

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

GRADO EN ARQUITECTURA NAVAL E
INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS

FÍSICA I

Apuntes de teoría, ejemplos prácticos y
ejercicios resueltos para ingeniería.

Autor: DAVID CONESA PAGÁN

Curso Académico 2025 / 2026
1.ª Edición (Revisada)

ESTE EJEMPLAR PERTENECE AL ALUMNO/A:

.....

El uso de este material es personal e intransferible. Su identificador único está vinculado al portador.

Ejercicio Ejemplo

La tercera ley de Kepler relaciona el periodo de un planeta (T) con el radio (R) de la órbita, la constante G de la ley de gravitación ($F = GMm/r^2$) y la masa del Sol (M). Encuentre la ecuación $T = f(R, G, M)$.

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \Rightarrow G = \frac{Fr^2}{Mm} \Rightarrow [G] = \frac{MLT^{-2}L^2}{M^2} = M^{-1}L^3T^{-2}$$

$$[T] = kL^a[G]^bM^c = kL^aM^{-b}L^{3b}T^{-2b}M^c = kL^{a+3b}M^{-b+c}T^{-2b}$$

$$\left. \begin{array}{l} a + 3b = 0 \\ -b + c = 0 \\ -2b = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} a = -3b = 3/2 \\ b = c = -1/2 \\ b = -1/2 \end{array} \right\}$$

$$[T] = kL^{3/2}M^{-1/2}[G]^{-1/2} \Rightarrow T = kR^{3/2}M^{-1/2}G^{-1/2} = k\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$

Magnitud	Unidad	Símbolo
Ángulo plano	radián	rad
Ángulo sólido	estereorradián	sr
Superficie	metro cuadrado	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³
Frecuencia	hertz	Hz
Densidad	kilogramo/metro cúbico	kg/m ³
Velocidad	metro/segundo	m/s
Velocidad angular	radián/segundo	rad/s
Aceleración	metro/segundo ²	m/s ²
Aceleración angular	rad/s ²	rad/s ²
Fuerza	newton	N
Presión / Tensión mecánica	pascal	Pa
Viscosidad cinemática	metro cuadrado/segundo	m ² /s
Viscosidad dinámica	pascal · segundo	Pa · s
Trabajo, energía, calor	julio	J
Potencia	vatio	W
Cantidad de electricidad	culombio	C
Tensión eléctrica / Diferencia de potencial / FEM	voltio	V
Intensidad de campo eléctrico	voltio/metro	V/m
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω
Conductancia eléctrica	siemens	S
Capacidad eléctrica	faradio	F
Flujo de inducción magnética	weber	Wb
Inducción electromagnética	tesla	T
Inducción magnética	henrio	H
Intensidad de campo magnético	amperio/metro	A/m
Fuerza magnetomotriz	amperio	A
Flujo luminoso	lumen	lm
Luminancia	candela/metro ²	cd/m ²
Iluminación	lux	lx
Número de ondas	1/metro	1/m
Entropía	julio/kelvin	J/K
Calor específico	julio/(kilogramo · kelvin)	J/(kg · K)
Conductividad térmica	vatio/(metro · kelvin)	W/(m · K)
Intensidad energética	vatio/estereorradián	W/sr
Actividad radiactiva	desintegración/segundo	1/s

- **Vectores deslizantes (o cursores):** se pueden trasladar a lo largo de su dirección, manteniendo recta, módulo, dirección y sentido; cualquier punto de la recta puede ser origen. *Ejemplo:* fuerza aplicada a un cuerpo.
- **Vectores ligados:** punto de aplicación, dirección y sentido son fijos. *Ejemplo:* intensidad del campo gravitatorio, eléctrico o magnético en un punto.

Vectores equipolentes

Dos vectores son **equipolentes** si tienen *mismo módulo, dirección y sentido*.

Vectores polares y axiales

- **Vectores polares:** tienen sentido propio inherente. *Ejemplo:* velocidad de un móvil, fuerza aplicada, aceleración.
- **Vectores axiales (pseudovectores):** no tienen sentido propio, se requiere un convenio. *Ejemplo:* velocidad angular, momento de una fuerza, inducción magnética.

Criterios de igualdad

- **Vectores libres:** iguales si son equipolentes.
- **Vectores deslizantes:** iguales si son equipolentes y pertenecen a la misma recta soporte.
- **Vectores ligados:** iguales si son equipolentes y aplicados en el mismo punto.

