



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA

U.M.S.N.H



**FACULTAD
DE
BIOLOGÍA**

ÁREA ACADÉMICA DE
FÍSICA Y MATEMÁTICAS

MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FÍSICA

Elaborado por:

M.C. Alma Rosa Méndez Gordillo

L.F.M. Carlos Heriberto Mendoza Pérez

M.C. Gabriel Arroyo Correa

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA

MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE **FÍSICA**

Nombre del alumno: _____

Matrícula: _____

Sección: _____

Nombre del Profesor: _____

Nombre del Técnico Académico: _____

Revisado en Diciembre 2015 por:

M.C. Alma Rosa Méndez Gordillo

L.F.M. Carlos Heriberto Mendoza Pérez

M.C. Gabriel Arroyo Correa

Reglamento interno del laboratorio

- 1) Asistir puntualmente.
- 2) No introducir alimentos al laboratorio.
- 3) Comportarse disciplinadamente.
- 4) No fumar dentro del laboratorio.
- 5) Si el alumno llega a romper algún material, este deberá reponerlo en un lapso no mayor a 15 días. En caso de no hacerlo se sancionará ante la Secretaría Académica de la Facultad para su retención de calificaciones.
- 6) El laboratorio será aprobatorio con la entrega de reportes de las prácticas que vienen en el manual y el examen.

Sistema de evaluación

- 1) La calificación del laboratorio debe ser aprobatoria (mínimo 18 puntos)
- 2) La calificación del laboratorio es de 30 puntos y se divide de la siguiente manera:
 - a) 20 puntos del reporte del manual
 - b) 10 puntos el examen

Observaciones

- ✓ **Grado en que se cursa laboratorio:** Semestre I
- ✓ **Carga horaria total:** 5 horas / Semana / 3 teóricas y 2 prácticas.

Índice

<i>Reglamento interno del laboratorio</i>	2
<i>Sistema de evaluación</i>	2
<i>Observaciones</i>	2
<i>Índice</i>	3
<i>Introducción</i>	4
<i>Objetivos Generales</i>	7
<i>Práctica N° 1 Problemas de Velocidades y Caída libre</i>	8
<i>Práctica N° 2 Comparación de Velocidades entre Especies</i>	11
<i>Práctica N° 3 Fuerza, Trabajo y Ley de Conservación de la Energía Mecánica</i>	19
<i>Práctica N° 4 Conservación del Momento Lineal</i>	22
<i>Práctica N° 5 Principio de Arquímedes</i>	26
<i>Práctica N° 6 Capilaridad, Tensión Superficial</i>	31
<i>Práctica N° 7 Densidad y Viscosidad</i>	35
<i>Práctica N° 8 Presión Hidrostática</i>	39
<i>Práctica N° 9 Principio de Pascal</i>	44
<i>Práctica N° 10 Óptica</i>	48
<i>Apéndice</i>	52
<i>Bibliografía</i>	53

Introducción

La *Física* y la *Biología* son dos disciplinas que conviene conectar [1].

Quizás una de las aportaciones más importantes de Aristóteles fue la de dar nombre a la disciplina conocida desde entonces como *Física*. Porque, como es sabido, la física deriva de la palabra griega *φυσική*, que significa naturaleza. La sugerencia está llena de sentido, porque las leyes físicas no establecen diferencias entre naturaleza viva y no viva, con lo que se puede imaginar que todas las ciencias naturales pueden reducirse a la física.

Sin embargo, no está tan claro que la sociedad entienda que las Ciencias Naturales se refieran a la Física; de hecho, uno no espera ver aparatos de física en un Museo de Ciencias Naturales. En el de Madrid, íntimamente ligado a la Historia de la Ciencia en España, existe una gran colección de animales disecados, y secciones sobre el origen y la evolución de la Tierra y los seres vivos. Es cierto, no obstante, que la naturaleza está profundamente introducida en la conciencia del hombre, y adoptando este punto de vista podemos considerar que la cultura humana es parte de la naturaleza.

Un ejemplo del cual podemos partir es que la biología estudia por ejemplo, las células; la máquina celular contiene moléculas más o menos complejas, y las moléculas son agregados de átomos cuyo comportamiento se explica por las leyes del electromagnetismo (EM) que rigen la interacción entre los electrones exteriores y la carga positiva del núcleo del átomo; además por el tamaño de los objetos atómicos, hay que aplicar la física cuántica, en particular, el principio de exclusión de Pauli.

Al final llegamos al átomo y a una de las cuatro interacciones básicas de la física, o sea la EM, la única relevante en el estudio de las moléculas. Hay ejemplos paradigmáticos de la importancia que el descubrimiento de fenómenos físicos ha tenido en el desarrollo de la biología y la medicina. Por mencionar algunos: los *rayos X*, la *resonancia magnética nuclear* que permite obtener una imagen del cerebro se pueden tener, aunque mirando un poco más a la microscopía, se tiene el *microscopio óptico* que fue el instrumento físico más antiguo, gracias al cual se produjo la primera revolución en biología. De hecho fue el físico

Robert Hooke, famoso por su ley de la elasticidad, contemporáneo de Newton con el que mantuvo agrias disputas, quien introdujo por primera vez el nombre de “célula” para designar lo que vio al examinar con un microscopio compuesto en 1655, secciones finas de corcho. Aunque el avance en esta dirección se ralentizó considerablemente, la teoría celular se impuso en el siglo XIX, a lo que contribuyó entre otros Santiago Ramón y Cajal, Premio Nobel de Medicina (1906).

Otro gran acontecimiento se da en 1931 por Ernst Ruska, Premio Nobel de Física de 1986, quien fabricó por primera vez un microscopio electrónico de transmisión (TEM), para superar el límite de resolución, ya que la longitud de onda del electrón está por debajo del tamaño de un átomo. En la práctica y en sus aplicaciones biológicas, el TEM ha extendido la resolución a la escala del nanómetro, penetrando cada vez más en la estructura primaria de la arquitectura celular. Para 1981, G. Binnig y H. Rohrer, también Premios Nobel de Física de 1986, inventaron el microscopio de efecto túnel (STM) considerado para barridos sobre la muestra a una distancia de ella extremadamente “próxima”.

A pesar de ello, el microscopio óptico sigue siendo un aparato esencial en un laboratorio de Biología, porque tiene una propiedad que resulta fundamental ya que permite la observación del material biológico en su medio natural, típicamente alguna solución acuosa.

Si comparamos a físicos y biólogos, existen algunos aspectos similares y otros que son diferentes. Los aspectos similares se refieren al interés que unos y otros tienen por ambas disciplinas en aquellos temas de divulgación y de carácter general que se pueden encontrar, ya sea en las secciones científicas de los periódicos, o en revistas más especializadas. Como diferencia, existe la que se puede observar en las carreras de Ciencias Físicas y Biológicas, en donde no se imparte Biología en Físicas, pero sí se da Física en Biológicas, y responde al hecho de que un biólogo necesita de la física para sus estudios mal que le pese.

