Trabajo Práctico Nº 1: TIEMPO DE REACCIÓN

Objetivo

Determinar el tiempo de reacción de una persona, operado ante un estímulo exterior.

Elementos utilizados

Cinta milimetrada de aproximadamente 60 cm de longitud y 4 cm de ancho, lastre (moneda).

Fundamentos teóricos

Al caer un cuerpo, éste se desplaza con movimiento uniformemente acelerado, con aceleración $g = 980 \frac{cm}{seg^2}$ aproximadamente. El tiempo de caída, partiendo del reposo, está dado por $t = \sqrt{\frac{2.e}{g}}$ permitiendo determinar el tiempo t si se conoce el espacio recorrido durante la caída e.

Como el tiempo de reacción de una persona es fluctuante, es necesario realizar un gran número de mediciones para obtener el valor más probable. Este valor más probable es el promedio que se obtiene mediante $\bar{t} = \frac{\sum f_i.t_i}{N}$, donde t_i es el valor de cada medición, f_i es la frecuencia de cada valor y N es el número de mediciones de la serie.

Los valores del tiempo de reacción fluctúan alrededor del promedio, acumulándose en sus proximidades y raleándose a medida que se alejan de dicho promedio. La acumulación de los valores alrededor del promedio depende de la calidad de las mediciones, siendo el error standard σ una medida de dicha acumulación. Por convención, el error standard σ puede se calcula mediante $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \left(\bar{t} - t_i\right)^2.f_i}{N-1}}$

Si se realizan otras series de mediciones, se obtendrán otros tantos promedios, distintos en general. Por convención, ξ es el error de los promedios y se calcula con la expresión $\xi = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\sum \left(\bar{t} - t_i\right)^2.f_i}{N(N-1)}}$

Graficando la frecuencia de los valores obtenidos en función de los valores experimentales, se obtiene una curva teórica, simétrica con respecto al valor promedio, llamada Curva o Campana de Gauss, la cual tiene sus puntos de inflexión a una distancia $\pm \sigma$ del promedio. El área bajo esta curva indica la probabilidad de que los valores experimentales se encuentren dentro de un intervalo determinado.

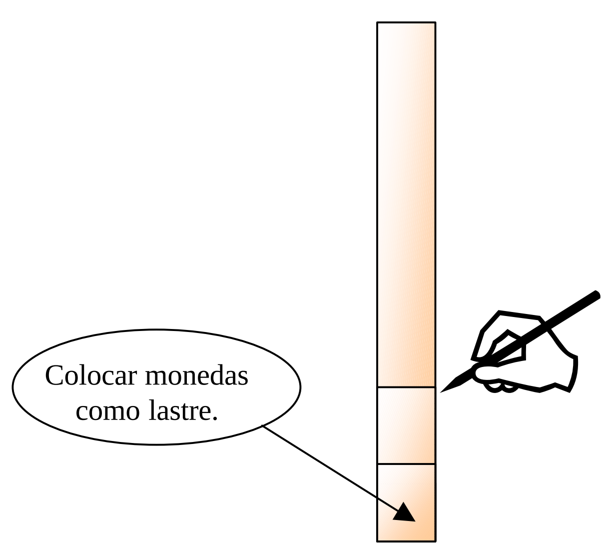
El histograma es una representación gráfica en la cual no se consideran las mediciones individuales sino intervalos de variación, y, en lugar de las frecuencias propiamente dichas, se considera el número de mediciones experimentales correspondientes a cada intervalo, resultando una curva práctica. Dicha curva práctica se obtiene uniendo los puntos medios de las cúspides de los intervalos. La curva práctica se aproxima a la curva teórica cuando el número de mediciones aumenta y el número de intervalos de variación disminuye.

Desarrollo del Trabajo Práctico

El estímulo exterior lo proporciona, en este caso, una cinta milimetrada que un ayudante deja caer, sin previo aviso, ante la mirada atenta del operador, el cual, tan pronto ve caer la cinta, maniobra con un lápiz para detener su movimiento.

El ayudante sostendrá la cinta lastrada por su extremo superior, apoyándola contra un plano vertical, en tanto el operador mantendrá la punta de una lápiz apuntando a la línea de referencia marcada con 0, a una distancia de aproximadamente 5 mm de la cinta.

Sin previo aviso, el ayudante deja caer la cinta. Cuando el operador se percate de ello, deberá presionar rápidamente el lápiz contra el plano, deteniendo el movimiento de la cinta y produciendo una marca en ella.



La distancia h que existe entre el primer punto de contacto cinta-lápiz y el valor prefijado como cero, dependerá del tiempo t de reacción del observador, y puede calcularse mediante $t = \sqrt{\frac{2.e}{g}}$, dado que el movimiento de la cinta es de caída libre.

En este trabajo práctico deberá realizar una serie de 150 mediciones de la distancia h en cm , calculando, en cada caso, los valores correspondientes del tiempo t aproximándolos a 0,001 segundos.

Análisis de datos

a) Calcular el valor promedio $\bar{t}$ de los valores de tiempo calculados, la desviación standard σ y el error de los promedios ξ .

b) Dibujar el histograma, eligiendo los intervalos convenientemente.

c) Trazar la curva de Gauss práctica, uniendo los puntos medios de los intervalos.

d) Trazar la curva teórica, normalizando los valores para la serie de 150 mediciones

Bibliografía:

- 🕮 Mediciones Físicas - Balseiro
- 🕮 Mecánica Elemental - Roederer - Eudeba
- 🕮 Introducción a la Teoría de Errores - Yardley Beers - E.TH.A.

<u>Trabajo Práctico Nº 2</u>: BALANZA

Objetivo

Determinar el peso de un cuerpo mediante distinto métodos de pesada con la balanza de precisión.

Elementos utilizados

Balanza (anotar el número de la balanza), caja de pesas, cuerpo.

Fundamentos Teóricos

La balanza de precisión es un instrumento que se utiliza para comparar masas (o pesos normales), actuando como una palanca de brazos iguales apoyada sobre cuchillas. Estos brazos no siempre son iguales, por lo cual se utilizan el método de Gauss y el método de Borda para corregir este error del instrumento.

El método de Gauss consiste en colocar una vez el cuerpo en un platillo y las pesas en el otro, y luego cambiarlos de platillo, hallando el promedio de valores obtenidos con la expresión $P = \sqrt{P_i . P_d}$

El método de Borda se basa en la utilización de una tara que se equilibrará primero con el cuerpo y luego con las pesas, de modo que ambos se encuentren en el mismo platillo.

La balanza debe tener una posición de equilibrio estable, es decir, que el fiel debe indicar siempre el punto cero de la figura para cualquier carga.

La sensibilidad de la balanza es el número de divisiones que se desplaza el fiel por miligramo que se le agrega, dependiendo del estado de carga de la balanza. El coeficiente de sensibilidad de la balanza es el inverso de la sensibilidad, es decir, son los miligramos que deben agregarse para que el fiel se desplace una división.

Las posiciones de equilibrio deben obtenerse varias veces sucesivas para lograr una mayor fidelidad. Así, α_0 se determina con la balanza descargada, α_1 con el cuerpo y las pesas, y α'_1 agregando una sobrecarga al platillo donde se encuentra el cuerpo. Estas posiciones de equilibrio se determinan mediante nueve lecturas sucesivas, hallando un promedio de ellas mediante $\alpha = \dfrac{a_1 + 2a_2 + a_3}{4}$, ya que al efectuar una oscilación completa, el fiel pasa por las posiciones a_1 , a_2 , a_3 , siendo el valor medio entre a_1 y a_2 igual a $\dfrac{a_1 + a_2}{2}$, y el valor medio entre a_2 y a_3 igual a $\dfrac{a_2 + a_3}{2}$, resultando el promedio de la oscilación completa la expresión anterior.

El coeficiente de sensibilidad S se utiliza para determinar la diferencia entre el valor de las pesas y el que se supone más exacto valor de la masa, y está dado por la expresión $S = \dfrac{p}{\alpha'_1 - \alpha_1}$, donde p es la sobrecarga. La mencionada diferencia estará dada entonces por $d = S(\alpha_0 - \alpha_1)$, para lo cual debe considerarse la posición de α_1 con respecto a α_0 para conocer el signo de la diferencia d.

Desarrollo del Trabajo Práctico

Método de Gauss (doble pesada)

Se hace oscilar la balanza con los platillos descargados, leyendo nueve elongaciones máximas sucesivas del fiel, y se determina la posición de equilibrio con cada conjunto de tres lecturas:

$$\alpha = \frac{a_1 + 2a_2 + a_3}{4}$$

Si los tres valores resultan concordantes, se realiza un promedio de ellos. Luego, colocando el cuerpo en el platillo de la izquierda, se coloca en el otro platillo un valor P’ de pesas hasta equilibrar aproximadamente la balanza de manera que el fiel oscile manteniéndose dentro de la escala. En estas condiciones, se realizan nueve lecturas sucesivas, determinando la posición de equilibrio correspondiente a α_1 . Colocando la sobrecarga p y se busca la posición de equilibrio correspondiente a α'_1 .

El coeficiente de sensibilidad S para este estado de carga será $S = \dfrac{p}{\alpha'_1 - \alpha_1}$ y la diferencia entre el peso del cuerpo y el peso de las pesas P’ estará dada por $d' = S(\alpha_1 - \alpha_0)$. Así, el peso del cuerpo resultará de: $P_1 = P' + d'$, donde el signo de d’ se colocará observando hacia que lado deberá correrse el fiel para pasar de α_1 hacia α_0 y teniendo en cuenta la posición de las pesas.

Se coloca, luego, el cuerpo en el platillo de la derecha, y las pesas P" en el otro platillo hasta equilibrar aproximadamente. La nueva posición de equilibrio será α_2 . Con el valor de S antes determinado, se calcula la diferencia d", dada por $d'' = S(\alpha_2 - \alpha_0)$. Así, el peso será $P_2 = P'' + d''$.

