

Universidad Nacional Autónoma de México
Faculta de Ciencias
Departamento de Física.
Laboratorio de Mecánica

Guía del Laboratorio de Mecánica

Manual del estudiante

Juan Américo González Menéndez
Alejandro González y Hernández
Patricia Avilés Mandujano
Pedro McCumber Chapa

Laboratorio de Mecánica, Abril de 2005
revisión 2006

Contenido

LABORATORIO DE MECÁNICA 2005.....	5
RECOMENDACIONES PARA EL TRABAJO EN EL LABORATORIO.....	6
CONTENIDO y ESTRUCTURA de la GUÍA.....	6
Actividades propuestas para cada bloque:.....	9
I. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	16
I.1 LAS HIPÓTESIS DEBEN SER TANTO EXPLICATIVAS COMO PREDICTIVAS.....	16
Lectura I.a. Incertidumbre por redondeo. Cifras significativas.	17
Lectura Ib. Cifras Significativas y Precisión en la Medida.	18
Lectura I.c Magnitudes proporcionales y constante de proporcionalidad y su representación gráfica: la recta y su pendiente.....	18
Lectura I.d. Incertidumbre en la Medida y Propagación de Incertidumbres.....	19
I.2. RELACIÓN MASA-VOLUMEN.....	20
I.3. RELACIÓN PESO-MASA.....	21
I.4. RELACIÓN FUERZA-DEFORMACIÓN: ELÁSTICO, LIGA Y RESORTE METÁLICO.....	21
Lectura I.e. Funciones, gráficas y cambios de variable.....	22
I.5. PÉNDULO SIMPLE.....	22
Lectura I.5.a Unidades convencionales y unidades arbitrarias.....	24
I.6. EL OSCILADOR VERTICAL.....	24
I.7 PÉNDULO BIFILAR.....	25
Lectura I.f Leyes potenciales.....	27
Lectura I. g. Leyes Exponenciales.....	28
I.8. FRICCIÓN SOBRE UN HILO ENROLLADO EN UNA VARILLA. (Un ejemplo de ley exponencial).....	28
II. CINEMÁTICA DE LA TRASLACIÓN.....	30
II.1 EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME.....	30
II.2 VELOCIDAD MEDIA Y VELOCIDAD INSTANTÁNEA EN EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO.....	31
II.2a UNA FORMA SIMPLE DE MEDIR DE MANERA APROXIMADAMENTE LA VELOCIDAD INSTANTÁNEA.....	32
II.3 CAMBIO DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN.....	33
Lectura II.a. Sensores, interfaces y computadora.....	34
II.4 CAÍDA LIBRE.....	35
Lectura II.b Ajuste de rectas por el método de los mínimos cuadrados.....	36
II.5. MOVIMIENTO CON ACELERACIÓN VARIABLE (un primer acercamiento al oscilador).....	37
Lectura II.c Trazado de tangentes sobre curvas.....	37
II.6 CINEMÁTICA DE MOVIMIENTOS EN EL PLANO. (Trayectorias curvilíneas en el plano).....	38
Lectura II.d La Fotografía Estroboscópica.....	38
Lectura II.e El uso del video para el registro y análisis del movimiento.....	39
Lectura II.f Obtención de la ecuación de la trayectoria del proyectil.....	39
Lectura II.g. Análisis gráfico (cuantitativo) sobre los vectores: velocidad, cambio de velocidad y aceleración.....	40
III. DINÁMICA DE LA TRASLACIÓN.....	42
Lectura III.a Introducción a las Leyes de Newton.....	42
III. 1 MOVIMIENTO RECTILÍNEO CON FUERZA NETA CONSTANTE.....	43
III. 1.a. MEDICIÓN DE LA FUERZA CONSTANTE.....	44
III.1.b. LA MÁQUINA DE ATWOOD.....	45
III.1.c. MEDICIÓN DE LA FUERZA CONSTANTE DANDO AL RIEL UNA CIERTA INCLINACIÓN.....	46
III.2 FUERZA DE FRICCIÓN CINÉTICA (“seca”).....	47
III.3 MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS CON FUERZA VARIABLE.....	48
III.3.A MOVIMIENTO RECTILÍNEO CON FUERZA VARIABLE, QUE ES FUNCIÓN DE LA POSICIÓN.....	48

Lectura III.a Métodos Numéricos	49
III.3b MOVIMIENTO CON FUERZA DEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD. VELOCIDAD TERMINAL. (Experimento demostrativo).....	50
III.3.c EL OSCILADOR AMORTIGUADO. $F(x, v)$	51
III.3.d OSCILADOR AMORTIGUADO CON FRICCIÓN “seca”	52
III.3.e CAÍDA VERTICAL CON RESISTENCIA DEL AIRE: $F(mg, v)$	52
III.4 DINÁMICA DE MOVIMIENTOS EN EL PLANO	52
III.4.a MOVIMIENTO DE DISCOS SOBRE UNA MESA INCLINADA CON FRICCIÓN SECA.	53
III.5. MARCOS DE REFERENCIA INERCIALES Y NO-INERCIALES. Experimentos demostrativos.	53
IV. COLISIONES.....	55
IV.1. COLISIONES FRONTALES.....	55
IV.2. COLISIONES NO FRONTALES.....	55
IV.3. COLISIONES LENTAS Y CENTRO DE MASA.....	57
IV.4. DOS MASAS UNIDAS CON UN RESORTE.....	57
V. TRABAJO Y ENERGÍA MECÁNICA.....	59
V.1. TRABAJO REALIZADO POR UNA FUERZA CONSTANTE.....	59
V.2. TRABAJO NEGATIVO REALIZADO POR LA FRICCIÓN.....	60
V.3. PÉNDULO “INTERRUMPIDO”. (Péndulo donde el hilo se intercepta con un clavo).....	60
V.4. TRABAJO REALIZADO POR UNA FUERZA VARIABLE. (Área bajo la curva “ F vs. x ”).....	60
VI. ESTÁTICA DEL CUERPO RÍGIDO.....	63
VI.1 FRICCIÓN ESTÁTICA (“fuerza de atadura o de adherencia”).....	63
VI.2. ESTÁTICA DEL CUERPO RÍGIDO.....	64
b) Revisar la secuencia descrita en Estática para Astronautas de Juan A González, Los Pequeños Manuales, Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.....	64
VII. DINÁMICA ROTACIONAL	65
VII.1 ROTACIONES Y MOMENTO DE INERCIA (o inercia rotacional)	65
VII.2. LA RUEDA QUE PRIMERO RUEDA SIN TRASLADARSE.....	67
VII.2.a LA RUEDA QUE PRIMERO SE TRASLADA SIN RODAR.....	67
VII.3 VARIANTES DEL CARRETE.....	68
VII.4 OSCILADOR DE TORSIÓN Y PÉNDULO BIFILAR.....	68
Experimento demostrativo: Oscilador de torsión y Péndulo bifilar.....	69
VII.5. COLISIONES ENTRE CUERPOS RÍGIDOS.....	70
VII.6. EL GIRÓSCOPO. (Experimento demostrativo)	71
APÉNDICE A.....	73
Materiales e instrumentos de las actividades experimentales.....	73
APÉNDICE B.....	81
Análisis dimensional.....	81
APÉNDICE C.....	83
Métodos Numéricos.....	83
El oscilador armónico simple (OAS).....	84
Método numérico para la solución del OAS.....	84
Periodo de oscilación.....	86
Valores iniciales del movimiento.....	87
Valores consecutivos del movimiento cada 0.1 s.....	87
Oscilador Armónico y Péndulo simple.....	88
BIBLIOGRAFÍA BASICA.....	90
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA.....	90

PRÓLOGO

En una época de la facultad existían instructivos en los laboratorios de física, donde se indicaba a los alumnos los pasos a seguir en el desarrollo de las actividades experimentales. Con la idea de no usar “recetas de cocina” se fueron suprimiendo estos instructivos con objeto de que hubiera más “libertad de cátedra” en el laboratorio y que los alumnos usarán más su creatividad teniendo acceso únicamente a manuales para el manejo de aparatos de medición.

La experiencia nos ha mostrado que en muchos casos el profesor acababa dictándoles “su manual de laboratorio” y los nuevos profesores de laboratorio, con falta de experiencia, no tenían en donde apoyarse. Con el nuevo plan de estudios (2002) de la carrera de física los cursos de laboratorio son oficialmente independientes de los cursos teóricos correspondientes y en principio los alumnos pueden carecer de los elementos teóricos mínimos que le den sentido a la actividad experimental, además en el nuevo plan de estudios se suprimió la asignatura de Física General que contaba con una parte de laboratorio, que había sido bautizada como IME: Introducción a la Metodología Experimental, por lo que en la presente guía se han rescatado elementos del viejo IME, imitando los contenidos a temas de Mecánica.

Por lo anterior los autores han estado trabajando en los últimos años en el desarrollo de esta guía del laboratorio de mecánica, donde sin caer en el formato de los antiguos instructivos, sea de utilidad para el desarrollo del curso de laboratorio de mecánica pudiéndose adaptar a las diferentes modalidades de los profesores que tienen a su cargo impartir dicho curso.

Finalmente, los autores agradecerán todos los comentarios de los alumnos y de los profesores que consulten esta guía y los hagan llegar al coordinador del laboratorio de mecánica o a cualquiera de ellos.

LABORATORIO DE MECÁNICA 2005.

El objetivo general de este curso es que los alumnos adquieran los conocimientos y desarrollen habilidades para: a) el manejo operativo de conceptos y leyes de la Mecánica b) la realización de actividades experimentales, el análisis de datos, para obtener relaciones empíricas, valor de constantes con sus incertidumbres, así como la confrontación de predicciones teóricas con los resultados experimentales c) la comunicación oral y escrita de los resultados y conclusiones de lo mismos.

Específicamente, los alumnos deberán desarrollar habilidades para:

1. La formación, desarrollo e interrelación de conceptos básicos de la mecánica clásica: las leyes de Newton y los principios de conservación del momentum, momento angular y de la energía mecánica.
2. El manejo del equipo del laboratorio de mecánica: cámara fotográfica, lámpara estroboscópica, cámara de video, fotocompuertas, sensores, interfaces, rieles y mesas de aire, etc.
3. Localizar y procesar información relevante para este curso en textos, manuales, Internet, así como en la propia guía.
4. El control de variables que permita la reproducibilidad de resultados experimentales.
5. Realizar operaciones entre las magnitudes escalares y vectoriales de la mecánica destacando el método gráfico, utilizando unidades arbitrarias y del Sistema Internacional.
6. El manejo correcto de las cifras significativas y la estimación de incertidumbres en mediciones directas e indirectas. (Dejar para siguientes cursos de Laboratorio la "teoría estadística de errores"). Utilizar incertidumbres absolutas y porcentuales.
7. El uso de ejes y escalas apropiadas para la representación gráfica de datos experimentales, con sus respectivas incertidumbres, rotulando los ejes apropiadamente.
8. La aplicación de técnicas de cambio de variable y ajuste de rectas para la obtención de relaciones empíricas usando preferentemente métodos gráficos.
9. La confrontación de la predicción del modelo con el resultado experimental, distinguiendo entre discrepancia y error experimental (incertidumbre).

10. La toma de decisiones en el diseño experimental: sobre que variables tratar como independientes, que instrumentos de medición usar, cuantas veces repetir las lecturas, qué graficar en función de qué, etc.
11. Estimar órdenes de magnitud de las variables involucradas en un experimento y decidir cuando una magnitud es despreciable (ó ignorable) de acuerdo a la precisión de las medidas.
12. El manejo de calculadora y computadora para: análisis de datos experimentales, presentaciones gráficas, ajuste de curvas, captura de datos por medio de interfase y modelación, usando método numérico. La elaboración y presentación de informes.
13. El registro sistemático de los datos y de la información relevante que permita la repetición del experimento. (Bitácora).
14. La comunicación oral y escrita (informe) de los resultados y conclusiones de sus experimentos.
15. La participación en la discusión de resultados y conclusiones de experimentos, presentados por sus compañeros. (Que critique y acepte la crítica).
16. *Una actitud honesta al reportar los resultados experimentales y un espíritu de cooperación para trabajar en equipo y en general, valorar el trabajo experimental en el aprendizaje de la física.*

RECOMENDACIONES PARA EL TRABAJO EN EL LABORATORIO.

Se espera que cada alumno, en un cuaderno de cuadrícula pequeña o bien, en una carpeta con argollas y hojas de cuadrícula pequeña, lleve un registro de las actividades realizadas en el Laboratorio: fecha, propósito del experimento y breve introducción al mismo. Diagrama del montaje del experimento, tablas de datos, gráficas, análisis, resultados y conclusiones y/o comentarios.

También que haga una reseña de los experimentos demostrativos, así como la solución de los ejercicios propuestos en la guía que lo preparen para un mejor análisis de sus datos experimentales.

En lo que respecta a los experimentos diseñados por alumnos, además del registro en el cuaderno, deberán elaborar un informe del mismo, a modo de artículo.

Nota Importante!!! : No borres, ni arranques hojas. Cuando creas haberte equivocado: al tomar un dato, al hacer un cálculo, al hacer una gráfica, etc, etc..Tacha y explica el (posible) motivo de tu equivocación.

CONTENIDO y ESTRUCTURA de la GUÍA

A continuación se describe el contenido de la guía, la cual incluye tres tipos de actividades experimentales:

Demostrativas de parte del profesor para ayudar a desarrollar conceptos básicos de la mecánica y/o mostrar técnicas experimentales.

Las consideradas básicas que deben desarrollar los alumnos trabajando en equipo de tres personas y para lo cual se dan las indicaciones necesarias en esta guía.

Experimentos libres o proyectos, que deberán diseñar los alumnos aplicando sus conocimientos de mecánica y las técnicas de medición aprendidas.

Además de las actividades experimentales se incluyen lecturas para introducir los conceptos básicos de la Mecánica así como ejercicios que deben resolver los alumnos para complementar el enfoque experimental de este curso de Mecánica.

Por otra parte las actividades propuestas están agrupadas en los siguientes bloques:

I. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

Obtención de relaciones funcionales empíricas, a través de medir y relacionar magnitudes como volumen, masa, peso, longitud, tiempo (período). Uso de aparatos de medición: probeta, balanza, regla y vernier, dinamómetro, cronómetros. Técnicas de control de variables... estimación de incertidumbres absoluta y porcentual y su propagación. Uso de escalas adecuadas, técnicas de cambio de variable y obtención de funciones empíricas. *Los conceptos y técnicas aquí introducidas se aplicarán sistemáticamente en lo que resta del curso. Las relaciones empíricas para el período del péndulo y del oscilador se reinterpretan más adelante cuando se desarrolle la teoría correspondiente.*

II. CINEMÁTICA de la TRASLACIÓN.

El modelo de partícula se aplica a un objeto que no rota sobre si mismo ni se deforma. En el marco de referencia del laboratorio, para movimientos rectilíneos, se miden velocidades medias, se infieren los valores de velocidades instantáneas y se mide la aceleración para movimientos rectilíneos con aceleración constante y con aceleración variable (el oscilador). Se analiza el itinerario de objetos que se mueven sobre un plano en términos de vectores desplazamiento, velocidad, cambio de velocidad y aceleración. Se obtienen ecuaciones de la trayectoria.

III. DINÁMICA de la TRASLACIÓN.

Se introduce la definición operacional de masa, a través de explosiones e implosiones entre dos objetos. Se muestra que la velocidad que adquiere un cuerpo, a partir del reposo es proporcional al impulso aplicado (fuerza constante X tiempo de aplicación) en condiciones de fricción despreciable. Se define operacionalmente la unidad de fuerza (el newton)

Se introduce y se aplica la segunda ley de Newton, destacando que en movimientos curvilíneos la fuerza neta está dirigida hacia la concavidad de la curva.

Se analizan casos de movimiento rectilíneo con fuerzas constantes y con fuerza variable, casos donde la fuerza neta es perpendicular a la trayectoria y casos donde la fuerza neta tiene componente tangencial y normal.

Se analizan casos donde la fuerza es función de la posición (ley de Hooke y oscilador armónico; ley del inverso del cuadrado y fuerza gravitacional) y cuando es función de la velocidad: fricción cinética, freno magnético y oscilador amortiguado, caída con resistencia del aire y el concepto de velocidad terminal.

Se introduce el método numérico, aplicándolo a la segunda ley de Newton para modelar el comportamiento de sistemas mecánicos y se destaca la predictibilidad en la física y la confrontación con el experimento.

Se aborda el problema de los sistemas de referencia: inerciales y acelerados. Se comenta que el sistema de laboratorio ha sido considerado como sistema inercial dentro de cierta aproximación. Se ilustra el problema de las fuerzas ficticias en un sistema rotatorio (como en el caso de la Tierra).

IV. COLISIONES.

Se retoma la definición operacional de la masa para introducir el concepto de momentum y la conservación del momentum del sistema para sistemas aislados. De la conservación del momentum y de la igualdad de los módulos de las velocidades relativas, antes y después de la colisión en las colisiones elásticas, se sigue la conservación de $mv_1^2 + mv_2^2$ (la “VIS viva”) y por tanto de la energía cinética del sistema. Al analizar una colisión lenta (entre discos magnetizados) se establece el concepto de centro de masa (CM) y que éste mantiene un MRU durante la colisión, lo cual implica la conservación del momentum del sistema durante la colisión así como la ley de interacción de Newton (o tercera ley). A partir de la disminución de la energía cinética del sistema durante la colisión elástica “lenta” se infiere el concepto de energía de interacción (energía de configuración o energía potencial) durante la colisión y de ahí la conservación de la energía mecánica en este tipo de interacciones. Se destaca que el sistema de referencia del CM es un sistema de referencia donde el momentum del sistema vale cero y la energía tiene su valor mínimo.

V. TRABAJO Y ENERGÍA MECÁNICA.

Se mide el trabajo realizado por fuerzas constantes y fuerzas variables. Se relaciona el trabajo con la transferencia de energía. Se utiliza la relación entre trabajo neto realizado sobre un objeto y el cambio de su energía cinética para predecir la velocidad que adquiere un objeto. Se aplica la conservación de la energía mecánica (cinética más potencial) para fuerzas constantes y dependientes de la posición. Se muestra que las fuerzas restrictivas (normales a la trayectoria) no realizan trabajo. Se ilustra como las fuerzas dependientes de la velocidad “disipan” la energía mecánica.

Se muestra como una alternativa el método de la energía para resolver problemas tratados anteriormente.

VI. ESTÁTICA DEL CUERPO RÍGIDO.

A través de la experimentación se desarrolla el concepto de torca y las condiciones de equilibrio del cuerpo rígido. Se desarrollan los conceptos de línea de acción, par de fuerzas, centro de gravedad. Se destaca que el valor de la torca de un par es independiente del origen. En condiciones de equilibrio en el espacio se establece el vector torca (para fuerzas coplanares, la torca se comporta como escalar). Se desarrolla y aplica el concepto

de fricción estática y de coeficiente de fricción estática. (Fricción sobre un hilo enrollado en un tubo).

Se plantea la limitación del modelo de cuerpo rígido para resolver problemas estáticamente indeterminados o hiperestáticos.

VII. DINÁMICA ROTACIONAL.

Se desarrollan y se aplican en la resolución de problemas, los conceptos de velocidad y aceleración angular, momento de inercia, momentum angular, energía cinética rotacional para movimientos en el plano: se miden los momentos de inercia (inercia rotacional) de una rueda de bicicleta y se utiliza este valor para predecir el comportamiento de la rueda en diferentes situaciones. Se muestra la limitación del modelo de superficies rígidas para explicar la fricción de rodadura..

Se retoma el movimiento oscilatorio para el oscilador de torsión y el péndulo bifilar. Se plantea el problema del experimento de Cavendish con la balanza de torsión.

Para ilustrar los principios de conservación: momentum, momento angular y energía mecánica, se analizan colisiones entre disco y mancuerna en una mesa de aire.

Se introduce el movimiento del cuerpo rígido en el espacio. Se ilustra la precesión y la nutación.

Actividades propuestas para cada bloque:

I. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Actividad experimentales	Meta
I.1 LAS HIPÓTESIS DEBEN SER TANTO EXPLICATIVAS COMO PREDICTIVAS	Ejemplificar que las hipótesis además de explicativas deben ser predictivas, a través de iluminar una varilla, que rota alrededor de su centro con velocidad angular constante, con una lámpara de luz estroboscópica de frecuencia variable.
I.2 RELACIÓN MASA-VOLUMEN	Establecer una relación de proporcionalidad entre la masa y el volumen para determinar la densidad de algunos materiales, indicando la incertidumbre.
I.3 RELACIÓN PESO-MASA	Establecer la relación entre el peso de los objetos (en newtons) y la masa de los mismos (en kilogramos).

- | | | |
|-----|---|---|
| I.4 | RELACIÓN FUERZA DEFORMACIÓN: ELÁSTICO, LIGA Y RESORTE METÁLICO. | Establecer gráficamente la relación “fuerza vs. alargamiento” para las diferentes muestras e identificar en que caso(s) se trata de una relación de proporcionalidad. |
| I.5 | PÉNDULO SIMPLE | Obtener una relación empírica entre el período del péndulo y su longitud y ejemplificar el uso de unidades arbitrarias. |
| I.6 | EL OSCILADOR VERTICAL | Obtener una relación empírica entre el período, la masa y la constante del resorte para osciladores verticales. |
| I.7 | PÉNDULO BIFILAR | Obtener una relación empírica entre el período, la longitud, la separación de los hilos y la longitud de la varilla. |
| I.8 | FRICCIÓN SOBRE UN HILO ENROLLADO EN UNA VARILLA.
(Un ejemplo de ley exponencial) | Obtener una relación empírica entre la tensión de un hilo, que soporta un determinado peso, que se enrolla sobre un tubo y el “ángulo de enrollamiento” |

II. CINEMÁTICA de la TRASLACIÓN

- | | | |
|------|--|---|
| II.1 | EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME | Obtener una relación de proporcionalidad entre la distancia recorrida y el tiempo transcurrido para un deslizador que se mueve libremente sobre un riel de aire horizontal. Calcular el valor de la velocidad con su incertidumbre. |
| II.2 | VELOCIDAD MEDIA Y VELOCIDAD INSTANTÁNEA EN EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO. | Medir velocidades medias y obtener el valor de la velocidad instantánea como el límite de la velocidad media cuando Δx y Δt tienden a cero. |
| II.3 | CAMBIO DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN | Medir la aceleración media en un intervalo Δx , midiendo las velocidades al inicio y al final del intervalo y dividiendo entre el intervalo Δt correspondiente. |

II.4	CAÍDA LIBRE.	Medir la aceleración en la caída libre usando computadora, interfase, fotoc compuerta y regleta.
II.5	MOVIMIENTO CON ACCELERACIÓN VARIABLE (el oscilador)	Obtener con el sensor de movimiento la gráfica “posición en función del tiempo” de un oscilador y de ahí inferir, por método gráfico, las gráficas “Velocidad vs. Tiempo” y “Aceleración vs. Tiempo”.
II.6	CINEMÁTICA DE MOVIMIENTOS EN EL PLANO	Obtener con el sensor de movimiento la gráfica “posición en función del tiempo” de un oscilador y de ahí inferir, por método gráfico, las gráficas “Velocidad vs. Tiempo” y “aceleración vs. tiempo”

III. DINÁMICA de la TRASLACIÓN.

III.1	MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS CON FUERZA NETA CONSTANTE.	Predecir y confrontar con el experimento valores de tensión y aceleración en movimientos rectilíneos con fuerza neta constante, para un sistema formado por dos objetos unidos por un hilo a través de una polea.
III.2	FUERZA DE FRICCIÓN CINÉTICA (“seca”)	Determinar el valor del coeficiente de fricción cinético para superficies de diferente textura. Predecir el valor de la fuerza de fricción cinética para diferentes inclinaciones de la mesa sobre la cual se mueve un bloque.
III.3	MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS CON FUERZA VARIABLE.	Obtener experimentalmente cómo depende una fuerza de la posición o de la velocidad y a través de método numérico, usando la segunda ley de Newton, predecir movimientos para condiciones iniciales dadas.