Además de estas consideraciones superficiales, la pregunta que quizás debemos hacernos es la siguiente: ¿es posible resolver los problemas de la vida con la ayuda de leyes

y nociones de la física? Si hacemos esta pregunta en relación con la química, creo que la respuesta es indudablemente positiva. Sin embargo en el caso de la biología, por el mayor nivel de complicación, la respuesta no es tan evidente.

De hecho ha habido tanto físicos como biólogos que han dado respuestas negativas contundentes. Así, por ejemplo, el físico Lord Rutherford, describía a un biólogo como un coleccionista de sellos. Ernst Mayer, eminente especialista en la teoría de la evolución, considera a la física como totalmente ajena a la biología. Piensa que no hay leyes en biología similares a las que existen en física. Oponer a continuación darwinismo con física para concluir que en muchos casos la física ha tenido efectos nocivos en el desarrollo de la biología.

Otro aspecto a resaltar es el hecho que en los laboratorios de biología y medicina, hay un gran número de aparatos, algunos de ellos bastante sofisticados, que están basados en fenómenos físicos, que han sido inventados por físicos, y que quizás ligado a ello hay bastantes biólogos que son originariamente físicos.

En este manual se incluyen 10 prácticas de los diferentes temas comprendidos en el programa de física que se imparte en la Facultad de Biología.

Al término del curso se pretende que el alumno reconozca que la física es una ciencia cuyas leyes explican los principios que rigen muchos de los fenómenos asociados al hábitat de las plantas, animales y ecosistemas, además de tratar de poner simplemente juntos a físicos y biólogos en un espacio común como lo es un *laboratorio*, para que cada uno aporte sus conocimientos manteniendo su identidad como físico o biólogo, y lleve a cabo una investigación interdisciplinaria de tal manera que resulte un progreso científico mayor, como resultado de esta integración. Por supuesto, este esfuerzo investigador debe ir acompañado de un esfuerzo educativo que permita que la integración entre las distintas disciplinas se haga de forma natural rompiendo las barreras y las dificultades que por supuesto existen.

Objetivos Generales

- 1) Poder tener una concepción del mundo mediante el estudio de las leyes físicas, las cuales fomentan el desarrollo de las habilidades para el trabajo tanto independiente como en equipo; además de incrementar la capacidad de observación, explicación analítica y pensamiento crítico más hábil. Incremento en su vocabulario, para poder llamar fenómenos físicos por su nombre, determinar capacidades de percepción y localización, conllevando todo ello a un espíritu emprendedor, para de esta forma consolidar al estudiante graduado.

- 2) Lograr que el estudiante se apropie de conceptos, contenidos y métodos para resolver problemas básicos de la *física* lo que les permitirá acceder con éxito a niveles de posgrado.

Práctica N° 1
Problemas de Velocidades y Caída libre

INTRODUCCIÓN

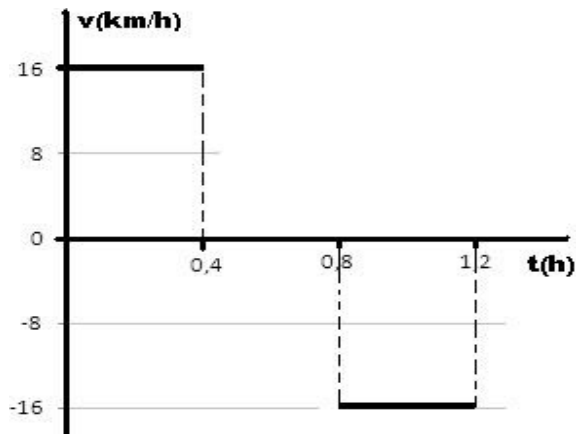
Los problemas al practicarlos nos permiten el reforzamiento de lo visto en clases o de lo que nos percatamos al leer un libro que nos habla acerca de calcular la velocidad de un carro después de un lapso de tiempo; la distancia recorrida por una persona que se desplaza desde su casa al trabajo, etc. Con estos ejemplos sencillos notemos que ciencias como la Física están implícitas y del mismo modo tenemos ejemplos para la caída libre, desde la caída de un fruto de su árbol al suelo, la caída de una piedra desde un edificio, etc. Con ello podemos hacer usos de nuestras herramientas vistas en clase desde la fórmula más sencilla hasta la más compleja y realizar los cálculos que se pidan.

OBJETIVO

Hacer uso de las fórmulas obtenidas en clase y el poder realizar los calculos pedidos así como la interpretación de los problemas y aplicaciones que se pueden llevar a la vida diaria.

Problemas.

1.- En el gráfico, se representa un movimiento rectilíneo uniforme de un carro por una carretera.



a) Describe el movimiento del carro.

b) Calcula la distancia total recorrida por el carro.

c) ¿Cuál fue el desplazamiento completo del carro?

2.- Un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba en la ciudad de Morelia con una velocidad inicial de 30 m/s donde se desprecia la resistencia del aire .

a) ¿Cuál será la velocidad del cuerpo 2 segundos después de su lanzamiento?

b) ¿Cuánto tarda el cuerpo en llegar al punto más alto de su trayectoria?

c) ¿Cuál es la altura máxima alcanzada por el cuerpo?

d) ¿A qué velocidad regresa el cuerpo al punto de lanzamiento?

e) ¿Cuánto tardó en descender?

3.- Hallar a qué velocidad hay que realizar un tiro parabólico para que llegue a una altura máxima de 100m si el ángulo de tiro es de 30° . (Ayuda.- $H_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$)

Práctica N° 2
Comparación de Velocidades entre Especies

INTRODUCCIÓN

Es la capacidad física que permite realizar un movimiento en el mínimo tiempo posible [2].

La velocidad se puede manifestar como la distancia recorrida en un tiempo determinado *velocidad de desplazamiento*.

Además, gracias a la velocidad también podremos responder a cualquier estímulo que recibamos, esto en humanos como en animales. Las características que deben considerarse al momento de querer realizar comparaciones de velocidad entre especies son las siguientes: el peso de las especies, su tamaño, hábitat de cada uno de las especies, entre otras.

Por ejemplo el *trotar* para una persona es una **modalidad de desplazamiento**. Se trata de una **caminata acelerada**: la persona o el animal que se desplaza al trote se mueve más rápido que aquel que camina, pero más lento que alguien que corre. La noción de trote se utiliza con frecuencia para referirse al **avance de un caballo**. Con el trote, el animal avanza dando pequeños saltos sincronizados y apoyando alternativamente sus patas contrapuestas. El tranco del caballo puede ser más o menos amplio sin que esto implique una mayor o menor velocidad. Dando como resultado gráficas variadas en su desplazamiento, el tipo de movimiento que se realiza y mostrando que la velocidad es uno de muchos ejemplos que se da entre diferentes especies.