2.4. Componentes coordenadas de un vector

En el espacio tridimensional, un vector $\vec{r}$ puede definirse mediante sus coordenadas (x, y, z) en un sistema de referencia cartesiano. Esta terna ordenada se llama **componentes coordenadas del vector**, y $\vec{r} = (x, y, z)$ se denomina **vector de posición**.

Independencia del sistema de coordenadas

Si cambiamos de sistema de coordenadas a (x', y', z') , el vector $\vec{r}$ permanece invariante; solo cambian sus componentes. Esto refleja que el vector es una entidad física independiente del sistema de referencia elegido.

Expresión en términos de proyecciones

Tomando los ejes X, Y, Z , las proyecciones ortogonales del vector $\vec{r}$ sobre cada eje son sus componentes vectoriales x, y, z :

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$

donde $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ son los vectores unitarios de cada eje.

$$x = r \cos \alpha \quad y = r \cos \beta \quad z = r \cos \gamma$$

Coseno directores

Si α, β, γ son los ángulos que $\vec{r}$ forma con los ejes X, Y, Z , sus **cosenos directores** son $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$ y cumplen:

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 \implies r^2 \cos^2 \alpha + r^2 \cos^2 \beta + r^2 \cos^2 \gamma = r^2 \implies r^2 (\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma) = r^2$$

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

Módulo del vector

El módulo de $\vec{r}$ es:

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

3.7. Movimiento Circular uniforme (M.C.U.)

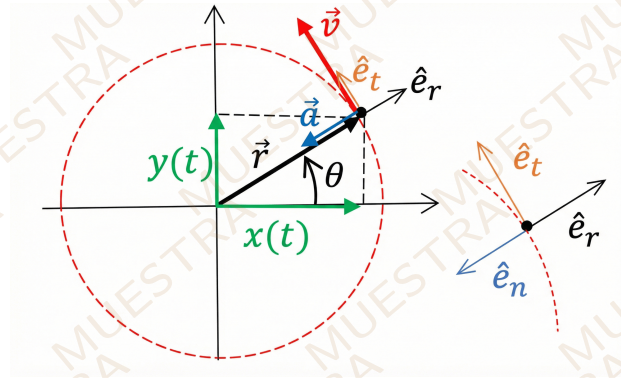
Vamos a estudiar el movimiento de una partícula que describe una trayectoria circular de radio r y celeridad constante. Centramos el sistema de referencia en el punto de giro, de forma que el movimiento se realice en el plano xy .

La posición de la partícula viene dada por:

$$\vec{r}(t) = r \cos(\theta) \hat{i} + r \sin(\theta) \hat{j} = r \hat{e}_r$$

donde:

- θ es el ángulo que forma $\vec{r}$ con el eje x ; depende del tiempo, es decir, $\theta = \theta(t)$.
- $\hat{e}_r = \cos(\theta) \hat{i} + \sin(\theta) \hat{j}$ es el vector unitario radial, cuya dirección cambia con el tiempo.



Como la celeridad es constante, es decir, $|\vec{v}| = v_0 = \text{cte}$, definimos la **velocidad angular** ω como la variación del ángulo con respecto al tiempo:

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega.$$

Integrando ambos lados:

$$d\theta = \omega dt \implies \int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \omega \int_0^t dt$$

$$\theta - \theta_0 = \omega t.$$

Por tanto, la expresión del ángulo en función del tiempo es:

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega t.$$

En este movimiento, la magnitud de la velocidad es constante, pero su dirección cambia continuamente, describiendo un movimiento circular uniforme.

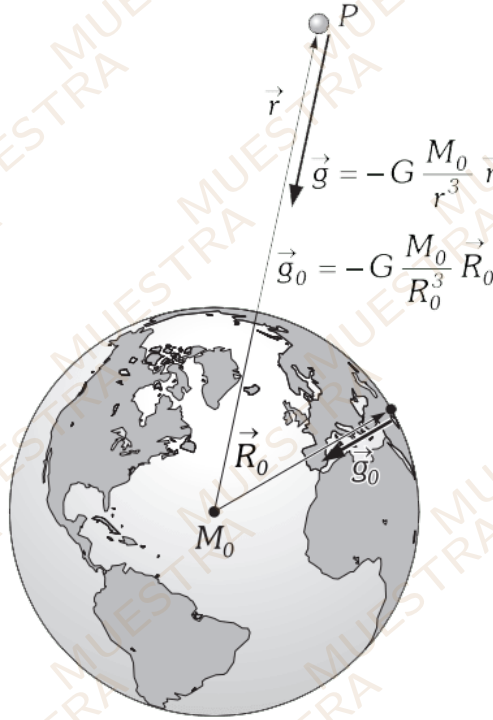
Entonces, podemos describir de forma precisa el movimiento circular de una partícula:

$$\vec{r}(t) = r \cos(\theta_0 + \omega t) \hat{i} + r \sin(\theta_0 + \omega t) \hat{j}$$