El peso verdadero se obtiene como la media geométrica de los pesos correspondientes a las dos pesadas simples efectuadas $P = \sqrt{P_1.P_2}$

Método de Borda (sustitución)

Se coloca el mismo cuerpo en el platillo derecho y se equilibra con municiones u otra tara cualquiera, y haciendo oscilar el fiel de la balanza se determina la posición de equilibrio α''_1 . Se retira el cuerpo y en su lugar se colocan pesas hasta equilibrar la balanza, determinándose en esas condiciones la posición α''_2 .

Con el valor conocido de S, se calcula la diferencia entre el peso del cuerpo y las pesas P' , mediante $d = S(\alpha''_2 - \alpha''_1)$.

El peso verdadero del cuerpo resulta de sumar, con su correspondiente signo, esta diferencia al valor de las pesas $P = P' + d$

Reducción al vacío

Al realizar la pesada en el aire, debe tenerse en cuenta el empuje ya que las pesas son de distinta densidad que el cuerpo. Esta corrección se realiza a través de la ecuación $W = P + P.\sigma.\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d}\right)$ donde W es el peso reducido al vacío, σ es el peso específico del aire, D es el del cuerpo y d el de las pesas.

Análisis de datos

Hallar el valor del peso del cuerpo en cuestión por los métodos antes descritos y comparar los resultados obtenidos en cada uno de ellos, determinando en cada caso, el error con el cual se trabajó.

Trabajo Práctico Nº 3: DENSIDADES

Objetivo

Determinar densidades por el método de Arquímedes.

Elementos utilizados

Balanza (anotar el número de la balanza), caja de pesas, cuerpo, recipientes con agua y otro líquido, alambre.

Fundamentos teóricos

La **densidad d** de un cuerpo es el cociente entre su masa M y su volumen V: $d = \frac{M}{V}$

Se denomina **peso específico** al cociente entre el peso P y el volumen V: $P_e = \frac{P}{V} = \frac{M.g}{V} = d.g$, el cual varía con la aceleración de la gravedad, en tanto que la densidad no cambia. La densidad varía con la temperatura.

Se define como densidad relativa de dos sustancias, el cociente entre sus respectivas densidades:

$$D = \frac{d_1}{d_2} \quad \text{(densidad relativa)}$$

Usualmente, se dan las densidades relativas de sólidos y líquidos con respecto al agua a 4ºC (por lo cual difiere de los valores absolutos), y las densidades relativas de los gases con respecto al aire, en iguales condiciones de presión y temperatura.

El **Principio de Arquímedes** se enuncia diciendo que *todo cuerpo sumergido en el seno de un líquido, recibe un empuje de abajo hacia arriba, igual al peso del líquido desalojado*.

Desarrollo del Trabajo Práctico

Densidad de una sustancia a una temperatura t es el cociente que resulta de dividir la masa de un determinado volumen de esta, tomada a temperatura t, por la masa de un volumen igual de agua a 4º C.

Las pesadas se efectuarán por pesada simple, con corrección por sensibilidad (colocar las pesas en el platillo de la derecha). Todas las posiciones de equilibrio de la balanza se determinarán con tres series de cinco lecturas cada una, excepto $\overline{\alpha}_0$ que se determinará con diez series. Aún cuando en algunas pesadas resulte $\overline{\alpha}_0 = \alpha_0$, determinar igualmente α_0, dado que el valor de σ correspondiente será necesario para la determinación de Δm, ΔM, $\Delta M'$ y $\Delta M''$. En el caso de que exista un gran amortiguamiento en los líquidos, determinar la sensibilidad en el aire, utilizando en lugar del cuerpo, pesas equivalentes a su peso cuando se encuentra sumergido. Controlar que no queden burbujas adheridas a los cuerpos.

Para determinar la densidad de un sólido por el método de Arquímedes, se pesa el cuerpo en el aire y sumergido en agua. La diferencia de peso será igual al peso del agua desalojada por el cuerpo.

$$\Delta P = P - P' = (M - M').g = V.d.g$$

El volumen de agua desalojada será $V = \frac{M - M'}{d}$, por lo cual, la densidad del cuerpo resultará

$$d_C = \frac{M}{V} = \frac{M}{(M - M')}.d$$

El líquido utilizado en primera instancia es agua debido a que resulta relativamente fácil hallar tablas de su densidad para distintas temperaturas.

Para determinar la densidad de otro líquido (alcohol, bencina, etc.) se mide el peso del cuerpo en el aire y luego en el líquido incógnita. El cuerpo sufrirá una modificación de su peso:

$$\Delta P = P - P'' = (M - M'').g = V.d_L.g$$

En tanto la temperatura no varíe, el volumen del líquido desalojado por el cuerpo será el mismo que se calculó previamente, por lo tanto, la densidad estará dada por

$$d_L = \frac{M - M''}{V} = \frac{M - M''}{(M - M')}.d$$

permitiendo conocer la densidad del líquido en cuestión empleando sólo una balanza y una tabla de densidades del agua. Dado que la balanza determina pesos normales, numéricamente iguales a las masas de los cuerpos, pueden tomarse los valores obtenidos directamente como valores de masa.

Debe considerarse que:

a) en tanto aumenta la masa del cuerpo que se pesa, la balanza pierde sensibilidad.

b) si la temperatura del líquido en cuestión no fuera la misma temperatura que la del agua utilizada anteriormente, el volumen del cuerpo variará y, conjuntamente, variará el volumen del líquido desalojado, siendo el nuevo volumen $V' = V(1+\gamma[t'-t])$, donde γ es el coeficiente de dilatación cúbica de la sustancia del cuerpo. De esta manera, al variar el volumen variará también la densidad, resultando:

$$d_L = \frac{M-M''}{(M-M')}.d = \frac{M-M''}{(M-M')}.\frac{d}{[1+\gamma(t'-t)]}$$

<u>Análisis de datos</u>

Determinar: a) α_0 y σ de la balanza.

b) la masa m y el error Δm del alambre.

c) la masa M y el error ΔM del cuerpo en el aire.

d) la masa M’ y el error $\Delta M'$ del cuerpo en el agua, y tomar la temperatura t del agua.

e) la densidad $d_1 = \frac{M}{M-M'}.d$ del cuerpo relativa al agua, y su error Δd_1. La densidad d del agua a la temperatura t de la experiencia se toma de tablas. Aplicando propagación de errores, decidir si tiene sentido tomar d distinta de 1.

f) la masa M” y el error $\Delta M''$ del cuerpo en el segundo líquido, y tomar la temperatura t’ del líquido.

g) la densidad $d' = \frac{M-M''}{M-M'}.d$ del segundo líquido relativa al agua, y su error $\Delta d'$. La densidad d del agua a la temperatura de la experiencia se busca en tablas.

<u>Cuestionario</u>

¿En cuánto mejoran los resultados si se efectúan las correcciones por empuje de aire y por temperatura? (Expresar en gr/cm^3)

Indicar si tienen sentido estas correcciones.

Trabajo Práctico Nº 4: CONSTANTE DE UN RESORTE

Objetivo

Determinar la constante elástica C de un resorte por los métodos estático y dinámico.

Elementos utilizados

Soporte, cronómetro, resorte, platillo, índice, pesas y escala graduada.

Fundamentos teóricos

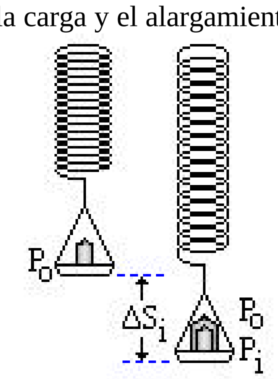
Si en un resorte helicoidal de alambre arrollado en espiras apretadas se fija uno de sus extremos y se carga en el otro extremo un peso P, las tensiones aplicadas producen deformaciones por tensión y por flexión en cualquier sección del alambre.

Si las espiras son circulares y aproximadamente normales al eje del resorte, puede despreciarse el efecto de las deformaciones por flexión, pudiendo demostrarse que el alargamiento ΔS será proporcional a la carga aplicada P: $\Delta S = \dfrac{4.\pi.R^3}{r^4.\phi}.P$

donde R es el radio de las espiras del resorte, r es el radio del alambre y ϕ su módulo de torsión. Llamando al valor constante $\dfrac{1}{C} = \dfrac{4.\pi.R^3}{r^4.\phi}$: $P = C.\Delta S$ ó $C = \dfrac{P}{\Delta S}$

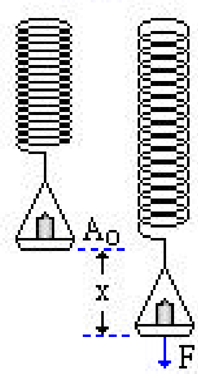
La **constante elástica del resorte C** es el cociente entre la carga y el alargamiento.

Mediante el método estático se miden alargamientos ΔS_i bajo la acción de cargas P_i que se hacen crecer gradualmente. Debido a que en el resorte descargado las espiras se encuentran en contacto, se coloca una carga inicial P_0 para separarlas, carga que no se considera en las determinaciones. Graficando cargas en función de alargamientos, los pares de valores ΔS_i y P_i determinarán puntos experimentales. La pendiente de la recta de mejor ajuste será la constante de resorte C.



Método estático

En el método dinámico, se coloca una masa M en el extremo libre del resorte, desplazándolo hasta una posición A_0 donde se equilibran el peso $P = M.g$ con la tensión del resorte. Proporcionando un alargamiento x, la fuerza aplicada $F = C.x$ será proporcional a la elongación, siendo la constante C el factor de proporcionalidad. Al suprimir esta fuerza, actuará sobre la masa una fuerza igual y opuesta –F, que ocasionará una aceleración $a = \dfrac{-F}{M} = \dfrac{-C}{M}.x$, proporcional a la elongación x quedando, la masa suspendida M, animada de un movimiento oscilatorio armónico.