Para ejemplificar lo anterior se define los siguientes conceptos:

Velocidad promedio

$$\bar{v} = \frac{\text{cambio de posición}}{\text{intervalo de tiempo}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \quad (1)$$

Donde:

x_f, x_i Denotan la posición final e inicial respectivamente.

t_f, t_i Denotan los tiempos final e inicial respectivamente.

Aceleración Media (promedio)

$$\bar{a} = \frac{\text{cambio de velocidad}}{\text{intervalo de tiempo}} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{\bar{v}_f - \bar{v}_i}{t_f - t_i} \quad (2)$$

Donde:

\bar{v}_f, \bar{v}_i Denotan la velocidad final e inicial respectivamente.

t_f, t_i Denotan los tiempos final e inicial respectivamente.

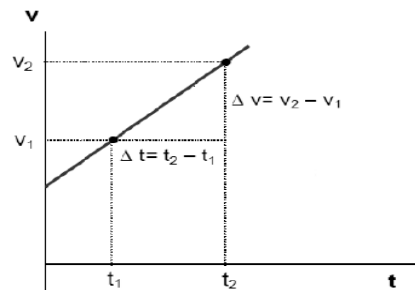
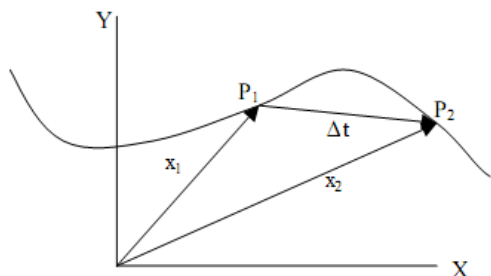


Figura. 2 Gráfica ilustrativa de la Velocidad Media mediante: Tiempo (X) con

Figura. 1 Gráfica ilustrativa de la Aceleración Media.

OBJETIVO

Entender el concepto de desplazamiento, tiempo, velocidad y aceleración desde un punto de vista práctico. Además de determinar el tipo de movimiento fuese rectilíneo uniforme o uniformemente acelerado y finalmente poder obtener ecuaciones de movimiento a partir de gráficas de movimiento.

MATERIAL

- 1 Metro
- 1 Gis blanco
- 1 Regla de plástico
- 1 Cinta Métrica
- 1 Cronómetro
- 2 Cochinillas (puerquitos)
- Alumnos

PROCEDIMIENTO

- a) Camine de forma normal durante un solo recorrido de 60 metros en línea recta tomando datos de tiempo cada 10 metros. Repita lo mismo ahora trotando y finalmente corriendo. Anote sus resultados en la tabla 1.

Tabla 1

Caminando Trotando Corriendo			
Tiempo (s)	Desplazamiento (m)	Velocidad Promedio (\bar{v}) (m/s)	Aceleración Media (\bar{a}) (m/s^2)
$t_1 = 0 \text{ seg}$	10		
$\frac{1}{2}(t_1 + t_2)$			
$t_2 =$			
$t_3 =$	20		
$\frac{1}{2}(t_2 + t_3)$			
$t_4 =$			
$\frac{1}{2}(t_3 + t_4)$	30		
$t_5 =$			
$\frac{1}{2}(t_4 + t_5)$			
$\frac{1}{2}(t_5 + t_6)$	40		
$t_6 =$			
$\frac{1}{2}(t_6 + t_7)$			
$t_7 =$	50		
$\frac{1}{2}(t_7 + t_8)$			
$t_8 =$			
$\frac{1}{2}(t_8 + t_9)$	60		
$t_9 =$			
$\frac{1}{2}(t_9 + t_{10})$			

Tabla 2

Trotando			
Tiempo (s)	Desplazamiento (m)	Velocidad Promedio (\bar{v}) (m/s)	Aceleración Media (\bar{a}) (m/s^2)
$t_1 = 0 \text{ seg}$	10		
$\frac{1}{2}(t_1 + t_2)$			
$t_2 =$			
$t_3 =$	20		
$\frac{1}{2}(t_2 + t_3)$			
$t_4 =$			
$\frac{1}{2}(t_3 + t_4)$	30		
$t_4 =$			
$\frac{1}{2}(t_4 + t_5)$			
$t_5 =$	40		
$\frac{1}{2}(t_4 + t_5)$			
$t_6 =$			
$\frac{1}{2}(t_5 + t_6)$	50		
$t_6 =$			
$\frac{1}{2}(t_6 + t_7)$			
$t_7 =$	60		
$\frac{1}{2}(t_6 + t_7)$			
$t_7 =$			

Tabla 3

Corriendo			
Tiempo (s)	Desplazamiento (m)	Velocidad Promedio (\bar{v}) (m/s)	Aceleración Media (\bar{a}) (m/s ²)
$t_1 = 0 \text{ seg}$	10		
$\frac{1}{2}(t_1 + t_2)$			
$t_2 =$			
$t_3 =$	20		
$\frac{1}{2}(t_2 + t_3)$			
$t_4 =$			
$\frac{1}{2}(t_3 + t_4)$	30		
$t_4 =$			
$\frac{1}{2}(t_4 + t_5)$			
$t_5 =$	40		
$\frac{1}{2}(t_4 + t_5)$			
$t_6 =$			
$\frac{1}{2}(t_5 + t_6)$	50		
$t_6 =$			
$\frac{1}{2}(t_6 + t_7)$			
$t_7 =$	60		
$\frac{1}{2}(t_6 + t_7)$			
$t_7 =$			

- b) Mida la distancia recorrida por cada animalito (cochinilla 1, cochinilla 2) en intervalos de 20 segundos durante 2 minutos. Anote sus resultados en la tabla 4 y calcula lo que se te pide.

Tabla 4

	Cochinilla 1		Cochinilla 2	
Tiempo (s)	Desplazamiento (m)	Velocidad (m/s)	Desplazamiento (m)	Velocidad (m/s)
20 seg.				
40 seg.				
60 seg.				
80 seg.				
100 seg.				
120 seg.				

CUESTIONARIO

1. Cuál es la velocidad promedio para cada especie? Anexar el procedimiento.

Especie	v (m/s)
Caminando	
Trotando	
Corriendo	
Cochinilla 1	
Cochinilla 2	

2. Construir las siguientes gráficas en excel: desplazamiento contra tiempo, velocidad promedio contra tiempo y aceleración media contra tiempo con los datos de la tablas 1, 2 y 3.

3. Obtener la ecuación de cada una de las gráficas de la pregunta 2.

4. ¿Hay Movimiento Uniformemente Acelerado, según las gráficas obtenidas en el inciso 2? Si ó No. Justificar su respuesta.

5. Construir una gráfica de desplazamiento contra tiempo y de velocidad contra tiempo con los datos de la tabla 2 en excel, para cada movimiento.