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt} = -r\omega \sin(\theta_0 + \omega t) \hat{i} + r\omega \cos(\theta_0 + \omega t) \hat{j}$$

Como la velocidad $\vec{v}$ es tangente a la trayectoria y $\vec{v} \perp \vec{r}$:

$$\vec{v}(t) = v \hat{e}_t = \omega r (-\sin(\theta_0 + \omega t) \hat{i} + \cos(\theta_0 + \omega t) \hat{j}) = \begin{cases} v = \omega r \\ \hat{e}_t = -\sin(\theta_0 + \omega t) \hat{i} + \cos(\theta_0 + \omega t) \hat{j} \end{cases}$$



4.13. Centro de Gravedad

El **Centro de Gravedad (CG)** de un cuerpo es el punto de aplicación de la fuerza resultante de todas las fuerzas de peso que actúan sobre cada una de las partículas que lo componen. En un campo gravitatorio como el de la Tierra, cada partícula de masa m_i sufre una fuerza $\vec{P}_i = m_i \vec{g}$. Si consideramos que todas estas pequeñas fuerzas son paralelas (una suposición válida para cuerpos pequeños cerca de la superficie terrestre), su resultante es el peso total del cuerpo, $\vec{P} = \sum \vec{P}_i = (\sum m_i) \vec{g} = M \vec{g}$. El CG es el punto único por donde pasa la línea de acción de esta fuerza $\vec{P}$ resultante, sin importar cómo orientemos el cuerpo.

Para calcular la posición del CG de un **sistema de partículas discreto**, se utiliza un promedio ponderado de las posiciones de cada partícula, donde la masa es el factor de ponderación. Si $\vec{r}_i = (x_i, y_i, z_i)$ es la posición de la partícula m_i y M es la masa total del sistema, las coordenadas del CG (x_G, y_G, z_G) son:

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{M}$$

$$\boxed{x_G = \frac{\sum m_i x_i}{M}} \quad , \quad \boxed{y_G = \frac{\sum m_i y_i}{M}} \quad , \quad \boxed{z_G = \frac{\sum m_i z_i}{M}}$$

Vectorialmente, esto se expresa como:

$$\vec{R}_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{M}$$

Para un **cuerpo sólido (continuo)**, las sumas se reemplazan por integrales que abarcan toda la masa M del cuerpo. Si dm es un elemento diferencial de masa en la posición $\vec{r} = (x, y, z)$:

$$\boxed{x_G = \frac{\int x dm}{M}} \quad , \quad \boxed{y_G = \frac{\int y dm}{M}} \quad , \quad \boxed{z_G = \frac{\int z dm}{M}}$$

Vectorialmente, la posición del CG es:

$$\vec{R}_G = \frac{\int \vec{r} dm}{M}$$

5.4. Teoría de Campos

El estudio de la **teoría de campos** es esencialmente matemático, manejando magnitudes que, aunque abstractas, son aplicables a multitud de situaciones en la naturaleza.

Para entender el concepto, imaginemos una carga puntual q (carga testigo) colocada en el vacío, cerca de una lámina de vidrio opaca. Si observamos que sobre q actúa una fuerza $\vec{F}$, deducimos que existe alguna carga «oculta» al otro lado.

La interacción no es directa. El razonamiento físico es que la carga oculta **perturba** el espacio que la rodea, creando una situación especial. Resumiendo, la carga oculta ha creado un «**campo eléctrico**», y es este campo el que interacciona con la carga de prueba q .

Este ejemplo se extiende a otros fenómenos, como la gravitación. La teoría de campos se divide conceptualmente en dos partes:

1. Analizar **qué produce el campo** (las fuentes) y estudiar las leyes que determinan su «intensidad» .
2. Analizar **cómo algo es influenciado por el campo** (por ejemplo, el movimiento de una masa m dentro de un campo gravitacional).

5.4.1. Campos escalares

«Si en cada uno de los puntos de una región del espacio una magnitud física de carácter **escalar** presenta diversos valores, diremos que en esa región existe un **CAMPO ESCALAR**».