Método dinámico

La aceleración en el movimiento armónico está dada por $a = -\omega^2.x$, donde la pulsación es $\omega = \dfrac{2.\pi}{T}$, siendo T el período. De aquí que $\dfrac{C}{M} = \omega^2 = \dfrac{4.\pi^2}{T^2}$, por lo cual resulta:

$$T = 2.\pi.\sqrt{\frac{M}{C}} \quad ó \quad C = \frac{4.\pi^2}{T^2}.M$$

Estas ecuaciones son válidas si puede despreciarse la masa del resorte. En caso contrario, para una masa m del resorte, se demuestra que el sistema se comporta como si la masa del movimiento fuera (M+m/2), de manera que: $T = 2.\pi.\sqrt{\dfrac{\left(M + \dfrac{m}{2}\right)}{C}}$ ó $C = \dfrac{4.\pi^2}{T^2}.\left(M + \dfrac{m}{2}\right)$

El valor de C obtenido con el método dinámico debería coincidir con el obtenido con el método estático. Debe tenerse en cuenta que cuando se carga el resorte gradualmente, la elongación tiene una longitud x, pero si se aplica bruscamente la misma carga cuando el resorte no está deformado, el alargamiento resultará $x' = 2.x$, esto es, alcanzará una elongación que resulta el doble de la que hubiera producido la aplicación gradual de la carga.

<u>Desarrollo del Trabajo Práctico</u>

Método estático

Fijando uno de los extremos del resorte al soporte, se dispone el platillo para colocar las pesas, el índice y la escala graduada.

En el canasto se coloca una carga inicial para obtener una separación de las espiras del resorte, con lo cual, el índice señalará una lectura inicial sobre la escala. Luego de tomar esta lectura inicial, se continúa agregando cargas iguales hasta completa una serie de aproximadamente 11 o 12 lecturas. En estas condiciones, deberán realizarse cinco series cargando y cinco series descargando.

Método dinámico

Con la balanza, determine la masa m del resorte y la masa M del platillo junto con el índice. Luego, monte el resorte, coloque una carga conocida en el platillo y hágalo oscilar.

Las oscilaciones deberán contarse observando el paso del índice por un punto fijo, y en el momento en que la velocidad de la masa oscilante resulte máxima, esto es, cuando pase por el punto de equilibrio. Así, deberá determinarse el período T de cada oscilación mediante $T = \frac{t}{50}$ midiendo el tiempo t de 50 oscilaciones. Realizar seis determinaciones con distintas cargas, cuidando que las amplitudes de las oscilaciones sean pequeñas.

<u>Análisis de datos</u>

Método estático

Confeccionar un cuadro de valores y hallar los L_i correspondientes a cada estado de carga.

Graficar cargas en función de elongaciones (cargas en ordenadas y elongaciones en abscisas), de manera que la constante de elasticidad $C = \frac{\Delta Q}{\Delta L}$ sea la pendiente de la recta de mejor ajuste que resulte como gráfica. Hallar dicha pendiente por el método gráfico y el método de cuadrados mínimos. Marque en el gráfico el error de cada punto experimental.

Expresar el valor de la constante de elasticidad C del resorte en gr/cm.

Método dinámico

De la ecuación $T = 2.\pi.\sqrt{\frac{\left(M + \frac{m}{2}\right)}{C}}$, despejar la constante de elasticidad C para cada valor de carga trabajado. Emplear el sistema C.G.S. y luego reducir de dinas/cm a gr/cm.

Calcular $\overline{C}$, el valor de σ y el valor de ξ. Comparar el valor de C hallado con el obtenido por el método estático.

Realizar el cálculo de errores para el método dinámico.

<u>Cuestionario</u>

Señale todas las causas de error en el dispositivo que empleó.

Realice un comentario detallado sobre la velocidad y la aceleración de la masa oscilante en los distintos puntos de su carrera.

Calcule la energía potencial en función de la elongación.

En el método estático, ¿por qué no es necesario conocer la carga inicial? ¿Y en el dinámico?

La constante C, ¿varía para un resorte más largo o más corto hecho del mismo alambre y con el mismo número de espiras?

Si se aumenta el diámetro de las espiras, ¿de qué manera varía la constante de elasticidad C?

Explique el alargamiento producido por una carga brusca dejada en libertad desde la posición del resorte sin carga.

Trabajo Práctico Nº 5: PÉNDULO DE BORDA

Objetivo

Calcular la aceleración de la gravedad g midiendo la longitud y el período de oscilación del péndulo.

Elementos utilizados

Una esfera sólida de hierro suspendida por medio de un alambre de acero, cronómetro, cinta métrica.

Fundamentos teóricos

Un **péndulo ideal** es un punto pesado colgado de un hilo inextensible y sin peso. Un **péndulo físico** o **compuesto** es un cuerpo rígido que puede oscilar libremente alrededor de un eje horizontal.

Oscilación se denomina al movimiento de vaivén que realiza el péndulo a ambos lados de la posición de equilibrio. Al ser apartado de la posición de equilibrio, el péndulo oscila alrededor del eje de suspensión con un período T. Dicho **período** T es el tiempo que tarda el péndulo entre dos pasajes sucesivos por el mismo punto y en el mismo sentido.

Las oscilaciones de un mismo péndulo son **isócronas**, es decir, tardan el mismo tiempo, cuando tienen pequeña amplitud, lo cual es necesario para que el péndulo se comporte como un oscilador armónico simple. Dos péndulos de igual longitud efectiva son **sincrónicos** porque tienen igual período de oscilación.

El período de oscilación de un péndulo físico está dado por: $T = 2.\pi.\sqrt{\frac{I}{g.m.d}}$

donde I es el elemento de inercia respecto del eje de suspensión, d es la distancia del centro de gravedad al centro de suspensión, m es la masa del péndulo y g es la aceleración de la gravedad.

Para un péndulo ideal, la expresión del período de oscilación será: $T = 2.\pi.\sqrt{\frac{L}{g}}$

siendo L la longitud de dicho péndulo.

La **longitud reducida** de un péndulo físico es la longitud del péndulo ideal que sea sincrónico con el péndulo físico en cuestión: $L = \frac{I}{m.d} = \frac{I_g}{m.d} + d$

donde I_g es el momento de inercia baricéntrico (respecto de un eje paralelo al eje de suspensión que pasa por el centro de gravedad).

En el **péndulo de Borda**, la masa del hilo es despreciable frente a la masa de la esfera suspendida de él, por lo cual, el centro de gravedad del sistema puede considerarse coincidente con el centro de la esfera.

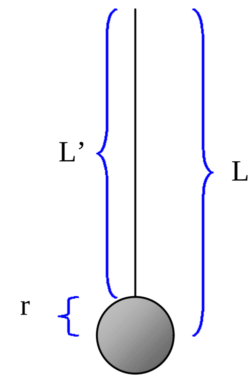
La longitud reducida será $L = \frac{\frac{2}{5}.m.r^2}{m.d} + d = \left(\frac{2}{5}\frac{r^2}{d^2} + 1\right)d$, y el período de oscilación tendrá la expresión $T = 2.\pi.\sqrt{\frac{L}{g}} = 2.\pi.\sqrt{\left(1 + \frac{2}{5}\frac{r^2}{d^2}\right)\frac{d}{g}}$, resultando:

$$g = \frac{4.\pi^2.d}{T^2}\left(1 + \frac{2}{5}\frac{r^2}{d^2}\right)$$

Si el término $\frac{2}{5}\frac{r^2}{d^2}$ resultara más pequeño que el error con que se mide d, puede tomarse directamente este valor como longitud reducida.

Si las oscilaciones no son de pequeña amplitud, sino que tienen un cierto valor α , la expresión del período será $T = 2.\pi.\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{\alpha^2}{16} + ...\right)$, de manera que, para que no sea necesario aplicar esta corrección debe ser $\frac{\alpha^2}{16} \langle\langle 1$, o menor que el error relativo con que se ha medido el período T. Así, la medida que deberá efectuarse con mayor cuidado será la del período, dado que se encuentra elevada al cuadrado y por lo tanto su influencia resulta doble.

Desarrollo del Trabajo Práctico



Medir el radio r de la esfera y la distancia L = (L' + r) entre el eje de suspensión y el centro de la esfera.

Determinar un punto de referencia a efectos de contar las oscilaciones cuando el péndulo pase por el punto de equilibrio (aproximadamente). Hacer oscilar el péndulo, cuidando que las amplitudes de las oscilaciones sean pequeñas, que el sistema esté bien nivelado y que oscile en el mismo plano.

Dado que se requiere que el error del período sea menor que 0,001 segundos, y que el cronómetro tiene una precisión de 1/5 de segundo, deberá medirse el tiempo de más de $\frac{1/5}{0{,}001} = 200$ oscilaciones para calcularlo. Para mayor seguridad, se medirá el tiempo de 300 oscilaciones.

Como este tiempo es largo, se determinará primero un período $T_1 = \frac{t_1}{50}$ midiendo el tiempo t_1 de 50 oscilaciones y se calculará el tiempo t_2 = 300 x T_1 que emplearán las 300 oscilaciones. Luego, se comienza a cronometrar cuando el péndulo pasa frente al punto de referencia, se deja transcurrir el tiempo t_2 calculado, y en el subsiguiente pasaje del péndulo frente al punto de referencia elegido en el mismo sentido que tenía al iniciar el cronometrado, se detiene el cronómetro obteniendo el tiempo t.

Análisis de datos

Determinar el período de oscilación del péndulo mediante $T = \frac{t}{300}$.

Hallar la aceleración de la gravedad g aplicando la ecuación $g = \frac{4.\pi^2.L}{T^2}$.