6. Describir el movimiento de cada caso y especificar cuál es uniforme y cual es uniformemente acelerado.

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Práctica N° 3***Fuerza, Trabajo y Ley de Conservación de la Energía Mecánica*****INTRODUCCIÓN**

La *fuerza* es la magnitud vectorial por la cual un cuerpo puede deformarse, modificar su velocidad o bien ponerse en movimiento superando un estado de inercia e inmovilidad.

$F = m * a$, donde F es fuerza (N), m es masa (kg), a es aceleración (m/s^2)

Cuando sobre un sistema mecánico se aplica una fuerza neta y esta produce desplazamiento, entonces se dice que esa fuerza efectúa un *trabajo mecánico*, el cual puede ser positivo si el sistema gana energía o negativo si el sistema pierde energía. $W = F * d$, donde W es el trabajo (J), F es fuerza (N), d desplazamiento (m).

La *ley de conservación de la energía*, también conocida como primer principio de la termodinámica establece que “aunque la energía se puede convertir de una forma a otra no se puede crear ni destruir”. La energía es la capacidad de los cuerpos o sistemas de cuerpos para efectuar un trabajo. $E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$, donde E_{c1} Energía cinética inicial en Joules, E_{p1} Energía potencial inicial en (J), E_{c2} Energía cinética final en (J), E_{p2} Energía potencial final en (J).

OBJETIVO

Calcular la fuerza, trabajo, energía y potencia gastada durante un salto y comprobar la validez de la ley de conservación de la energía mecánica.

MATERIAL

- 1 Cinta métrica
- 1 Regla de plástico
- 1 Cronómetro

PROCEDIMIENTO

- a) Salte verticalmente cuatro veces midiendo la altura máxima y el tiempo de la misma. Anote sus resultados en la tabla 1 y al reverso de la hoja realizar todos los cálculos.

Tabla 1

	Salto 1	Salto 2	Salto 3	Salto 4	Promedios
Persona 1					
Tiempo (s)					
Altura Maxima (m)					
Velocidad Inicial (m/s)					
Fuerza (N)					
Persona 2					
Tiempo (s)					
Altura Maxima (m)					
Velocidad Inicial (m/s)					
Fuerza (N)					

CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles fueron las velocidades iniciales promedio en los saltos para cada persona?

2. Calcule la velocidad a la mitad de la altura máxima alcanzada en el salto.

3. Estimar la fuerza promedio realizada por cada persona.

4. Calcular la energía cinética y potencial promedios para cada una de las personas.

5. ¿Se conserva la energía? Si o No. Justificar la respuesta de forma analítica.

6. Calcular el trabajo y la potencia promedios desarrollados por cada persona.

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Práctica N° 4
Conservación del Momento Lineal

INTRODUCCIÓN

La **cantidad de movimiento, momento lineal, ímpetu o momentum** es una magnitud física fundamental de tipo vectorial que describe el movimiento de un cuerpo en cualquier teoría mecánica. En mecánica clásica, la cantidad de movimiento se define como el producto de la masa del cuerpo y su velocidad en un instante determinado.

Existen dos casos ideales en los que es posible determinar totalmente cómo se va a mover cada partícula después de un choque:

- El choque frontal elástico, donde se conserva tanto la energía cinética como el momento lineal.
- El choque frontal absolutamente inelástico, donde ambas partículas permanecen unidas tras el choque. En este caso se produce la mayor pérdida de energía posible.
- Los choques reales oscilarán entre estos dos extremos según el valor de un coeficiente llamado de restitución. Además, no son necesariamente frontales.

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_2$$

$$m * \vec{v}_1 + m * \vec{v}_2 = m * \vec{v}'_1 + m * \vec{v}'_2$$

Donde \vec{P} y \vec{v} son vectores

OBJETIVO

Comprobar la validez de las leyes de conservación del momento lineal.

MATERIAL

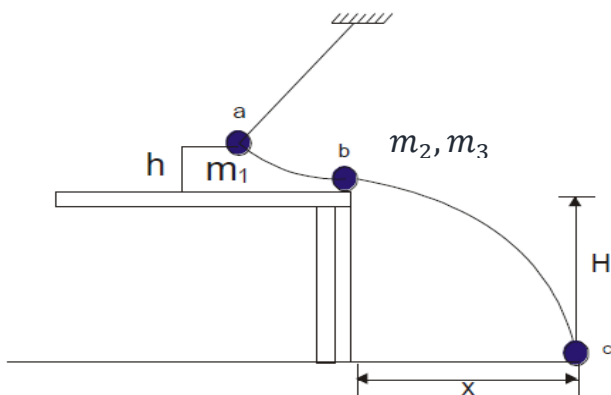
3 Balines metálicos (de masas diferentes)
1 Metro
1 Regla de plástico
1 Cronómetro
1 Cinta adhesiva masking
6 Hojas de papel carbón
6 Hojas blancas

EQUIPO

1 Soporte universal

PROCEDIMIENTO

a) Con el material y equipo indicado montar el arreglo experimental mostrado en la figura 1).



b) Mida el **tiempo** de caída del balón m_2 y m_3 después del choque, tomar las medidas de las alturas h y H , así mismo la distancia x recorrida por los balines m_2 y m_3 . Tome como mínimo 5 datos para cada balón. Anote sus resultados en la tabla 1 y anexar al reverso de la hoja todo cálculo realizado para esta tabla. (Nota.- Las alturas h y H deben permanecer constantes).

Tabla 1

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Promedios
Balón (m_2)						
Dsitancia (m)						
Tiempo (s)						
Velocidad (m/s)						
Balón (m_3)						
Dsitancia (m)						
Tiempo (s)						
Velocidad (m/s)						

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la velocidad promedio de m_1 y m_2 , además m_1 y m_3 antes del choque?

2. ¿Cuál es la velocidad promedio de m_1 y de m_2 , además m_1 y m_3 después del choque?

3. ¿Se conserva el momento?

4. Calcule la gravedad. ¿Es constante?

5. ¿Qué nos enuncia el Principio de Conservación del momento lineal?

6. Da tres ejemplos en donde se observa conservación del momento en la biología y explica.

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Práctica N° 5
Principio de Arquímedes

INTRODUCCIÓN

El principio de Arquímedes sigue siendo aplicable en todos los casos y se enuncia en muchos textos de Física del siguiente modo:

Cuando un cuerpo está parcialmente o totalmente sumergido en el fluido que le rodea, una fuerza de empuje actúa sobre el cuerpo. Dicha fuerza tiene dirección hacia arriba y su magnitud es igual al peso del fluido que ha sido desalojado por el cuerpo.

$$E = m * g = p_f * g * V,$$

Donde:

m: masa del objeto

p_f: presión del fluido

g: gravedad

V: volumen del líquido.

OBJETIVO

Comprobar la validez del Principio de Arquímedes.

