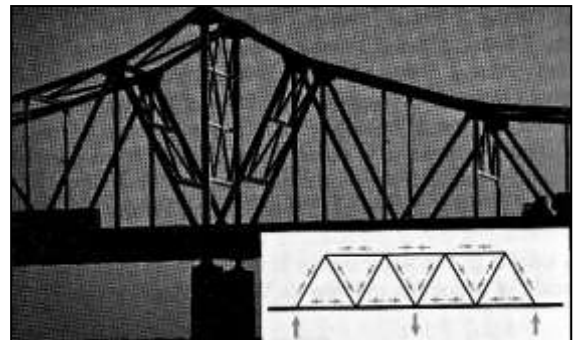
1. Calcular la deformación volumétrica de un bloque de vidrio al someterlo a una presión de  $9,8 \times 10^5$  Pa.
2. Hallar la disminución de volumen de  $100 \text{ cm}^3$  de agua al someterla a una presión de  $1,52 \times 10^8$  Pa.

## APLICACIONES EN LA VIDA COTIDIANA

### 1. Puentes.

Los primeros puentes fueron troncos de árboles contruidos de madera. Estructuras posteriores fueron reforzadas con hierro o incluso contruidas totalmente de hierro. A fines del siglo XIX, el material común para contruir estructuras de puentes era el acero.

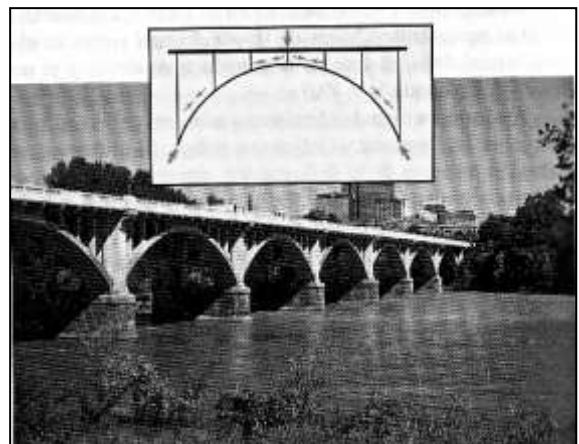
El desarrollo de armazones o estructuras, una combinación de vigas reunidas de modo que cada pieza compartiera parte del peso del puente incremento la relación de resistencia a peso. Las partes de las armazones son piezas rectas unidas para formar una serie de triángulos. La estructura resultante es más ligera y más rígida que una sola viga, en la que se puede apoyar una carga externa a una distancia mucho mayor. Es decir se debe tener conocimiento de resistencia de materiales.



La estructura de este puente transmite su carga a sus soportes de los extremos por una combinación de fuerzas de compresión y de tensión.

Las fuerzas de compresión son vectores que apuntan uno hacia el otro, mientras que las fuerzas de tensión son vectores que apuntan fuera uno del otro. La envergadura de este puente es de 200 a 400m.

Se pueden alcanzar envergaduras mayores con puentes de arco cuyo diseño básico fue perfeccionado hace siglos por los romanos. El secreto del arco consiste en que las fuerzas de su

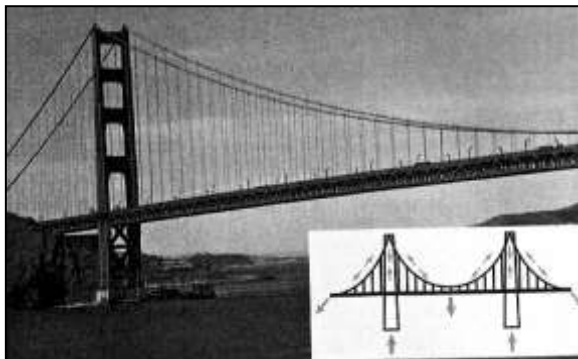


propio peso y cualquier carga añadida son fuerzas de compresión, las cuales permiten el uso de la piedra como material de construcción.

El diseño del arco da como resultado una fuerza descendente y hacia afuera de la base de éste. Cuando la base está anclada apropiadamente, el puente de arco puede atravesar cientos de metros como el puente de arco de acero sobre la bahía de Sydney, Australia atraviesa 503 m.

Este puente de arco múltiple soporta su carga al transmitir fuerzas de compresión a lo largo del arco a los soportes de los extremos.