- | | | |
|-------|---|--|
| III.4 | DINÁMICA DE MOVIMIENTOS EN EL PLANO
(métodos numéricos) | Analizar gráficamente la magnitud y dirección de las fuerzas y usando la segunda ley y el método numérico predecir el itinerario de objetos que se mueven en un plano. |
| III.5 | MARCOS DE REFERENCIA INERCIALES Y ACELERADOS.
(Experimentos demostrativos) | Describir cinemática y dinámicamente, un movimiento desde diferentes sistemas inerciales y en sistemas acelerados |

IV. COLISIONES.

- | | | |
|------|-------------------------------------|--|
| VI.1 | COLISIONES FRONTALES. | Medir la masa de un objeto que es colisionado aplicando la conservación del momentum en colisiones frontales en el riel de aire y calcular el coeficiente de restitución entre los deslizadores que chocan. |
| VI.2 | COLISIONES NO FRONTALES | Mostrar como se determina la relación de masas en una colisión no frontal e ilustrar la conservación del momentum y de la energía cinética para colisiones elásticas. |
| V.3 | COLISIONES LENTAS Y CENTRO DE MASA. | Mostrar que el CM tiene un MRU durante la colisión y de ahí inferir la validez de la tercera ley de Newton. Analizar la colisión desde el sistema de referencia del CM. De la no conservación de la EC del sistema durante la colisión elástica, establecer el concepto de energía potencial o energía de configuración. |
| V.4 | MASAS UNIDAS CON UN RESORTE. | Analizar el movimiento de dos deslizadores unidos por un resorte, de extensión y compresión, en riel (o mesa de aire) horizontal e inclinado. |

V. TRABAJO y ENERGÍA MECÁNICA.

V.1	TRABAJO REALIZADO POR FUERZA CONSTANTE.	Predecir la velocidad que adquiere un objeto, de masa conocida, cuando a partir del reposo recorre una cierta distancia mientras se le aplica una fuerza constante y confrontar esta predicción con el valor medido de la velocidad.
V.2	TRABAJO REALIZADO POR FUERZA DE FRICCIÓN	Predecir la distancia que recorre un bloque (con fricción), antes de detenerse, después de ser jalado con fuerza constante o variable a través de una distancia determinada.
V.3	PÉNDULO “INTERRUMPIDO	Predecir la mínima altura a la que hay que soltar un péndulo, que es interceptado por un pivote, para que describa un movimiento circular y confrontar con el experimento.
V.4	TRABAJO REALIZADO POR UNA FUERZA VARIABLE. (Área bajo la curva “F vs. x”)	Predecir la velocidad que adquiere el deslizador cuando es impulsado con la resorte y confrontar este valor predicho, con el valor medido de la velocidad

VI. ESTÁTICA DEL CUERPO RÍGIDO.

VI.1	FRICCIÓN ESTÁTICA (fuerza de atadura)	Medir el coeficiente de fricción estática entre superficies en contacto y utilizar este valor en la resolución de problemas.
VI.2	FRICCIÓN SOBRE UN HILO ARROLLADO EN UNA VARILLA. (Un ejemplo de ley exponencial)	Obtener una relación empírica entre la tensión de un hilo, que soporta un determinado peso, que se arrolla sobre un tubo y el “ángulo de arrollamiento” y confrontarla con el modelo teórico

- VI.3 ESTÁTICA DEL CUERPO RÍGIDO Desarrollar experimentalmente los conceptos la ley del paralelogramo y de torca, de línea de acción, centro de gravedad y pares de fuerza en condiciones de equilibrio. Resolver, teórica y experimentalmente problemas de estática del cuerpo rígido, donde haya fuerzas elásticas, de gravedad, fricción, electrostáticas y magnetostáticas.

VII. DINÁMICA ROTACIONAL.

- VII.1 ROTACIONES Y MOMENTO DE INERCIA (o inercia rotacional) Medir el momento de inercia (inercia rotacional) de una rueda de bicicleta, respecto a un eje que pasa por su centro de masa y que es perpendicular al plano de la rueda, por diferentes métodos y comparar resultados.
- VII.2 LA RUEDA QUE PRIMERO ROTA SIN TRASLADARSE Para una rueda de bicicleta, con velocidad angular ω_0 , que se asienta sobre el piso, predecir que velocidad de traslación alcanzará y cuanto tiempo empleará en ello y confrontar con el experimento.
- VII.2a LA RUEDA QUE PRIMERO SE TRASLADA SIN ROTAR Predecir el valor de la velocidad final de la misma rueda si ahora se le da un impulso que le imprima una velocidad de traslación antes de que empiece a rodar.
- VII.3 VARIANTES DEL CARRETE Analizar diferentes situaciones donde un carrete es jalado y predecir y confrontar con el experimento, los valores de aceleraciones lineales y angulares.

- VII.4 OSCILADOR DE TORSIÓN Y PÉNDULO BIFILAR
Predecir y confrontar con el experimento, el período de un oscilador de torsión y el de un péndulo bifilar. Usar este último para medir un momento de inercia de un objeto con un eje de simetría.
- VII.5 COLISIONES ENTRE CUERPOS RÍGIDOS.
Analizar colisiones entre disco y mancuerna de dos discos en términos del movimiento del centro de masa así como de la energía, el momentum y el momento angular.
- VII.6 EL GIRÓSCOPO.
Mostrar la relación entre la velocidad angular del giróscopo o rueda de bicicleta o trompo, sobre su eje, ω , y la velocidad angular de precesión, Ω .

I. INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

I.1 LAS HIPÓTESIS DEBEN SER TANTO EXPLICATIVAS COMO PREDICTIVAS.

META: Ejemplificar que las hipótesis además de explicativas deben ser predictivas, a través de iluminar una varilla, que rota alrededor de su centro con velocidad angular constante, con una lámpara de luz estroboscópica de frecuencia variable.

Materiales: lámpara estroboscópica, motor “singer” con polea, prensa, varilla de madera e hilo.

Introducción.

La investigación científica puede entenderse como un proceso de aprendizaje dirigido, este aprendizaje avanza con la interacción continua entre la realidad (datos, hechos, fenómenos) y las hipótesis (conjeturas, modelos, teoría). Este proceso iterativo, inicia con una hipótesis inicial conduce, por un proceso de deducción, que conducen a consecuencias que pueden ser comparadas con los datos. Cuando las consecuencias y los datos no coinciden, las discrepancias pueden conducir, por un proceso denominado inducción, a la modificación de la hipótesis, y así se continua un ciclo continuo de iteración.

Procedimiento experimental.

Asegurarse de que la varilla quede firmemente unida a la polea del motor como se muestra en la figura I.1. Oscurecer el salón e iluminar con la lámpara de luz estroboscópica la varilla cuando está girando.

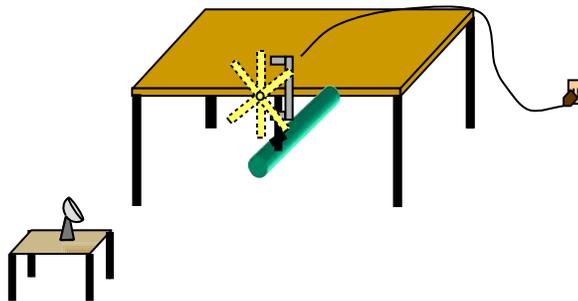


Fig. I.1. El motor se asegura firmemente en el borde de la mesa, y la varilla de madera firmemente al motor. Con el salón oscurecido la varilla parecerá detenida para ciertas frecuencias de la luz estroboscópica. ¿Cómo saber si entre destello y destello la varilla da un número de vueltas completas o un número semientero de vueltas?

Si para cierta frecuencia de la lámpara vez a la varilla, como si estuviera en reposo, para frecuencias cercanas verás que la varilla gira lentamente en un sentido o en otro, ¿cómo explicas este fenómeno?

Después de que para cuatro o cinco frecuencias diferentes veas parada la varilla, deberás elaborar una **hipótesis** que explique este fenómeno y luego, lo que es más interesante, de acuerdo a tu hipótesis **explicativa**, deberás **predecir** que debe ocurrir al duplicar y al triplicar la frecuencia de los destellos luminosos, así como predecir con que otras frecuencias parecerá que se detiene la varilla y con que frecuencias de los destellos de luz se ven dos, tres o más varillas y **confrontar la predicción con el experimento**. Con esto se trata de ejemplificar que las hipótesis, así como los modelos y las teorías en la física deben tener un carácter tanto explicativo como predictivo.

Lectura I.a. Incertidumbre por redondeo. Cifras significativas.

“El redondeo es el pecado original de cualquier medición”

Cuando se mide una longitud, o cualquier otra magnitud física, ¿puede obtenerse un valor realmente exacto? Vamos a mostrar como al medir el diámetro de una moneda primero con una regla, después con el vernier, después con el tornillo micrométrico irá disminuyendo el intervalo de incertidumbre en el valor de la medida pero que de cualquier modo nunca llegaremos a “valor exacto”. En otras palabras si representamos al conjunto de números reales sobre la “recta numérica”, el resultado de una medición corresponde a un segmento de la recta que podrá hacerse más pequeño, mas nunca reducirlo a un punto. Antes de realizar las mediciones conviene tener claro el concepto de redondeo y de la incertidumbre asociada a un número redondeado.

Incertidumbre por redondeo. Cuando escribes con cierto número de cifras, la raíz cuadrada de un número, que no es un cuadrado perfecto, necesariamente haces una aproximación y por tanto tienes una incertidumbre, debida al redondeo. Para explicarnos mejor, considera el siguiente ejemplo: haz que tu calculadora escriba $\sqrt{3}$ con un entero y un decimal; observarás que escribe 1.7. Lo anterior quiere decir que $\sqrt{3}$ es mayor que 1.65 pero menor que 1.75 (o sea que está mas próximo a 1.7 que a 1.6 o a 1.8). Ahora haz que tu calculadora escriba $\sqrt{3}$ con dos decimales y leerás 1.73, lo que significa que ahora sabes que el valor de $\sqrt{3}$ está entre 1.725 y 1.735, lo cual puede indicarse como $\sqrt{3} = 1.73 \pm 0.005$. Continuando con este proceso, obtendrás que $\sqrt{3} = 1.732 \pm 0.0005$ y así sucesivamente.

Un segundo ejemplo: se pide escribir $\sqrt{12}$ con un entero y cinco cifras decimales, o sea con seis cifras significativas, entonces se tendrá que $\sqrt{12} = 3.46410 \pm 0.000005$. Como podrás ver en este último ejemplo, la sexta cifra significativa resultó ser cero. O sea que si escribiéramos $\sqrt{12} = 3.4641$, tendríamos un valor con mayor incertidumbre para $\sqrt{12}$ (¿Por qué?)

Ejercicio Ia: Repite el proceso anterior, escribiendo $\sqrt{15}$, primero con dos, después con tres, y así hasta diez cifras significativas, indicando en cada caso el intervalo de incertidumbre.

Lectura Ib. Cifras Significativas y Precisión en la Medida.

Comencemos esta lectura con la siguiente actividad experimental, cuyo objetivo será comprender que, “en el mejor de los casos”, una medida de una cierta magnitud física, hecha con un aparato de medición siempre se puede considerar como el resultado de redondear el valor de otra medición de la misma magnitud pero hecha con un aparato de mayor precisión o sea con más cifras significativas.

Actividad experimental: Medir el diámetro de una moneda con regla, con vernier, con tornillo micrométrico y con el microscopio viajero. (Se muestra a los alumnos como se usa el vernier, ver video de FECOL antes COF, el tornillo y el microscopio). El diámetro de la moneda se expresará con 2, 3 y 4 cifras respectivamente, de tal manera que la lectura con el vernier corresponda a la lectura del tornillo redondeada y la lectura de la regla corresponda a la lectura del vernier redondeada.

De igual forma, si medimos la masa de dicha moneda en balanzas que sensibilidad y resolución de 1,0.1, 0.01, 0.001 g, respectivamente tendremos una situación similar.

Por supuesto, estamos pensando que los aparatos de medición están bien calibrados y se manejan correctamente.

En principio, podríamos pensar que el número de cifras significativas crecería indefinidamente si usáramos aparatos cada vez con mayor resolución. Sin embargo, llegaría un momento en que las lecturas en el aparato ya no serían repetibles por pequeños cambios en la temperatura o en la presión y además se vería que el borde de la moneda no es exactamente circular. Algo similar ocurriría con cualquier magnitud física que midamos y llegados a este punto es usual recurrir a criterios estadísticos, que se verán posteriormente.

Lectura I.c Magnitudes proporcionales y constante de proporcionalidad y su representación gráfica: la recta y su pendiente.

Seguramente sabes como graficar una ecuación de primer grado que corresponde a una línea recta, a partir de la tabulación y dada la recta, sabrás calcular la pendiente y observando el valor de la ordenada al origen, podrás escribir la ecuación correspondiente. Para asegurarnos de que sabes hacerlo, realiza el siguiente ejercicio:

Ejercicio I.c.1: Dada las siguientes parejas de valores de x y y : (1, 8), (2, 13), (3, 18), (4, 23), (5,28). Dibuja la gráfica correspondiente y escribe la ecuación de la recta:

$y = mx+b$, con los valores numéricos de m y de b

Una cosa más: escoge tus escalas para que la recta forme un ángulo de 45° con el eje x

Sin embargo cuando las parejas de datos no corresponden a números exactos sino a puntos experimentales que conllevan una incertidumbre, ¿cuál será el criterio para ajustar una recta a un conjunto de puntos experimentales aunque la recta no pase por todos los puntos?

Antes de trabajar con tus datos experimentales es conveniente que realices el siguiente ejercicio:

Ejercicio I.c.2: Considera las siguientes parejas de valores de x y y : (1.00, 0.3); (2.00, 0.7); (3.00, 1.0); (4.00, 1.3); (5.00, 1.7); (6.00, 2.0) y además considera que dichos valores son **redondeados**.

Dibuja los puntos correspondientes en el plano x - y . Indica mediante barras verticales los intervalos que corresponden a los valores redondeados de “ y ” y dibuja una recta que toque todos las barras. Recuerda que si 0.3 es un número redondeado, en realidad no estamos hablando de un punto sobre la recta numérica, sino del intervalo [0.25, 0.35]. Por tanto en vez de puntos se deberá dibujar segmentos verticales en la gráfica: lo que significa que cuando x toma el valor 1.000, “ y ” “debe tener algún valor comprendido en el intervalo [0.25, 0.35] y así sucesivamente. Entonces la recta ajustada a los datos debe tocar las barras de incertidumbre.

Lectura I.d. Incertidumbre en la Medida y Propagación de Incertidumbres.

Comencemos esta lectura con la siguiente actividad experimental, cuyo objetivo será asociar una incertidumbre absoluta y una incertidumbre relativa (porcentual) a la medición de longitudes y áreas.

Cuando se deslinda un terreno conviene medir con la mayor exactitud posible sus dimensiones. Usualmente se habla de cierto número de metros, pero hasta donde será posible precisar la longitud de un terreno, ¿hasta decímetros?, ¿hasta centímetros?, ¿hasta milímetros? ¿décimas de milímetro? Para ver que problemas pueden presentarse, te pedimos que realices la siguiente:

Actividad experimental: usando un flexómetro, midan, con la máxima precisión (¿o exactitud?) posible la longitud de un terreno próximo al laboratorio de física de acuerdo a las indicaciones de tu profesor. Después comparen con resultados obtenidos por otros equipos ¿A qué puede deberse que discrepen los valores para el largo y para el ancho dados por los diferentes equipos?

Establezcan cual sería el mejor valor para el largo del terreno en cuestión y cual sería la incertidumbre de la medida. En otras palabras, ¿entre qué y qué valores podría afirmarse debe estar la longitud del pasillo, o bien, cual sería el mínimo y cual el máximo valor posible para la longitud?

Hacer otro tanto en lo que respecta al ancho del terreno y de ahí calcular el valor del área del terreno ¿Entre qué valores queda definida el área del terreno? ¿Con cuantos dígitos o cifras parece razonable escribir el valor del área?

Incertidumbre absoluta e incertidumbre relativa o porcentual. Si Luis ha medido el área del piso de un cuarto y afirma que el $A_c = (20 \pm 1) \text{ m}^2$, y por otra parte Juan ha medido un terreno y afirma que el área del terreno es $A_t = (200 \pm 1) \text{ m}^2$, entonces ambas medidas tienen igual incertidumbre absoluta, o sea 1 m^2 . Sin embargo las incertidumbres porcentuales en la medida del cuarto y del terreno son respectivamente de 5% y de 0.5%. Entonces los resultados de las mediciones pueden expresarse así: $A_c = 20 \text{ m}^2 \pm 5\%$ y $A_t = 200 \text{ m}^2 \pm 0.5\%$.

Propagación de las incertidumbres. Regresando al ejemplo anterior supongamos que al medir el largo y el ancho del cuarto, Luis encontró los valores (5.0 ± 0.1) m y (4.0 ± 0.12) m respectivamente, ello implicaría que el valor máximo del área sería $5.1 \times 4.12 = 21.0$ m² y el valor mínimo para el área sería $4.9 \times 3.88 = 19.0$ m² y de allí que Luis reportara que $A_c = (20 \pm 1)$ m². Por otra parte si Luis utiliza las incertidumbres porcentuales, reportará los valores 5.0 m \pm 2% y 4.0 m \pm 3% para el largo y el ancho del cuarto respectivamente y como podrás ver el valor de la incertidumbre porcentual en el valor del área es igual a la suma de las incertidumbres porcentuales del largo y del ancho.

Ejercicio I.d.1. Al medir el área de un terreno rectangular se encuentra que el largo es de 50.0 ± 0.5 m y el ancho es de 25.0 ± 0.5 m. Calcula la incertidumbre absoluta y la incertidumbre porcentual en el valor del área.

Un último comentario, cuando la incertidumbre porcentual es relativamente pequeña, por ejemplo de 0.01 %, 0.001%, 0.0001% es más común hablar de un error máximo de uno en diez mil, o de una parte en cien mil o de una parte en un millón respectivamente.

Ejercicio I.d.2. Calcula las incertidumbres porcentuales de las mediciones realizadas previamente para el largo, el ancho y el área del terreno que midieron.

I.2. RELACIÓN MASA-VOLUMEN.

META: Establecer una relación de proporcionalidad entre la masa y el volumen para determinar la densidad de algunos materiales, indicando la incertidumbre.
--

Materiales: Conjunto de 5 balines de acero de diferente diámetro. Conjunto de 5 muestras de plastilina de diferente tamaño. Vernier, probeta y balanza.

Introducción.

Una característica de las sustancias y los materiales homogéneos es su densidad o masa específica. Así, la densidad del agua es, aproximadamente de 1 g/cm³ o 1000 kg/m³ en el sistema internacional. De hecho, se dice que un material es homogéneo si su masa es directamente proporcional a su volumen.

Procedimiento experimental.

Medir el diámetro de los balines con el vernier y de ahí calcular su volumen ($V = \pi d^3/6$) y con ayuda de la probeta medir el volumen de las diferentes muestras de plastilina. Posteriormente, con ayuda de la balanza, medir las masas respectivas de los balines y de las muestras de plastilina. Registrar los datos, con sus respectivas incertidumbres en una tabla. Ahora en una misma gráfica “masa en función del volumen” dibujar los puntos que corresponden al conjunto de balines y al conjunto de muestras de plastilina. ¿Es posible ajustar una recta a cada conjunto de datos?; si es así, podrá afirmarse que la masa es directamente proporcional al volumen. El valor de las pendientes (con sus respectivas incertidumbres) corresponde a la constante de proporcionalidad en cada caso, y estas constantes son las respectivas densidades del acero y de la plastilina.

I.3. RELACIÓN PESO-MASA.

META: Establecer la relación entre el peso de los objetos (en newtons) y la masa de los mismos (en kilogramos)

Materiales: Los mismos balines y muestras de plastilina de la actividad anterior. Dinamómetro (0-1N)

Introducción.

Llamaremos peso de un objeto a la fuerza que éste ejerce sobre el dinamómetro cuando cuelga de él. Los dinamómetros están calibrados en newtons (N), que es la unidad de fuerza del sistema internacional. Más adelante veremos cómo es la definición operacional del newton. En la vida diaria se habla del peso en kilogramos, cuando en realidad se están refiriendo a la masa o “cantidad de materia” del cuerpo u objeto.

Procedimiento experimental.

Medir el peso de los balines y de las muestras de plastilina (con ayuda de un hilo delgado y un pedazo de masquing se podrán pesar los balines). Con los valores del peso y de la masa, previamente medidos, hacer la tabla correspondiente y luego una gráfica “peso (N) en función de masa (kg)”, ¿se puede ajustar una recta a todos los puntos? ¿dependerá del tipo de material la constante de proporcionalidad entre la masa y el peso, tal como el caso de la densidad que es la constante de proporcionalidad entre la masa y el volumen?

I.4. RELACIÓN FUERZA-DEFORMACIÓN: ELÁSTICO, LIGA Y RESORTE METÁLICO.

META: Establecer gráficamente la relación “fuerza vs. alargamiento” para las diferentes muestras e identificar en que caso(s) se trata de una relación de proporcionalidad.

Materiales y equipo: Trozo de elástico de poliéster, liga de hule y resorte (con espiras separadas). Dinamómetro (0 – 10 N), regla calibrada en mm.

Introducción.

En los tres casos, **elástico, liga y resorte metálico**, veremos que a mayor fuerza habrá mayor alargamiento, ¿podrá afirmarse que en los tres casos el alargamiento es proporcional a la fuerza aplicada?