MATERIAL

Metales:

Fierro (Fe)

Aluminio (Al)

Cobre (Cu)

Plomo (Pb)

Bronce

EQUIPO

Balanza

Probeta

Regla graduada

2 recipientes de plástico

PROCEDIMIENTO

1. *Determinación de la densidad por el método geométrico*

Consiste en pesar la masa del sólido (m_s) y medir sus dimensiones (si tiene una forma geométrica regular). Si se trata de un paralelepípedo, el volumen corresponde al producto $V = a \times b \times c$, donde a , b , c corresponden a las dimensiones.

Si el objeto es cilíndrico $V = \pi * r^2 * h$, siendo r el radio y h la altura o $V = \frac{4}{3} * \pi * r^3$ si el objeto es esférico.

Utilizar la regla para tomar los datos de las dimensiones de cada sólido. Con los datos obtenidos se puede calcular la densidad.

Tabla 1. Datos para determinar la densidad por el método geométrico.

Dimensiones								
		Cilindro		Paralelepípedo				
Sólido	m_s (gr)	r (cm)	h (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	V (cm ³)	ρ (gr/cm ³)
Fe								
Cu								
Al								
Pb								
Bronce								

2. Determinación de la densidad por el método de la probeta

El sólido se sumerge con cuidado y completamente en una probeta que contiene un volumen exacto de agua (V_0). Luego se lee cuidadosamente el volumen final (V_f). El volumen del sólido corresponde a la diferencia: $V = \Delta V = V_f - V_i$, con los datos obtenidos se puede determinar la densidad (figura 3).

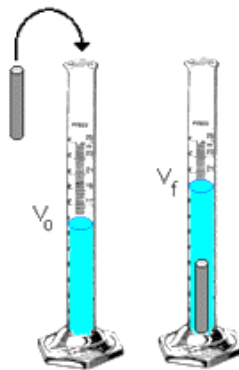


Figura. 3 Método de la probeta

Tabla 2. Datos para determinar la densidad por el método de la probeta.

Sólido	m_s (gr)	V_o (cm^3)	V_f (cm^3)	$V = \Delta V$ (cm^3)	ρ (gr/cm^3)
Fe					
Cu					
Al					
Pb					
Bronce					

3. *Determinación de la densidad por el principio de Arquímedes.*

Se pesa un vaso de precipitados (en su lugar puede usarse un recipiente plástico) parcialmente lleno de agua (w_0). Luego se ata el sólido con un hilo delgado y se suspende del soporte universal como se ilustra en la figura 4. Asegurarse de que el sólido no toque las paredes ni el fondo del vaso. Se obtiene el peso del sistema y se anota su peso como w_f .

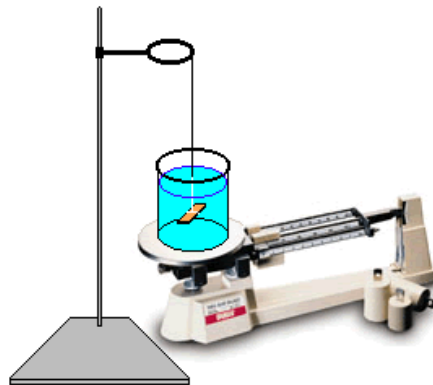


Figura. 4 Principio de Arquímedes.

La cuerda sostiene el peso del sólido pero no anula el empuje, de tal manera que w_f es igual al peso del recipiente con agua más el empuje (peso del agua desalojada por el sólido, w_{des}). Análogamente a la ecuación:

$$V_{dL} = w_{des} = w_f - w_0$$

donde: w_f es peso final, w_0 peso inicial y V_{dL} es volumen del líquido desalojado. Teniendo en cuenta la ecuación, la densidad se puede calcular a partir de la expresión:

$$\rho = \frac{m_s}{V_{dL}} = \frac{m_s}{(w_f - w_0)} \rho_L$$

donde, m_s masa del objeto, V_{dL} volumen desalojado del líquido y ρ_L es la densidad del agua, corresponde a 1.00 gr/ml.

Tabla 3. Datos para determinar la densidad por el principio de Arquímedes.

Sólido	m_s (gr)	w_0 (gr)	w_f (gr)	$V_{dL} = \Delta w_{des}$ (gr)	ρ (g/cm ³)
Fe					
Cu					
Al					
Pb					
Bronce					

Con base en los datos obtenidos, llenar la tabla 4.

Tabla 4. Densidades obtenidas por los diferentes métodos.

Sólido	ρ (gr/cm ³) Reportada	ρ (gr/cm ³) Geometría	ρ (gr/cm ³) Probeta	ρ (g/cm ³) Arquímedes
Fe				
Cu				
Pb				
Bronce				

CUESTIONARIO

1. ¿Si el volumen (ΔV) desplazado por el sólido en la probeta es muy pequeño, recomendaría este método para medir la densidad del sólido?

Práctica N° 6

Capilaridad, Tensión Superficial

INTRODUCCIÓN

La **capilaridad** es la cualidad que posee una sustancia de adsorber a otra. Sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre el líquido y el sólido son mayores que las fuerzas intermoleculares cohesivas del líquido. Esto causa que el menisco tenga una forma cóncava cuando el líquido está en contacto con una superficie vertical. En el caso del tubo delgado, éste “succiona” un líquido incluso en contra de la fuerza de gravedad. Este es el mismo efecto que causa que materiales porosos absorban líquidos.

Tensión superficial a la fuerza que actúa por unidad de longitud de una película elástica que se extiende (como la que forma una burbuja de jabón, una gota de agua o un globo inflado). Es responsable de fenómenos como la resistencia que presenta un líquido a la penetración de su superficie, de la tendencia a la forma esférica de las gotas de un líquido, del ascenso de los líquidos en los tubos capilares y de la flotación de objetos u organismos en la superficie de los líquidos.

OBJETIVO

Entender en qué consiste el fenómeno de tensión superficial y capilaridad. Y observar cómo es que la tensión superficial actúa en diferentes objetos.

Actividad 1

MATERIAL

Clavo de hierro
Colorante vegetal rojo o azul
Goma elástica (liga)
Plato de desechable pequeño (base plana)
Agua

EQUIPO

Dos portaobjetos de cristal

PROCEDIMIENTO

1. Diluir el colorante vegetal con agua en el plato desechable.
2. Colocar el clavo entre los dos portaobjetos como se observa en la figura 1 y sujetarlo con la goma elástica.
3. Colocar el dispositivo ahora en el plato desechable ver figura 2.

*Figura. 1**Figura. 2*

CUESTIONARIO

1. ¿Qué sucedió entre el agua teñida y el portaobjetos y por qué?
2. ¿Cuál de las propiedades explica lo sucedido?
3. ¿Qué es lo que limita al líquido para que pueda alcanzar más altura?
4. ¿Por qué adquiere mayor altura donde hay menos separación?
5. ¿Qué crees tú que hubiese sucedido si en vez de tinta el agua hubiera tenido alguna sustancia tóxica (por ejemplo, metales pesados liberados por las pilas que se votan en los vertederos)?