La magnitud escalar a en un punto, tendrá un valor función de las coordenadas de este y del tiempo:

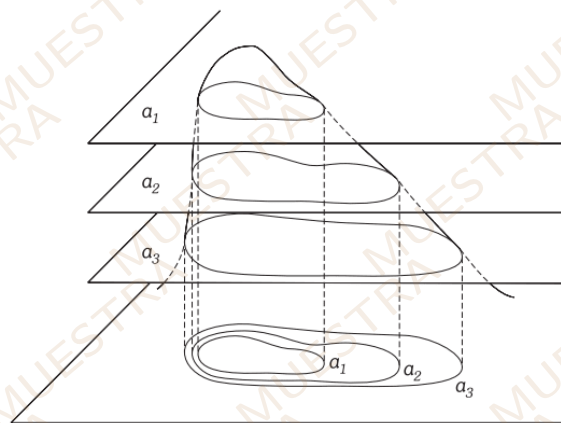
$$a = a(x, y, z, t)$$

Si la magnitud escalar es constante con el tiempo, el campo escalar se llama **ESTACIONARIO**:

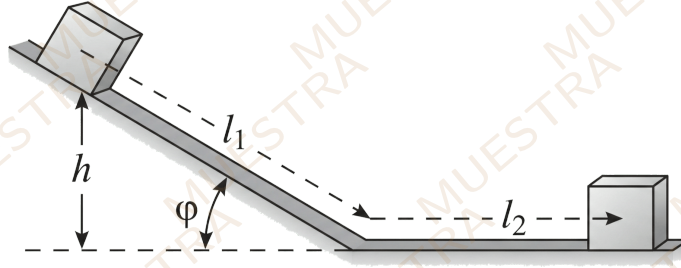
$$a = a(x, y, z)$$

Un campo escalar puede representarse intuitivamente por las **SUPERFICIES DE NIVEL**. Estas son superficies que representan el lugar geométrico de los puntos en los cuales el escalar a tiene un valor constante: $a = a(x, y, z) = \text{cte}$. La mayor o menor proximidad de las superficies de nivel da una idea de las variaciones de la magnitud campo.

La representación gráfica de los campos escalares se realiza utilizando **LÍNEAS DE NIVEL** (o curvas de nivel). Los puntos del plano de referencia en que la función escalar tiene un valor constante se unen mediante una línea continua. Estas líneas se representan generalmente para una sucesión de valores discretos de la función escalar. Cada uno de esos valores se llama **COTA**.



Problema: Un cuerpo de masa 10 kg desliza bajando sobre un plano inclinado 30° sobre la horizontal. El plano tiene una longitud de 5 m y a continuación de él hay un plano horizontal. El coeficiente de rozamiento del cuerpo con el plano es de 0'25 y del cuerpo con el plano horizontal de 0'3. El cuerpo empieza a moverse desde la parte superior al llegar al plano inclinado. Determinar:



1. Velocidad del cuerpo al llegar al plano horizontal.

$$-\Delta U_g + W_r = \Delta K \Rightarrow -\left(mgh_f - mgh\right) + \vec{F}_r \cdot \Delta \vec{r} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = mgl_1 \sin \varphi - l_1 \mu mg \cos \varphi \Rightarrow \frac{1}{2}v_f^2 = gl_1 \sin \varphi - l_1 \mu g \cos \varphi$$

$$v_f = \sqrt{2gl_1 (\sin \varphi + \mu \cos \varphi)} = 5'27 \text{ m/s}$$

Nota: $W_r = \vec{F}_r \cdot \vec{r}$ y como el vector posición va hacia abajo en el plano inclinado y la fuerza de rozamiento va hacia arriba, el producto escalar sale $W = -\mu Nd$.

