



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
LABORATORIO Y TALLERES DE FÍSICA Y QUÍMICA

GUÍA DE LABORATORIO (EDICIÓN 2025 v1.0)



# FÍSICA I

Aprobado con Resolución de Consejo de Facultad N° 094-2025-CF-FCNM

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
DERECHOS RESERVADOS, CALLAO - 2025**

**Prohibida la reproducción total o parcial sin  
Autorización de los autores**

## PRESENTACION

Desde hace mucho tiempo el hombre ha tratado de liberarse de los trabajos manuales. La idea fundamental por la cual hubo la necesidad de inventar lo que hoy llamamos la computadora, no fue otra que la de reducir laboriosas tareas a una serie de tareas repetitivas sencillas para completar grandes proyectos. En sus inicios, la computadora era usada para realizar cálculos y redactar informes de las experiencias realizadas en el laboratorio, pero “¿de que sirve un artefacto, tal cual, si no quería diferenciarse de un mueble más en el ambiente de laboratorio?”; por lo cual surgió la idea de diseñar y construir interfaces electrónicas, que permitieran interconectar por hardware y software con los sensores(transductores) y actuadores que son utilizados en las experiencias de laboratorio; es así que se logró la automatización de los laboratorios.

En la actualidad ya no solo se hace uso de la Computadora Personal para ese fin, también se hace uso de Dataloggers (Registradores de Datos) y cualquier dispositivo que ejecute el software PASCO, incluyendo Mac®, Windows®, Chromebook™, teléfonos inteligentes, iPad® y tabletas Android™; para realizar gráficas sobre datos recogidos de una observación, que facilitan el proceso de análisis; sin embargo, es importante que el experimentador domine las técnicas para escoger la más conveniente según los resultados buscados; en nuestro caso, la realización de experimentos en física requiere no solo la recolección de grandes cantidades de datos sino también que los mismos sean exactos.

Los softwares: PASCO *Capstone* y *SPARKvue* sobre el cual trata este trabajo permite realizar mediciones de forma rápida y con mucha mayor precisión con respecto a los métodos comúnmente empleados en el trabajo científico. La cantidad de datos que se pueden registrar es mayor y en consecuencia, se puede describir mejor el fenómeno en estudio.

## INDICE

<b>Manejo de los softwares PASCO Capstone y SPARKvue .....</b>	<b>1</b>
<b>Análisis de una Experiencia con Capstone.....</b>	<b>11</b>
<b>Movimiento Rectilíneo Uniforme y Uniformemente Variado.....</b>	<b>21</b>
<b>Caída Libre .....</b>	<b>27</b>
<b>Movimiento de un proyectil.....</b>	<b>32</b>
<b>Movimiento Circular Uniforme y Uniformemente Variado .....</b>	<b>37</b>
<b>Leyes de Newton .....</b>	<b>44</b>
<b>Fuerzas de Fricción.....</b>	<b>60</b>
<b>Péndulo Balístico.....</b>	<b>66</b>
<b>Trabajo y Potencia.....</b>	<b>71</b>
<b>Conservación de la Energía.....</b>	<b>78</b>
<b>Momento de Inercia .....</b>	<b>97</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>108</b>

# MANEJO DE LOS SOFTWARES PASCO CAPSTONE Y SPARKvue

## INTRODUCCIÓN

La idea fundamental por la cual hubo la necesidad de automatizar el laboratorio, no fue otra que la de reducir laboriosas tareas a una serie de tareas repetitivas sencillas para completar grandes proyectos; en nuestro caso, la realización de experimentos en física requiere no solo la recolección de grandes cantidades de datos sino también que los mismos sean exactos.

## OBJETIVOS

Conocer el sistema *Capstone* y/o *SPARKvue*, manipular las herramientas que proporcionan los softwares y montar experimentos que utilicen equipos electrónicos y mecánicos de medición; al finalizar la sesión, el estudiante estará en la capacidad de:

- Realizar el procedimiento para puesta en marcha del sistema.
- Utilizar y manipular las herramientas matemáticas y estadísticas proporcionadas por los sistemas Capstone y/o SPARKvue.
- Aplicar los procedimientos para configuración, creación y edición de experiencias en física I, empleando los sistemas Capstone y/o SPARKvue.