Actividad 2

MATERIAL

1 Aguja
1 Navaja de afeitar
1 Clips
1 Gotero
Agua
Detergente líquido

EQUIPO

1 Vaso de precipitados de 250 ml.

PROCEDIMIENTO

1. Agrega agua al vaso de precipitado hasta su máxima capacidad sin derramar.
2. Deposita cuidadosamente, la aguja horizontalmente sobre la superficie del agua. Y después se le agregará unas gotas de detergente. Observa y anota con detalle la superficie de agua, sobre todo el contorno cuando se deposita el objeto.
3. Nuevamente agregar agua sin jabon y colocar ahora la navaja de afeitar para realizar el paso y despues el clip. Observa y anota con detalle la superficie de agua, sobre todo el contorno cuando se depositan los objetos.
4. Finalmente, retira del agua los objetos y quita el agua que se les haya adherido (sécalos).

Con las observaciones de los incisos del desarrollo completa la tabla 1.

Tabla 1

Observaciones	Sin detergente	Con detergente
<i>Aguja</i>		
Flota		
No flota		
Otras		
<i>Navaja de afeitar</i>		
Flota		
No flota		
Otras		
<i>Clip</i>		
Flota		
No flota		
Otras		

CUESTIONARIO

1. ¿Qué ocurrió en el inciso 2) del procedimiento? ¿Por qué?
2. ¿Qué ocurrió ahora en 3) del procedimiento? ¿Cómo puedes explicar lo sucedido? Y ¿Por qué?

3. ¿Es completamente plana la superficie al estar colocados cada uno de los objetos (aguja, navaja de afeitar y clip)?

4. De acuerdo con tus observaciones y resultados obtenidos, ¿Cómo explicas que los materiales usados son de acero, si este material es aproximadamente siete veces más pesado que el agua?

5. ¿Qué función tiene el detergente?

6. ¿Qué propiedad del agua se manifiesta en esta experiencia?

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Práctica N° 7
Densidad y Viscosidad

INTRODUCCIÓN

La **densidad** es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

La **viscosidad** es una característica de los fluidos en movimiento, que muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Cuanta más resistencia oponen los líquidos a fluir, más viscosidad poseen. Los líquidos, a diferencia de los sólidos, se caracterizan por fluir, lo que significa que al ser sometidos a una fuerza, sus moléculas se desplazan, tanto más rápidamente como sea el tamaño de sus moléculas. Si son más grandes, lo harán más lentamente.

OBJETIVO

Determinar la densidad y viscosidad de diferentes líquidos y comparar las propiedades anteriores y explicar si guardan una relación entre sí.

Actividad 1**MATERIAL**

Aceite para cocinar
Agua
Alcohol etílico
Shampoo
3 Platos desechables

EQUIPO

1 Cronómetro
1 Un balín
1 Regla
1 Probeta graduada de 250 ml
1 Balanza

PROCEDIMIENTO

- a) Agregar 100 ml de aceite para cocinar en una taza y verter el aceite lentamente sobre un plato desechable, inclinando muy poco la taza.
- b) Repetir el proceso anterior usando una taza limpia. Ahora con: agua, alcohol y shampoo.
- c) Incline ahora más la taza y repita el procedimiento anterior con cada uno de los líquidos.
- d) Mida la densidad de cada líquido en base a su masa y volumen.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué observa en la parte a) y b) del procedimiento?
2. ¿Qué observa en la parte c) del procedimiento?
3. Ordene ahora los líquidos en base a su viscosidad del más viscoso al menos viscoso.
4. Ordene ahora los líquidos en base a su densidad del más denso al menos denso.
5. ¿Existe alguna relación entre densidad y viscosidad? Justificar su respuesta

Actividad 2

- a) Agregar los mililitros como se enuncia en la tabla 1 para cada uno de los líquidos a una probeta y dejar caer un balón dentro de la misma, tomando el tiempo que transcurre en intervalos de 50 ml, como se muestra en la figura 1. Anote sus resultados en la tabla 1.
- b) Repetir el experimento con agua, alcohol y shampoo. Reporte sus datos en la tabla 1.

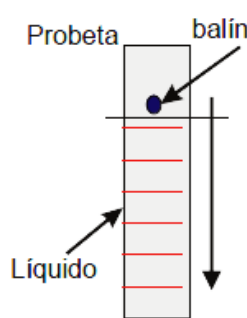
*Figura. 1*

Tabla 1

<i>Líquido:</i> <i>Aceite de cocina</i>		
Mediciones (ml)	Tiempo (seg)	Velocidades (cm/s)
250		
200		
150		
100		
50		
0		
<i>Líquido:</i> <i>Agua</i>		
Mediciones (ml)	Tiempo (seg)	Velocidades (cm/s)
250		
200		
150		
100		
50		
0		
<i>Líquido:</i> <i>Alcohol</i>		
Mediciones (ml)	Tiempo (seg)	Velocidades (cm/s)
250		
200		
150		
100		
50		
0		
<i>Líquido:</i> <i>Shampoo</i>		
Mediciones (ml)	Tiempo (seg)	Velocidades (cm/s)
250		
200		
150		
100		
50		
0		

CUESTIONARIO

1. ¿Qué observa de los datos de la tabla 1?

2. ¿Concuerdan los resultados numéricos obtenidos en la actividad 2 con lo que se observa en la actividad 1? Justifique su respuesta.

3. ¿La velocidad es constante en cada intervalo de volumen? Justificar su respuesta.

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Práctica N° 8

Presión Hidrostática

INTRODUCCIÓN

La **presión hidrostática** es un tipo de presión debida al peso de un fluido en reposo, en éste la única presión existente es la presión hidrostática. En un fluido en movimiento además puede aparecer una *presión hidrodinámica* relacionada con la velocidad del fluido.

Un fluido pesa y ejerce **presión** sobre las paredes, sobre el fondo del recipiente que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión, llamada presión hidrostática provoca, en fluidos en reposo, una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente o a la superficie del objeto sumergido sin importar la orientación que adopten las caras. Si el líquido fluyera, las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían necesariamente perpendiculares a las superficies.

OBJETIVO

Determinar la presión hidrostática en cada uno de los orificios de la botella. Así como la utilización de las fórmulas dadas.

Actividad 1

MATERIAL

1 Botella de plástico transparente de 1.5 lts. sin tapa y con tres orificios
1 Franela o servilleta
1 Marcador permanente color negro
1 Cinta adhesiva masking
1 Regla de 30 cm de plástico o madera
500 ml de Agua

EQUIPO

1 Soporte con varilla de 60 cm
1 Cronómetro

PROCEDIMIENTO

1. Marca con un plumón permanente una botella de plástico en tres puntos diferentes, partiendo de la base a 5 cm (abajo), a los 10 cm (en medio) y a los 20 cm (arriba), como se observa en la figura (A), para ello ayudarse del clavo, encendedor y pinza.
2. Coloca un trozo de tela adhesiva, sobre los orificios de la botella, como se muestra en la figura (B).
3. Coloca y sujeta la regla en el soporte universal como se muestra en la figura (C).
4. Llena la botella con agua de la llave hasta el cuello de la misma y colócala sobre el soporte, figura (D).