Cuestionario

¿Cuál de las medidas, la de L o la de T, tiene mayor influencia en la determinación de la aceleración de la gravedad g? ¿Por qué?

¿Es necesario calcular la longitud reducida como $L = \frac{2/5\,r^2 + r^2 + 2.r.L' + L'^2}{r + L'}$?

¿Por qué las oscilaciones deben ser de pequeña amplitud?

¿Dónde tiene mayor magnitud la aceleración? ¿Y la energía cinética? ¿Y la energía potencial?

Trabajo Práctico Nº 6: COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN

Objetivo

Calcular el coeficiente de restitución entre dos sustancias.

Elementos utilizados

Dispositivo que permita la caída libre de una esferita sobre un plano de ángulo de inclinación variable, bolita, cinta métrica, papel blanco y papel carbónico.

Fundamentos teóricos

Cuando dos cuerpos de masas m y m', y velocidades v y v' respectivamente, chocan, la cantidad de movimiento permanece constante pero no necesariamente la energía cinética. Si la energía cinética permanece constante también, entonces el choque es **perfectamente elástico**.

Si v_1 y v'_1 son las velocidades de las masas antes del choque, y v_2 y v'_2 son las velocidades de dichas masas después del choque, se cumple que:

(1) $m\left(v_2^2 - v_1^2\right) = -m'\left(v'^2_2 - v'^2_1\right)$

(2) $m\left(v_2 - v_1\right) = -m'\left(v'_2 - v'_1\right)$

dividiendo (1) por (2) : $v_1 + v_2 = v'_2 + v'_1$ o bien $v_1 - v'_1 = -\left(v_2 - v'_2\right)$

El primer término da la velocidad relativa antes del choque y el segundo término da la velocidad relativa después del choque. Esto significa que en una colisión elástica la velocidad relativa cambia de sentido pero conserva su magnitud.

El coeficiente de restitución ρ se define como el cociente, con signo negativo, entre la velocidad relativa después del choque y la velocidad relativa antes de éste: $\rho = -\dfrac{v_2 - v'_2}{v_1 - v'_1}$

Este coeficiente será la unidad en choques perfectamente elásticos y será nulo si el choque es perfectamente inelástico o plástico.

En particular, cuando un cuerpo colisiona sobre un plano horizontal fijo, las velocidades v'_1 y v'_2 son nulas, y por lo tanto $\rho = -\dfrac{v_2}{v_1}$. La velocidad relativa antes de la colisión es sencillamente la velocidad adquirida al caer libremente una altura h, esto es, $v_1 = \sqrt{2.g.h}$. Después del choque, el cuerpo rebota una altura h', por lo cual, la velocidad relativa después del choque será $v_2 = -\sqrt{2.g.h'}$, correspondiendo signo negativo si se considera positivo el sentido hacia abajo. Así, resulta:

$$\rho = -\frac{-\sqrt{2.g.h'}}{\sqrt{2.g.h}} = \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

En este trabajo práctico, se deja caer une esferita desde una altura h sobre un plano inclinado un ángulo α , ocurriendo el rebote con un ángulo θ = 90º - 2 α con respecto a la horizontal. La trayectoria será una parábola de tiro cuyo alcance horizontal estará dado por $L = \dfrac{v_0^2 . \operatorname{sen} 2\theta}{g}$. Cuando sen 2θ = 1, se obtiene el alcance máximo, esto es, para θ = 45º, por lo cual, el alcance máximo se logrará cuando el plano forme un ángulo de 22º 30'. La altura máxima alcanzada será, entonces $h' = \dfrac{v_0^2 . \operatorname{sen}^2 \theta}{2.g} = \dfrac{L}{2.\operatorname{sen} 2\theta}$, de donde, el coeficiente de restitución tendrá la expresión: $\rho = \sqrt{\dfrac{h'}{h}} = \sqrt{\dfrac{L}{2.h.\operatorname{sen} 2\theta}}$

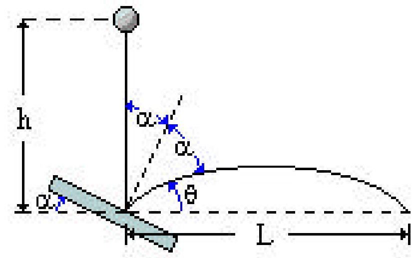
Resulta conveniente utilizar un ángulo α < 22º 30' ya que para ese valor la esferita no marca nítidamente el punto de caída sobre el papel.

Desarrollo del Trabajo Práctico

Si se deja caer una esferita desde una altura h, rebotará una altura h', siempre que lo haga sobre un plano horizontal. Si la caída tiene lugar sobre un plano inclinado un ángulo α , dicho rebote ocurrirá con un ángulo θ = 90º - 2 α con respecto a la horizontal, y para una cierta velocidad v_0 , logrará un alcance:

$$L = \frac{v_0^2 . \operatorname{sen} 2\theta}{g} \quad (1)$$

Con esta velocidad, el cuerpo hubiera alcanzado una altura $h' = \frac{v_0^2}{2.g}$ (2), por lo cual, despejando v_0 de (1) y reemplazando en (2), se obtiene la expresión $h' = \frac{L}{2.\mathrm{sen}\,2\theta}$ (3). Dado que el coeficiente de restitución entre las sustancias de la bolita y el plano es $\rho = \sqrt{\frac{h'}{h}}$, reemplazando h' por la ecuación (3) resulta



$$\rho = \sqrt{\frac{L}{2.h.\mathrm{sen}\,2\theta}}$$

Se deja caer la esferita 10 veces desde una cierta altura h sobre el plano inclinado en un ángulo menor que 45º y se mide L como promedio de los alcances obtenidos.

Conservando fijo el ángulo, obtener 12 pares de valores de h y L dejando caer la esferita desde distintas alturas.

<u>Análisis de datos</u>

Calcular ρ para cada par de valores de h y L, y determinar $\overline{\rho}$.

Graficar L en función de h (Len ordenadas y h en abscisas).

Con los valores experimentales, hallar ρ por el método de cuadrados mínimos, considerando

$$a = 2.\rho^2\,\mathrm{sen}\,2\theta \;;\quad y = L \;;\quad x = h \qquad \text{por lo cual } \rho = \sqrt{\frac{a}{2.\mathrm{sen}2\theta}}$$

Trabajo Práctico Nº 7: PÉNDULO REVERSIBLE

Objetivo

Determinar la aceleración de la gravedad, midiendo las distancias entre dos centros de oscilación que dan igual período en un péndulo físico.

Elementos utilizados

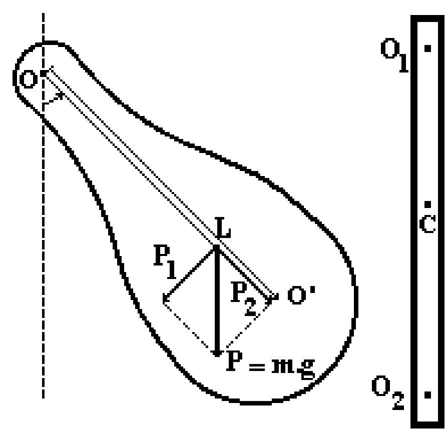
Cronómetro, cinta métrica, barra uniforme de un metro de longitud y sección rectangular provista de un dispositivo ajustable a distintas alturas.

Fundamentos Teóricos

Un **péndulo compuesto** o **físico** es cualquier cuerpo rígido que puede oscilar libremente alrededor de un eje horizontal bajo la acción de la gravedad. Si el centro de gravedad o baricentro del cuerpo y el eje de suspensión están sobre la misma vertical, el cuerpo estará en equilibrio. Separado de la posición de equilibrio, se tiene que $$m.g.a.\operatorname{sen}\theta = \left(I + m.a^2\right)\frac{d^2\theta}{dt^2}$$
donde a es la distancia del eje al centro de gravedad, I es el momento de inercia del péndulo respecto a un eje de suspensión paralelo que pasa por el baricentro, y m es la masa del péndulo. Así, puede escribirse:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{m.g.a}{\left(I + m.a^2\right)}.\operatorname{sen}\theta$$

Ecuación del movimiento del péndulo físico



y suponiendo que los argumentos son pequeños, puede considerarse que sen θ ~ θ , entonces:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{m.g.a}{\left(I + m.a^2\right)}.\theta$$

Ecuación del movimiento armónico simple

cuyo período es $T = 2.\pi.\sqrt{\frac{I + m.a^2}{m.g.a}}$. Si se suspende el cuerpo rígido de un eje paralelo al anterior, situado del otro lado del centro de gravedad C, el período será $T' = 2.\pi.\sqrt{\frac{I + m.a'^2}{m.g.a'}}$. Cuando los períodos son iguales T = T', entonces $a' = \frac{I}{m.a}$, y sumando a + a' = L', resulta $$T = 2.\pi.\sqrt{\frac{L'}{g}}$$
donde L' es la distancia entre los dos ejes de suspensión que tienen el mismo período, por lo cual L' es la longitud del péndulo ideal sincrónico con el péndulo físico utilizado.

Desarrollo del Trabajo Práctico

El **péndulo reversible** consta de una barra con dos centros de oscilación O_1 y O_2 , y una masa M deslizable. Desplazando convenientemente la masa móvil se llega a conseguir que, suspendido el péndulo tanto de O_1 como de O_2 , oscile con el mismo período T. Se demuestra que en este caso, la distancia $\overline{O_1O_2}$ es igual a L, longitud del péndulo simple sincrónico, usando esto para determinar el valor de g mediante $$g = \frac{4.\pi^2}{T^2}.L = \frac{4.\pi^2}{T^2}.O_1O_2 \quad , \quad \text{en este caso} \quad g = \frac{4.\pi^2}{T^2}.L'$$

Se utiliza el péndulo de Owen, consistente en una barra de aproximadamente un metro de longitud y sección rectangular provista de un dispositivo ajustable a distintas alturas que porta la cuchilla eje. Para cada distancia L, medida desde el extremo de la barra hasta el filo de la cuchilla, se determina el período de oscilación de la barra midiendo el tiempo de 50 oscilaciones, observando que el sistema oscile bien nivelado e idealmente en un plano sin roces laterales. Además, a efectos de contar las oscilaciones cuando el péndulo pase por la posición de equilibrio, deberá fijar un punto de referencia.