## DESCRIPCIÓN Y MANEJO DEL SISTEMA

El sistema *Capstone* provee a través de un software las herramientas para registrar, manipular y analizar datos, adquiridos mediante un conjunto de sensores cableados, sensores inalámbricos y dispositivos electro-mecánicos, los cuales se adaptan y configuran dependiendo de la experiencia a realizar.

### Componentes del sistema

Los componentes del sistema pueden clasificarse en tres grupos:

- *Software*, son los programas para registro, análisis y manipulación de datos, incluyendo las ayudas del sistema.
- *Hardware*, el puerto USB de la PC, la Interface 850, los Dataloggers, Tablets, Smartphones y el conjunto de sensores.
- *Accesorios*, se refiere al conjunto de elementos físicos adicionales que facilitan la toma de datos (carriles, poleas, pesas, etc.).

**Software.** - El programa Capstone está diseñado para usarse en el entorno Windows y Mac, SPARKvue en Chromebooks™, iOS, Android™, Windows® y Mac®, y sirven como medios de comunicación con el usuario, facilitan el análisis de los datos adquiridos y permiten el manejo de sensores y actuadores.

**Hardware.** - Los medios físicos necesarios son los siguientes:

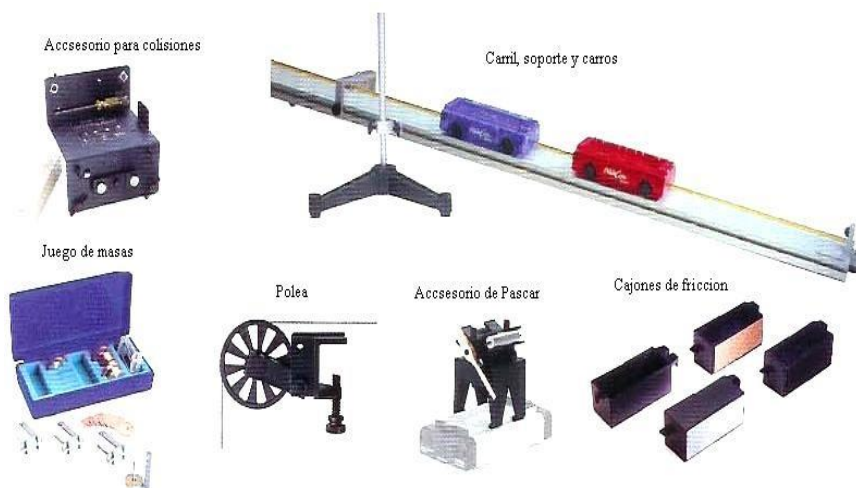
- **Interface Universal 850 (modelo UI-5000)**, es una interface electrónica diseñada para la recolección de datos de sensores y la activación de actuadores externos a la PC, sus características principales son:
  - Cuatro puertos digitales para usar con sensores y actuadores digitales.
  - Cuatro puertos analógicos para usar con sensores analógicos ScienceWorkshop
  - Cuatro puertos PASPORT compatibles con más de 70 sensores PASPORT
  - Generador de funciones de 15 W con amplificador de potencia
  - Generadores de funciones duales independientes de alta frecuencia
  - Muestreo de alta velocidad de hasta 10,0 MHz para dos canales o 1,0 MHz para cuatro canales
  - Conexión a la computadora por USB 2.0
  - Entrada y salida de disparador externo para sincronizar varios 850 u otros equipos
  - Puerto de expansión de 44 pines para expansión personalizada de aplicaciones
  - Las entradas analógicas están protegidas hasta  $\pm 300$  V. Las salidas y las fuentes de alimentación están protegidas contra cortocircuitos.



**Figura (1).** Interface Universal 850.

- **Sensores**, son todos aquellos dispositivos electrónicos, cuya función es transformar parámetros físicos, químicos y biológicos en magnitudes eléctricas, a los sensores se les denomina también transductores. Existe una gran variedad de sensores reconocidos por el software; no obstante, nos limitaremos a estudiar los cuatro más importantes para el desarrollo de actividades en Física I.

1. **Sensor de fuerza y aceleración**, es un transductor analógico encargado de percibir variaciones de tracción ó compresión en un rango de  $\pm 50$  Newton.
  2. **Sensor de movimiento**, calcula la variación de velocidad y posición de un móvil, midiendo el tiempo de retorno de una señal ultrasónica de alta frecuencia.
  3. **Sensor de movimiento circular**, determina la velocidad y aceleración angular, registradas mediante el conteo de interrupciones reflexivas de un haz infrarrojo sobre un disco graduado.
  4. **Fotopuerta**, registra las interrupciones de un haz de luz infrarroja, ocasionadas por el paso de un objeto entre el emisor y el detector.
- **Accesorios**, Son el conjunto formado por los dispositivos mecánicos adicionales tales como: carriles, poleas, soportes, cuerdas, resortes, etc.