Usaremos esta definición: sólo habrá proporcionalidad directa cuando al duplicarse la fuerza se duplique el alargamiento, al triplicarse la fuerza se triplique el alargamiento, etc. O sea, cuando el cociente de dividir la fuerza entre el alargamiento sea constante (dentro de la incertidumbre experimental, por supuesto). La relación de proporcionalidad (proporcionalidad directa o proporcionalidad “a secas”) implica que la gráfica sea una recta que pase por el origen. Si es una recta que no pasa por el origen se puede hablar de una relación lineal, mas no de proporcionalidad; en todo caso la proporcionalidad no sería entre “x” y “y”, sino entre “ Δx ” y “ Δy ”

Procedimiento experimental.

Fijar un extremo del elástico y jalar del otro extremo con el dinamómetro. ¿Qué variable conviene tratar como independiente: la fuerza aplicada o el alargamiento producido? Registrar los valores correspondientes de alargamiento y fuerza aplicada.

Repetir el procedimiento para la liga y para el resorte.

Dibujar en una misma gráfica “fuerza (N) en función del alargamiento (m)” los datos correspondientes al elástico, liga y resorte. ¿En que caso(s) se puede ajustar una recta?

Lectura I.e. Funciones, gráficas y cambios de variable.

Seguramente has graficado funciones $y = f(x)$. Primero, habrás hecho una tabulación, después dibujas tus ejes cartesianos, luego representas por medio de un punto cada pareja de valores x y y ; finalmente haces un trazo continuo: una recta o una curva en el caso más general.

Ya hemos revisado el caso de que sea una recta. Ahora veremos como proceder cuando la gráfica no es una recta. Ejemplificaremos con una curva que seguro ya conoces: la parábola. Consideremos que la curva pasa por el origen. Entonces su ecuación es del tipo: $y = ax^2$, o bien del tipo $y = bx^{1/2}$. Veamos un ejemplo numérico para este caso:

Ejercicio I.e 1. Dadas las siguientes parejas de valores de “ x ” y de “ y ” correspondientes a un acierta función: (0,0), (3.0, 5.2), (5.0, 6.7), (7.0, 7.9), (10.0, 9.5).

Para verificar si la curva es del tipo $y = bx^{1/2}$, y en ese caso obtener el valor de “ b ”, además de graficar “ y vs. x ”, grafica “ y vs. $x^{1/2}$ ” y también “ y^2 vs. x ”.

I.5. PÉNDULO SIMPLE.

META: Obtener una relación empírica entre el período del péndulo y su longitud y ejemplificar el uso de unidades arbitrarias.

Material y equipo: Soportes, varillas, nueces, pinza, hilo, plomada (dos de diferente material), Transportador, flexómetro y cronómetro.

Introducción.

Para medir el tiempo el hombre se ha basado en el comportamiento de “sistemas periódicos”. Inicialmente el movimiento aparente de los astros en el cielo, particularmente el Sol y la Luna fueron la clave para medir el transcurso del tiempo. Se dice que Galileo Galilei, en el siglo XVII, suponiendo la regularidad de los latidos de su pulso, detectó el isocronismo de las oscilaciones de una lámpara en el techo de una iglesia a pesar de que se reducía la amplitud de oscilación. De hecho el péndulo sirvió de base al desarrollo de la relojería del siglo XVIII. Después se ha utilizado la periodicidad en las oscilaciones de circuitos eléctricos y en sistemas atómicos para aumentar la precisión en la medida del tiempo.

Procedimiento experimental:

a) Usando dos péndulos de la misma forma y tamaño de la misma longitud, pero de diferente material (por ejemplo acero y aluminio) mostrar que el período es

independiente de la masa, poniéndolos a oscilar simultáneamente. ¿Haz visto un comportamiento similar cuando en sendos columpios oscilan un gordo y un flaco?

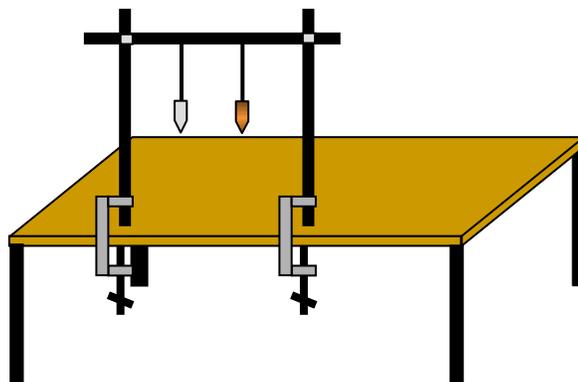


Fig. I.5. El periodo es independiente de la masa. El periodo es igual para el de aluminio y para el de acero. El isocronismo es válido para pequeñas amplitudes.

b) Mostrar que para “pequeñas” amplitudes 5° y 10° aproximadamente, los dos péndulos no se desfasan en sus oscilaciones, durante unas 20 oscilaciones. Sin embargo cuando las amplitudes son de 5° y de 30° se observa que después de algunas oscilaciones se comienza a retrasar el de mayor amplitud.

c) Mostrar que al acortar la longitud el período disminuye, o sea que el período es función de la longitud.

d) Para pequeñas amplitudes, obtener el período (T) como función de la longitud (l):

Sugerencias: Se sugiere comenzar midiendo el período correspondiente a una longitud de un metro y de ahí vayan disminuyendo hasta la longitud más corta cuyo período sea posible medir, hasta tener al menos unas siete parejas de valores de l y T . Se recomienda repetir al menos tres veces la medición de T para cada valor de l (*que por cierto será en este experimento la variable independiente*). Esta secuencia es con el propósito de ir desarrollando habilidad en el manejo del cronómetro, comenzando con la medición de los intervalos más grandes. Además se determina el rango de l y T y así podrá simultáneamente graficar los puntos al momento que se realiza el experimento. Conviene medir el tiempo empleado en 10 oscilaciones consecutivas (oscilaciones completas: ida y vuelta), y dividir entre 10 el resultado; también se recomienda contar en voz alta: “cero, uno, dos..., diez” entre el arranque y la detención del cronómetro y no “uno, dos,...diez”. Así por ejemplo, si el tiempo empleado para diez oscilaciones resultara ser de 15.3 s, entonces el valor del período sería 1.53 s.

- e) Dibuja, en una página completa de tu cuaderno, la gráfica “T en función de l “. Posiblemente verás que una curva suave, se ajusta a los datos experimentales. Ahora, efectúa un cambio de variable apropiado, de tal manera que obtengas una recta y de ahí una ecuación que te permita expresar analíticamente, T en función de l .

Nota: En caso de un error sistemático en la medida de las longitudes, la gráfica “ T^2 en función de l ” resulta más útil, ya que la abscisa al origen corresponde al error sistemático en la medida de la longitud, en vez de “T en función de \sqrt{l} ”

Lectura I.5.a Unidades convencionales y unidades arbitrarias.

Entendemos por unidades convencionales, las unidades del sistema internacional, metro y segundo, que se han estado usando, pero para el caso del péndulo se podría tener un “péndulo patrón” cuya longitud y cuyo período se tomaran como las unidades de longitud y de tiempo: u.a.l. y u.a.t. Así la longitud y el período de otro péndulo cualquiera, se expresaría en términos de estas unidades arbitrarias. Por ejemplo: Sin usar el flexómetro ni el cronómetro, considera que tu péndulo patrón tiene una longitud de tu “cuarta”. Ahora prepara otro péndulo cuya longitud sea de dos cuartas. Ahora compara los períodos de ambos péndulos, ¿qué relación encuentras, experimentalmente, entre estos períodos?

I.6. EL OSCILADOR VERTICAL.

META: Obtener una relación empírica entre el período, la masa y la constante del resorte para osciladores verticales.

Materiales: Soporte, varillas, nueces y pinza, resortes y pesas, flexómetro, cronómetro.

Introducción.

En la actividad I.4, ya se estudio que la relación entre la fuerza aplicada a un resorte y la deformación que le provoca es directamente proporcional y la constante de proporcionalidad se conoce como la constante del resorte.

Procedimiento experimental.

Se sugiere que cada equipo trabaje con un resorte diferente. Mida el valor de la constante de su resorte, con la mayor exactitud posible.

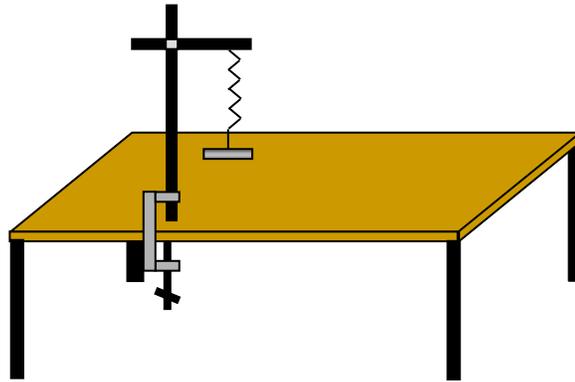


Fig. I.6. De un soporte, cuelga un resorte verticalmente y en extremo inferior una pesa.

Proceda ahora a medir el período colgando pesas de diferente masa. Se recomienda por un lado, medir el período para la masa más pequeña posible y que la pesa de mayor peso no provoque alargamientos que se aproximen al límite elástico del resorte.

Se espera que cada equipo obtenga “ T ” como función de “ m ”. Con el conjunto de estas funciones y conociendo el valores de las “ k ” del resorte que usó cada equipo, se espera que se obtenga “ T ” como función de “ m ” y de “ k ”.

Un experimento similar al aquí planteado se describe en el cuadernillo “estudio empírico de osciladores” editado en la Facultad.

I.7 PÉNDULO BIFILAR

META.- Obtener una relación empírica entre el período, la longitud, la separación de los hilos y la longitud de la varilla.
--

Materiales: Soportes, varillas, nueces, pinzas, 3 varillas de diferente material y con la misma longitud y espesor, hilo, cronometro, balanza y flexómetro.

Introducción.

Un péndulo bifilar es como un columpio, el cual podemos hacer oscilar de diferentes maneras. Lo que interesa estudiar son las oscilaciones torsionales.

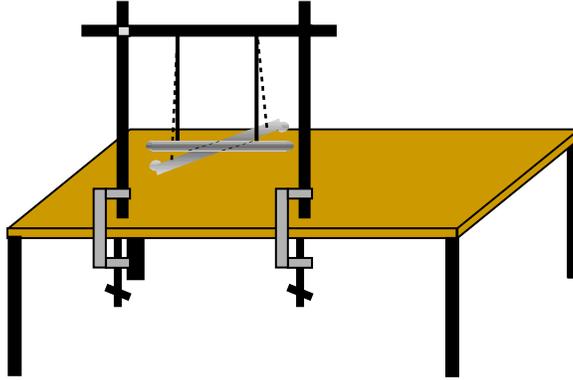


Fig. I.7. Con dos soportes sujetos a la mesa y una varilla se construye el péndulo bifilar.

Procedimiento experimental:

- a) Comparando el período de dos péndulos bifilares y sin necesidad de instrumentos de medición, podrás convencerte de que el período no depende de:
 - i) la masa de la varilla
 - ii) la amplitud de oscilación para pequeñas amplitudes.

Y de que el período:

- i) crece cuando aumenta la longitud de los hilos
- ii) decrece cuando aumenta la separación de los mismos.
- b) Para investigar como depende el período T de la longitud de los hilos “ h ”, habrá que mantener constante la separación entre los hilos “ s ”. A cada equipo de trabajo se le asignará un valor del parámetro “ s ” (10, 20, 30,...cm), y así cada equipo deberá obtener una relación empírica entre T y h , para un valor fijo de s .

Es de esperarse que usando técnicas similares a la de la práctica del péndulo simple, se obtenga una relación del tipo:

$T = A h^{1/2}$, ¿obienes una relación de este tipo?; si es así, ¿qué valor obtuviste para la “constante” A ? ¿Con qué valor de “ s ” trabajaste? pero ahora “ A ” no es una constante “universal” sino que cada equipo tendrá un valor diferente de “ A ” según el valor de “ s ” que le fue asignado. En pocas palabras resulta que “ A ” es una función de “ s ”.

- c) Se pide a los alumnos que entre todos los equipos elaboren una tabla de parejas de valores de “ A ” y “ s ”, y que por el método gráfico obtengan la relación empírica correspondiente. Es de esperarse que obtengan una relación del tipo $A = B s^{-1}$, usando un cambio de variable adecuado. Por tanto se alcanza la meta:

$$T = B h^{1/2} s^{-1},$$

donde B parece ser una constante “universal”.

- d) Finalmente, se hace notar que todos los equipos han trabajado con varillas de la misma longitud (l). Es fácil darse cuenta de que a mayor valor de l , mayor será el valor de T . Verificar experimentalmente que la “constante” B es directamente

proporcional a l , sea que $B = C l$, donde, ahora si, C será nuestra constante universal.

e) En conclusión

$$T = C l h^{1/2} s^{-1}$$

A partir de los datos experimentales, calcula en valor de “ C ”, con su respectiva incertidumbre.

f) Confrontación con el experimento:

Pon a prueba esta “ley general” para predecir el período de un péndulo bifilar con una varilla más larga que la que usaron antes.

Lectura 1.f Leyes potenciales.

Una ley del tipo: $y = Cx^p$ donde C es una constante y “ p ” es el exponente que puede ser positivo o negativo, entero o fraccionario. Para ilustrar mejor lo que se quiere decir, dibuja, usando una hoja completa de tu cuaderno, las siguientes curvas, usando los mismos ejes x - y : $y = 5x^p$, para los siguientes valores de p : -2 , -1 , $-1/2$, 0 , $+1/2$, $+1$, $+2$. Notarás que todas las curvas pasan por el punto $(1, 5)$

Si recuerdas algo de propiedades de logaritmos, recordarás (y si no lo recuerdas por favor revísalo por tu parte) que si: $y = 5x^p$ entonces $\log(y) = \log(5) + p \log(x)$ Si ahora consideras que tus nuevas variables son: $Y = \log(y)$ y $X = \log(x)$, o sea, $Y = A + pX$, donde $A = \log(5) = \text{constante}$.

Verás que tendrás una recta para cualquier valor de p . Dibuja en una misma gráfica las siete rectas correspondientes a los diferentes valores de p .

Pasando a otra cosa, ¿recuerdas haber aprendido las leyes de Kepler que sintetizan la cinemática del sistema Solar? En particular su tercera ley, permite expresar el período (T) de revolución de los planetas alrededor del Sol, con el radio medio (R) de la órbita. A Kepler le llevó muchos años descubrir sus leyes. Vamos a pedirte que “descubras” esta tercera ley a partir de una tabla de valores de R y de T .

Planeta	semieje mayor de la órbita		Período del movimiento orbital	
	U.A.	metros	años	segundos
Mercurio	0.389	5.79×10^{10}	0.241	7.60×10^6
Venus	0.724	1.08×10^{11}	0.615	1.94×10^7
Tierra	1.000	1.50×10^{11}	1.000	3.16×10^7
Marte	1.524	2.28×10^{11}	1.880	5.94×10^7
Júpiter	5.200	7.78×10^{11}	11.9	3.75×10^8
Saturno	9.510	1.43×10^{12}	29.5	9.30×10^8

Ejercicio: realiza la gráfica “ T en función de R ” y después, “ $\log(T)$ en función de $\log(R)$ ”.

Primero, haz las gráficas usando unidades “arbitrarias”: R en UA (Distancia media Tierra-Sol) y T en años, de tal manera que para la Tierra $R = 1$ y $T = 1$. Luego repite las gráficas usando unidades del sistema internacional R en metros y T en segundos.

Para más información sobre este modulo introductorio, ver la publicación de Bertha Oda, “Introducción al Análisis Gráfico”, Publicación interna de la Facultad de Ciencias. UNAM.

Lectura I. g. Leyes Exponenciales.

Son leyes del tipo $y = y_0 e^{ax}$. Si a mayor que cero es una exponencial creciente y si a menor que cero es una exponencial decreciente.

Ejercicio: Por ejemplo, considera el caso donde sean $a = -0.5$ y $y_0 = 20$. Construye una tabla para diferentes valores x . Grafica y vs. x . Observa y analiza la forma y comportamiento de la curva. Tabula y grafica $\ln(y)$ vs. x . Observa y analiza la forma de la curva. Obtén los parámetros de la relación $\ln(y)$ vs. x

I.8. FRICCIÓN SOBRE UN HILO ENROLLADO EN UNA VARILLA. (Un ejemplo de ley exponencial)

META: Obtener una relación empírica entre la tensión de un hilo, que soporta un determinado peso, que se enrolla sobre un tubo, y el “ángulo de enrollamiento”

Material y equipo: Soportes, varillas, nueces y pinzas, tubos de PVC, hilo de nylon, hilo de cáñamo, pesa de 1 kg, dinamómetro.

Introducción.

Procedimiento experimental.

Montar un dispositivo de acuerdo a la figura I.8: Colgar una pesa de un extremo del hilo y medir la tensión en el otro extremo para diferentes ángulos de enrollamiento.

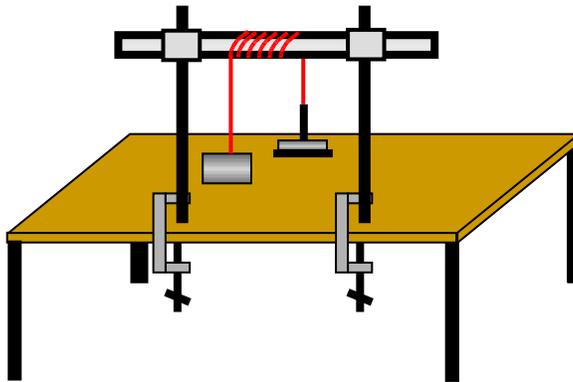


Fig. I.8 Para medir la tensión del hilo podrá optarse por un dinamómetro o por pesas calibradas, auxiliarse con poleas, etc.

Una vez obtenida una tabla de datos, dibujar la gráfica “ T en función de θ ” y podrá observarse que esta última parece ser de tipo exponencial; por tanto se sugiere graficar ahora “ $\ln(T)$ en función de θ ”. Si se ajusta una recta a esta última gráfica se infiere que

$\ln(T) = \ln(T_0) - k\theta$, siendo “ $-k$ ” el valor de la pendiente de la recta. O sea, despejando T se tiene que: $T = T_0 \exp(-k\theta)$

II. CINEMÁTICA DE LA TRASLACIÓN.

II.1 EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME

META: Obtener una relación de proporcionalidad entre la distancia recorrida y el tiempo transcurrido para un deslizador que se mueve libremente sobre un riel de aire horizontal. Calcular el valor de la velocidad con su incertidumbre.

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizador, nivel de albañil, cronómetro manual, fotocpuerta con cronómetro y fotocpuerta esclava, flexómetro, nivel de albañil.

Introducción.

En nuestros primeros cursos de física en la secundaria, seguramente nos ha parecido extraño eso de que los cuerpos “por si mismos” mantienen su movimiento rectilíneo, ya que si damos un ligero empujón al borrador o a un libro que está sobre la mesa, éste avanza unos cuantos centímetros y se detiene. Sin embargo habrás visto, al menos en la tele, como se deslizan los patinadores sobre hielo y quizás hayas jugado “jockey” dando empujones a discos sobre una mesa de aire y estos mantienen su movimiento rectilíneo hasta que chocan. En estos casos casi parece que el movimiento rectilíneo podría mantenerse “indefinidamente”. También por experiencia sabemos que el movimiento se facilita cuando hay rodamiento, pero eso lo dejaremos para más adelante.

Procedimiento experimental.

En primer lugar habrá que colocar y nivelar el riel. Éste tiene tres tornillos en las patas: dos laterales, A y B y uno central, C; con los que los que se levanta o baja el riel. Con el deslizador sobre el riel con el aire encendido, habrá que ajustar, si es necesario, los tornillos laterales, para sean iguales los colchones de aire bajo las caras inferiores del deslizador. Ver figura II.1. Posteriormente se ajusta el tornillo central para con ayuda del nivel de albañil, lograr la horizontalidad del riel.

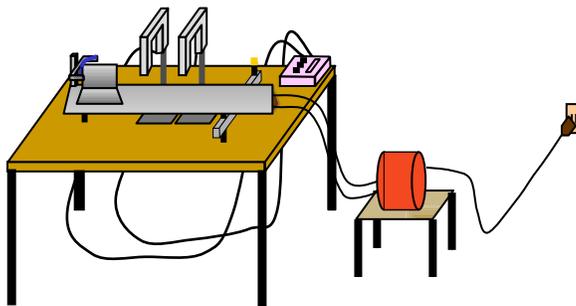


Fig. II.1 Es necesario asegurarse de la horizontalidad del riel, usando los tornillos niveladores, así como que la línea le comunique siempre la misma velocidad al deslizador.

Con el riel horizontal, lanzar el deslizador con una liga, de tal manera que emplee alrededor de dos segundos en recorrer el riel. ¿Qué problemas podría haber si se intentara que el deslizador se moviera más lentamente y tardara diez o más segundos en recorrer el deslizador?

Usando un par de fotocpuertas: una con cronómetro, en función "pulse" con precisión de 1 ms (¿Qué problema puede haber si se usa el cronómetro de la fotocpuerta con precisión de 0.1 ms?) y otra "esclava"(ver figura.II.1); dejando una fija en el punto que se tomará como origen, y la otra colocándola a $x = 0.20$ m, 0.40 m, etc. sucesivamente, medir los tiempos, t , que emplea el deslizador en recorrer dichas distancias. Repetir al menos tres veces cada lectura, ¿cómo te aseguras que se le imprime la misma velocidad al deslizador? A partir de la tabla de valores x , t .

Ya que el deslizador no es propiamente una "partícula", habrá que tomar un punto de referencia, un extremo o el punto medio, para considerar los desplazamientos del deslizador.

A partir de la tabla de valores x , t , con sus incertidumbres, hacer la gráfica correspondiente. ¿En qué intervalo puede considerarse que ha sido un movimiento con velocidad constante? ¿Cuál es el valor de dicha velocidad?

II.2 VELOCIDAD MEDIA Y VELOCIDAD INSTANTÁNEA EN EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO.

META: Medir velocidades medias y obtener el valor de la velocidad instantánea como el límite de la velocidad media cuando Δx y Δt tienden a cero.

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizador, ligas, cronometro con fotocpuerta y fotocpuerta esclava, flexometro.

Introducción.

Para medir la velocidad se requiere medir una distancia recorrida y el tiempo correspondiente para recorrerla, entonces ¿qué sentido tiene hablar de la velocidad, no ya en un intervalo de tiempo, sino en un instante?

Procedimiento experimental.