Análisis de datos

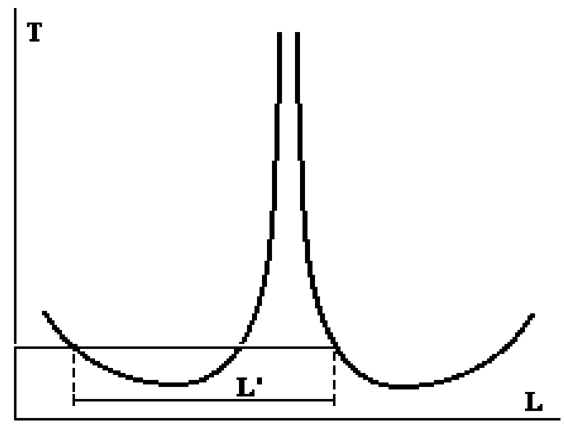
Representar gráficamente el período T de cada oscilación en función de la longitud L correspondiente, a escala natural, y obtener del gráfico 12 valores de L', la distancia entre los puntos de igual período T.

El valor de g puede obtenerse por promedio aritmético, reemplazando los 12 valores de T y L' en la ecuación:

$$g = \frac{4.\pi^2}{T^2}.L'$$

Representar T^2 en función de L', y hallar g por método gráfico.

Empleando el método de cuadrados mínimos, calcular el coeficiente angular a, y a partir de él, calcular el valor más aceptable de g.



Cuestionario

Explique porqué resulta una gráfica como la que obtuvo.

Determine en el gráfico la disposición del centro de gravedad de la barra.

A partir de los datos del gráfico, determine el radio baricéntrico k (ver Sears - pág. 214 - y Curso Superior de Física Práctica - Worsnop y Flint - pág. 64)

Bibliografía

- FÍSICA - Volumen 1 : Mecánica - Marcelo Alonso y Edward J. Finn
- FÍSICA - Parte I - Robert Resnick y David Halliday
- TRABAJOS PRÁCTICOS DE FÍSICA - José S. Fernández y Ernesto E. Galloni

Trabajo Práctico Nº 8: DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD POR TORSIÓN

Objetivo

Determinar el módulo de elasticidad por torsión de una sustancia.

Elementos utilizados

Alambre fijo en un extremo, el cual está unido en el otro a la parte media de una barra de la que cuelgan dos cilindros iguales, cronómetro, cinta métrica, pálmer, calibre, balanza y juego de pesas.

Fundamentos teóricos

Un péndulo de torsión está constituido por un alambre o varilla fijo en uno de sus extremos, y por un cuerpo cualquiera rígidamente unido en el otro extremo, de manera que su centro de gravedad se encuentre en la vertical del eje del alambre.

Al girar el cuerpo un ángulo α alrededor del eje vertical, se origina en el alambre una cupla de torsión proporcional al ángulo (mientras no supere el límite de proporcionalidad), de momento $M = D.\alpha$, siendo D una constante cuyo valor para un alambre cilíndrico es:

$$D = \frac{\pi}{2}\phi\frac{r^4}{L}$$

donde ϕ es el módulo de elasticidad por torsión del material del alambre, r es el radio del alambre y L su longitud. Abandonando el sistema a sí mismo, adquirirá un movimiento oscilatorio armónico alrededor del eje, de período $T = 2.\pi.\sqrt{\frac{I}{D}}$, siendo I el momento de inercia del sistema respecto del eje de rotación y D la constante de torsión llamada cupla directriz.

Resulta conveniente determinar experimentalmente el momento de inercia del péndulo de torsión, para lo cual, se cuelgan en los extremos de la barra dos cilindros iguales de masa M y radio R, y se calcula el momento de inercia que introducen. El momento de inercia de cada cilindro, con respecto al eje paralelo al alambre que pasa por su centro de gravedad es $I' = 2.\left(\frac{M.R^2}{2} + M.d^2\right) = M\left(R^2 + 2.d^2\right)$, ya que el momento de inercia de cada cilindro con respecto al eje del alambre es $I_g + M.d^2$.

Haciendo oscilar el péndulo de torsión con los dos cilindros agregados, el período aumentará resultando $T_1 = 2.\pi.\sqrt{\frac{I + I'}{D}}$, donde debe tenerse en cuenta que la cupla directriz no varía. Comparando las expresiones de los períodos T (péndulo sin cilindros) y T_1 (péndulo con cilindros), resulta, al elevar al cuadrado y dividirlos:

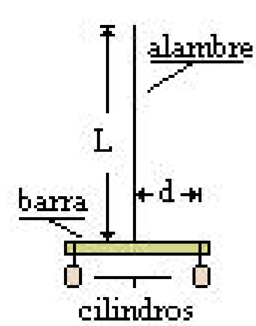
$$\frac{T_1^2}{T^2} = \frac{I + I'}{I} \quad \text{de donde} \quad I = \frac{T^2}{T_1^2 - T^2}.I'$$

Con este valor del momento de inercia I puede calcularse la cupla directriz D mediante la ecuación $D = \frac{4.\pi^2}{T^2}.I$, conociendo D, puede obtenerse el módulo de elasticidad por torsión ϕ mediante:

$$\phi = \frac{2.L}{\pi.r^4}.D$$

Desarrollo del Trabajo Práctico

Cálculo del momento de inercia I



Se determinan la masa M y el radio R de los cilindros, y la longitud d del brazo del péndulo de torsión y se calcula el momento de inercia de los cilindros auxiliares mediante $I' = M\left(R^2 + 2.d^2\right)$.

Haciendo oscilar el péndulo sin cilindros, se mide el tiempo t de 50 oscilaciones (período T). Luego, se colocan los cilindros adicionales y se mide el tiempo t_1 (el período T_1).

Cálculo del módulo de elasticidad por torsión ϕ

Se mide la longitud L del alambre, y tomando con un pálmer 10 medidas y promediándolas, el radio r del alambre.

Análisis de datos

Cálculo del momento de inercia I

Se calcular los períodos de oscilación del péndulo sin cilindros T y con cilindros T_1 .

El momento de inercia I se obtiene de la expresión: $I = \frac{T^2}{T_1^2 - T^2}.I$

Cálculo del módulo de elasticidad por torsión ϕ

Con el valor del momento de inercia se calcula la cupla directriz $D = \frac{4.\pi^2}{T^2}.I$, y con ella, el módulo de elasticidad por torsión ϕ mediante:

$$\phi = \frac{2.L}{\pi.r^4}.D$$

Reducir el valor hallado a $\frac{kgr}{mm^2}$.

Cuestionario

¿Cuál es la medida que más influye en la determinación?

Con qué precisión se conoce el resultado?

Realizar una estimación de los errores y en base a esto establecer cuántas oscilaciones son necesarias para determinar los períodos.

Trabajo Práctico Nº 9: VISCOSIDAD

Objetivo

Determinación del coeficiente de viscosidad de un líquido, observando su circulación en un tubo.

Elementos utilizados

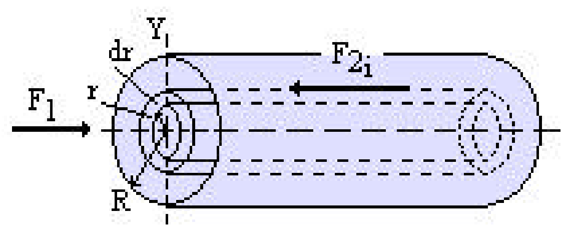
Dispositivo que emplea un frasco de Mariotte para obtener la presión constante necesaria, que será medida mediante un manómetro del que está provisto el aparato.

Fundamentos teóricos

La viscosidad es el efecto de las fuerzas que se producen cuando las capas adyacentes de un fluido se mueven con velocidades distintas. La viscosidad se debe al rozamiento entre las capas internas del fluido.

Cuando un fluido circula por un tubo, la corriente axial se mueve con una velocidad definida, y la capa en contacto con las paredes del tubo permanece en reposo. Si la diferencia de presión que provoca el movimiento es pequeña, el fluido se desplazará con régimen laminar. Si la diferencia de presión es considerable, el régimen será turbulento.

En el régimen laminar, el fluido se mueve en capas de distinta velocidad bien definidas. En este caso, la fuerza viscosa en la dirección de circulación resulta proporcional al área A de la superficie de contacto entre las capas de fluido, y proporcional, también, a la variación de la velocidad por unidad de distancia en la dirección perpendicular a la circulación:



$$F = \eta . A . \frac{dv}{dy}$$

donde η es el coeficiente de viscosidad que caracteriza al fluido. El valor del coeficiente de viscosidad de un líquido puede obtenerse midiendo el caudal (cantidad de líquido por segundo) que pasa por un tubo de radio uniforme, cuando existe entre sus extremos, una presión constante.

Cuando un cilindro de líquido de radio r circula por un tubo de radio R y de longitud L, la fuerza que impulsa al cilindro líquido es $F_1 = \pi . r^2 . P$. A esta fuerza se oponen las fuerzas de viscosidad que actúan sobre toda la superficie del cilindro líquido. La fuerza viscosa será proporcional al área cilíndrica $2.\pi.r.L$ que roza con las capas líquidas adyacentes, y proporcional a la variación de velocidad en dirección normal (radial), esto es, $F_2 = \eta . 2.\pi . r.L.\frac{dv}{dr}$.