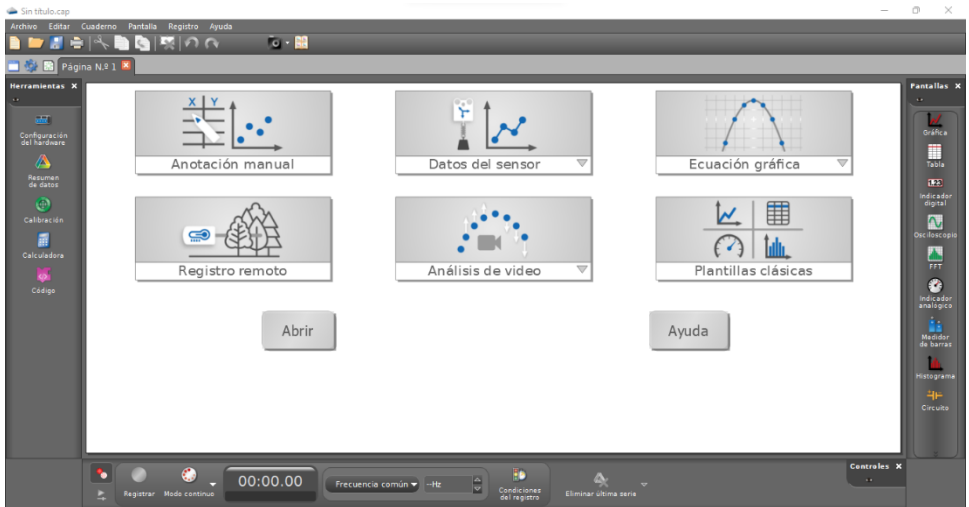
**Figura (2).** Conjunto de Accesorios.

### Manejo del software **PASCO Capstone**

A continuación, se presentará los pasos para poder acceder a la recolección de datos.

- **Pantalla de Inicio**, se activa al ingresar al sistema, y en ella aparecen seis iconos que corresponden a las actividades que se pueden realizar tal y como se muestran en la figura (3), las seis actividades posibles son:

- Anotación Manual
- Datos del Sensor
- Ecuación Gráfica
- Registro Remoto
- Análisis de Video
- Plantillas Clásicas



**Figura (3).** Pantalla de Inicio.

**Anotación Manual.** – . Mediante esta actividad el programa permite al usuario realizar un análisis gráfico de los datos previamente adquiridos u obtenidos en la ejecución de algún experimento en que no sea necesario usar los sensores

**Datos del Sensor.** - Para acceder a esta opción se hace clic sobre el icono *Datos del Sensor*. Mediante esta actividad el programa permite adquirir los datos del sensor para su respectivo análisis posterior.

**Ecuación Gráfica.** - Por medio de esta actividad el usuario podrá visualizar en pantalla las gráficas y puntos tabulados correspondientes a funciones matemáticas, las cuales pueden ser editadas utilizando la aplicación para introducir ecuaciones que se activa automáticamente.

**Registro Remoto.** - Este botón nos permite configurar los Sensores Inalámbricos que cuentan con la opción Datalogger, que registra las mediciones tomadas por el sensor y las almacena en la memoria interna con una frecuencia de muestreo seleccionada por el usuario. Estos datos pueden luego ser descargados por el software para su respectivo análisis.

**Análisis de Video.** - Esta opción permite analizar videos realizando una calibración metro-pixel. Que permite extrapolar las ecuaciones del movimiento de un objeto registrados en el video.

**Plantillas Clásicas.** - Nos brinda las plantillas de adquisición de datos más comunes utilizadas para los experimentos realizados con los equipos.

**Conexión de la interface y puesta en marcha del programa,** para activar la interface e iniciar el software deberemos realizar lo siguiente:

- Conectar la Interface Universal 850 al puerto USB de la Computadora.
- Conectar la Interface Universal 850 a la fuente de alimentación de 12V y esta a su vez a la red domestica de 220V.
- Encender la Interface Universal 850
- Iniciar el Software de adquisición de datos Capstone.