Inclinar ligeramente el riel (con ayuda de una tablita, elevar 2 cm una pata del riel). Soltar el deslizador desde el extremo más alto del riel y tratar de determinar su velocidad cuando pase por la mitad del riel. Para ello, colocar las fotocpuertas a 0.30 m a la izquierda y a la derecha respectivamente del punto medio y medir el tiempo que emplea el deslizador en recorrer esos 0.60 m. Después colocar las fotocpuertas a 0.25 m a izquierda y derecha respectivamente (ver figura II.2) y medir el tiempo empleado en recorrer esos 50 cm y así sucesivamente, hasta llegar a medir el menor intervalo posible. Calcular los cocientes $(\Delta x/\Delta t)$, que corresponden a las velocidades medias. Graficar $(\Delta x/\Delta t)$ en función de Δx y en otra gráfica en función de Δt . Extrapolar en ambas gráficas para tener la ordenada al origen, cuyo valor correspondería a la velocidad instantánea del deslizador al pasar por el centro del riel.

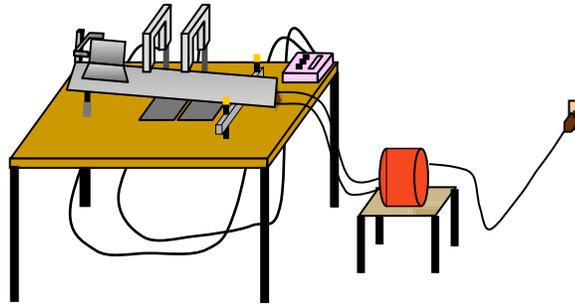


Fig. II.2. Es importante poder reproducir la inclinación del riel en caso de que se requiera repetir alguna medición. Se busca que el deslizador emplee alrededor de 3 s en recorrer todo el riel a partir del reposo.

II.2a UNA FORMA SIMPLE DE MEDIR DE MANERA APROXIMADAMENTE LA VELOCIDAD INSTANTÁNEA.

META: Aproximar el valor de la velocidad en un punto, como el valor de la velocidad media en un “pequeño” intervalo alrededor de ese punto.

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizador, ligas, boleto de metro, cronómetro con fotoc compuerta y flexómetro.

Introducción.

Cuando tenemos un movimiento acelerado, o sea un movimiento donde la velocidad varía continuamente, se puede suponer intervalos “suficientemente pequeños”, donde la velocidad se mantenga constante, dentro de la incertidumbre experimental.

Procedimiento experimental.

Colocar una sola fotoc compuerta en la función "gate", con precisión de 0.1 ms, en la mitad del riel y colocar un boleto de metro sobre el deslizador, (ver figura II.2.a) de tal manera que la fotoc compuerta medirá el tiempo que tarda en pasar el boleto del metro (que mide 3.1 cm de ancho) mientras el deslizador se mueve "alrededor del punto medio del riel". En adelante cuando se hable de velocidad (a secas) se entenderá velocidad instantánea.

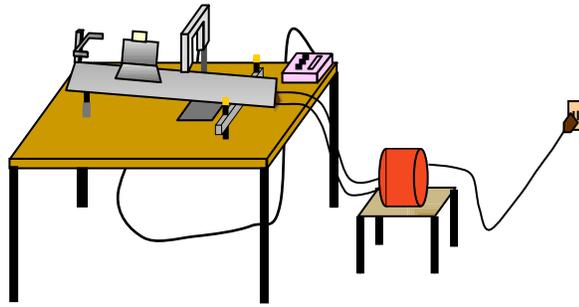


Fig. II.2.a. La fotoc compuerta en modo “gate” medirá el tiempo que emplee el boleto de metro en pasar alrededor del punto P.

II.3 CAMBIO DE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN.

META: Medir la aceleración media en un intervalo Δx , midiendo las velocidades al inicio y al final del intervalo y dividiendo entre el intervalo Δt correspondiente.

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizador, ligas, boleto de metro, cronómetro con fotoc compuerta y fotompuerta esclava, flexómetro.

Introducción.

En la vida diaria es común el uso de velocímetros, en los automóviles y también en la bicicleta fija. Investiga como funcionan. Ahora que hablaremos de aceleración, ¿conoces algún tipo de acelerómetro?

Procedimiento experimental.

Usando la técnica anterior, y manteniendo el riel con la misma inclinación, medir la velocidad en dos puntos sobre el riel, cerca de cada extremo, usando las dos fotoc compuertas en modo “gate”, (ver figura II.3). Después sin mover las fotoc compuertas, cambiar a la función "pulse" y a precisión de 1 ms, para medir el tiempo empleado por el deslizador en ir de un punto al otro. Con los datos anteriores calcular el cambio de velocidad y la aceleración media del deslizador. Con objeto de verificar si la aceleración puede ser considerada una constante del movimiento, cambia de posición una de las fotoc compuertas y repite todo el procedimiento para calcular la aceleración.

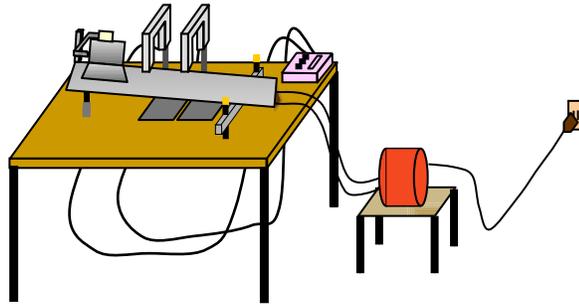


Fig. II.3. Para medir la aceleración media entre dos puntos sobre el riel de aire, se requiere medir la velocidad en dos puntos y luego medir el tiempo empleado en ir de un punto a otro. Asegurarse que se suelta del mismo lugar para poder reproducir las lecturas.

Midiendo la aceleración con cronómetro de mano y cinta métrica. Si la aceleración es constante, entonces $x = a t^2 / 2$ si $v_0 = 0$. ¡Demuéstralo! Con cronómetro manual mide el tiempo empleado por el deslizador en recorrer el riel, a partir del reposo y conociendo la distancia recorrida por el deslizador, calcula su aceleración con su respectiva incertidumbre. Compara este valor con el obtenido previamente. ¿Es significativa la discrepancia?

¿Qué relación esperas que haya entre la aceleración medida y la aceleración de la gravedad? Del valor del seno del ángulo que forma el riel con la horizontal, ¿qué valor podría esperarse para la aceleración? ¿cómo es este valor comparado con el medido previamente? ¿es significativa la discrepancia?

Lectura II.a. Sensores, interfaces y computadora.

La medición de variables de posición, velocidad, aceleraciones, fuerza, tiempo, etc., que se dan en el movimiento de un objeto, se puede realizar con diversos instrumentos que en la actualidad incluyen a los sensores, las interfaces y las mismas computadoras.

Los sensores, son dispositivos electrónicos que captan o responden a las diversas señales físicas que se emiten en cualquier tipo de fenómeno físico, en particular los de la mecánica y que transforma tales señales a una señal de voltaje que puede ser transmitida a una computadora, mediante una interface. Si la señal de salida del sensor a la interface es una señal continua o analógica, en la interface se hace la transformación de esta señal analógica a una señal de impulsos discontinuos de voltaje o digital antes de ingresar a la computadora. Si la señal de salida del sensor es ya analógica, la interface la transfiere a la computadora ya de esta manera. La interface también tiene la tarea de regular el voltaje de entrada a la computadora a un intervalo que sea adecuada a los voltajes que se manejan normalmente en las computadoras, que en general son de -5 V a 5 V o de 0 V a 10 V. Una vez que la señal entra a la computadora en uno de sus puertos de entrada, se convierten en bits de información numérica que son registrados por un programa especial, que es capaz de exhibirlos en la pantalla de la computadora como datos experimentales de posición, o de velocidad o de aceleración o de fuerza o de tiempo, etc, (según corresponda a la señal de entrada y al sensor que se disponga), tanto en tablas como en

gráficas. Una vez que las señales que se emiten de los fenómenos y que corresponden a las variables físicas que los definen son transformadas a datos experimentales en la computadora, el experimentador está en la posibilidad de estudiar el fenómeno haciendo el análisis de estos datos.

Los sensores que se usan en laboratorio de Mecánica son: el sensor de movimiento, la polea inteligente, la fotocpuerta, el sensor de fuerza, etc. La interface a la que se conectan es la Science Workshop 750 externa a la computadora y una tarjeta SCCI que se encuentra dentro de la computadora.

II.4 CAÍDA LIBRE.

META: Medir la aceleración en la caída libre usando computadora, interface, fotocpuerta y regleta.

Materiales: Regleta transparente con intervalos opacos de tamaño conocido, fotocpuerta, interface y computadora.

Introducción:

Cuando un objeto cae, solemos decir que se trata de una caída libre, esto es que se mueve solo bajo el efecto del campo gravitacional. Esto en realidad no es tan simple, ya que para que fuera cierto tendríamos que extraer todo el aire circundante al objeto, pero si la distancia de caída es pequeña la fricción con el aire puede ser despreciable.

Procedimiento experimental.

Conecte la interface *ScienceWorkshop* a la computadora en el puerto de la tarjeta SCCI, encienda la interface y encienda la computadora. Conecte el plug tipo teléfono estereo a la Fotocpuerta y al Canal Digital 1 de la interface. Abra el archivo P05 Caída libre, en el programa *DataStudio*. El programa esta listo para iniciar la toma de datos, haciendo doble clic en el botón de inicio (start). Para mayor información consulte el manual *Physics Labs with Computers, Volume 1: Student Workbook* de PASCO.

Coloque la fotocpuerta en la varilla y esta en un soporte sujeto a la mesa. Dejar caer libremente la regleta como se muestra en el dibujo (ver figura II.4). La pendiente de la gráfica “velocidad vs. tiempo” corresponde el valor de la aceleración con su respectiva incertidumbre.

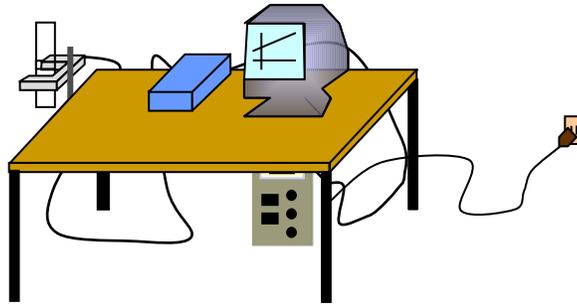


Fig. II.4. La foto compuerta registra los tiempos en que los segmentos oscuros de la regleta cortan el haz infrarrojo. ¿Qué cálculos hace el programa para dibujar la gráfica “ v vs. t ” y obtener de ahí la aceleración de la gravedad?

Lectura II.b Ajuste de rectas por el método de los mínimos cuadrados.

Cuando se tiene n mediciones de puntos experimentales (x_i, y_i) que al graficarlos corresponden a una tendencia rectilínea, el método matemático de los mínimos cuadrados establece un criterio para determinar la pendiente m y la ordenada al origen b de la "mejor" recta que se ajusta a todo el conjunto de los n puntos experimentales.

De acuerdo al libro de Experimentación de D.C. Baird, 2da. Edición y publicado por Pearson Educación en 1988, las expresiones matemáticas de los parámetros que definen la "mejor" recta ajustada, son:

$$m = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \text{y} \quad b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

donde el símbolo \sum es un signo que indica la suma de los términos que aparecen a su derecha desde el primero hasta el último, por ejemplo $\sum x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n$.

Las desviaciones estándar asociadas a estos parámetros se calculan con:

$$S_m = S_y \sqrt{\frac{n}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}} \quad \text{y} \quad S_b = S_y \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}$$

donde S_y es:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - mx_i - b)^2}{n - 2}}$$

Ejercicio IIb. Ajuste de recta por mínimos cuadrados. Copiar la tabla de datos “velocidad y tiempo” de la computadora de la práctica anterior; calcular paso a paso el valor de la pendiente y la ordenada al origen con sus respectivas incertidumbres por el método de mínimos cuadrados y comparar con los correspondientes valores que les dio la computadora.

II.5. MOVIMIENTO CON ACELERACIÓN VARIABLE (un primer acercamiento al oscilador).

META: A partir de la gráfica “posición–tiempo” del oscilador obtenida por la computadora dibujar la gráfica “velocidad–tiempo” a través de calcular pendientes de la primera gráfica.

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizador, 2 resortes de igual “ k ”, ligas, sensor de movimiento, interface y computadora.

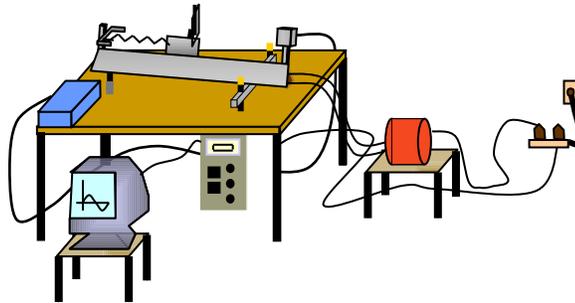


Fig. II.5. La computadora procesa los datos registrados por el sensor y elabora la gráfica de “posición en función del tiempo” para el oscilador.

Lectura II.c Trazado de tangentes sobre curvas.

Cuando se tiene dibujada una curva (no recta) de posición vs. tiempo o velocidad vs. tiempo, es necesario trazar una recta tangente a la gráfica en un punto dado de la curva para determinar la pendiente de esta recta, que puede interpretarse como una velocidad o una aceleración instantánea respectivamente.

Si la curva se ha hecho pasar por un conjunto de puntos determinados experimentalmente o por calculo y se elige en particular uno de ellos. La recta tangente a este punto, es la recta que toca a la curva en este punto, pero no la cruza, esto es, el único punto de contacto entre la curva y la recta tangente, es el punto que nos interesa, pero sin haber ningún cruce.

Para trazar esta recta, se coloca el papel donde está dibujada la curva en un plano y se utiliza un espejo plano (o mejor una lámina pulida que se pueda usar como espejo, ¿por qué?), que se acerca perpendicular al plano de tal forma que se refleje completamente la curva en él, sin que ninguna parte de la curva quede invisible. Se acerca el espejo lo más que se pueda al punto seleccionado para dibujar la recta tangente, de tal manera que también quede tangente a la curva y con un lápiz de punta fina se traza la recta tangente.

II.6 CINEMÁTICA DE MOVIMIENTOS EN EL PLANO. (Trayectorias curvilíneas en el plano)

META: Obtener ecuaciones de las trayectorias y realizar un análisis gráfico (cuantitativo) sobre los vectores: velocidad, cambio de velocidad y aceleración, para movimiento circular uniforme, movimiento de proyectiles, movimiento de un péndulo simple.

Materiales: Mesa de aire, compresora, disco deslizador, hilo, centro de mesa de aire, nivel de albañil, película fotográfica, magazín para película de 135 mm, líquidos reveladores, tanque para revelado, cámara fotográfica, trípode, disparador estroboscópico, regla graduada, proyector de carrete para película de 135 mm; (también puede utilizarse cámara de video)

Ya sea con fotografía estroboscópica o mediante video se registra el movimiento de un disco en una mesa de aire horizontal en un movimiento circular, o el rebote de una pelota de golf que se deja caer sobre una tabla inclinada y que al rebotar sigue, como un proyectil, una trayectoria parabólica, o el movimiento oscilatorio de una plomada y se hace el análisis vectorial gráfico para obtener los vectores de posición, velocidad y aceleración para cada uno de los movimientos. En el caso del rebote de la pelota en una trayectoria parabólica, se hace el análisis gráfico para determinar la ecuación de la trayectoria del movimiento.

Lectura II.d La Fotografía Estroboscópica.

Cuando se trabajó con las fotocpuertas en el riel de aire, la variable experimental independiente era "el cambio de posición" del deslizador y la variable dependiente "el tiempo empleado". Al usar la fotografía estroboscópica se invierten los papeles.

Para fijar la frecuencia de la lámpara **estroboscópica**, conviene determinar el tiempo que dura el movimiento que se quiere registrar y decidir cuantas imágenes o posiciones del objeto, queremos tener en una "foto". Así por ejemplo, si se quiere observar el movimiento durante 2 segundos, y se quiere que aparezcan doce imágenes, entonces se requiere que la lámpara de seis destellos cada segundo que equivale a 360 RPM.

Una vez fijada la frecuencia de la lámpara estroboscópica se tiene que la variable independiente será el lapso (o intervalo de tiempo) entre dos observaciones consecutivas y la variable dependiente será la posición que ocupe la "partícula".

Para tomar la foto verificar que la cámara esté en "bulbo" para que podamos mantener abierto el obturador todo el tiempo necesario. Conviene la máxima apertura (1.8) y que esté bien enfocado el plano donde ocurrirá el movimiento. La cámara, previamente cargada, deberá estar fija en un trípode y el uso del disparador ayuda en esta tarea. Por otra parte, se recomienda que alguien vaya girando la lámpara para seguir al objeto en movimiento para que todas las imágenes queden bien definidas. También es recomendable que en cada foto, además de las escalas aparezca un pequeño letrero indicando la frecuencia del estrobo que se usó para la foto así como alguna otra información que se crea relevante.

Para "cargar" la cámara, reembobinar la película y efectuar el proceso de revelado en cuarto oscuro, usando el tanque de revelado y los líquidos correspondientes, deberás seguir las instrucciones que se te darán al respecto.

Una vez revelada la película, al proyectar el "negativo" nos percatamos de la trayectoria seguida por el objeto así como en qué intervalos la rapidez o celeridad (magnitud del vector velocidad) se mantuvo constante, en cuales aumentaba o en cuales disminuía. Esto corresponde a un primer análisis cualitativo del movimiento. Deberá tenerse cuidado de que al proyectar el negativo no se distorsione la imagen.

Cuando se habla de itinerario nos referimos a algo más que a la trayectoria, ya que el itinerario (que es la información que nos da la foto estroboscópica) nos da la posición como función del tiempo.

Lectura II.e El uso del video para el registro y análisis del movimiento.

Con una cámara de video es posible filmar movimiento en una o dos dimensiones y hacer un análisis manual. Se comentará aquí brevemente como aplicar esta técnica para el estudio de los movimientos.

Al grabar una escena cualquiera con una cámara de video normal, el número de imágenes por segundo que la cámara de video captura sucesivamente es de 30, de tal manera que hay $1/30$ s entre imagen e imagen. Este intervalo de tiempo es fijo para cualquier grabación y se aprovecha en la filmación de movimientos para que al determinar diversas posiciones del objeto en movimiento, se puedan calcular sus velocidades y aceleraciones.

Para explicar el procedimiento manual, consideremos el siguiente ejemplo de movimiento: Supongamos que se graba con una cámara de video, la caída de una pelota de golf desde una altura de 1 m (en la escena del movimiento es necesario que se incluya una regla de 1 m como escala), y que se reproduce la escena utilizando una pantalla de televisión. Sobre la pantalla se coloca un acetato y la escena del movimiento se pasa cuadro a cuadro. Con un marcador, se va señalando en el acetato la posición central de la pelota de golf en cada cuadro y se utiliza la escala que aparece en el video y el tiempo entre imágenes sucesivas dadas también por el video, para hacer una tabla de posiciones y tiempos del movimiento de caída de la pelota de golf. A partir de aquí se siguen las técnicas conocidas del análisis gráfico y analítico para la determinación de velocidades y aceleraciones del movimiento.

Lectura II.f Obtención de la ecuación de la trayectoria del proyectil.

Cuando se tienen datos experimentales de las coordenadas (x, y) de la posición de un proyectil que se mueve en tiro parabólico, por ejemplo, el de una pelota de golf que se deja caer sobre un plano inclinado y que al rebotar se mueve en un plano en un tiro parabólico, se puede determinar por medio de un análisis gráfico, la trayectoria del movimiento.

Lo primero que hay que hacer, es hacer una gráfica de y vs. x en donde el primer punto de la gráfica esté en el origen de coordenadas. Este conjunto de puntos son parte de la trayectoria del movimiento del proyectil que por hipótesis es parabólica.

Para obtener la ecuación de la parábola a partir de las coordenadas de posiciones del proyectil es conveniente hacer un cambio de variable que transforme la curva en una línea recta. El cambio de variable adecuado para este caso, se obtiene al graficar en el eje

vertical en lugar de la variable y y la nueva variable y/x y en el eje horizontal seguir graficando la variable x . (por supuesto la primera pareja de datos, que corresponden a las coordenadas del origen, se descartan en este cálculo, ¿por qué?). El resultado es una línea recta del tipo:

$$\frac{y}{x} = ax + b$$

donde a y b corresponden respectivamente a la pendiente y a la ordenada al origen de la recta, los cuales se miden directamente de la gráfica por métodos geométricos o se aplica el método de mínimos cuadrados para su determinación.

Multiplicando por x la ecuación de la recta, ésta se transforma en:

$$y = ax^2 + bx$$

que es la ecuación de la trayectoria del tiro parabólico.

Conocida la ecuación de la parábola y los parámetros que la definen, se puede determinar una nueva tabla de datos para graficarla y compararla con los puntos experimentales.

Lectura II.g. Análisis gráfico (cuantitativo) sobre los vectores: velocidad, cambio de velocidad y aceleración.

Supongamos que el siguiente dibujo corresponde a una fotografía estroboscópica, siendo 1, 2, 3, etc., las posiciones que fue ocupando el centro de una pelota a intervalos iguales de tiempo (figura II.g). El vector desplazamiento que va de la posición 1 a la 3 nos representa la velocidad media si consideramos como unidad arbitraria de tiempo al tiempo correspondiente en ir de 1 a 3 (figura II.g(a)). Ahora se considera que la velocidad media entre 1 y 3 se aproxima (en magnitud y dirección) a la velocidad instantánea (o simplemente velocidad) en el punto 2. Repitiendo el argumento anterior se concluye que el vector que va de 3 a 5 representa la velocidad de la "partícula" en el punto 4.

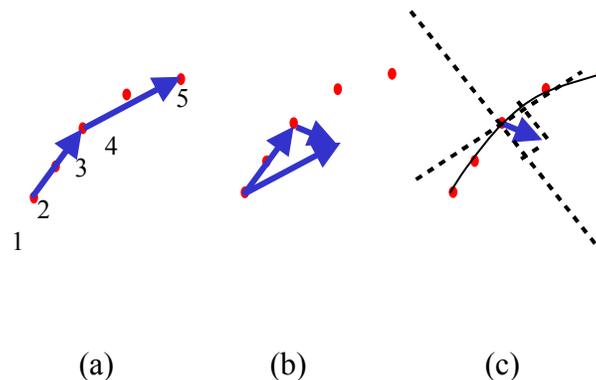


Fig. II.g. Análisis cinemático gráfico usando unidades arbitrarias.

El siguiente paso es calcular (dibujar) el vector **cambio de velocidad**, cuando la partícula se movió de 2 a 4. (Figura IIg(b)). Usando la ley del paralelogramo se dibuja el vector $\Delta \mathbf{v}$, en el punto 3. Como una primera aproximación, podríamos suponer que el cambio de velocidad se produjo instantáneamente en el punto 3 (cómo se discutirá más adelante, esto corresponde al concepto de "fuerza impulsiva" o "impulso instantáneo"). Si en cambio suponemos que $\Delta \mathbf{v}$ se produjo en la unidad de tiempo, entonces este vector nos puede representar ahora el vector "aceleración media".