2. Espacio recorrido en el plano horizontal hasta que se para.

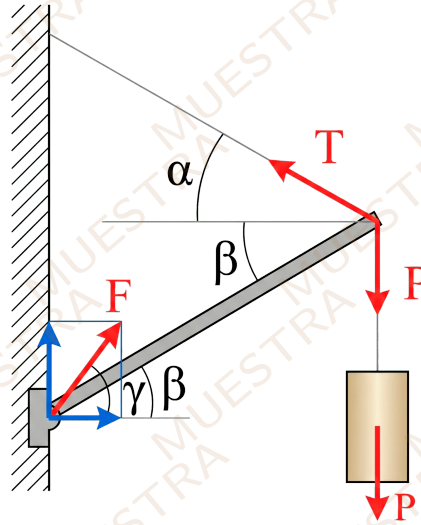
$$-\Delta U_g + W_r = \Delta K \Rightarrow \vec{F}_r \cdot \vec{d} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$-\mu mgl_2 = -\frac{1}{2}mv_1^2 \Rightarrow l_2 = \frac{v_1^2}{2\mu g} = 4'72 \text{ m}$$

3. Cantidad de calor desarrollada como consecuencia del rozamiento.

$$W_{r,T} = W_{r,1} + W_{r,2} = \mu_1 mg \cos \varphi l_1 + \mu_2 l_2 mg = mg(\mu_1 l_1 \cos \varphi + \mu_2 l_2) = 245'106 \text{ J} = 58'64 \text{ cal}$$

Ejercicio: Demostrar que el peso del puntal de la figura es despreciable, la fuerza que atúa sobre el punto A, sigue la dirección del puntal. Determinar tal fuerza y la tensión de la cuerda. Hacer aplicaciones:



$$\sum \vec{F} = 0 \begin{cases} x : T \cos \alpha = F \cos \gamma \\ y : T \sin \alpha + F \sin \gamma = P \end{cases} \quad (\text{Traslación})$$

$$\sum \vec{\tau} = 0 \left\{ \text{Respecto a O: } FL \sin(\gamma - \beta) = 0 \iff \sin(\gamma - \beta) = 0 \iff \gamma = \beta \right. \quad (\text{Rotación})$$

Ahora, utilizando los datos obtenidos:

$$\left. \begin{array}{l} T \sin \alpha = P - F \sin \beta \\ T \cos \alpha = F \cos \beta \end{array} \right\} \implies \operatorname{tg} \alpha = \frac{P - F \sin \beta}{F \cos \beta} \implies F \cos \beta \operatorname{tg} \alpha = P - F \sin \beta$$

$$F = \frac{P}{\cos \beta \operatorname{tg} \alpha + \sin \beta} = \frac{P}{\cos \beta \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} + \sin \beta} = \frac{P \cos \alpha}{\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta} = \frac{P \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$T = \frac{P \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} = \frac{P \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

1. $\alpha = \beta = 30^\circ$; $P = 1000 \text{ kp}$.

$$F = \frac{1000 \cos(30)}{\sin(30 + 30)} = 1000 \text{ kp}$$

$$T = \frac{1000 \cos(30)}{\sin(30 + 30)} = 1000 \text{ kp}$$

2. $\alpha = 0$; $\beta = 60^\circ$; $P = 1000 \text{ kp}$.

$$F = \frac{1000 \cos(0)}{\sin(0 + 60)} = \frac{2000}{\sqrt{3}} \text{ kp}$$

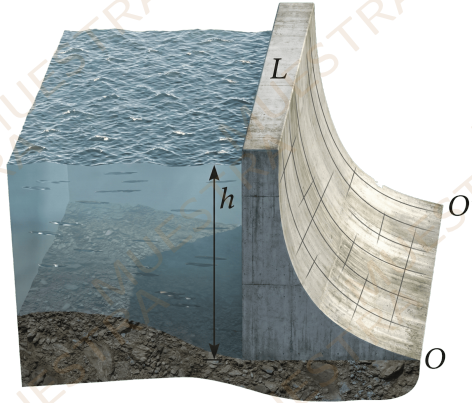
$$T = \frac{1000 \cos(60)}{\sin(0 + 60)} = \frac{1000}{\sqrt{3}} \text{ kp}$$

3. $\alpha = 30^\circ$; $\beta = 0$; $P = 1000 \text{ kp}$.

$$F = \frac{1000 \cos(30)}{\sin(30 + 0)} = 1000\sqrt{3} \text{ kp}$$

$$T = \frac{1000 \cos(0)}{\sin(30 + 0)} = 2000 \text{ kp}$$

Ejercicio La figura nos representa el dique de un embalse en el que el agua alcanza una profundidad $h = 60$ cm en la pared vertical, y tiene una longitud $L = 250$ cm. Calcular:



a) La fuerza resultante que actúa sobre el dique.

$$dF = p dA = \rho g h dA$$

$$\left| \begin{array}{l} p = \rho g y \\ dA = L dy \end{array} \right|$$

$$dF = \rho g y L dy$$

La fuerza resultante es:

$$F = \int_0^h \rho g y L dy = \rho g L \frac{h^2}{2}$$

b) Momento de la fuerza que tiende a hacer girar el dique alrededor de O.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