En estado de régimen laminar, las dos fuerzas F_1 y F_2 son de igual valor numérico y de signo contrario: $$\pi . r^2 . P = -\eta . 2.\pi . r.L.\frac{dv}{dr}$$

donde $V = -\frac{P.r^2}{4.L.\eta} + C$, pero como V = 0 cuando r = R, entonces $C = \frac{P.R^2}{4.L.\eta}$, y por lo tanto:

$$V = \frac{P}{4.L.\eta}\left(R^2 - r^2\right)$$

Considerando un turbo cilíndrico delgado (capilar) de espesor dr, el volumen dQ que pasa por segundo por él es $dQ = 2.\pi . r.dr.v = \frac{P}{2.L.\eta}\left(R^2 r - r^3\right)dr$, entonces el caudal Q resulta:

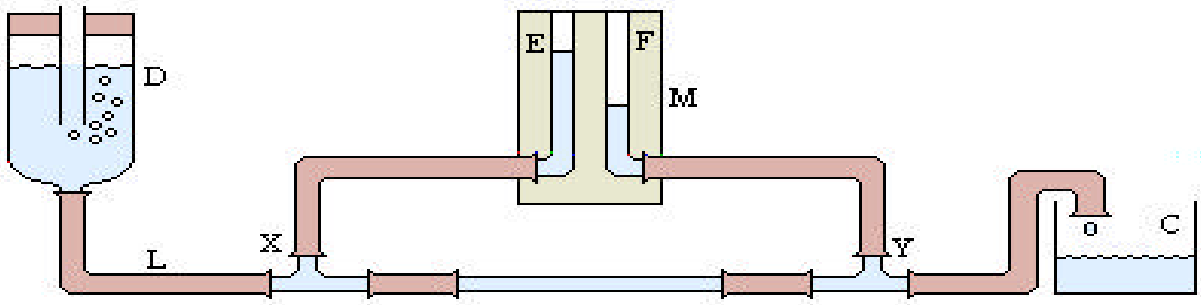
$$Q = \frac{\pi . P}{2.L.\eta}\int_0^R \left(R^2 r - r^3\right)dr \quad \Rightarrow \quad Q = \frac{\pi . R^4 . P}{8.L.\eta}$$

indicando que la medida que más influye en la determinación es la de R.

Desarrollo del Trabajo Práctico

El coeficiente de viscosidad de un líquido puede obtenerse midiendo la cantidad que pasa en un segundo por un tubo de radio uniforme, cuando existe entre los extremos del tubo, una diferencia de presión definida.

El dispositivo utilizado consta de un depósito D, donde se almacena el líquido colocado a una altura adecuadad. El líquido pasa desde D hasta la unión X, sigue por un tubo capilar de longitud conocida, por la unión Y, y por último, a través de un tubo de goma, hasta un recipiente graduado C.



Las uniones X e Y se conectan al manómetro M mediante tubos de goma. La diferencia de nivel entre E y F, da el valor de la diferencia constante de presión entre los extremos X e Y del tubo. Mientras circula el líquido, el frasco D se cierra mediante un tapón de goma bien ajustado, atravesado por un tubo de vidrio cuyo extremo llega hasta un punto suficientemente debajo del nivel líquido. Al estar en comunicación con la atmósfera, este extremo deja entrar burbujas de aire a medida que el agua circula por el tubo de salida. El extremo inferior del tubo permanece a la presión atmosférica, y por lo tanto, hasta que todo el líquido existente por encima de este punto haya salido del frasco, el manómetro registrará una diferencia de nivel constante.

El flujo debe disponerse de manera que el líquido salga en forma de gotas o de chorro pequeño, para que la energía cinética del fluido sea pequeña. Una vez regulado y logrado un estado de régimen, se mide el tiempo t necesario para que pase por el capilar un volumen determinado V. Se obtendrán 6 valores de caudal Q para distintas alturas h. La variación de h se logra elevando el frasco D o variando el nivel del extremo del tubo, delegándolo a través del tapón.

<u>Análisis de datos</u>

Obtener para cada par de valores V y t, el valor del caudal Q para una cierta diferencia de presión h determinada por la lectura del manómetro con la expresión $Q = \frac{V}{t}$

El volumen total del líquido que pasa por el capilar por segundo es, para un radio R del capilar de longitud L, al utilizar un líquido de densidad d y coeficiente de viscosidad η:

$$Q = \frac{\pi.R^4.P}{8.L.\eta} = \frac{\pi.R^4.d.g.h}{8.L.\eta}$$

Graficar Q en ordenadas y h en abscisas, y hallar η por el método de cuadrados mínimos haciendo

$$y = Q \quad a = \frac{\pi.R^4.g.d}{8.L.\eta} \quad x = h$$

Hallar η por promedio aritmético con los 6 pares de valores de Q y h, mediante:

$$\eta = \frac{\pi.R^4.d.g.h}{8.L.Q}$$

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura
- UNNE -

Trabajo Práctico Nº 10: TENSIÓN SUPERFICIAL

Objetivo

Determinar la tensión superficial del agua a temperatura ambiente

Elementos utilizados

Balanza, caja de pesas, porta-objeto de vidrio, recipiente de boca ancha para contener el líquido.

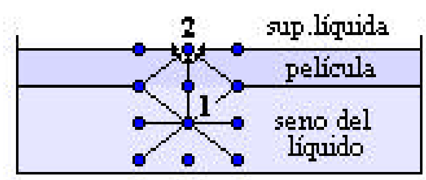
Fundamentos teóricos

La superficie del líquido se comporta en muchos casos como una membrana elástica en tensión. Este efecto se debe a fuerzas existentes en la superficie que separa el líquido del aire y es conocido con el nombre de tensión superficial.

La tensión superficial de un líquido puede determinarse midiendo la fuerza necesaria para despegar un objeto de la superficie líquida. Una adaptación del aparato de Nouy, que se utilizará en la práctica, medirá la fuerza vertical necesaria para despegar un trozo de vidrio de la superficie líquida, sin romper la película líquida que los une. Su funcionamiento se basa en que la fuerza hacia abajo ejercida por el vidrio, sin que rompa la película, equivale a la fuerza de tensión superficial a lo largo de los dos bordes del vidrio. $F = \gamma.2.L \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{F}{2.L}$

Aparentemente, la superficie actúa como si almacenara energía potencial. Este almacenamiento de energía es ocasionado por el hecho de que, en el seno del líquido, sus moléculas están en continuo movimiento de atracción y repulsión alrededor de cierta posición de equilibrio no mayor que un determinado valor r. En cambio, las moléculas que se hallan en la superficie no son activadas en todas las direcciones como las demás, ya que, aún en el caso de tener energía cinética suficiente, escaparían de la superficie evaporándose. Las moléculas superficiales están en continuo movimiento, alejándose a distancias ligeramente mayores que el r mencionado pero siendo nuevamente atraídas en forma violenta. Estos movimientos son realizados en una zona en la cual las fuerzas son ejercidas hacia el seno del líquido, y por ello, al ponerse en contacto un objeto con la superficie líquida, actúan sobre la molécula fuerzas de adherencia al objeto y de cohesión al seno del líquido, produciéndose la tensión superficial.

Supongamos la distribución de moléculas de la figura. La molécula **1** (en el seno del líquido) recibe la atracción y repulsión de 8 moléculas, en cambio, la molécula **2** es repelida por 5 moléculas y al alejarse por esa falta de equilibrio, junto con dos de esas cinco moléculas que se encuentran en la misma situación, son atraídas violentamente para restablecer el equilibrio. He aquí la tensión superficial. La tensión superficial es, también, energía por unidad de área, o fuerza por unidad de longitud, por lo cual las unidades en las que se expresa serán, en el sistema C.G.S, $\frac{\text{Ergios}}{\text{cm}^2}$ o $\frac{\text{Dinas}}{\text{cm}}$.

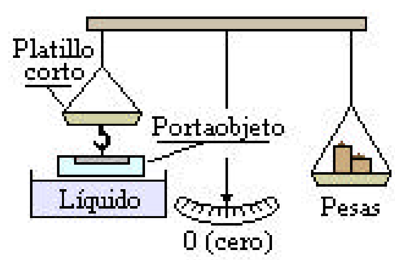


Desarrollo del Trabajo Práctico

Disponer los elementos como lo muestra la figura, y determinar el cero en la balanza con un platillo colocado en un lado, y el contrapeso con el objeto de vidrio en el otro lado.

Colocar el recipiente con el líquido de tal forma que el plano del vidrio quede muy próximo a la superficie líquida, cuidando que sean paralelos. Luego, imprimir un pequeño impulso de manera que el vidrio penetre en el líquido (la balanza pierde sensibilidad).

Agregar las pesas en el platillo hasta ubicar el fiel en el cero hallado anteriormente sin que se corte la película para realizar la medición. Así, la película líquida que une el vidrio y el líquido ejecuta una tracción hacia abajo.



Análisis de datos

Calcular el coeficiente de tensión superficial, mediante $\gamma = \frac{\text{carga agregada (gr)}}{2.L}$ donde L es la longitud del borde del objeto de vidrio. Expresar en $\frac{\text{Dinas}}{\text{cm}}$ el valor de la tensión superficial obtenido.

Calcular el error $\Delta\gamma$ mediante propagación de errores y realizar un análisis de las causas de error.

<u>Trabajo Práctico Nº 11</u>: ROZAMIENTO POR DESLIZAMIENTO

Objetivo

Calcular los coeficientes estático y dinámico de rozamiento de distintos pares de sustancias.

Elementos utilizados

Plano de inclinación variable, varios cuerpos de distintas sustancias.