**Selección de sensores, configuración y calibración,** dependiendo del experimento a realizar el usuario seleccionará los sensores que crea conveniente, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Conectar el sensor ya sea de la línea ScienceWorkshop o Passport al Interfaz Universal 850.
- En el caso se utilice la línea de Sensores Inalámbricos, encenderlo y revisar si el sensor se encuentra con la batería suficiente para el tiempo que tomará el experimento, en caso la luz de la batería este de color rojo poner a cargar el sensor.
- Seleccionar el botón *Configuración de Hardware* y seleccionar el sensor.
- Automáticamente el programa indicará a que terminales deben conectarse los cables para transmisión de datos (analógicos, digitales o inalámbricos).
- El siguiente paso es establecer los valores a registrar y cuantos datos por segundo se anotarán, esto se puede realizar en el la frecuencia de muestreo de la ventana de inicio de Capstone.
- Se establece cuantos gráficos vamos a utilizar, cada uno corresponderá a algún parámetro medido, registrando su variación con respecto al tiempo. Los gráficos se activan arrastrando el icono de gráfico en la ventana resumen hasta el icono perteneciente a la cantidad medida.
- *Capstone* permite de modo adicional generar gráficos múltiples o individuales, es decir la superposición de gráficas y el intercambio de parámetros medidos por eje coordenado.

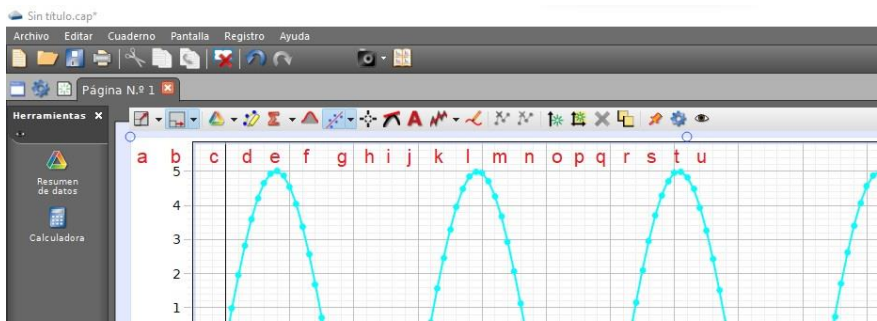
**Montaje de accesorios,** en este punto se ensambla la estructura que nos permitirá ejecutar la

toma de datos; es decir, escogeremos la posición de los sensores, el número y valor de los pesos a emplear, poleas, resortes, etc. según sea el caso.

**Ejecución del experimento**, la toma de datos se inicia cuando se hace clic en el botón *Registrar* que se ubica en la barra de herramientas de la ventana principal, se detiene la ejecución haciendo clic nuevamente sobre este elemento. Así mismo podemos elegir el modo de muestreo, puede ser Modo Continuo, Mantener Modo o Modo de Control Rápido.

## Herramientas de análisis

Las herramientas proporcionadas por el software *Capstone* para analizar datos se localizan en la barra de herramientas de cada uno de los gráficos y tablas generados; a continuación, explicamos brevemente el uso y funcionamiento de las más importantes:



**Figura (4).** Herramientas de análisis.

- a. Escalar los ejes para mostrar todos los datos
- b. Ajustar la escala, con estos se alinea los datos para que sean visibles.
- c. Seleccionar serie. Esto permite seleccionar las distintas series de datos que se han tomado y/o superponerlos para comparar la variación.
- d. Seleccionar la región de interés de los datos para poder realizar el análisis matemático en la región seleccionada.
- e. Muestra la estadística de los datos activos.
- f. Muestra el área debajo de la curva
- g. Aplica los distintos ajustes de curva para los gráficos activos
- h. Herramientas de coordenadas.
- i. Pendiente entre dos puntos
- j. Crea anotaciones
- k. Aplica suavizado a los datos activos.
- l. Crea conjunto de datos de predicción
- m. Excluir o incluir datos seleccionados.
- n. Eliminar datos
- o. Añade un nuevo eje y al gráfico
- p. Añade una nueva grafica a la pantalla

- q. Elimina elemento activo, eje o gráfica
- r. Permite la reorganización de ejes o gráficos
- s. Fijar barra de herramientas a la pantalla
- t. Configura propiedades de los datos
- u. Mostrar u ocultar barras de herramientas.