FIGURA (A)



FIGURA (B)

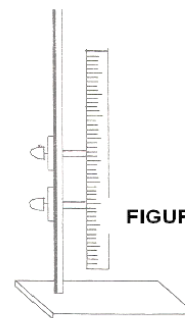


FIGURA (C)

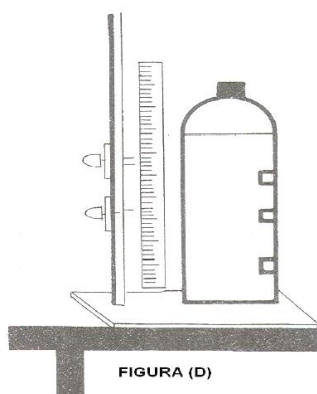


FIGURA (D)

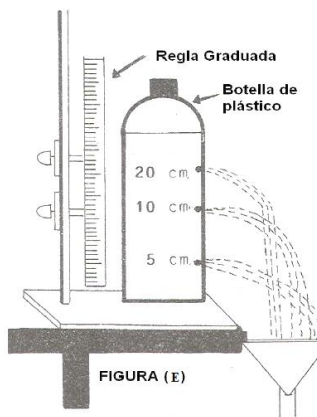


FIGURA (E)

5. Coloca el sistema cerca de una cubeta con el propósito de no derramar el agua sobre la superficie de la misma, figura (E).
6. Retira una por una la cinta adhesiva de arriba hacia abajo y observa detenidamente como es la salida del agua por cada orificio; anota de dónde sale con mayor y menor velocidad y cuál es la causa _____
7. Después nuevamente tapa los orificios y rellena la botella. Destapa únicamente el orificio superior con una profundidad de 20 cm sobre la base de la botella, simultáneamente pon en marcha el cronómetro y recibe en la probeta graduada el líquido desalojado durante 10 segundos registrados con el cronómetro, mide el volumen desalojado y determina el gasto con la expresión: $\text{gasto} = v/t$, donde v = volumen y t = tiempo, registra el dato: _____.
8. Tapa una vez más el orificio destapado anteriormente y llena nuevamente la botella.
9. Ahora destapa solamente el orificio de en medio a 10 cm de la base, simultáneamente pon en marcha el cronómetro y recibe con la probeta el líquido desalojado durante 10 segundos cronometrados, Calcula el gasto con la expresión $g = v/t$ y registra el dato: _____.

10. Repite el paso 8 y ahora destapa únicamente el orificio interior a los 5 cm de profundidad de la base y recibe el líquido en la probeta durante 10 segundos cronometrados, calcula el gasto con la expresión: $g = v/t$ y registra el dato: _____.
11. Mide nuevamente la altura que hay en cada uno de los orificios, es decir tomando como punto inicial hasta donde se llena la botella y punto final cada uno de los orificios y determinar la presión hidrostática, para cada uno de ellos, cuando el envase está totalmente lleno de agua, para lo cual deberás aplicar la fórmula siguiente: $P_h = \rho_l * g * h$, anota los resultados en la tabla 1 y al reverso los cálculos realizados.

Tabla 1

Orificio	Volumen (lts)	Altura (m)	Presión hidrostática (N/m^2)
Superior (20 cm)			
Medio (10 cm)			
Inferior (5 cm)			

12. Aplica la expresión matemática del teorema de Torricelli ($v = \sqrt{2 * g * h}$) y calcula con que velocidad en m/s sale el agua en cada uno de los orificios cuando la botella de plástico está totalmente llena de agua. En base a los resultados determina en cuál de los tres orificios es mayor la velocidad del líquido e indica cómo varía la velocidad con respecto a la presión hidrostática y al reverso anota los cálculos realizados.

Tabla 2

Gasto y Velocidad de salida					
Orificio	V (lts)	t (s)	g (l/s)	h (m)	v (m/s)
Superior (20 cm)					
Medio (10 cm)					
Inferior (5 cm)					

CUESTIONARIO

De acuerdo a lo aprendido en ésta actividad experimental y complemento con lo aprendido en el salón de clases, completa la siguiente tabla. Sigue el ejemplo mencionado, identifica a qué clase de presión corresponde y explica brevemente porqué.

4. Determinar cada uno de los ejemplos que tipo de presión está siendo aplicada y explicar el por qué.

EJEMPLO	PRESIÓN HIDROSTÁTICA	PRESIÓN HIDRODINÁMICA	PRESIÓN ATMOSFÉRICA	¿POR QUÉ?
Un buzo Sumergido en el mar.				Porque el fluido está en reposo y está ejerciendo presión sobre el buzo.
Aplastar una garrapata contra la pared.				
La sangre que recorre nuestras venas.				
Que se tapen los oídos al ascender en auto una montaña.				
Que los tanques de agua se coloquen en la parte de arriba de las casas, y no abajo.				

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Práctica N° 9

Principio de Pascal

INTRODUCCIÓN

El **principio de Pascal** o **ley de Pascal**, es una ley enunciada por el físico y matemático francés Blaise Pascal (1623–1662) que se resume en: *la presión ejercida sobre un fluido poco compresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido.*

OBJETIVO

Comprobar que en realidad se lleva a cabo lo que se enuncia en el principio de Pascal.

Actividad 1

MATERIAL

1 Jeringa de 3 ml (A1)
1 Jeringa de 20 ml (A2)
80 ml de aceite de cocina

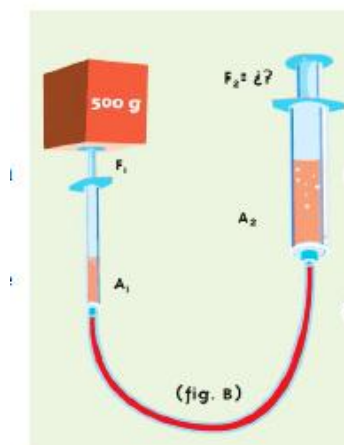
EQUIPO

1 Manguera transparente Venofix
Objetos de diferentes masas

PROCEDIMIENTO

1. Mide el área de los émbolos de las jeringas (A1 y A2).
2. Construye el siguiente dispositivo con las dos jeringas y con la manguera de hule llena de aceite como muestra la figura B.
3. Coloca distintos pesos sobre la jeringa chica.
4. Observa si el émbolo de la

jeringa grande se eleva.