Finalmente se muestra (Figura IIg(c)) las componentes tangencial y normal del vector aceleración asociadas con el cambio de magnitud y el cambio de dirección del vector velocidad respectivamente. En el caso de un movimiento rectilíneo, solamente hay componente tangencial del vector aceleración y en el caso del movimiento circular uniforme sólo existe la componente normal (o centrípeta en este caso).

Ahora se te pide que hagas el análisis correspondiente en tus propias fotografías estroboscópicas; primero usando unidades arbitrarias de longitud y tiempo como en la explicación anterior y posteriormente hagas los cálculos de las magnitudes de las velocidades, cambio de velocidad y aceleración en unidades de SI.

Se sugiere obtener y analizar fotos estroboscópicas y/o imágenes de video de los siguientes movimientos: caída libre vertical, movimiento circular uniforme (en mesa de aire), tiro parabólico, movimiento circular de una pelota de golf que atada a un hilo describe un círculo en un plano vertical.

III. DINÁMICA DE LA TRASLACIÓN

Lectura III.a Introducción a las Leyes de Newton.

Se observa que sobre una mesa de aire, previamente nivelada, un disco, después de ser impulsado, conserva un movimiento con velocidad constante (en magnitud y dirección), hasta que choca (interacciona) con otro disco o con el alambre de la mesa. En una colisión “instantánea” como se muestra en la foto estroboscópica (1), se puede observar la colisión de dos discos: uno de masa “ m ” y otro de masa “ $2m$ ”. En el esquema 2, se han dibujado los vectores “cambio de velocidad” de ambos. Se observa que estos vectores son colineales y opuestos y que magnitudes de los Δv , están en razón inversa del valor de las masas. De hecho, a través de medir los cambios de velocidad de dos objetos que chocan, puede determinarse la razón de sus masas. Si se conociera el tiempo de duración del choque, se podría calcular el valor de las aceleraciones medias y multiplicadas por las masas respectivas nos darían valores iguales para las fuerzas medias ejercidas por cada uno de los discos sobre el otro. O sea estaríamos ilustrando la tercera ley de Newton; si bien esta ley se refiere a fuerzas instantáneas.

Si ahora uno de los discos tuviera una masa mucho mayor que el otro (o bien, que estuviera pegado a la mesa de aire) entonces sólo se observarían cambios de velocidad en uno de ellos. En realidad este es el problema que se planteó Newton para inferir como era la fuerza que el Sol ejerce sobre planetas y cometas. Para ilustrar mejor esto último, considera el siguiente dibujo (3), que corresponde a una simulación del movimiento de un cometa alrededor del Sol. Los puntos a lo largo de una elipse corresponden a las posiciones que va ocupando el cometa en tiempos iguales. En el dibujo (4) se han construido los vectores cambio de velocidad en dos puntos de la trayectoria. Ambos apuntan hacia uno de los focos de la elipse, donde supuestamente se encuentra el Sol. Además en el punto que está al doble de distancia del “Sol”, la magnitud del cambio de velocidad se reduce a la cuarta parte.

Consideremos ahora el movimiento circular uniforme de un “péndulo cónico” como se muestra en la figura III.a. De acuerdo a lo visto previamente, la “lenteja” del péndulo tiene una aceleración “centrípeta”, pero no se observa que algo la jale hacia el centro de su trayectoria circular (como podría ser el caso del disco que es jalado por cuerda y que describe un MCU sobre una mesa de aire). Lo que se observa es que la lenteja es jalada en la dirección del hilo y además consideramos que la Tierra la jala hacia abajo. La resultante de estas dos fuerzas, de acuerdo a la ley del paralelogramo, debe ser la fuerza centrípeta necesaria para mantener el MCU de la lenteja.

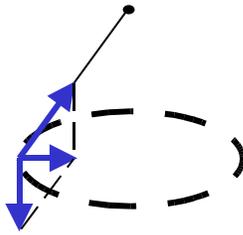


Fig. III.a La fuerza resultante está en la dirección del centro del círculo que describe el movimiento del péndulo.

Luego volveremos a analizar en forma cuantitativa este tipo de problemas, pero por lo pronto nos concentraremos en el caso particular de movimientos rectilíneos, tanto en dirección horizontal, vertical o inclinada. En estos casos, la fuerza resultante sobre el objeto estará en la dirección del movimiento.

III. 1 MOVIMIENTO RECTILÍNEO CON FUERZA NETA CONSTANTE.

META: Predecir y confrontar con el experimento valores de tensión y aceleración en movimientos rectilíneos de un sistema formado por dos objetos unidos por una cuerda que atraviesa una polea con fricción despreciable

Material: Carro de baja fricción, (PASCO), elástico, riel de aire, dinamómetro, pesas, ligas, balanza, plastilina, hilo de cáñamo.

Introducción.

Ya se ha visto que en condiciones de fricción despreciable un objeto conserva su MRU “por si mismo” o sea, va en línea recta con **velocidad constante**. También se ha inferido que las fuerza aplicadas a un objeto en la dirección del movimiento se equilibran o sea la fuerza neta es nula cuando el objeto conserva un MRU; por ejemplo, si al aplicar una fuerza constante a un bloque sobre la mesa, este mantiene un MRU entonces la fuerza aplicada se equilibra con la fuerza de fricción cinética sobre el objeto, como se vio anteriormente. Ahora veremos, para el caso de movimiento rectilíneo, que al aplicar una fuerza no equilibrada a un objeto (en condiciones de fricción despreciable) éste se acelera o sea, aumenta o disminuye continuamente su velocidad.

Se define operacionalmente la unidad de fuerza (el newton), jalando un carrito de un kg de masa, a partir del reposo, con un dinamómetro que marque 1N, durante 1 segundo y observando que posteriormente el carrito, moviéndose libremente, recorre 1 metro en un segundo (en condiciones de fricción despreciable). Se muestra que para que un objeto de doble masa (2m) se acelere igual que otro de masa m, se requiere aplicarle una fuerza del doble de magnitud, jalando simultáneamente dos carritos.

Procedimiento experimental:

Sujeta un dinamómetro a un carro de baja fricción con una masa de 1kg. (ver figura III.1). Ensaya a jalar el dinamómetro junto con el carro, manteniendo una fuerza de 1 N durante un segundo (s). Notarás que durante este jalón el carro, partiendo del reposo, recorre una

distancia aproximada de 0.5 metro (m). Enseguida el carro moviéndose libremente (suponiendo despreciable la fricción) recorre un metro en un segundo. Esto significa que después de jalar con una fuerza de 1N al carro de 1kg de masa durante 1 s, adquiere una velocidad de 1 m/s. Por lo anterior se infiere que la aceleración del carro durante el jalón fue de $1 \text{ m} / \text{s}^2$.

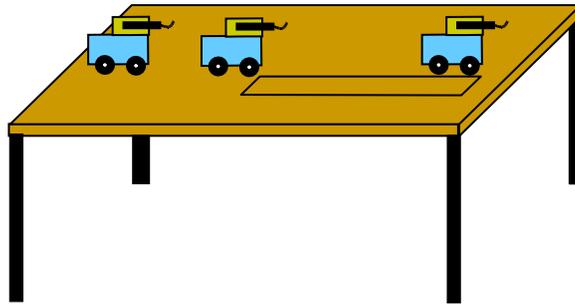


Fig. III.1. Un impulso de 1 Ns (jalar con la mano el dinamómetro unido al carrito durante 1 s con una fuerza de 1 N) sobre un objeto de 1 kg, inicialmente en reposo, le imprime a este una velocidad de 1 m/s (avanza 1 m durante el siguiente segundo).

III. 1.a. MEDICIÓN DE LA FUERZA CONSTANTE.

META.- Utilizar la segunda ley de Newton para predecir valores de la tensión del hilo que jala al deslizador y de la aceleración de éste y confrontar estos valores con los experimentales en diferentes arreglos.

Materiales: Carro de baja fricción, dinamómetro y balanza.

Introducción.

Procedimiento experimental:

Considerar el siguiente sistema formado por deslizador con dinamómetro, riel de aire, hilo, polea y pesa como se muestra en la figura III.1.a. Cuando el deslizador cuya masa es de 0.30 kg, se detiene con la mano, observa que el dinamómetro marca 0.98 N (que corresponde a la tensión del hilo y al peso de pesa de 100g). Se trata de predecir la lectura del dinamómetro cuando el deslizador sea liberado y el valor de la aceleración del mismo. Posteriormente confrontar los valores predichos para la tensión y la aceleración con valores medidos.

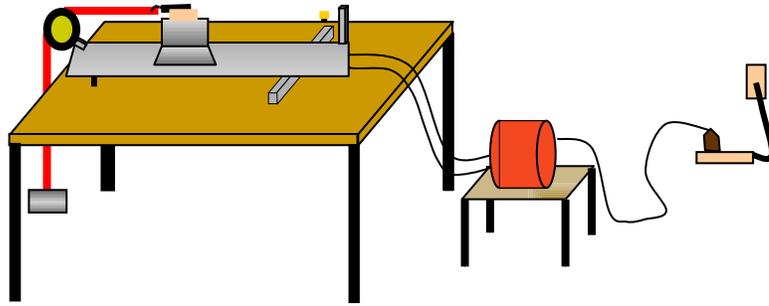


Fig. III.1.a. Se trata de predecir el valor de la aceleración y lo que marcaría el dinamómetro cuando se suelte el deslizador que inicialmente esta detenido con la mano.

En vez del dinamómetro se puede utilizar un trozo de medio metro de elástico de poliéster y calibrarlo para que funcione como dinamómetro.

Comentarios y Sugerencias: Al soltar el deslizador, el resorte del dinamómetro unido al deslizador, comenzará a oscilar y mientras se amortigua la oscilación el deslizador recorre la distancia disponible sobre el riel, mientras su velocidad aumenta. Para reducir o eliminar este efecto transitorio y alcanzar el resultado “estacionario”, o sea una lectura constante en el dinamómetro, se recomienda fijar con la mano la lectura esperada en el dinamómetro, de tal manera que al soltarlo, la lectura no varíe.

Para medir la aceleración que adquiere el deslizador, conviene desconectar el dinamómetro para evitar las oscilaciones.

Ahora variar la condición inicial, ayudándose con una liga imprimir al deslizador una velocidad inicial en sentido opuesto a la fuerza aplicada ¿cómo esperas que sean los valores para la aceleración y para la tensión del hilo, comparados con el caso anterior?

III.1.b. LA MÁQUINA DE ATWOOD.

META: Utilizar la segunda ley de Newton para obtener el valor de la aceleración de la gravedad, “g”.

Materiales: Polea de baja fricción, pesas, hilo, soporte, dinamómetro, fotocpuerta, interface y computadora.

Más adelante se considerará el momento de inercia de la polea y la torca de fricción en la polea para corregir el valor de “g” obtenido.

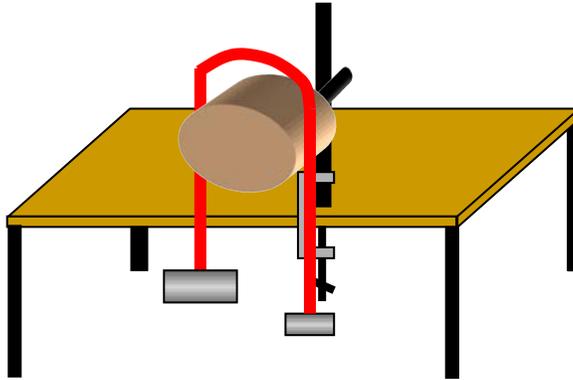


Fig. III.1.b. Se busca que la relación de masas sea tal que la aceleración sea alrededor de 1 m/s^2 o sea que tarde mas de 1 segundo en recorrer 1 metro.

III.1.c. MEDICION DE LA FUERZA CONSTANTE DANDO AL RIEL UNA CIERTA INCLINACIÓN.

META: Mostrar como los casos anteriores (a y b) se pueden ver como casos particulares del sistema “c”.

Materiales: Riel de aire, compresora, elástico, polea, pesas, ligas, plastilina, hilo de cáñamo, dinamómetro o sensor de fuerza, fotocpuertas, sensor de movimiento, interface y computadora.

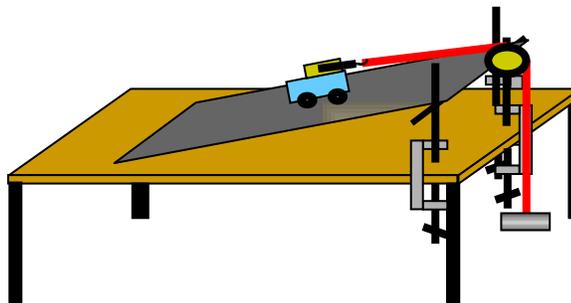


Fig. III.1.c Una variante intermedia entre la actividad (a) y (b) es utilizando el plano inclinado. Los casos límites son precisamente los anteriores.

Procedimiento experimental:

Considerar el sistema armado en la actividad III.1.a, pero ahora inclinando ligeramente el riel. Medir la tensión del hilo cuando el deslizador sea liberado y el valor de la aceleración del mismo. Posteriormente confrontar los valores predichos para la tensión y la aceleración con valores medidos.

III.2 FUERZA DE FRICCIÓN CINÉTICA (“seca”)

META: Determinar el valor del coeficiente de fricción cinético para superficies de diferente textura. Predecir el valor de la fuerza de fricción cinética para diferentes inclinaciones de la mesa sobre la cual se mueve un bloque.

Material: bloques de madera, dinamómetro, regla, transportador.

Introducción.

Como ya se ha dicho, parece que los cuerpos se detienen “por si mismos” después de ser impulsados sobre una superficie horizontal. Sin embargo, cuando se reduce el rozamiento o fricción cinética, hasta hacerla despreciable, como en el caso del riel de aire o la mesa de aire o con carros de baja fricción en rieles planos, los objetos (deslizador y disco o carrito de baja fricción) mantienen su movimiento rectilíneo uniforme. Por tanto, al igual que Galileo, ya no pensamos que los objetos se detienen “por si mismos” sino que requieren de la acción (fuerza) de otro cuerpo sobre él para que cambie su velocidad.

Procedimiento experimental:

- a) Con ayuda de un dinamómetro, medir la fuerza que se requiere para jalar un bloque de madera sobre una tabla de madera, con velocidad constante. Esta fuerza debe estar equilibrada con la fuerza de fricción cinética, opuesta al sentido del movimiento, o sea, la fuerza neta debe ser cero.
- b) Repetir lo anterior pero poniendo dos bloques encimados y después tres bloques encimados (de igual masa). ¿Se observa que la fuerza necesaria es aproximadamente doble y triple respecto al primer caso? De ser así, el cociente que resulta de dividir la fuerza de fricción entre el peso del bloque se mantiene constante, dentro la incertidumbre experimental, y se denomina coeficiente de fricción cinético y suele abreviarse con la letra “ μ_c ”.
- c) Otra forma de determinar el valor de μ_c , sin usar dinamómetro, consiste en inclinar la tabla con el bloque encima, ir aumentando la inclinación y dando pequeños golpes al bloque, hasta lograr que el bloque se deslice con velocidad constante. Llamaremos a este ángulo formado por la tabla con la horizontal, ángulo crítico. El valor de “ μ_c ” corresponde al valor de la tangente del ángulo crítico, ¿Por qué?
Obtener el valor de “ μ_c ”, midiendo el valor de la tangente del ángulo crítico. Comparar este valor con el obtenido previamente, considerando la incertidumbre experimental.
- d) Repetir los pasos anteriores pero ahora apoyando al bloque sobre una cara de menor área ¿se obtienen resultados similares?
- e) Repetir los pasos anteriores pero apoyando el bloque en una cara de diferente textura.
- f) Ahora viene lo bueno: Para ángulos diferentes al ángulo crítico predecir los valores de la fuerza con que hay que jalar al bloque para que suba o para que baje “lentamente” con velocidad con velocidad constante y confrontar con el experimento.
- g) Para un ángulo “un poco” mayor que el ángulo crítico, dale un impulso al bloque para que alcance a ascender por la tabla. Antes de hacerlo ¿cómo espera que sean los tiempos de ascenso y descenso? ¿Iguales? ¿O alguno mayor que el otro? Razona tu respuesta. ¿Corresponde lo esperado a lo observado?

- h) Montar un dispositivo similar al de la actividad III.1.c, (bloque sobre plano inclinado, polea, dinamómetro, hilo y pesa, pero considerando ahora la fricción cinética.

Sugerencia: Usar el “riel de baja fricción”, un bloque de madera sobre el carrito de baja fricción, de tal manera que según se asienten las ruedas del carrito o una cara del bloque, sobre el riel se hará o no se hará despreciable la fricción.

III.3 MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS CON FUERZA VARIABLE.

Las fuerzas no equilibradas, al ser aplicadas a los objetos les producen movimiento, pero las fuerzas pueden ser dependientes de la posición o de la velocidad. Para poder predecir que movimiento produce una fuerza para condiciones iniciales dadas, podemos usar la segunda ley de Newton, o aplicar un método numérico, para finalmente confrontarlo con la realidad, que es nuestro resultado experimental.

III.3.A MOVIMIENTO RECTILÍNEO CON FUERZA VARIABLE, QUE ES FUNCIÓN DE LA POSICIÓN.

META: Obtener experimentalmente cómo depende una fuerza de la posición y a través de métodos numéricos o usando la segunda ley de Newton, predecir movimientos para condiciones iniciales dadas.

Materiales: Riel de aire (2), compresora (2), deslizador (2), resortes (4 de igual “k”), nivel, ligas, pesas, plastilina, dinamómetro, balanza, regla graduada, sensor de movimiento, interface y computadora.

Procedimiento experimental:

- a) Montar dos osciladores (deslizador con dos resortes sobre riel de aire horizontal) idénticos y dejar que oscilen con la misma amplitud.
- b) Dejar que oscilen en fase pero con diferentes amplitudes.
- c) Inclinarse uno de los rieles y dejar que oscilen en fase.
- d) Con los dos rieles horizontales, aumentar la masa de uno de ellos y comparar los períodos de oscilación.
- e) Con masas iguales, incrementar la constante de uno de los resortes “suprimiendo” un cierto número de espiras, y comparar los períodos de oscilación.
- f) Inferir de lo anterior que el período es independiente de la amplitud y de una fuerza constante (que sólo cambia el punto de equilibrio) y que el período es una función de la constante de Hooke (k) y de la masa (m).

Hemos visto que el período del oscilador (sistema masa-resorte) depende tanto de la masa como de la constante de los resortes. También vimos que el período del oscilador no cambia al variar la amplitud ni al inclinar el riel de aire, o sea que depende de la masa pero no del peso.

Por cierto ¿funcionaría en estado de impesantez? (dentro de una nave espacial con los motores apagados)

- f) A partir de la segunda ley de Newton y de la ley de la fuerza (ley de Hooke), se infiere que $a = - (k/m) x$.

- g) Medir los valores de “m” y de “k” del sistema. Mostrar que la “k” del sistema es igual a la suma de los valores de las constantes de cada resorte.
- h) Usando método numérico, predecir el valor del período (lapso para el cual el deslizador recupera las condiciones iniciales). Mostrar este valor como un límite cuando “delta t”, intervalo de integración, tiende a cero y confrontar con el valor experimental

Lectura III.a Métodos Numéricos

La dinámica del movimiento de un cuerpo de masa m que está sujeto a una fuerza F , está determinada por la segunda ley de Newton, que en una dimensión se expresa como:

$$F = ma \quad (1)$$

donde a es la aceleración del cuerpo.

La ecuación (1) puede expresarse también de la siguiente forma:

$$F_m \Delta t = m \Delta v = m(v_f - v_i) \quad (2)$$

en donde F_m es el valor medio de la fuerza en el intervalo Δt , Δv es el cambio de velocidad del cuerpo en ese intervalo y v_i y v_f son las velocidades correspondientes al principio y al final del intervalo de tiempo. La velocidad final v_f se puede despejar en (2) en términos de la velocidad inicial y de la fuerza media aplicada, esto es:

$$v_f = v_i + (F_m/m) \Delta t \quad (3)$$

Y por otra parte, para determinar la posición final x_f del cuerpo al final del intervalo de tiempo a partir de su posición inicial x_i , recurrimos a la definición de velocidad media v_m , es decir:

$$v_m = \Delta x / \Delta t = (x_f - x_i) / \Delta t \quad (4)$$

en donde Δx es el desplazamiento del cuerpo durante el intervalo de tiempo y x_i es la posición del cuerpo al principio del intervalo del tiempo. La posición final del cuerpo x_f se puede obtener de (4), de la siguiente manera:

$$x_f = x_i + v_m \Delta t \quad (5)$$

En principio de las expresiones (3) y (5) se pueden determinar los valores de x_f y v_f al final de un intervalo de tiempo Δt , a partir de los valores iniciales x_i y v_i y del conocimiento de la fuerza F que se aplica sobre el cuerpo.

Tomando los valores finales de la posición y la velocidad del cuerpo como iniciales y conociendo la fuerza en todo momento, se puede repetir el procedimiento para el siguiente intervalo de tiempo (igual al anterior) para obtener nuevos valores de la posición y de la velocidad del cuerpo, al final del nuevo intervalo de tiempo. Es decir, si continuamos este procedimiento iterativamente durante diversos intervalos de tiempo iguales y consecutivos, es posible conocer la dinámica del movimiento desde el tiempo

inicial y hasta un tiempo final en que consideremos que las características de la fuerza aplicada sobre el cuerpo han cambiado. Para mayor información de métodos numéricos consultar el Apéndice C.

III.3b MOVIMIENTO CON FUERZA DEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD. VELOCIDAD TERMINAL. (Experimento demostrativo)

META: verificar si el modelo de fuerza, $F = -r v$, corresponde al frenado magnético y en ese caso determinar el valor de “r” para un deslizador con imanes. Verificar si a su vez “r” es proporcional a la masa del deslizador.

Materiales: Riel de aire largo, compresora, deslizador, imanes de cerámica (8 iguales), ligas, resotera de elástico, transportador, flexómetro, regla graduada, sensor de movimiento, interface y computadora.

Introducción.

Posiblemente sabes que en las paredes entre las que oscila la cuchilla de la balanza hay imanes cuya función es amortiguar la oscilación de la cuchilla; si no lo sabías acerca un clip para que te convenzas. En el museo tecnológico, en la segunda sección de Chapultepec quizás hayas visto algo más espectacular: Una disco de cobre se hace girar rápidamente y cuando se acciona el electroimán a los lados del mismo se produce un frenamiento brusco. La explicación de este fenómeno corresponde a un futuro curso de electromagnetismo. Lo importante aquí será ver si esta fuerza de frenamiento es proporcional a la velocidad relativa entre los imanes y el material conductor.

Procedimiento experimental.