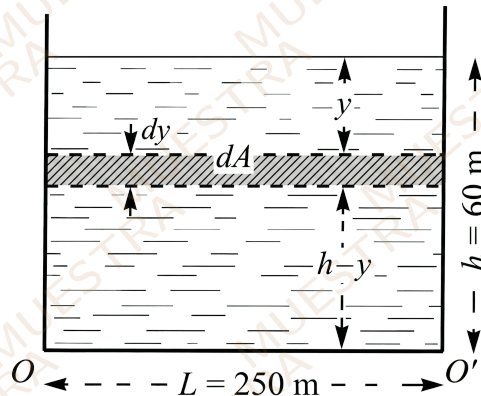
$$d\tau = dy F \sin(90^\circ) = y \rho g dy L \frac{h^2}{2} = \rho g L \frac{y^2}{2} dy$$

El momento total es:

$$\tau = \int_0^h \rho g L \frac{y^2}{2} dy = \rho g L \frac{h^3}{6}$$

c) Posición de la línea de acción de la resultante.

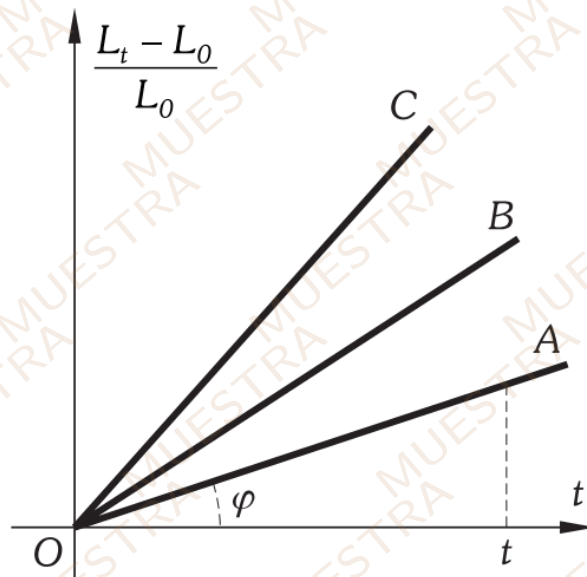
$$\tau = FH \Rightarrow H = \frac{\tau}{F} = \frac{\rho g L \frac{h^3}{6}}{\rho g L \frac{h^2}{2}} = \frac{h}{3}$$



8.2.4. Coeficiente de dilatación lineal, superficial y cúbica

Definición Experimental:

Si se calientan barras de distintos metales partiendo de 0°C y se representa gráficamente la variación relativa de longitud $\frac{L_t - L_0}{L_0}$ frente a la temperatura t , se obtienen líneas que son sensiblemente rectas para intervalos de temperatura pequeños.



La pendiente de estas rectas ($\tan \varphi$) define el **COEFICIENTE DE DILATACIÓN** (α), que es una magnitud característica de cada sustancia.

Definiciones de los Coeficientes:

1. **Coeficiente de dilatación LINEAL** (α): Es el aumento medio que experimenta la unidad de longitud al aumentar un grado su temperatura.

$$\alpha = \frac{L_t - L_0}{L_0 t}$$

2. **Coeficiente de dilatación SUPERFICIAL** (β): Es el aumento medio que experimenta la unidad de superficie al aumentar un grado su temperatura.

$$\beta = \frac{S_t - S_0}{S_0 t}$$

3. **Coeficiente de dilatación CÚBICA** (γ): Es el aumento medio que experimenta la unidad de volumen al aumentar un grado su temperatura.

$$\gamma = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$$

Leyes de Dilatación:

A partir de las definiciones anteriores, se obtienen las expresiones para calcular las dimensiones finales a una temperatura t (partiendo de 0°C):

$$L_t = L_0(1 + \alpha t)$$

$$S_t = S_0(1 + \beta t)$$

$$V_t = V_0(1 + \gamma t)$$

Relación entre temperaturas cualesquiera:

Para relacionar las dimensiones entre dos temperaturas cualesquiera t y t' , donde $\Delta t = t' - t$, se utilizan las fórmulas aproximadas:

$$L'_t = L_t(1 + \alpha \Delta t)$$

$$S'_t = S_t(1 + \beta \Delta t)$$

$$V'_t = V_t(1 + \gamma \Delta t)$$