Las envergaduras más grandes se han logrado con los puentes de suspensión que cuelgan de cables de acero estirados entre altas torres. Los extremos de los cables se mantienen en su sitio en orillas opuestas por anclajes masivos de concreto. Ya que la relación de la resistencia a peso de los cables de alambre de acero, los puentes de suspensión pueden ser mucho más largos que otros tipos de puentes como el de Akashi – Kaiyō en Japón es el más grande del mundo, mide 1990m.



Este tipo de puente de suspensión soporta su carga por transmisión de las fuerzas de tensión a lo largo del cable de suspensión a las torres principales. Las torres transmiten fuerzas de compresión al suelo.

2. ELASTICIDAD EN LOS SERES VIVOS.

La piel que cubre al cuerpo humano es altamente elástica, ya que tiene que estar sometida a todas las acciones externas que se producen en el medio que vivimos.

Los músculos son fibras que deben soportar toda la estructura ósea del cuerpo humano

Las venas del cuerpo humano están sometidas a menores presiones que las arterias, para dilatarse, por tal razón las



arterias son más rígidas. Las arterias tienen como módulo de Young valores menores a  $10^5$  veces que el módulo de Young de los metales.

Un vaso capilar también tiene elasticidad ya que cuando aumenta la presión en uno de sus extremos, se crea un aumento del radio en dicho sector y determina un incremento de la cantidad de sangre que pasa por el vaso capilar, esto se hace evidente cuando se coloca los dedos sobre una arteria cercana a la superficie del cuerpo como la muñeca de la mano en la cual se produce una onda de pulso.

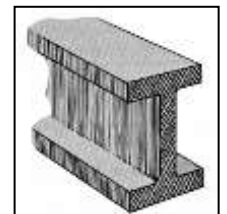
Otro ejemplo de sólido amorfo es el colágeno que es una proteína fibrosa constituyente de los tendones, ligamentos, dermis, cartílagos y huesos.

Los huesos al estar constituidos de calcio, fósforo, oxígeno e hidrógeno que al encontrarse en forma de pequeñísimos cristales, unidos al colágeno que constituyen un tercio de la masa total, determinan aumento del módulo de Young del hueso.

Los huesos huecos del esqueleto son mucho más rígidos que los macizos de igual peso. La capacidad de un hueso para resistir flexiones o torsiones depende de la rigidez.

3. VIGAS DE ACERO.

Una viga I es como una barra maciza con algo del acero retirado de su parte media, donde se necesita menos, lo que permite que la viga sea más ligera y tenga casi la misma resistencia que una sólida.



4. Arcos de piedra.



La piedra se rompe con más facilidad con la tensión que con la compresión. Los techos de las estructuras de piedra levantadas por los egipcios, en la época en que se construyeron las pirámides, tenían muchas losas horizontales de piedra. Por la debilidad de dichas losas ante las fuerzas de tensión causadas por la gravedad, tenían que levantar muchas columnas verticales para sostener los techos.

Cuando se coloca una carga en una estructura en arco adecuada, la compresión la robustece, más que debilitarla. Las piedras se aprietan con más firmeza y se mantienen unidas por la fuerza



de compresión. Si el arco tiene la forma correcta, ni siquiera hay que unir las piedras con cemento para mantenerlas en su lugar. Los arcos de piedra o de medio punto, han durado siglos.

Si se gira un arco para lograr un círculo completo, se forma un domo. El peso de este, como el de un arco, origina compresión.



El peso del domo produce compresión y no tensión, así no se necesita columnas de soporte en el centro.

**OTRAS PROPIEDADES DE LOS METALES**

La fuerza de atracción fuerte que existe entre las moléculas del sólido se denomina **Cohesión**. La que permite dar al sólido un tamaño y forma definida.

**Dureza:** Se lo utiliza en la industria, empleado para describir la capacidad de los materiales para resistir fuerzas que tienden a penetrarlo. Estos materiales duros resisten las rayaduras, los desgastes, la perforación. El hierro y el acero son sólidos duros, mientras que el sodio y el potasio son metales blandos.

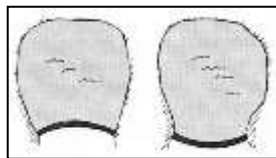
**Ductilidad:** es la capacidad de un metal para ser poder ser estirado y convertirse en un alambre.

**Maleabilidad:** es la propiedad que permite el metal para ser martillado o doblado con facilidad para darle la forma deseada o laminas delgadas. La mayor parte de los metales son maleables y en mayor grado el Oro.

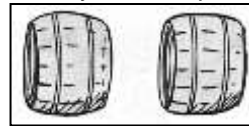
**Conductividad:** es la propiedad del metal para permitir el paso del flujo de electricidad, siendo los mejores conductores la plata, el cobre, el oro y el aluminio en ese orden.