Con una pequeña inclinación del riel, se le imprime al deslizador una velocidad mayor que su velocidad terminal, con ayuda de un pedazo de elástico colocado transversalmente al riel, que actúa a modo de resotera al presionar el deslizador en contra de él. Se sigue el movimiento con el sensor a través de los rebotes del deslizador. Como sabemos, en cada rebote en las ligas que se colocan en extremo del riel, el deslizador disminuye su rapidez además de invertir el sentido de su velocidad. De tal manera que mientras su velocidad sea mayor que la terminal en las bajadas se espera observar una disminución constante de la velocidad (ya que la magnitud de la fuerza de fricción será mayor que la de la componente de la fuerza de gravedad a lo largo del riel). Sin embargo si después de cierto rebote resulta que la velocidad ya es menor que la terminal entonces se espera que en las bajadas la velocidad vaya aumentando. Por otra parte durante las subidas siempre esperearemos disminución continua de la velocidad ya que ambas fuerzas (gravedad y fricción) siempre serán opuestas a la velocidad. Resultará interesante que una vez determinada la velocidad terminal, se busque, controlando el impulso con la resotera, comunicarle inicialmente dicha velocidad y verificar si la mantiene en la bajada.

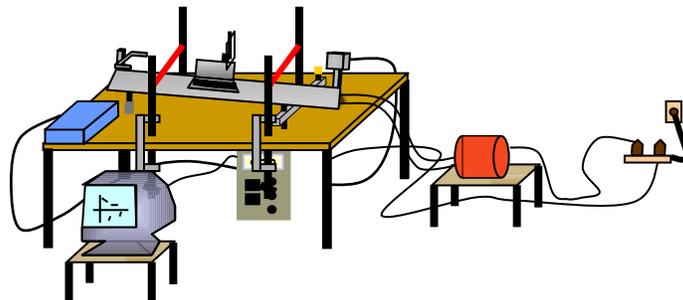


Fig. III.3.b. Si se le imprime al deslizador una velocidad mayor que la terminal se irá frenando de bajada.

Una vez logrado lo anterior, se trata de duplicar el ángulo de inclinación (o mejor dicho el seno del ángulo) y ver si se duplica el valor de la velocidad terminal. Luego se triplica y se cuadriplica. Si se verifica la hipótesis de que $f = -r v$, entonces se puede obtener el mejor valor de “r”. Finalmente habrá que ver si “r” es proporcional al valor de la masa del deslizador. Para ello se podrá aumentar la masa del deslizador agregándole un bloque de plastilina y ver en que proporción aumenta la velocidad terminal para un cierto ángulo.

III.3.c EL OSCILADOR AMORTIGUADO. $F(x, v)$

META: Emplear la ley de la fuerza obtenida en el experimento anterior y el método numérico para predecir la vida media del oscilador amortiguado y confrontar con el experimento.

Materiales: Riel de aire (2), compresora (2), deslizador con imanes, deslizador, plastilina, resortes (4 de igual “k”), nivel, cronómetro, flexómetro, regla graduada, sensor de movimiento, interface y computadora.

Procedimiento experimental:

- a. Con dos osciladores en sendos rieles de aire, con sistemas de resorte de igual constante y con deslizadores de igual masa: uno con imanes y el otro con plastilina para igualar la masa, mostrar que el período del “ligeramente amortiguado” es prácticamente igual que el del no amortiguado.
- b. A partir del método numérico y utilizando el valor de “r” obtenido previamente, predecir el tiempo, o el número de oscilaciones para que la amplitud inicial del oscilador amortiguado se reduzca a la mitad (vida media) y confrontar este valor con el experimento.

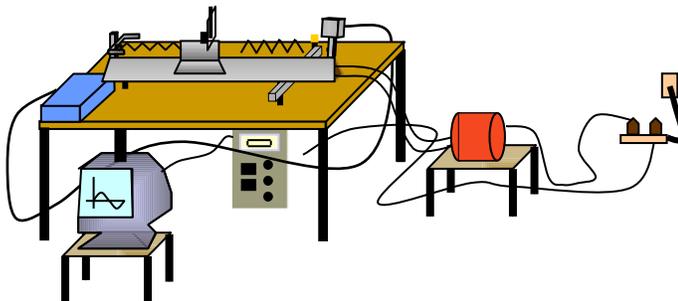


Fig. III.3.c La interacción que se crea entre el riel y el deslizador debido a los imanes en las faldas del deslizador es de fricción dependiente de la velocidad.

III.3.d OSCILADOR AMORTIGUADO CON FRICCIÓN “seca”.

META: Para una constante de los resortes, un valor de la masa y un valor de la fricción, utilizar el método numérico para predecir la vida media del oscilador amortiguado y confrontar con el experimento.

Materiales: Carro de baja fricción, bloque de madera, riel de aluminio, resortes (2 de igual “k”), nivel, soportes, cronómetro, flexómetro, regla graduada, sensor de movimiento, interface y computadora.

Procedimiento experimental.

Armar un oscilador como el mostrado en la figura II.3.c pero, para poder controlar el valor de la masa y la fricción de manera independiente se recomienda usar un carro de baja fricción unido a un bloque de madera que se desliza sobre la mesa o un riel de aluminio.

III.3.e CAÍDA VERTICAL CON RESISTENCIA DEL AIRE: $F(mg, v)$.

META: Obtener empíricamente la ley de la fuerza para la caída vertical de “paquetes” de filtros de café.

Materiales: Filtros de café nuevos (en forma de canasta), balanza, regla graduada, sensor de movimiento, interface y computadora.

Procedimiento experimental.

Para determinar la relación de proporcionalidad de la resistencia del aire con el cuadrado de la velocidad en la caída de “paquetes” de filtros de café, mediante la medición de la velocidad terminal de uno, dos, tres, cuatro y tal cinco filtros de café anidados. El análisis gráfico de las velocidades terminales versus los pesos de los “paquetes” de los filtros de café con un cambio de variable apropiado, dan como resultado el coeficiente de proporcionalidad entre la fuerza de resistencia del aire y el cuadrado de la velocidad de caída.

III.4 DINÁMICA DE MOVIMIENTOS EN EL PLANO

META: Analizar gráficamente la magnitud y dirección de las fuerzas y usando la segunda ley y con el método numérico predecir el itinerario de objetos que se mueven en un plano.

Análisis gráfico de fotos estroboscópicas (retomar las analizadas cinemáticamente). Inferir el valor de la tensión del hilo en el caso del péndulo. Confrontar estos valores de la

tensión con los que se obtienen experimentalmente, colgando el péndulo a un sensor de fuerza. *Jugar con la simulación, en página web, del péndulo de resorte y considerar el caso cuando la constante del resorte tiende a “infinito”, que corresponde al hilo “inextensible” del péndulo.*

Análisis gráfico de simulaciones: inferir la ley de la fuerza (inverso del cuadrado) a partir de las posiciones a tiempos iguales de un satélite que describiera una órbita elíptica con suficiente excentricidad o un cometa alrededor del Sol.

III.4.a MOVIMIENTO DE DISCOS SOBRE UNA MESA INCLINADA CON FRICCIÓN SECA.

META: Analizar cualitativamente las fuerzas que se ejercen sobre un disco que se mueve en una trayectoria curva en un plano inclinado, para proponer un modelo que pueda ser resuelto mediante un método numérico que prediga la trayectoria que posteriormente se determinado mediante la grabación en video del movimiento.

Materiales:

Análisis del movimiento de un disco que se coloca en lo alto de una mesa inclinada casi a punto de resbalar y que con un empujón paralelo al borde horizontal y superior de la mesa se mueve lateralmente y hacia abajo en una trayectoria curva que tiende a ser rectilínea hacia abajo del plano de la mesa. El análisis cualitativo del movimiento, da indicaciones de cómo la fricción seca y la componente del peso del disco en dirección hacia abajo del plano de la mesa determinan una fuerza resultante que junto a las condiciones iniciales gobiernan la dinámica del movimiento del disco. En la predicción de la trayectoria que seguirá el disco, es ideal utilizar el método numérico para la solución de la segunda Ley de Newton y compararla con los datos experimentales que se pueden obtener mediante la grabación de un video.

III.5. MARCOS DE REFERENCIA INERCIALES Y NO-INERCIALES. Experimentos demostrativos.

META: Describir cinemática y dinámicamente, un movimiento desde diferentes sistemas inerciales y en sistemas acelerados

Materiales: Plataforma giratoria, mesa giratoria, tripie cámara fotografica (2), estrobotac, película “Marcos de referencia” del PSSC.

El sistema de laboratorio puede considerarse un MRI, al igual que el marco de referencia fijo al CM cuando no hay fuerza externa.

Con un voluntario (a) que se siente sobre la plataforma giratoria, se puede ilustrar el significado de las fuerzas ficticias (centrífuga y de coriolis) así como el principio del péndulo de focault. También es muy recomendable ver la película marcos de referencia del PSSC.

IV. COLISIONES.

IV.1. COLISIONES FRONTALES.

META. Medir la masa de un objeto que es colisionado aplicando la conservación del momentum en colisiones frontales en el riel de aire y calcular el coeficiente de restitución entre los deslizadores que chocan.

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizadores (2), nivel, tripie, disparador, cámara fotográfica, estroboscopia o cámara de video o fotocpuertas o sensor de movimiento, interfase y computadora.

IV.2. COLISIONES NO FRONTALES.

META: Mostrar como se determina la relación de masas en una colisión no frontal e ilustrar la conservación del momentum y de la energía cinética para colisiones elásticas.

Materiales: Balines de diferentes tamaños, rampas curvas, soportes, papel, papel carbón, regla graduada y transportador.

Una manera de comparar las masas de dos objetos es provocando una colisión entre ellos. Experimentalmente se observa que los **vectores cambio de velocidad**, producidos por la colisión, son paralelos y sentidos opuestos. Por definición, el cociente que resulta de dividir las magnitudes de estos vectores es el inverso de la relación de las masas correspondientes.

Procedimiento experimental.

Con un dispositivo como el que se ilustra abajo, se trata de provocar una colisión no frontal entre una canica más grande (proyectil) que se deja rodar desde una altura predeterminada de la rampa, y una más pequeña (blanco), que estará inicialmente en reposo.

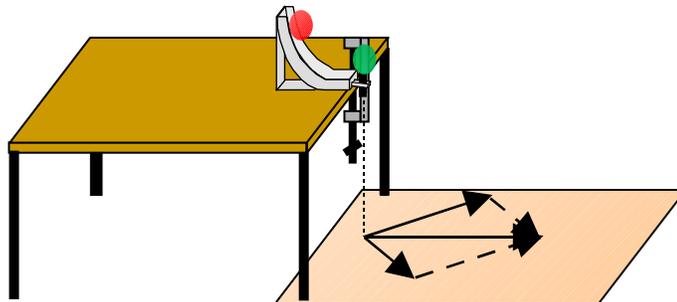


Fig. IV.2. Sobre una mesa se coloca una rampa curva con perfil curvo. En el extremo inferior se coloca un soporte que sostendrá una pelota. En el piso se coloca papel y sobre este papel carbón.

- Deberá tenerse cuidado en los siguientes detalles:
- i) El tornillo que soporta al blanco deberá ajustarse para que en el momento de la colisión los centros de ambas canicas estén a la misma altura.
 - ii) El blanco deberá estar alejado lo suficiente para que en el momento del impacto la mitad de la canica grande, ya esté fuera de la rampa.
 - iii) Se deberá asegurar el soporte del blanco (apretando la pija) con objeto de repetir la colisión.
 - iv) Posteriormente se ajusta el soporte para variar el “ángulo de impacto” y repetir nuevamente el proceso.

La hipótesis fundamental es que las canicas emplean el mismo tiempo en caer y que por tanto los desplazamientos horizontales (alcances de las canicas) son directamente proporcionales a las componentes horizontales de las velocidades que se mantienen constantes durante la caída.

Así por ejemplo, si al hacer el experimento, se obtuviera un registro en el papel con marcas del origen, alcance de la canica grande cuando no choca, alcance de la canica grande después de que choca y alcance de la pequeña, como el mostrado abajo,

$$\text{Se inferiría que } M_p / M_b = [\Delta V_b] / [\Delta V_p]$$

Ejercicio: Colisiones lentas y las leyes de newton.

Analizar el negativo de una fotografía estroboscópica de dos discos magnéticos, que interaccionan repeliéndose mutuamente. De ahí ilustrar las tres leyes de movimiento de Newton, destacando lo siguiente:

1. Cuando están más alejados que cierta distancia crítica, los discos siguen un movimiento rectilíneo uniforme, dentro de la incertidumbre experimental. Durante 10 exposiciones se aprecia como ambos discos sufren aceleraciones ya que cambian continuamente la dirección de su movimiento. Posteriormente cuando vuelven a alejarse uno del otro mantiene cada uno un movimiento rectilíneo uniforme.
2. Los respectivos cambios de velocidad son colineales y opuestos, pero la magnitud del cambio de velocidad del disco de masa doble es la mitad que la del otro. Otro tanto se puede decir acerca de las aceleraciones medias. Por lo que respecta a las fuerzas medias ejercidas sobre cada disco puede inferirse que fueron opuestas y de igual magnitud.
3. Si se marcan las posiciones que fue ocupando el centro de masa del sistema (formado por los dos discos) puede verse que el CM mantiene una velocidad constante (magnitud y dirección) antes, durante y después de la colisión. De ahí se infiere que en cada instante, durante la interacción, la fuerza que el disco “A” ejerció sobre el disco “B” era de igual magnitud y sentido opuesto a la fuerza que el disco B ejerció sobre “A”. Esta última aseveración corresponde precisamente a la tercera ley de Newton que en la literatura se le conoce comúnmente como la ley de “acción y reacción”, pero es preferible referirse a ella como la “ley de interacción de Newton”

4. También puede inferirse que la colisión fue elástica, comparando la magnitud de las velocidades relativas, antes y después de la colisión.
5. Finalmente podría describirse la colisión desde un marco de referencia que se mueva con la velocidad (magnitud y dirección) del centro de masa. Ahí se mostraría que la colisión siempre es frontal vista desde el CM, que el momentum del sistema vale cero y que la energía cinética del sistema tiene su valor mínimo (comparado con el que tendría en otro marco de referencia)

IV.3. COLISIONES LENTAS Y CENTRO DE MASA.

METAS. Mostrar que el CM tiene un MRU durante la colisión y de ahí inferir la validez de la tercera ley de Newton. Analizar la colisión desde el sistema de referencia del CM. De la no conservación de la EC del sistema durante la colisión elástica, establecer el concepto de energía potencial o energía de configuración.

Materiales: Mesa de aire, compresora, discos deslizadores con imán, nivel, tripie disparador, cámara fotográfica, estrobotac, o cámara de video.

IV.4. DOS MASAS UNIDAS CON UN RESORTE

METAS. Mostrar que el CM tiene un MRU durante la implosión y determinar a partir del CM las fuerzas que se ejercen sobre las masas del sistema. Dividir el resorte de constante en dos a partir del CM y determinar las constantes k_1 y k_2 de cada tramo de resorte para explicar las fuerzas que se ejercen en cada masa a los extremos del resorte.

Materiales:

V. TRABAJO Y ENERGÍA MECÁNICA.

V.1. TRABAJO REALIZADO POR UNA FUERZA CONSTANTE.

META: Predecir la velocidad que adquiere el deslizador, de masa conocida, cuando a partir del reposo recorre una cierta distancia mientras se le aplica una fuerza constante, en condiciones de fricción despreciable, y confrontar esta predicción con el valor medido de la velocidad.

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizador, polea, pesas, hilo, sensor de movimiento, interfase, computadora, balanza.

Introducción.

De la segunda ley de Newton se sigue que si se ejerce una fuerza neta constante F sobre un cuerpo de masa m , que parte del reposo, a lo largo de una distancia d , adquiere una velocidad v , de tal manera que: $F d = \frac{1}{2} m v^2$ (Demuéstralo)

El término de la izquierda corresponde al trabajo realizado sobre el objeto y el término de la derecha corresponde al incremento de la energía cinética del objeto.

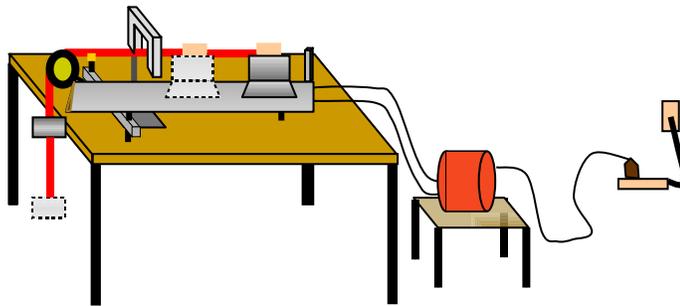


Figura V. 1. A lo largo de la distancia d , el hilo jala con fuerza constante al deslizador. Después de que la pesa pega con el suelo, el hilo se afloja y el deslizador mantiene su velocidad.

Procedimiento experimental.

Con referencia al sistema anterior, dejar colgar la pesa, de tal manera que toque el piso, cuando el deslizador vaya a la mitad del riel (ver figura V.1). Calcular el trabajo que se realiza sobre el deslizador. El valor de la fuerza ejercida sobre el deslizador es igual a la tensión del hilo. Recordar que la tensión del hilo cuando se acelera el deslizador es menor que mg (actividad III.1.a). Predecir la velocidad que se espera que adquiera al deslizador usando la ecuación anterior. Ahora con ayuda de una fotoc compuerta medir la velocidad constante del deslizador en la parte final del riel.

Análisis energético del sistema anterior: Predecir el valor de la velocidad que adquirirá el deslizador y la pesa que cae, cuando a partir del reposo haya descendido una distancia predeterminada. Suponiendo que la energía mecánica se conserva desde el momento en

que se libera al deslizador hasta que la pesa pegue con el piso. (En el momento en que la pesa toca el suelo, el deslizador cesa de acelerar y mantiene su velocidad).

Se supone que la energía potencial que ha perdido la pesa **mgd**, desde que comienza a caer hasta el momento que va a pegar en el suelo, es igual a la suma de la energía cinética del deslizador más la energía cinética de la pesa.

V.2. TRABAJO NEGATIVO REALIZADO POR LA FRICCIÓN.

META: Predecir la distancia que recorre un bloque, al ser detenido por la fricción.

Materiales, Bloque de madera o carro de baja fricción con bloque de madera, hilo, polea, pesas balanza, flexometro, sensor de movimiento, interfase y computadora

Repetir el experimento anterior pero haciendo que el bloque de madera se mueva sobre una tabla en posición horizontal. Conociendo previamente el valor de la fuerza de fricción cinética, así como la masa del bloque predecir la distancia que recorrerá sobre la tabla antes de detenerse. Confrontar con el experimento.

V.3. PÉNDULO “INTERRUMPIDO”. (Péndulo donde el hilo se intercepta con un clavo).

META.- Predecir la mínima altura a que hay soltar un péndulo, que es interceptado por un pivote, para que describa un movimiento circular y confrontar con el experimento.

Materiales: Plomada, hilo, soportes, varillas o pivotes, tripie, disparador, cámara fotográfica, estrobotac o cámara de video.

Sugerencia. Usar la conservación de la energía mecánica y la relación entre la tensión de la cuerda, la fuerza de gravedad y la fuerza centrípeta.

V.4. TRABAJO REALIZADO POR UNA FUERZA VARIABLE. (Área bajo la curva “F vs. x”)

META: Predecir la velocidad que adquiere el deslizador cuando es impulsado con la resorte y confrontar este valor predicho, con el valor medido de la velocidad

Materiales: Riel de aire, compresora, deslizador, hilo elástico, dinamómetro, flexómetro, regla graduada, fotocompuerta.

Introducción.

Hemos visto que cuando se aplica una fuerza constante en la dirección del movimiento, el trabajo (en joules) se calcula multiplicando el valor de la fuerza (en newtons) por la distancia recorrida (en metros). En una gráfica “**F vs. x**”, el trabajo se representa por el área del rectángulo (ver figura).

En el caso de que la fuerza tome diferentes valores para diferentes valores de x, entonces el trabajo corresponde al “área bajo la curva” o bien a la integral definida de $\int_a^b F(x) dx$.

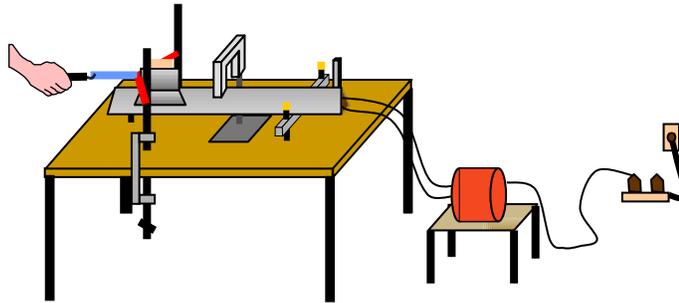


Fig. V.4. Se trata de medir la fuerza que ejerce el elástico sobre el deslizador en diferentes posiciones, equilibrando la fuerza que ejerce el elástico con la fuerza que ejerce el dinamómetro que se detiene con la mano.

Procedimiento experimental:

- a. Medir, equilibrando con un dinamómetro o con pesas (ver figura V.4), la fuerza que ejerce la resorte sobre el deslizador en diferentes posiciones.
- a. A partir de los datos anteriores, elaborar la gráfica “fuerza en función de la posición”, ajustando una curva suave a los datos experimentales.
- b. Estimar el valor de área bajo la curva y de ahí el trabajo que realiza la resorte sobre el deslizador mientras lo impulsa.
- c. Mediante algún cambio de variable, tratar de obtener una función analítica $F(x)$. Realizar la integral definida y comparar con el resultado obtenido previamente.
- d. Suponiendo que la energía cinética que adquiere el deslizador es igual al trabajo realizado sobre él, predecir la velocidad que adquiere cuando es impulsado (con su respectiva incertidumbre porcentual y absoluta)
- e. Predecir el valor de la velocidad si se duplicara la masa del deslizador y luego confrontar con el experimento.
- f. Predecir la inclinación que debe darse al riel, para que el deslizador se detenga justo al llegar al extremo superior y confrontar con el experimento.

VI. ESTÁTICA DEL CUERPO RÍGIDO.

VI. 1 FRICCIÓN ESTÁTICA (“fuerza de atadura o de adherencia”)

Meta. Medir el coeficiente de fricción estática entre superficies en contacto y utilizar este valor.

Materiales: Bloque de madera, hilo, superficies lisas de diferentes materiales como madera, vidrio, plástico, metal, etc.

Colocar el bloque sobre la tabla horizontal. En este caso comenzar a jalar, con un dinamómetro el bloque. El dinamómetro marcará desde cero hasta el valor de la fuerza de fricción estática máxima. Al igual que en el caso cinético, la fricción máxima es proporcional al empuje normal de la superficie sobre el cuerpo, y también depende de la textura de las superficies en contacto. *¡Verificarlo experimentalmente! y obtener el valor del coeficiente de fricción para diferente tipo de superficies.*

El coeficiente de fricción estático se define como $\mu_e = \text{fricción est max} / \text{empuje normal}$. Puede demostrarse que si el bloque descansa sobre un plano inclinado, la tangente del ángulo máximo que hace el plano con la horizontal, antes de que comience el deslizamiento es igual a μ_e (*demostrarlo teóricamente*) y medir la tangente de ese ángulo. Verificar, si dentro de la incertidumbre experimental, coinciden las dos formas de medir μ_e .