CUESTIONARIO

1. Calcula lo siguiente:

Área del émbolo de la jeringa A1:

Área del émbolo de la jeringa grande A2:

Fuerza aplicada en la jeringa chica:

Fuerza de equilibrio:

2. ¿Concuerda el resultado del experimento con el Principio de Pascal? ¿Por qué?

3. ¿Por qué cuando existe una fuga de líquido en un pistón de un freno hidráulico dejan de funcionar los otros tres pistones?

4. ¿Qué significa la ventaja mecánica de una máquina?

5. Calcula la ventaja mecánica del dispositivo en el experimento anterior.

6. Anota otras tres aplicaciones del Principio de Pascal.

Actividad 2

Resuelve los siguientes problemas:

1. En un elevador de automóviles que se emplea en un taller, ¿qué fuerza se debe ejercer en el émbolo pequeño que tiene una sección transversal de 0.008 m^2 , el embolo grande tiene una sección transversal de 0.070 m^2 ? y en él está ubicado un auto que pesa 12000 N.

2. Si el émbolo pequeño de una prensa hidráulica tiene un diámetro de 6 cm y el grande de 60 cm, ¿Cuál es el peso sobre el embolo pequeño, si en el embolo grande soporta 10000 N?

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Práctica N° 10

Óptica

INTRODUCCIÓN

La **ley de Snell** (también llamada **ley de Snell-Descartes**) es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto. El nombre proviene de su descubridor, el matemático holandés Willebrord Snel van Royen (1580-1626). La denominaron "Snell" debido a su apellido pero le pusieron dos "l" por su nombre Willebrord el cual lleva dos "l".

$$n_i * \text{sen } \theta_i = n_t * \text{sen } \theta_t \quad (1)$$

Donde

n_i, n_t son los índices de refracción del medio 1 y 2 respectivamente

θ_i, θ_t son los ángulos de incidencia y ángulo de refracción respectivamente.

La misma afirma que la multiplicación del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie separatriz de dos medios. Aunque la ley de Snell fue formulada para explicar los fenómenos de refracción de la luz se puede aplicar a todo tipo de ondas atravesando una superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación de la onda varíe.

OBJETIVO

Comprobar de manera sencilla e ilustrativa la ley de Snell.

EQUIPO

1 Disco óptico
Objeto de lucita
1 Láser

PROCEDIMIENTO

- Colocar el objeto de lucita sobre el disco óptico quedando la parte lineal con la línea central del disco óptico. El haz del láser estará alineado perpendicularmente a la parte plana del semicírculo de lucita como se muestra en la figura 1.

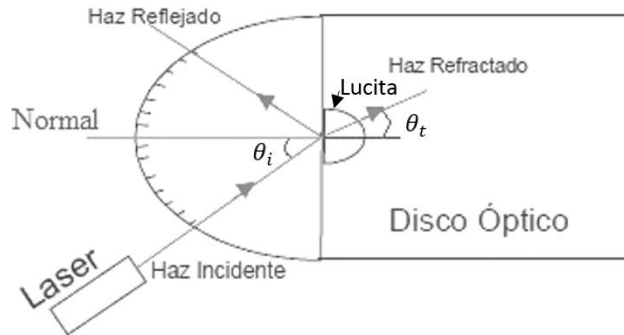


Figura. 1

- b) Se empezará a variar el ángulo de incidencia para obtener 6 valores de diez en diez grados, y así para el objeto de lucita, obteniendo valores para el ángulo de refracción poniéndolos en la tabla 1.

Tabla 1

<i>Objeto de lucita</i>			
Ángulo de Incidencia (θ_i)	$\sin \theta_i$	Ángulo de Refracción (θ_t)	$\sin \theta_t$
0°			
10°			
20°			
30°			
40°			
50°			

- c) Colocar el objeto de lucita sobre el disco óptico quedando la parte lineal con la línea central del disco óptico. El haz del láser estará alineado perpendicularmente a la parte plana del semicírculo de lucita como se muestra en la figura 2.

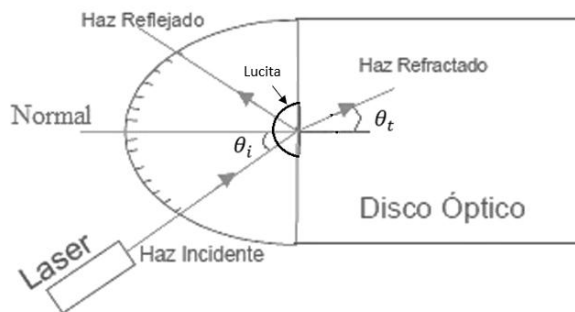


Figura. 2

3. Realizar una gráfica en Excel $\sin \theta_i$ vs $\sin \theta_t$ para la tabla 1 y 2.

4. Describa un método para medir el índice de refracción de un líquido.

Conclusiones _____

Bibliografía _____

Apéndice**Constantes:**

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Densidades de algunos sólidos y líquidos

Sólidos	g/cm^3	kg/m^3
Aluminio	2.7	2700
Cobre	8.96	8960
Plomo	11.3	11300
Hierro	7.9	7900
Bronce	8.90	8900
Líquidos	g/cm^3	kg/m^3
Aceite	0.79	790
Agua de mar	1.025	1025
Agua destilada	1	1000
Alcohol etílico	0.79	790

Algunas conversiones importantes:

$$1 \text{ ml} = 0.001 \text{ lts}$$

$$1 \text{ ml}^3 = 1 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ ml} = 0.001 \text{ lts}$$

$$10^6 \text{ ml} = 10^3 \text{ lts} = 1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

Bibliografía

- [1] B.-V. A. M., "LA FÍSICA Y LA BIOLOGÍA: DOS DISCIPLINAS QUE CONVIENE CONECTAR", Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España, 2012.
- [2] Departamento de Educación Física. Pag. web. https://efisica.com/4eso_files/la-velocidad.pdf. [Último acceso: 14 09 2015].
- [3] R. A. MCNEILL, "Animals Mechanics", University of Washington, Press, Seattle, 1969.
- [4] A. EUGENE, "Biophysical Science", Prentice Hall, 2nd edition, May 1979.
- [5] M. G. H. Paul E. Tippens, "Física, Conceptos y Aplicaciones", Mc GrawHill, 7ma edición, 2011.
- [6] SERWAY R. "Física", Tomo II, Editorial McGrawHill, 1998.
- [7] R.-RESNICK, D.-HALLIDAY, "Física 1 Volumen 1", Editorial CECSA, 3 ra edición, 1993.
- [8] F. J. BLATT, "Fundamentos de Física", Prentice-hall Hispanoamericana, 1995.
- [9] YODER, PAUL R. "Mounting optics in optical instruments." SPIE, 2008.
- [10] CÁCERES, R.-ÁLVAREZ, "Estadística aplicada a las ciencias de la salud", Ediciones Díaz de Santos, 2007.
- [11] F. W. SEARS, "Física Universitaria", 6 edición: Addison-Wesley Iberoamericana, 1988.