Fundamentos teóricos

Cuando la superficie de un cuerpo tiende a deslizar sobre la superficie de otro, existe una resistencia que se opone al movimiento relativo entre ambos. Supongamos que empujamos un cuerpo a lo largo de un plano inclinado, imprimiéndole cierta velocidad, podremos observar que, luego de soltarlo, disminuye su velocidad hasta detenerse. Esta pérdida del momento lineal nos indica la existencia de una fuerza opuesta al movimiento que recibe el nombre de fuerza de rozamiento por deslizamiento. Debe destacarse que esta fuerza de rozamiento no aparece sólo cuando hay movimiento relativo entre las superficies en contacto, sino que igualmente se manifiesta en estado de reposo.

En el caso de un cuerpo, en reposo sobre una superficie horizontal, sobre el cual actúa una fuerza F, que no resulta suficiente para ponerlo en movimiento, puede observarse que dicha fuerza es contrarrestada por la fuerza de rozamiento f_r que resulta de igual intensidad pero de sentida contrario a F.

La presencia de esta fuerza de rozamiento se debe a interacciones entre las moléculas de ambos cuerpos, algunas veces llamada cohesión o adhesión, dependiendo de que las superficies en contacto sean del mismo o distinto material. La fricción es un concepto puramente estadístico, ya que la fuerza de rozamiento representa la suma de un número muy grande de interacciones entre las moléculas de dos cuerpos en contacto.

Esto que acabamos de exponer tiene sentido dentro de ciertos límites para el rozamiento en seco, ya que si aumentamos el pulido entre las superficies en contacto más allá de determinado grado, para ciertos materiales aumenta la adhesión y, por consiguiente, aumenta el roce. Sin embargo, el roce disminuye notablemente si entre las superficies en contacto se llega a un pulido muy perfecto y además se interpone sustancias líquidas especiales entre ambas, ya que, si bien existe adhesión, ésta en relación al roce es insignificante.

Las leyes del rozamiento fueron formuladas por Guillermo Amontons en 1699 y demostradas por Coulomb en 1781, estableciendo que la resistencia al rozamiento es:

a) independiente del área de contacto.
b) directamente proporcional a la carga normal N.
c) independiente de la rapidez del deslizamiento.

Existen dos tipos de fuerzas de rozamiento: una estática y otra dinámica. De acuerdo a lo establecido en las leyes, la fuerza de roce estático puede escribirse como $fr_e \leq \mu_e.N$, donde el signo igual sólo es válido cuando es máxima. A la relación $\frac{fr_e}{N}$ se la conoce como coeficiente estático de rozamiento:

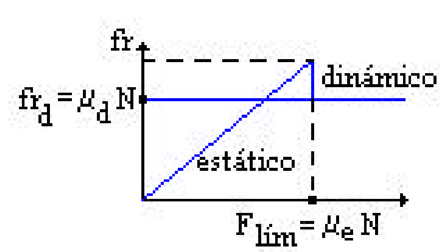
$$\frac{fr_e}{N} = \mu_e \quad \text{Coeficiente estático de rozamiento}$$

La fuerza de roce dinámico obedece a la expresión $fr_d = \mu_d.N$ y la relación $\frac{fr_d}{N}$ es el coeficiente dinámico de rozamiento

$$\frac{fr_d}{N} = \mu_d \quad \text{Coeficiente dinámico de rozamiento}$$

Los coeficientes μ_e y μ_d son constantes adimensionales y se ha encontrado experimentalmente que $\mu_e > \mu_d$ para todos los materiales hasta ahora examinados. Sus valores numéricos dependen de las superficies en contacto y generalmente son inferiores a la unidad en ambos casos.

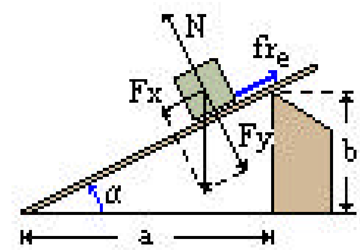
En el gráfico se esquematiza la fuerza fr en función de la fuerza F. Para un valor límite de la fuerza F, se observa experimentalmente que $F_{\text{lím ite}} = \mu_e N$. Además, experimentalmente se comprueba que, a partir de dicho límite (en cuanto $f > F_{\text{límite}}$), fr_e salta bruscamente a otro valor menor fr_d , correspondiente al valor de la fuerza de rozamiento cuando el cuerpo se pone en movimiento, esto es, la fuerza de rozamiento dinámico.



Cuando se coloca un cuerpo en reposo sobre un plano que pueda inclinarse, y se aumenta progresivamente el ángulo de inclinación del plano, se observa que el cuerpo no desliza sino que mantiene su estado de reposo hasta que el ángulo de inclinación adquiere un cierto valor $\alpha_{\text{límite}}$, superado el cual, el cuerpo se desliza. Para un ángulo de inclinación $\alpha_{\text{límite}}$ el cuerpo se encuentra aún en equilibrio estático y la fuerza de rozamiento estático adquiere su máximo valor.

De acuerdo con el gráfico, pueden establecerse las ecuaciones:

$$\sum F_X = F_X - fr_e = 0 \quad \Rightarrow \quad m.g.\operatorname{sen}\alpha - fr_e = 0 \quad \Rightarrow \quad m.g.\operatorname{sen}\alpha = fr_e$$
$$\sum F_Y = F_Y - N = 0 \quad \Rightarrow \quad m.g.\cos\alpha - N = 0 \quad \Rightarrow \quad m.g.\cos\alpha = N$$



de donde, dividiendo miembro a miembro, resulta $\operatorname{tg}\alpha = \frac{fr_e}{N} = \mu_e$. De esta manera, conociendo a y b puede calcularse $\operatorname{tg}\alpha = \mu_e$.

Para lograr la condición de equilibrio dinámico con el mismo dispositivo, y obtener el μ_d , se le imprime al cuerpo un pequeño impulso sobre el plano, cuyo ángulo de inclinación será menor que $\alpha_{\text{límite}}$, de manera que el cuerpo deslice con movimiento uniforme (no acelerado).

Desarrollo del Trabajo Práctico

Para determinar μ_e , colocar el cuerpo en la parte superior del plano y variar al ángulo de inclinación α mediante una cuña que deslizará por la guía. Cuando el ángulo de inclinación alcance un cierto valor límite, el cuerpo abandonará el estado de reposo y se pondrá en movimiento. Medir las longitudes a y b, correspondientes al ángulo de inclinación para el cual el cuerpo se pone en movimiento. Obtener pares de valores de estas longitudes para cada cuerpo, cuidando de no transmitir vibraciones al sistema.

Para el cálculo de μ_d , colocar el cuerpo en la parte superior del plano y variar al ángulo de inclinación α hasta que se produzca deslizamiento del cuerpo con movimiento uniforme mediante un pequeño impulso. Medir las longitudes a y b, correspondientes al ángulo de inclinación para el cual el cuerpo se desliza con movimiento uniforme.

Análisis de datos

Calcular μ_e con los valores de a y b, correspondientes al ángulo de inclinación para el cual el cuerpo se pone en movimiento, mediante $\operatorname{tg}\alpha = \frac{b}{a} = \mu_e$.

Calcular μ_d con los valores de a y b, correspondientes al ángulo de inclinación para el cual el cuerpo se desliza con movimiento uniforme, mediante $\operatorname{tg}\alpha = \frac{b}{a} = \mu_d$.

Bibliografía

- 🕮 FÍSICA - Volumen 1 : Mecánica - Marcelo Alonso y Edward J. Finn
- 🕮 MECÁNICA ELEMENTAL - Juan G. Roederer

Trabajo Práctico Nº 12: PLANO DE PACKARD

Objetivo

Analizar la composición de movimiento en un plano inclinado.

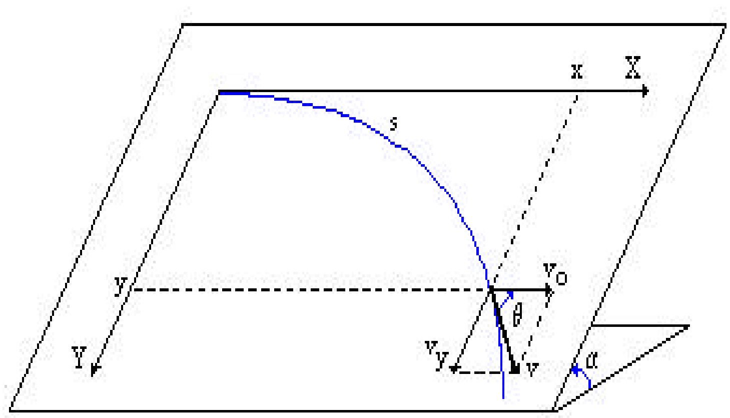
Elementos utilizados

Plano con ángulo de inclinación variable, esfera y dispositivo para lanzarla, papel blanco y papel carbónico, cinta métrica.

Fundamentos teóricos

Se analizará el movimiento de una esfera, supuesta puntual, sobre un plano inclinado. A pesar de que el movimiento se realiza en el espacio, sólo son necesarias dos coordenadas para describirlo, ya que el plano inclinado representa un vínculo que restringe un grado de libertad.

Si a la esfera se le comunica una velocidad inicial v_0 en la dirección positiva del eje X, aquella describirá una trayectoria parabólica. Por el principio de independencia de los movimientos, el movimiento de la esfera puede descomponerse en dos movimientos.