Ejercicio VI.1a De acuerdo con la ley empírica que se obtiene en I.8 (página 12),

$$T = T_0 \exp(-k \theta),$$

Donde T es la tensión de una cuerda que se arrolla en una barra y sostiene un objeto un objeto que pesa T_0 . (Figura I.8).

a) Deducir teóricamente una expresión similar a la anterior y mostrar que la constante k corresponde al coeficiente de fricción estático μ_e

b) Medir el coeficiente de fricción entre el entre la barra y el hilo de nylon. Sugerencia: arrollar hilo de nylon en una tabla y colocar a lo largo de ella una varilla como la usada en I.8 y luego ir aumentando el ángulo de inclinación, hasta que resbale la varilla metálica. La tangente de este ángulo corresponde al coeficiente de fricción estática μ_e

c) Comparar, considerando las incertidumbres, éste último valor con el valor de “k” obtenido previamente en I.8.

VI.2. ESTÁTICA DEL CUERPO RÍGIDO

META: Desarrollar experimentalmente los conceptos la ley del paralelogramo y de torca, de línea de acción, centro de gravedad y pares de fuerza en condiciones de equilibrio. Resolver, teórica y experimentalmente problemas de estática del cuerpo rígido, donde haya fuerzas elásticas, de gravedad y de fricción.

Materiales: Balanza de fuerzas, tabla de fuerzas, ligas de elástico, dinamómetros.

Seguramente viste en tu curso de física en la preparatoria (o en algún otro bachillerato) el tema de “condiciones de equilibrio del cuerpo rígido”

- i) Suma vectorial de fuerzas igual a cero
- ii) Suma de momentos de las fuerzas igual a cero.

Así que vamos a revisar algunos problemas típicos, llevándolos al campo de la experimentación:

- a) Verifica experimentalmente la ley del paralelogramo, usando tres dinamómetros que jalen una pequeña argolla.
- b) Revisar la secuencia descrita en Estática para Astronautas de Juan A González, Los Pequeños Manuales, Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.
- c) Cerca del extremo de una regla de plástico coloca una moneda. Ahora busca en que punto se equilibra la regla. ¿Qué relación hay entre el peso de la moneda y el peso de la regla?
- d) El problema de la escalera, sin fricción en la pared. Resuélvelo por tres métodos diferentes.
- e) Problemas hiperestáticos. Ejemplo. Una barra se mantiene horizontal sostenida por tres dinamómetros. ¿Cuanto marcará cada uno de ellos?

Ejercicio: reproducir los prototipos del módulo Estática para Astronautas.

VII. DINÁMICA ROTACIONAL.

VII.1 ROTACIONES Y MOMENTO DE INERCIA (o inercia rotacional)

META: Medir el momento de inercia (inercia rotacional) de una rueda de bicicleta, respecto a un eje que pasa por su centro de masa y que es perpendicular al plano de la rueda, por diferentes métodos y comparar resultados.

Materiales: Rueda de bicicleta, polea, pesas, soportes, cinta métrica, balanza, polea inteligente, fotocopiadora, interface, computadora.

Introducción.

La energía cinética (EC) de un objeto “puntual” que gira alrededor de un círculo de radio “r”, es igual a $\frac{1}{2} m v^2$, o bien, $\frac{1}{2} m r^2 \omega^2$. La primera expresión corresponde al concepto de EC de traslación (ECT) y la segunda a la de EC de rotación (ECR) si bien para el caso de la partícula ambas se refieren a lo mismo. Pero si la masa del objeto puntual se distribuye, de tal manera que se tenga un cuerpo rígido en vez de una partícula, como podría ser el caso de un aro o de un disco girando alrededor de su centro, entonces sólo tendría sentido hablar de EC (ROTACIÓN) = $\frac{1}{2} I_{cm} \omega^2$, donde “ I_{cm} ” es el momento de inercia respecto a un eje perpendicular CM de la rueda y que pasa por él. En el caso de la partícula: $I_{cm}=mr^2$

En general la EC de un cuerpo rígido se descompone en EC de traslación (asociada al CM del cuerpo rígido) y en energía cinética de rotación.

$$EC \text{ (TRASLACIÓN)} = \frac{1}{2} M V^2$$

$$EC \text{ (ROTACIÓN)} = \frac{1}{2} I_{cm} \omega^2$$

Procedimiento experimental.

Armar un dispositivo como el que se muestra en la figura.

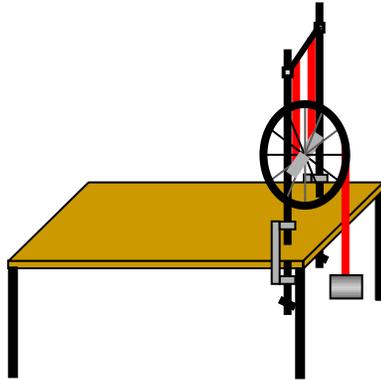


Figura VII.1. La energía potencial de la pesa se transforma en energía cinética de la pesa más la energía cinética rotacional de la rueda, suponiendo despreciable la fricción.

Dejar que la pesa, partiendo del reposo a una altura determinada alcance el piso (teniendo cuidado de que se suelte el hilo que sujetaba a la pesa). Enseguida medir el período de rotación de la rueda auxiliándose de una fotoc compuerta con cronómetro. Se acerca la fotoc compuerta (función gate) a la rueda que debe tener por ejemplo un popote y se retira después de que el popote haya pasado un par de veces por la fotoc compuerta. Con este valor del período, se calcula el de la velocidad angular. Conociendo el valor de R se puede obtener el valor de la velocidad de la pesa en el instante en que iba a pegar con el piso.

Calcular el momento de Inercia de la rueda, considerando la conservación de la energía mecánica o sea que la energía potencial de la pesa se transforma en energía traslacional de la pesa más la energía rotacional de la rueda.

Para tomar en cuenta la torca de fricción sobre la rueda, tomar valores del período de rotación cada 10 segundos después de que la pesa haya tocado el suelo. Si se grafica “ ω en función de t ”, la pendiente, negativa, dará el valor de la aceleración angular producida por la torca de fricción. Si se sabe cuanto tiempo tarda la pesa en caer, y se considera que durante ese tiempo se estuvo ejerciendo la torca de fricción, se podrá inferir que velocidad angular habría alcanzado la rueda si no hubiera torca de fricción. Con esta corrección se espera que disminuya ligeramente el valor del momento de inercia I_{cm} . Otra forma de estimar el valor de la torca de fricción es probar con pequeñas pesas de plastilina hasta lograr, por ensayo y error, que una pesa baje con velocidad constante, lo cual implicará que la suma de torcas sobre la rueda sea igual a cero.

Comentario: para tener una idea del valor esperado para I (momento de inercia de la rueda respecto al eje) conviene medir la masa de la rueda y luego suponer que toda la masa estuviera en la periferia de la rueda, entonces el momento de inercia valdría MR^2 . Entonces el valor del momento de inercia si la masa no está totalmente en la periferia, sería algo menor.

VII.2. LA RUEDA QUE PRIMERO RUEDA SIN TRASLADARSE

META: Para una rueda de bicicleta, con velocidad angular ω_0 , que se asienta sobre el piso, predecir que velocidad de traslación alcanzará y cuanto tiempo empleará en ello y confrontar con el experimento.

Materiales: Rueda de bicicleta, tripie, cámara de video, regla de 2 m.

Procedimiento experimental.

Medir: la velocidad angular inicial de la rueda, la fuerza de fricción cinética con el piso, y utilizar este valor, supuestamente constante así el valor de su momento de inercia, medido en una actividad anterior, para predecir la velocidad de traslación que alcanzará la rueda así como el tiempo que empleará para ello.

¿Cómo medirías la velocidad angular inicial y cómo le harías para hacerla reproducible?

¿Cómo medirías la fuerza de fricción cinética?

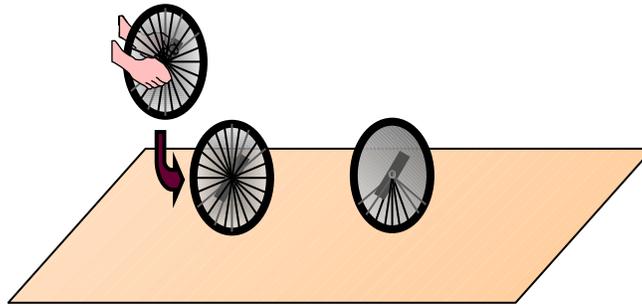


Figura VII.2. Se le imprime una velocidad angular a la rueda. Se comienza a grabar el video antes de que se asiente en el suelo y comience la traslación.

Sugerencias: Grabar en video, analizar cuadro por cuadro. Darle inicialmente suficiente velocidad angular para que se vea claramente que primero patina antes de comenzar a rodar sin deslizarse.

VII.2.a LA RUEDA QUE PRIMERO SE TRASLADA SIN RODAR.

META: Predecir el valor de la velocidad final de la misma rueda si ahora se le da un impulso que le imprima una velocidad de traslación antes de que empiece a rodar.

Materiales: Rueda de bicicleta, hilo, cámara de video.

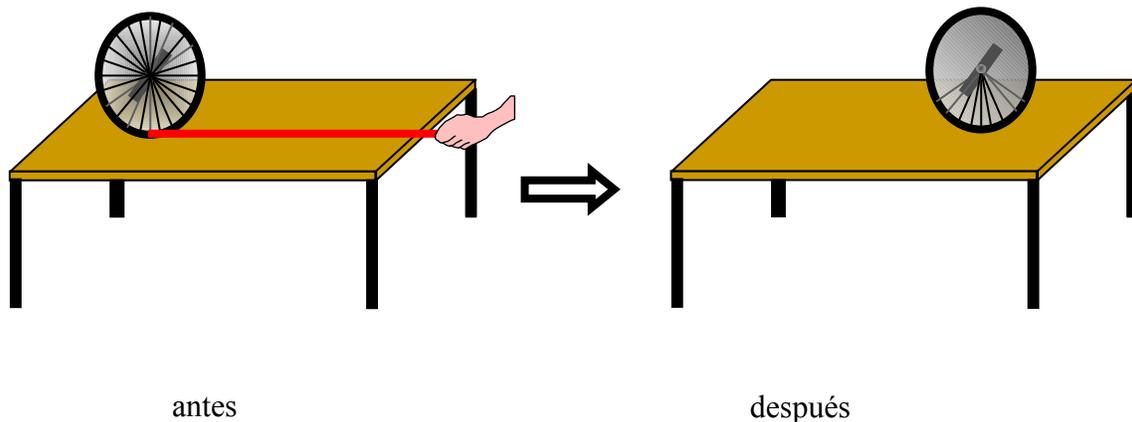


Figura VII.2.a. Se le da un fuerte tirón por abajo a la rueda, de tal manera que adquiera una velocidad de traslación antes de comenzar a rodar.

VII.3 VARIANTES DEL CARRETE

META: Analizar diferentes situaciones donde un carrete es jalado (ver figura VII. 2.a) y predecir y confrontar con el experimento, los valores de aceleraciones lineales y angulares.

Materiales: Carrete para alambre, hilo, cámara de video.

VII.4 OSCILADOR DE TORSIÓN Y PÉNDULO BIFILAR.

META: Predecir y confrontar con el experimento, el período de un oscilador de torsión y el de un péndulo bifilar. Usar este último para medir un momento de inercia de un objeto con un eje de simetría.

Materiales: Discos de madera y/o metal, soportes, varillas, cronómetro, fotocompuestas.

Oscilador lineal y Oscilador de torsión

1. Mostrar ambos osciladores y destacar la analogía entre la constante del resorte “k” y la constante de torsión “κ” (capa), así como entre la masa “m” y la inercia rotacional (o momento de inercia) “I”. Inferir la expresión para el período del oscilador de torsión:

$$T=2\pi \sqrt{I / \kappa}$$

2. Medir la constante de torsión del oscilador, aplicando par de fuerzas con dinamómetro o con pesas, ver figura. Calcular el momento de inercia de la varilla, midiendo previamente su masa y su longitud ($I= ml^2/12$). <predecir el valor del período y confrontar con el experimento.

Balanza de torsión y experimento de Cavendish.-Mostrar que en una balanza muy sensible, el valor de “ κ ” se infiere a partir del valor del período de oscilación así como del momento de inercia de la barra.

Experimento demostrativo: **Oscilador de torsión y Péndulo bifilar**

De manera similar a como se relacionó el oscilador lineal con el péndulo simple, ahora se relaciona el oscilador de torsión con el péndulo bifilar. Usando dos varillas iguales: una para el oscilador y otra para el péndulo, se ajusta la longitud y/o la separación de los hilos en el bifilar para que se mueva “al parejo” que el oscilador de torsión. Se muestra entonces que el bifilar tiene la misma constante de torsión (aplicando par de fuerzas con sendos dinamómetros y midiendo (en radianes) el ángulo para el cual la torca del par aplicado se equilibra con el “par de restitución”. (Ver figura VII.4).

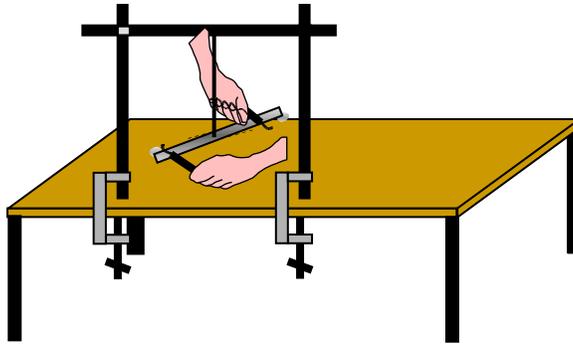


Figura VII.4.a Pares de fuerza ejercen torcas de igual magnitud, bajo el mismo ángulo de torsión en el oscilador de torsión.

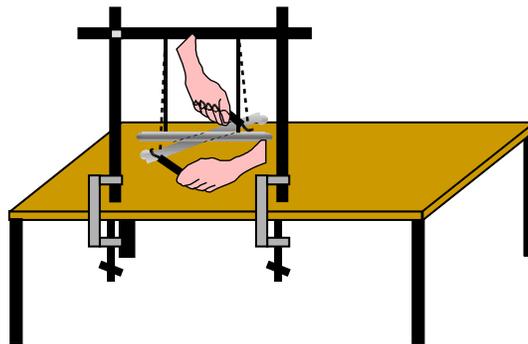


Figura VII.4.b Pares de fuerza ejercen torcas de igual magnitud, bajo el mismo ángulo de torsión en el péndulo bifilar.

Luego se muestra que al adherir varilla iguales (con masquin) (ver figura), el oscilador de torsión aumenta su período, pero el péndulo bifilar no cambia el suyo. Esto último se explica, ya que al duplicar el momento de inercia, también se duplicó la constante de restitución del péndulo bifilar. Finalmente,

Si se obtiene teóricamente una expresión para κ del péndulo bifilar, en función de la longitud de los hilos "h", la separación entre los hilos "s", y la gravedad "g" y se sustituye en la ecuación)

$$T=2\pi \sqrt{I / \kappa}$$

Y recordando que

$$I = ml^2/12$$

Se obtiene

$$T = (2 \pi / \sqrt{3} g) l s^{-1} h^{1/2} g^{-1/2}$$

para el período del péndulo bifilar (para pequeñas oscilaciones torsionales).

¡DEMUÉSTRALO!!!

Llegado a este punto resulta interesante, comparar esta expresión con la obtenida empíricamente en la primera parte del curso.

VII.5. COLISIONES ENTRE CUERPOS RÍGIDOS.

META: Analizar colisiones entre disco y mancuerna de dos discos en términos del movimiento del centro de masa así como de la energía, el momentum y el momento angular.

Materiales: mesa de aire, compresora, nivel, discos deslizadores formando una mancuerna, disco deslizador, rampa, pelotita, tripie, cámara de video.

Introducción.

Se simplifica la descripción del movimiento, si se describe por una parte el movimiento del centro de masa del sistema y por otra el movimiento de los cuerpos que forman el sistema respecto al centro de masa.

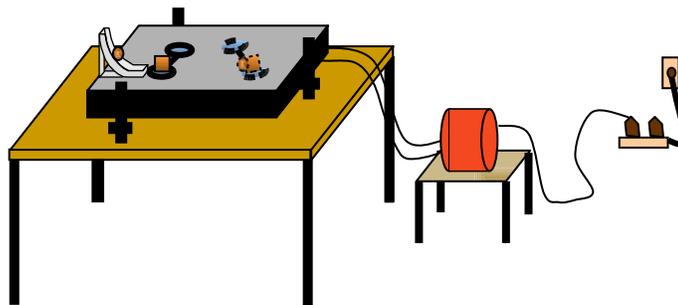


Figura VII.5. En una mesa de aire nivelada se coloca una rampa para lanzar una pelota que colisionará en una mancuerna de discos.

Procedimiento experimental:

VII.6. EL GIRÓSCOPO. (Experimento demostrativo)

META: Mostrar la relación entre la velocidad angular del giróscopo, o rueda de bicicleta o trompo, sobre su eje, ω , y la velocidad angular de precesión, Ω

Materiales: giroscopo de aire con accesorios o rueda de bicicleta, tripie, cámara de video.

APÉNDICE A

Materiales e instrumentos de las actividades experimentales.

Prácticas	Materiales	Instrumentos
I.1 Las hipótesis deben ser tanto explicativas como predictivas	Polea Prensa Varilla de madera Hilo	Lámpara estroboscópica Motor “singer”
I.2 Relación masa-volumen.	5 Balines diferente diámetro Plastilina	Vernier Balanza Probeta
I.3 Relación peso-masa.	5 Balines diferente diámetro Plastilina	Dinamómetro (0-1 N) Balanza
I.4 Relación fuerza-deformación: elástico, liga y resorte metálico.	Resortes (espiras separadas) Elástico Liga Soporte, varillas, nueces y pinza.	Dinamómetro (0-10 N) Regla graduada en mm
I.5. Péndulo simple.	Hilo Soporte, varillas, nueces y pinza. Plomada (2 diferente material)	Transportador Flexómetro Cronómetro
I.6. El oscilador vertical.	Soporte, varillas, nueces y pinza. Resortes Pesas	Balanza Cronómetro
I.7. Péndulo bifilar.	Soportes, varillas, nueces y pinzas. Varillas (3 diferente material, igual longitud) Hilo	Cronómetro Balanza Flexómetro
I.8. Fricción sobre un hilo arrollado en una varilla. (un ejemplo de ley exponencial)	Soportes, varillas, nueces y pinzas. Tubo de PVC Hilo de nylon Hilo de cáñamo	Dinámometro

II.1 El Movimiento Rectilíneo Uniforme	Riel de aire, Compresora, Deslizador, Ligas Nivel de albañil.	Cronómetro cronómetro con Fotocompuerta y fotocompuerta esclava, Flexómetro.
II.2 Velocidad media y velocidad instantánea en el movimiento rectilíneo.	Riel de aire, Compresora, Deslizador, Liga	Cronómetro cronómetro con Fotocompuerta y fotocompuerta esclava, Flexómetro
II.2a Una forma simple de medir de manera aproximadamente la velocidad instantánea.	Nivel de albañil Riel de aire, Compresora, Deslizador, Liga. Boleto de metro	Fotocompuerta con cronómetro y fotocompuerta esclava, Flexómetro.
II.3 Cambio de velocidad y aceleración.-	Nivel de albañil Riel de aire, Compresora, Deslizador, Liga	Fotocompuerta con cronómetro y fotocompuerta esclava, Flexómetro
II 4 Caída libre.	Regleta (transparente graduada a intervalos opacos de tamaño conocido)	Fotocompuerta Interfase Computadora
II.5 Movimiento con aceleración variable (el oscilador)	Riel de aire Compresora Deslizador Resortes (2 de igual k) Ligas	Sensor de movimiento Interfase Computadora
II.6 Cinemática de movimientos en el plano. Movimiento circular	Mesa de aire Compresora Disco deslizador Hilo Centro de mesa de aire Nivel de albañil Película fotográfica Magazine para película de 135 mm Líquidos reveladores Tanque para revelado video casete de 8 mm Cables para video-tele Acetatos Marcadores de acetatos	Cámara fotográfica Tripie Disparador Estrobotac Regla graduada Proyector de carrete para película de 135 mm Cámara de video Televisor

<p>II.6 Cinemática de movimientos en el plano. Tiro parabólico</p>	<p>Pelota pequeña (golf o ping pong) Cañón de pelotas y/o carro balístico con pelota Carro de baja fricción Riel de aluminio Película fotográfica Magazines para película de 135 mm Líquidos reveladores Tanque para revelado Video casete de 8 mm Cables para video-tele Acetatos Marcadores de acetatos</p>	<p>Cámara fotográfica Triple Disparador Estrobotac Regla graduada Proyector de carrete para película de 135 mm Cámara de video Televisor</p>
<p>II.6 Cinemática de movimientos en el plano. Péndulo simple</p>	<p>Plomada Hilo Transportador Soporte Película fotográfica Magazines para película de 135 mm Líquidos reveladores Tanque para revelado vidas casete de 8 mm Cables para video-tele Acetatos Marcadores de acetatos</p>	<p>Cámara fotográfica Triple Disparador Estrobotac Regla graduada Proyector de carrete para película de 135 mm Cámara de video Televisor</p>
<p>III.1 Movimiento rectilíneo con fuerza neta constante. Definición operacional del newton (N), la unidad de fuerza del Sistema Internacional.</p>	<p>Carro de baja fricción</p>	<p>Dinamómetro Balanza</p>
<p>III.1 Movimiento rectilíneo con fuerza neta constante. a) Riel horizontal.</p>	<p>Riel de aire Compresora Elástico Polea Pesas Ligas Plastilina Hilo de cáñamo Soportes (varillas, nueces y pinzas)</p>	<p>Dinamómetro Fotompuertas Sensor de movimiento Interface Computadora</p>