**EXPLICA UTILIZANDO LO APRENDIDO**

1. Un estudiante dice que la diferencia primordial entre un sólido y un líquido es el tipo de átomos en el material. Es correcta esta afirmación y por qué?
2. Como se puede probar la noción de que una bola de acero es más elástica que una bola de caucho.
3. Los esquemas son vistas superiores de una presa que contiene a un lago. ¿Cuál de los dos diseños es mejor?

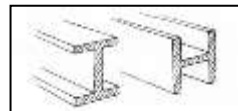
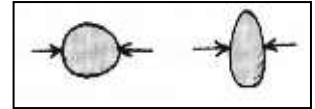


4. En un barril muy grande de madera, como los que hay en las cavas( lugar donde se guarda el vino y el ron para ser añejado). Las tapas "planas" deben ser cóncavas ( hacia adentro) o convexas ( hacia afuera) ?



“planas” deben ser cóncavas ( hacia adentro) o convexas ( hacia afuera) ?

5. Sólo con mucha dificultad es posible romper un huevo ejerciendo presión sobre su eje longitudinal, pero se rompe muy fácilmente si se ejerce presión sobre los lados ¿ Por qué ?



6. Puede sostener una viga I horizontal más carga cuando el alma es horizontal que cuando es vertical ?

7. Un joven estudiante de física diseña un puente como estructura a la intemperie para un parque. Debe tener cierta anchura y cierta altura. Para obtener el tamaño y la forma del más resistente cuelga una cadena de dos soportes de igual altura que el ancho que debe tener el puente y deja colgar la cadena hasta la misma profundidad que la altura que debe tener el arco. Luego diseña el arco para que tenga exactamente la misma forma que la cadena colgante. Explicar porque hizo de esa manera.



8. Utilizando materiales del medio intenta construir un arco y verifica las características que posee esta forma de construcción.

**REFORZANDO LO APRENDIDO**

1. Un alambre de un metal desconocido tiene una longitud de 0,75 m y 0,00130 m de diámetro se alarga 0,0350 cm cuando se le cuelga una carga de 8 kg en uno de sus extremos. Calcular:
  - a) El esfuerzo
  - b) La deformación
  - c) El módulo de Young para el material del alambre.
2. El módulo volumétrico para el agua es  $2.1 \times 10^9$  Pa. Calcular la contracción volumétrica de 200 ml de agua cuando se someten a una presión de  $1,6 \times 10^6$  Pa.

3. Una plataforma para limpiar vidrios en un edificio, está suspendida por cuatro alambres colocados en sus esquinas. Cada alambre tiene 4 m de largo y 1/2 pulg de diámetro: El módulo de Young para el material del alambre es  $1,9 \times 10^{11}$  Pa: Determinar la distancia que bajará la plataforma debida a la elongación de los alambres, si se coloca una carga de 60 kg en el centro de la plataforma.
4. Un motor de 70 kg se coloca sobre cuatro bloques cilíndricos de hule. Cada cilindro tiene una altura de 0,04 m y un área en su sección transversal de  $16 \text{ cm}^2$ . El módulo de corte para este hule es de  $2 \times 10^6$  Pa. Si se le aplica una fuerza lateral al motor de 350 N. Determinar cuánto se moverá de lado.
5. Una columna cilíndrica de acero sólido tiene una altura de 4 m y un diámetro de 12 cm. Calcular cuánto disminuirá su longitud con una carga de 95 Ton.
6. A un cubo de aluminio de 10 cm de lado se le aplica un esfuerzo cortante de 6 000 N. Calcular la deflexión  $d$  y el ángulo de cizalladura .
7. Un embolo con un área de  $11 \text{ pul}^2$  ejerce una fuerza de 900 N sobre un litro de benceno. Calcular el decremento en volumen del benceno.
8. Un libro cuyas dimensiones son 20 x 16 cm tiene un espesor 4 cm, al aplicarle una fuerza de 10 N paralela a la cubierta se desplaza 1,2 cm con respecto a la otra. Calcular :
  - a) El esfuerzo.
  - b) La deformación cortante
  - c) El módulo de rigidez.
10. Un alambre de 10 mm de diámetro, al aplicarle una fuerza de tracción de 3 500 N se rompe. Si el alambre soporta una fuerza máxima de 2 500 N. Calcular:
  - a) El esfuerzo
  - b) El área del alambre