Dada la horizontalidad del eje X, no actúa sobre esta dirección ninguna fuerza, de manera que, según esta dirección el movimiento será rectilíneo uniforme, donde los espacios serán directamente proporcionales a los tiempos empleados siendo la constante de proporcionalidad la velocidad inicial con que es lanzada la esfera, es decir, $x = v_0.t$ (1) Puesto que la aceleración vertical es $a_y = g.\text{sen}\,\alpha$, donde α es el ángulo que forma el plano inclinado con la horizontal, la componente vertical de la velocidad luego de un tiempo t será $v_y = a_y.t = g.\text{sen}\,\alpha.t$, considerando la velocidad vertical inicial nula. Entonces, el desplazamiento vertical al cabo del tiempo t tendrá la expresión:

$$y = \frac{1}{2}.g.\text{sen}\,\alpha.t^2 \quad (2)$$

Las ecuaciones (1) y (2) constituyen las ecuaciones paramétricas de los movimientos según los ejes x e Y, respectivamente. Eliminando de ellas el parámetro t se obtiene la ecuación de la trayectoria:

$$y = A.x^2 \qquad \text{con} \qquad A = \frac{g.\text{sen}\alpha}{2.v_0^2}$$

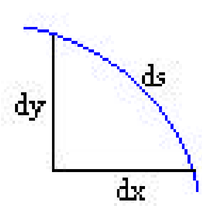
ecuación que corresponde a una parábola, ya que A es constante. Dado que según el eje Y el movimeinto es acelerado, el movimiento total será también acelerado.

La velocidad v de la esfera puede hallarse en culaquier instante t componiendo las velocidades horizontal y vertical por el método usual de adición de vectores, esto es

$$\text{módulo} \quad v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \qquad \text{dirección} \quad \text{tg}\theta = \frac{v_y}{v_0}$$

El vector velocidad $\vec{v}$ es tangente a la trayectoria y su dirección en cualquier instante t es la dirección con la cual se mueve la esfera en dicho instante.

La longitud de arco recorrido, desde el origen, en un tiempo t, puede hallarse mediante $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$. Reemplazando en ella las ecuaciones (1) y (2) diferenciadas ($dx = v_0.dt$ y $dy = g.\text{sen}\alpha.t.dt$), se obtiene:



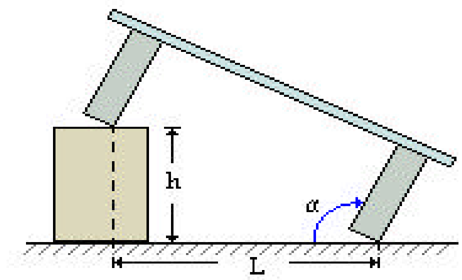
$$ds = \sqrt{v_0^2(dt)^2 + g^2.\text{sen}^2\,\alpha.t^2(dt)^2} = v_0\sqrt{1+(k.t)^2}\,dt \qquad \text{con} \quad k = \frac{g.\text{sen}\alpha}{v_0}$$

e integrándola se llega a la expresión :

$$s = \frac{v_0}{2.k}\left[k.t.\sqrt{1+(k.t)^2} + \ln\left(k.t + \sqrt{1+(k.t)^2}\right)\right]$$

Desarrollo del Trabajo Práctico

Se eleva un lado de una mesa mediante tacos proporcionales de manera que $\operatorname{sen}\alpha = \frac{h}{L}$. Sobre la mesa se coloca la hoja blanca, cuyo borde deberá ser paralelo al borde de la mesa, y sobre ella, el papel carbónico. El dispositivo para lanzar la esfera se dispondrá en el extremo superior izquierdo de la hoja, en forma horizontal y paralelo al borde de ésta.



Se deja caer la esfera por la ranura del dispositivo para que deje marcado sobre el papel su trayectoria. En el punto en que la esfera abandona la ranura, trazar un par de semiejes ortogonales paralelos a los bordes de la hoja, los cuales corresponderán a los ejes de abscisas y ordenadas.

Sobre la curva, seleccionar 10 puntos cuyas abscisas resulten equiespaciadas. Para cada uno de estos puntos, medir las coordenadas (x,y), consignando el error de apreciación, y las longitudes de arco s_i, tomadas desde el origen de coordenadas hasta cada punto elegido sobre la trayectoria. Para medir los arcos se utiliza la cinta métrica de canto o un hilo que se adecúe a la forma curvilínea de la trayectoria para luego rectificarlo y determinar su longitud.

Análisis de datos

Graficar y en función de x^2 y hallar un valor de A por método gráfico, calculando el error correspondiente (4 decimales).

En la expresión de A, reemplazar los valores y determinar v_o y su error relativo (2 decimales):

$$\frac{\Delta v_0}{v_0} = \left[\frac{|\Delta g|}{2.g} + \frac{|\Delta \operatorname{sen}\alpha|}{2.\operatorname{sen}\alpha} + \frac{|\Delta A|}{2.A}\right]$$

Determinar los tiempos correspondientes a cada punto experimental, despejando de la ecuación (1) y consignar el error correspondiente (3 decimales)

Hallar el valor de k, y luego calcular s = s(t), la longitud de arco teórica, con los valores de t antes obtenidos (s con 2 decimales).

Comparar los valores de arco calculados con los valores de arco medidos. Si resultaran concordantes dentro de los errores estimados, graficar s (teórico) en función de t.

Hallar la aceleración vertical a_y mediante la expresión $a_y = g.\operatorname{sen}\alpha$.

Trabajo Práctico Nº 13: TENSIÓN SUPERFICIAL

Objetivo

Determinar la tensión superficial de un líquido.

Elementos utilizados

Dispositivo que consta de varios tubos capilares de distintos diámetros con escala adosada, vaso de precipitado, agua y otro líquido incógnita.

Fundamentos teóricos

Una molécula situada en el interior de un líquido está completamente rodeada por otras moléculas, y por lo tanto, resulta atraída igualmente en todas direcciones. Sobre una molécula en la superficie del líquido existe una atracción resultante hacia adentro, debida a que el número de moléculas por unidad de volumen en la masa del líquido es mayor que en su vapor. Como consecuencia de esta atracción hacia adentro, la superficie del líquido tiende a contraerse y por ello, su área tiende a ser lo menor posible.

El resultado de la tendencia a la contracción es que una superficie líquida se comporta como si estuviera en estado de tensión, denominándose a la misma tensión superficial, la cual generalmente se expresa en $\frac{\text{Dinas}}{\text{cm}}$. De acuerdo con esto, puede definirse la tensión superficial como la fuerza que actúa en ángulo recto sobre una línea en la superficie de un líquido.

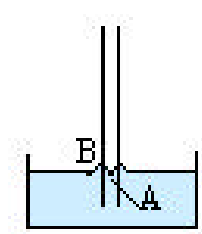
Las propiedades de la tensión superficial son:

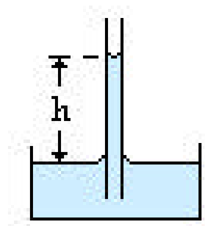
a) Tiene el mismo valor en todas direcciones.

b) Varía con la temperatura. En los líquidos se comprueba que disminuye a medida que aumenta la temperatura.

c) Varía de acuerdo al medio que está en contacto con la superficie del líquido.

Método del ascenso capilar





Si se sumerge un tubo capilar en un líquido que lo moja, este líquido asciende por el tubo debido a la diferencia de presiones existente a partir de la formación de un menisco cóncavo hacia arriba. La presión sobre la parte cóncava de un menisco líquido es mayor que la presión sobre la parte convexa en un valor $\Delta p = 2\frac{\gamma}{a}$, siendo γ el coeficiente de tensión superficial y a el radio del menisco. En otras palabras, la presión P_A inmediatamente debajo del menisco, esto es, sobre el lado convexo, será menor que la presión P sobre el lado cóncavo en un valor $2\frac{\gamma}{a}$. Fuera del capilar, la presión en el punto B situado al mismo nivel que el punto A, es la misma que la presión P_A antes mencionada. Se deduce, entonces, que la presión P_B será mayor que la presión P_A , resultando: $P_B - P_A = 2\frac{\gamma}{a}$.

Debido a lo antes enunciado, el líquido tiende a ascender hasta que las presiones dentro y fuera del capilar se igualen, lo cual sucede cuando el líquido alcanza una cierta altura h para la cual la diferencia de presiones entre A y B es igual a la presión hidrostática, en cuyo caso resulta $P_H = 2\frac{\gamma}{a}$.

Si la presión hidrostática de la columna líquida está dada por $P_H = h.g.(\rho - \rho')$, donde g es la aceleración de la gravedad, ρ es la densidad del líquido y ρ’ es la densidad del gas circundante, y teniendo en cuenta que $P_H = 2\frac{\gamma}{a}$, resulta que $2\frac{\gamma}{a} = h.g.(\rho - \rho')$. Además, sabiendo que el valor de ρ’ es despreciable frente al valor de ρ, se obtiene la expresión de la tensión superficial γ para el líquido trabajado:

$$2\frac{\gamma}{a} = h.g.\rho \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{1}{2}h.g.\rho.a$$

Considerando al menisco como hemisférico, el radio de curvatura a es igual al radio r del capilar, y finalmente:

$$\gamma = \frac{1}{2}h.g.\rho.r$$

Desarrollo del Trabajo Práctico

El trabajo consiste en determinar la tensión superficial del agua y de otro líquido, conociendo el radio de un capilar y midiendo la altura de ascensión del líquido en él. El valor de la tensión superficial saldrá de la expresión $\gamma = \frac{1}{2} h.g.(\rho - \rho').r$. Una vez hallado este valor, se determinarán los radios de los restantes capilares, a partir de la altura de ascensión del líquido en ellos y despejando r de la expresión de tensión superficial ya que los otros valores son constantes.

Con este fin, colocar agua en un vaso de precipitado hasta que ésta enrase el testigo. Esperar a que el líquido ascienda en el capilar, succionar y dejar que se estabilice.

Realizar cinco determinaciones de h para cada uno de los capilares.

Análisis de datos

Promediar los valores de h leídos para cada capilar y calcular la tensión superficial del líquido mediante $\gamma = \frac{1}{2} h.g.(\rho - \rho').r$.

Con el valor de la tensión superficial del agua, despejar r de la expresión anterior y calcular los radios de cada uno de los capilares del dispositivo.

Graficar las alturas de ascensión en función de los radios de los capilares correspondientes.