III.1 Movimiento rectilíneo con fuerza neta constante. b) Máquina de Atwood.	Polea de baja fricción Pesas Hilo Soporte	Dinamómetro Fotopuertas Interface Computadora
III.1 Movimiento rectilíneo con fuerza neta constante. c) Riel inclinado.	Riel de aire Compresora Elástico Polea Pesas Ligas Plastilina Hilo de cáñamo Soportes (varillas, nueces y pinzas)	Dinamómetro Fotopuertas Sensor de movimiento Interface Computadora
III.2 Fuerza de fricción cinética (“seca”)	Bloques de madera con diferentes texturas. Pesas Plastilina	Dinamómetro Regla graduada Transportador
III.3.a Movimiento rectilíneo con fuerza variable, que es función de la posición. Oscilador Armónico	Riel de aire (2) Compresora (2) Deslizador (2) Resortes (4 de igual k) Nivel Ligas Pesas Plastilina	Dinamómetro Balanza Regla graduada Sensor de movimiento Interface Computadora
III.3.a Movimiento rectilíneo con fuerza variable, que es función de la posición. Oscilador Armónico y Péndulo simple.	Resorte Plomada Pesas Plastilina Hilo Soportes (varillas, nueces y pinzas)	Balanza Cronómetro
III.3b Movimiento con fuerza dependiente de la velocidad. Velocidad terminal. (Experimento demostrativo)	Riel de aire largo Compresora Deslizador Imanes de cerámica (4 u 8 iguales) Ligas Elástico	Transportador Flexómetro Regla graduada Sensor de movimiento Interface Computadora

III.3.c El oscilador amortiguado. $f(x, v)$	Riel de aire (2) Compresora (2) Deslizador con imanes Deslizador Plastilina Resortes (4 de igual k) Nivel	Cronometro Flexómetro Regla graduada Sensor de movimiento Interface Computadora
III.3.d Oscilador amortiguado con fricción "seca".	Carro de baja fricción Bloque de madera Riel de aluminio Resortes (2 de igual k) Nivel Soportes	Cronómetro Flexómetro Regla graduada Sensor de movimiento Interface Computadora
III.3.e Caída vertical con resistencia del aire: $F(mg, v)$	Filtros de café (forma de canasta)	Balanza Regla graduada Sensor de movimiento Interface Computadora
III.4 Dinámica de movimientos en el plano	Fotografías esroboscópicas de movimientos en el plano tomadas en los experimentos II.6. Movimiento circular, tiro parabólico y péndulo simple.	
III.5. Marcos de referencia inerciales y no-inerciales. Experimentos demostrativos.	Plataforma giratoria Mesa giratoria Película marcos de referencia del PSSC.	Cámara fotográfica (2) Estrobotac
IV.1. Colisiones frontales.	Riel de aire Compresora Deslizador (2)	Cámara fotográfica Estrobotac Triple Disparador, Fotocompuertas Sensor de movimiento Interface Computadora
IV.2. Colisiones no frontales.	Balines diferentes tamaños Rampas curvas Soportes Papel Papel carbón	Regla graduada Transportador

IV.3. Colisiones lentas y centro de masa.	Mesa de aire Compresora Discos deslizadores con imán o Imanes de cerámica con forma de disco Tripie Disparador Película fotográfica video casete de 8 mm Acetatos	Cámara fotográfica Estrobotac Disparador Cámara de video
V.1.a Trabajo realizado por una fuerza constante.	Riel de aire Compresora Deslizador Polea Pesas Hilo	Sensor de movimiento Interface Computadora, o Cámara Video Com, o Cámara de video. Balanza
V.1.b Análisis energético del sistema anterior		
V.2. Trabajo negativo realizado por la fricción	Bloque de madera Polea Pesas Hilo Carro de baja fricción con bloque de madera	Sensor de movimiento Interface Computadora, o Cámara Video Com, o Cámara de video Flexometro Balanza
V.3.Péndulo “interrumpido”	Plomada Hilo Soportes Varillas o pivote tripie Disparador	Cámara Fotografica Estrobotac Cámara Video Com
V.4. Trabajo realizado por una fuerza variable. (área bajo la curva “F vs. x”)	Riel de aire Compresora Deslizador Hilo elástico	Dinamómetro Flexometro Regla graduada Fotocompuerta Transportador
VI.1 Fricción estática (“fuerza de atadura o de adherencia”)	Bloque de madera Hilo Superficies lisas de diferentes materiales: madera, vidrio, plástico, metal, etc.	Dinamómetro

VI.2. Fricción sobre un hilo arrollado en una varilla. (Un ejemplo de ley exponencial)	Tubo o varilla Hilo Pesas	Dinamómetro Transportador Regla graduada
VI.3. Estática del cuerpo rígido	Balanza de fuerza Tabla de fuerzas Ligas de elástico	Dinamómetro
VII.1 Rotaciones y momento de inercia (o <i>inercia rotacional</i>)	Rueda de bicicleta Polea Pesas Soportes	Cinta métrica Fotocompuerta Polea inteligente Balanza
VII.2. La rueda que primero resbala	Rueda de bicicleta Casete de 8mm Acetatos Marcador de acetato	Cámara de video Regla de 2 m
VII.2.a. La rueda que primero se traslada sin rodar.	Rueda de bicicleta Casete de 8mm Acetatos Marcador de acetato	Cámara de video Regla de 2 m
VII.3 Rodamiento con Carrete	Carrete para alambre Hilo	Polea inteligente Computadora Interface
VII.4 Oscilador de torsión y péndulo bifilar.	Discos de madera y/o metal Varillas Hilo Alambre	Cronómetro Fotocompuertas
VII.5. Colisiones entre cuerpos rígidos.	Mancuerna de dos discos Rampa Plastilina Tripie	Cámara de video
VII.6 El giróscopo. (Experimento demostrativo)	Giróscopo de aire Accesorios (bola de acero, varilla y contrapesos) Rueda de bicicleta. Tipie	Cámara de video

APÉNDICE B.

Análisis dimensional.

El período del péndulo también depende de la intensidad de la atracción gravitatoria, o sea depende del valor de “g”. Un mismo péndulo tiene un período mayor en la Luna, pero menor en Júpiter. En el laboratorio puedes simular que aumenta el valor de “g”, de la siguiente manera. Usa como péndulo un objeto de acero, y cuando esté oscilando aproxímale un imán relativamente poderoso, verás que las oscilaciones son más rápidas, o sea que el período disminuye.

Ahora vamos a suponer que el período depende de alguna potencia de l y de alguna potencia de “g”. O sea que nuestra hipótesis es que $T = C l^p g^q$ donde p y q son racionales desconocidos y C es una constante adimensional.

La idea básica del análisis dimensional es considerar que el miembro de la derecha de la ecuación anterior debe tener la “dimensión tiempo”. Esto quiere decir lo siguiente: como g se expresa en unidad de aceleración, entonces su “dimensión” es longitud entre tiempo al cuadrado, o sea, L / T^2 . Por tanto, la dimensión del miembro derecho será:

$$L^p (L / T^2)^q = L^{p+q} T^{-2q} = T^{+1},$$

que es la dimensión del miembro izquierdo.

Entonces:

$$p + q = 0 \quad \text{y} \quad -2q = +1$$

Resolviendo el sistema simultáneo, se tiene que:

$$q = -\frac{1}{2} \quad \text{y} \quad p = +\frac{1}{2}$$

Y por tanto la función buscada sería del tipo;

$$T = C l^{+1/2} g^{-1/2}$$

Ejercicio. Usando el análisis dimensional, mostrar que, bajo la hipótesis de que el período de un oscilador (sistema masa-resorte) depende potencialmente de la masa “ m ” y de la constante del resorte “ k ”, de tal manera que:

$$T = C m^p k^q,$$

siendo C una constante adimensional, entonces es de esperarse que:

$$p = +1/2 \quad \text{y} \quad q = -1/2$$

APÉNDICE C.

Métodos Numéricos.

La dinámica del movimiento de un cuerpo de masa m que está sujeto a una fuerza F , está determinada por la segunda ley de Newton, que en una dimensión se expresa como:

$$F = ma \quad (1)$$

donde a es la aceleración del cuerpo.

La ecuación (1) puede expresarse también de la siguiente forma:

$$F_m \Delta t = m \Delta v = m(v_f - v_i) \quad (2)$$

en donde F_m es el valor medio de la fuerza en el intervalo Δt , Δv es el cambio de velocidad del cuerpo en ese intervalo y v_i y v_f son las velocidades correspondientes al principio y al final del intervalo de tiempo. La velocidad final v_f se puede despejar en (2) en términos de la velocidad inicial y de la fuerza media aplicada, esto es:

$$v_f = v_i + (F_m/m) \Delta t \quad (3)$$

Y por otra parte, para determinar la posición final x_f del cuerpo al final del intervalo de tiempo a partir de su posición inicial x_i , recurrimos a la definición de velocidad media v_m , es decir:

$$v_m = \Delta x / \Delta t = (x_f - x_i) / \Delta t \quad (4)$$

en donde Δx es el desplazamiento del cuerpo durante el intervalo de tiempo y x_i es la posición del cuerpo al principio del intervalo del tiempo. La posición final del cuerpo x_f se puede obtener de (4), de la siguiente manera:

$$x_f = x_i + v_m \Delta t \quad (5)$$

En principio de las expresiones (3) y (5) se pueden determinar los valores de x_f y v_f al final de un intervalo de tiempo Δt , a partir de los valores iniciales x_i y v_i y del conocimiento de la fuerza F que se aplica sobre el cuerpo.

Tomando los valores finales de la posición y la velocidad del cuerpo como iniciales y conociendo la fuerza en todo momento, se puede repetir el procedimiento para el siguiente intervalo de tiempo (igual al anterior) para obtener nuevos valores de la posición y de la velocidad del cuerpo, al final del nuevo intervalo de tiempo. Es decir, si continuamos este procedimiento iterativamente durante diversos intervalos de tiempo iguales y consecutivos, es posible conocer la dinámica del movimiento desde el tiempo inicial y hasta un tiempo final en que consideremos que las características de la fuerza aplicada sobre el cuerpo han cambiado.

Para la exactitud de este método numérico de solución de la segunda ley de Newton, es necesario hacer algunos ajustes, que se ejemplificarán enseguida al aplicarlo al caso concreto del oscilador armónico simple.

El oscilador armónico simple (OAS).

Cuando un cuerpo de masa m que se mueve horizontalmente en una dimensión, esta sujeto bajo la acción combinada de dos resortes de constante $k/2$ y que ejercen una fuerza neta del tipo:

$$F = -kx \quad (6)$$

el movimiento resultante es un movimiento de tipo oscilatorio.

La dinámica de este movimiento queda establecida al resolver la segunda ley de Newton para este caso particular. Esto, es, se trata de resolver la ecuación:

$$ma = -kx \quad (7)$$

La solución exacta por métodos matemáticos analíticos es conocida, pero aquí se tratará de resolver con el método numérico que se describe abajo.

Método numérico para la solución del OAS.

Aunque el siguiente método numérico se puede aplicar a cualquier cuerpo de masa m que se mueve en una dimensión, sujeto a una ley de fuerzas conocida y con condiciones iniciales establecidas, aquí se aplicará al caso particular del OAS.

Supongamos que queremos hacer el modelo de un experimento de laboratorio que consiste del siguiente sistema:

Experimento: Un deslizador de masa $m = 0.30$ kg se coloca sobre un riel de aire horizontal y se sujeta por sus extremos a los finales del riel, con dos resortes de constante $k/2 = 2.0$ N/m cada uno. En este caso, la fuerza neta sobre el deslizador es de:

$$F = -4.0x \quad (8)$$

Supongamos que en la posición de equilibrio del deslizador se coloca el sistema de referencia y que inicialmente el deslizador se desplaza a una posición inicial (amplitud) de 0.20 m que llamaremos x_0 y se suelta con una velocidad inicial cero que llamaremos v_0 .

Se tienen casi todos los elementos para desarrollar el método numérico que se inicia con la ecuación (3) de la introducción, pero hay que observar que la fuerza dada por (8) depende de la posición x y por lo tanto la fuerza media que se pide para calcular la velocidad final en (3) no es conocida, ya que no se conoce el valor de la posición media en el primer intervalo de tiempo Δt .

Para resolver este problema, utilizaremos el valor conocido de la fuerza al principio del primer intervalo de tiempo Δt que elegiremos igual a 0.1 s, es decir:

1: $F_0 = -kx_0 = -(4.0 \text{ N/m})(0.20 \text{ m}) = \underline{\hspace{2cm}}$

por lo que la aceleración inicial del movimiento es conocida, al obtenerse a partir de la segunda ley de Newton como:

$$2: \quad a_0 = F_0/m = F_0/(0.30 \text{ kg}) = \underline{\hspace{2cm}}$$

La velocidad del deslizador, la calcularemos aproximadamente, pero no al final del primer intervalo de tiempo Δt , sino a la mitad de este intervalo, es decir, en $\Delta t/2$. Es decir:

$$3: \quad v_{1/2} = v_0 + (F_0/m)(\Delta t/2) = 0 \text{ m} + [(-4.0 \text{ N/m})/(0.30 \text{ kg})](0.1 \text{ s}/2) = \underline{\hspace{2cm}}$$

Hemos perdido exactitud en el cálculo de $v_{1/2}$, pero el hecho de calcularla esta velocidad a la mitad del intervalo de tiempo nos dará beneficios inmediatos.

Con el valor medio de la velocidad, ya se puede determinar la posición del cuerpo al final del intervalo de tiempo, de la siguiente forma:

$$4: \quad x_1 = x_0 + v_{1/2}\Delta t = 0.20 \text{ m} + v_{1/2}(0.1 \text{ s}) = \underline{\hspace{2cm}}$$

Ahora lo que falta es determinar la velocidad del cuerpo al final del intervalo de tiempo y para ello es conveniente determinar un valor medio de la fuerza en este intervalo de tiempo. Como la fuerza depende de la posición, entonces el valor medio entre la posición inicial y la posición final, está dada por:

$$5: \quad x_{1/2} = (x_0 + x_1)/2 = (0.20 \text{ m} + x_1)/2 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Como no conocemos la dependencia de la fuerza como función del tiempo, pero si como función de la posición, un valor medio de la fuerza respecto del intervalo de posición $\Delta x = x_1 - x_0$ es una aproximación del valor medio de la fuerza en el intervalo de tiempo Δt . Es decir:

$$6: \quad F_{1/2} = -kx_{1/2} = (-4.0 \text{ N/m})x_{1/2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Y de esta manera se obtiene un buen candidato de la fuerza media a la mitad del intervalo de tiempo, para determinar la velocidad del cuerpo al final del intervalo de tiempo. Esto es:

$$7: \quad v_1 = v_0 + (F_{1/2}/m)\Delta t = 0 \text{ m} + (F_{1/2}/0.30 \text{ kg})(0.1 \text{ s}) = \underline{\hspace{2cm}}$$

La aceleración del movimiento al final del intervalo de tiempo, requiere de conocer la fuerza al final de este intervalo de tiempo, pero dado que se conoce la posición correspondiente, la fuerza buscada está dada por:

$$8: \quad F_1 = -kx_1 = -(4.0 \text{ N/m}) x_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

y por lo tanto la aceleración queda determinada por:

9: $a_1 = F_1/m = F_1/(0.30 \text{ kg}) = \underline{\hspace{2cm}}$

Después de estos nueve pasos, tenemos conocidos los valores de la posición, la velocidad, la aceleración y la fuerza al final del primer intervalo de tiempo. Si queremos determinar los valores correspondientes de posición, velocidad, aceleración y fuerza para el siguiente intervalo de tiempo (igual en tamaño que el anterior, es decir de 0.1 s), sólo es necesario repetir los pasos anteriores, con una ligera variante en el primer paso.

Como para determinar la velocidad media en el siguiente intervalo de tiempo, se necesita la velocidad media en el intervalo de tiempo anterior y la fuerza al final del intervalo de tiempo anterior o al principio del siguiente intervalo de tiempo y ambos valores ya han sido determinados, entonces esta velocidad se calcula de la siguiente manera:

1': $v_{3/2} = v_{1/2} + (F_1/m)\Delta t = v_{1/2} + (F_1/0.30 \text{ kg})(0.1 \text{ s}) = \underline{\hspace{2cm}}$

La diferencia con el correspondiente paso 3 para el cálculo anterior, es que el intervalo de tiempo Δt ya no es necesario dividirlo entre 2, ya que ahora si se conoce la fuerza a la mitad del intervalo de tiempo correspondiente a estas dos velocidades medias.

Los pasos siguientes, ya son una repetición de los pasos del 4 al nueve y entonces sólo los escribiremos uno detrás del otro, sin mayores comentarios.

2': $x_2 = x_1 + v_{3/2}\Delta t = x_1 + v_{3/2}(0.1 \text{ s}) = \underline{\hspace{2cm}}$

3': $x_{3/2} = (x_1 + x_2)/2 = \underline{\hspace{2cm}}$

4': $F_{3/2} = -kx_{3/2} = -(4.0 \text{ N/m})x_{3/2} = \underline{\hspace{2cm}}$

5': $v_2 = v_1 + (F_{3/2}/m)\Delta t = v_1 + (F_{3/2}/0.30 \text{ kg})(0.1 \text{ s}) = \underline{\hspace{2cm}}$

6': $F_2 = -kx_2 = -(4.0 \text{ N/m}) x_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

7': $a_2 = F_2/m = F_2/(0.30 \text{ kg}) = \underline{\hspace{2cm}}$

Después de los siete pasos primados, tenemos conocidos los valores de la posición, la velocidad, la aceleración y la fuerza al final del segundo intervalo de tiempo y si queremos determinar los valores correspondientes de posición, velocidad, aceleración y fuerza para siguientes intervalo de tiempo (igual en tamaño del primero, es decir de 0.1 s), hay que repetir estos siete pasos iterativamente (repetidamente, pero cambiando los valores finales del intervalo de tiempo anterior a valores iniciales del siguiente intervalo de tiempo), hasta que la condición de la fuerza aplicada cambie.

Periodo de oscilación.

De acuerdo con el modelo analítico de solución del OAS, el periodo de este movimiento es:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (9)$$

y numéricamente:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{0.30 \text{ kg}}{4.0 \text{ N/m}}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

de tal manera que se puede determinar las posiciones, las velocidades, las aceleraciones y las fuerzas para un tiempo total del movimiento de un periodo T, en intervalos de tiempo de $\Delta t = 0.1 \text{ s}$.

La siguiente tabla, se puede llenar con los valores correspondientes a estos valores empezando desde las condiciones iniciales y terminando con valores que corresponden aproximadamente a un periodo del movimiento.

Valores iniciales del movimiento.

Tabla 1

t	x (m)	v (m/s)	a (m/s ²)	F (N)
0	0.30	0		

Valores consecutivos del movimiento cada 0.1 s.

En la siguiente tabla, las variables que no tienen subíndice significan valores finales, las que tienen subíndice m indican valores medios y se intercalan en la tabla a los anteriores y los números primados corresponden a los pasos del 1' al 7' que se repiten iterativamente.

Tabla 2

	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'
t		x (m)			v (m/s)	F (N)	a (m/s ²)
0.00	v _m (m/s)		x _m (m)	F _m (N)			
0.05							
0.10							
0.15							
0.20							
0.25							
0.30							
0.35							
0.40							
0.45							
5.00							
0.55							
0.60							
0.65							

0.70							
0.75							
0.80							
0.85							
0.90							
0.95							
1.00							
1.05							
1.10							
1.15							
1.20							
1.25							
1.30							
1.35							
1.40							
1.45							
1.50							
1.55							
1.60							
1.65							
1.70							
1.75							
1.80							

Ejercicios IIIa.

1. Calcular los valores solicitados en las expresiones (1) a (9) para determinar valores finales del movimiento del deslizador después del primer intervalo de tiempo Δt .
2. Calcular los valores solicitados en las expresiones (1') a (7') para determinar valores finales del movimiento del deslizador después del segundo intervalo de tiempo Δt .
3. Llenar la Tabla 1 con los valores iniciales que faltan.
4. Llenar la Tabla 2 con los valores de las variables en el encabezado correspondientes a los tiempos de $t = 0.1 \text{ s}, 0.2 \text{ s}, \dots, 1.8 \text{ s}$.

Oscilador Armónico y Péndulo simple.

Se muestra que la ecuación de movimiento $x = x_0 \cos(2\pi t/T)$ describe un M.A.S. : cuando $t = 0$, el oscilador tiene amplitud máxima, para $t = T/4$, $x = 0$, el oscilador pasa por el punto de equilibrio, y así sucesivamente; y que esta ecuación es solución de la ecuación diferencial dinámica $m \frac{dx^2}{dt^2} = -kx$, siendo el período $T = 2\pi \sqrt{m/k}$ y también de la ecuación de la energía: $\frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} kx_0^2$

Comparar los valores de $x(t)$ de la solución analítica con la solución numérica, obtenida anteriormente así como con la ecuación empírica correspondiente obtenida con osciladores verticales.

1. Ajustar la longitud de un péndulo, de igual masa que el oscilador (aprox. 0.200 kg) para que la lenteja se mueva “al parejo” que el deslizador (**ver figura**)
2. Mostrar que ya que ambos osciladores tienen el mismo período y la misma masa (m), también tienen la misma constante (k)
3. Mostrar que al duplicar la masa del péndulo no cambia el período porque automáticamente se duplica el valor de “ k ”
4. Obtener teóricamente la expresión para la “ k ” del péndulo, para pequeñas oscilaciones: $k = mg/l$, y entonces el período $T = 2\pi \sqrt{m/(mg/l)} = 2\pi \sqrt{l/g}$.
5. Comparar esta expresión con la obtenida empíricamente previamente.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA.

- Ingard, U., Kraushaar, W.L., 1973, Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas, Editorial Reverté S.A., México.
- PSSC, Física, Uri Haber, et al. Ed. Reverte, México 1992
- French, A.P., 1975, Mecánica newtoniana, Editorial Reverté, México.
- Eisberg, R.M., Lerner, S.L., 1984, Física, Vol. 1, McGraw-Hill, México.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Alonso, M., Finn, J.E., 1995, Física, Addison-Wesley Iberoamericana, México.
- Baird, D.C., 1995, An introduction to measurement theory and experiment design, 3a edición, ed. Prentice Hall, USA.
- diseño de experimentos, Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México.
- Bevington, P.R., Robinson, D.K., 1992, Data reduction and error analysis for the physical sciences (book and disc), 2a edición, ed. McGraw Hill, USA
- Garduño, R., 1988, Manual de apoyo para el curso de Laboratorio de Física Clásica I, editado por la Facultad de Ciencias, UNAM, México
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., 1997, Fundamentals of physics, fifth edition, John Wiley & Sons, Inc., N.Y., USA.
- Kittel, C., Knight, W.D., Ruderman, M.A., Berkeley Physics Course, Vol. 1: Mechanics, McGraw-Hill, USA.
- Oda, B., 1997, Introducción al análisis gráfico de datos experimentales, editado por la Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Preston, D.W., Dietz, E.R., 1991, Art of experimental physics, ed. John Wiley & Sons, USA.
- Riveros, H.G., Rosas, L., 1991, El método científico aplicado a las ciencias experimentales, Editorial Trillas, México.
- Taylor, J.R., 1997, An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements, 2a edición, ed. University
- González M, J. A. y J. C. M. Núñez C. Estudio empírico de resortes y osciladores. Los pequeños manuales No. 10. Editado en la Facultad de Ciencias, U.N.A.M.
- Physics Labs with Computers, Volume 1: Student Workbook de PASCO
-