## EQUIPOS Y MATERIALES

N	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone instalado		1
3	Interface Universal 850	UI-5000	1
4	Sensor de movimiento PASPPORT o Sensor de movimiento inalámbrico	PS-2103A PS-3219	1

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- a. Verifique la conexión y estado de la fuente de alimentación de la interface, luego proceda a encenderla.
- b. Encender el computador
- c. Ingresar al software *CAPSTONE* haciendo doble clic en el icono ubicado en el escritorio.

### Primera actividad (representar gráficamente una ecuación)

- a. Seleccione la actividad *Ecuación Gráfica*, en la *pantalla de inicio* de Capstone.
- b. Aparecerá la Calculadora con una función predeterminada, modificar los siguientes datos.
- c. En el casillero *definición* del cuadro de dialogo *calculadora*, digite la siguiente expresión:  $y = 5.0 * \text{sen}(2.0 * x)$ , luego haga clic en aceptar.
- d. En el mismo cuadro de dialogo defina la variable  $x$  (en toda la escala).
- e. Haciendo clic en el botón *propiedades*, asigne el nombre posición para la variable  $y$ , luego tiempo para la variable  $x$ , modifique la precisión a cinco decimales e indique metros (m) para las unidades de posición y segundos(s) para las unidades de tiempo, seguidamente haga clic en *aceptar*.
- f. En la ventana *calculadora* haga clic sobre el botón *nuevo*, luego repita los pasos desde (c) hasta (f) para las siguientes funciones:
 
$$I = I_0 * \exp(t), \quad \text{donde: } [I_0 = 5.0 \text{ y } t \text{ en toda la escala}]$$



$$v = 2.0 * \text{sen}(2.0 * t) + 3.0 * \text{cos}(1.5 * t), \quad \text{donde: } [v \text{ (m/s) y } t \text{ (s)}]$$
- g. Para estos casos se deberá adicionar un gráfico extra.
- g. En la opción *archivo* del menú principal, seleccione *guardar experimento como*, luego elija la carpeta y el nombre para guardar la actividad.

**Segunda actividad (introducir datos)**

- Seleccione la actividad *anotación manual*, en la *pantalla de inicio* de *Capstone*.
- En la tabla que aparece por defecto, ingrese los datos recogidos para un móvil que se mueve con aceleración constante, que se muestran en la tabla (1).

**Tabla (1).** Datos respecto a posición y tiempo de un móvil.

Posición (m)	0	105	420	945	840	1312	1890	2572	3360	4252
Tiempo (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45

- Realice las modificaciones correspondientes a los encabezados y la precisión de las unidades registradas.
- Seleccione el botón  para seleccionar los datos. Luego utilice  para realizar el ajuste de función cuadrático respectivo y determine la aceleración, velocidad inicial y posición inicial.
- En la opción *archivo* del menú principal, seleccione *guardar experimento como*, luego elija la carpeta *mis documentos* e indique un nombre para guardar la actividad.

**Tercera actividad (crear experimento)**

- Clic en el botón *Configuración de Hardware*, clic en el icono del sensor de Movimiento, con este paso conectamos el sensor y estamos listos para hacer las mediciones.
- Colocar el sensor en un extremo del Pastrack, y colocar un carro en el carril a 10 cm del Sensor de movimiento, poner a cero el sensor con el botón Poner a Cero ahora de la pantalla de *Controles*.



- Seleccione la actividad *datos de sensor*, en la *Pantalla Inicial* de *Capstone*, automáticamente aparecerá un gráfico de posición vs tiempo.
- Colocar e a 10 cm del sensor
- Arrastre con el mouse un gráfico y un medidor digital para cada uno de los parámetros medidos por el sensor. Posición, Velocidad y Aceleración.
- Inicie la toma de datos haciendo clic en el botón *Registrar* de la barra de herramientas de *Capstone*.

- g. Mueva lentamente el carro delante del plato en el *sensor de movimiento*, observe los cambios tanto en el medidor digital como en la gráfica posición vs. tiempo, velocidad vs. tiempo y aceleración vs. tiempo, continúe el movimiento variando la velocidad.
- h. Detenga la toma de datos haciendo click en el botón *detener* de la barra de herramientas de *Capstone*
- i. Adicione una tabla de datos para cada parámetro registrado y calcule los valores máximos y mínimos.
- j. En la opción *archivo* del menú principal, seleccione *guardar Experimento como*, luego elija la carpeta *mis documentos* e indique un nombre para guardar la actividad.

## CUESTIONARIO

1. En el movimiento rectilíneo uniformemente variado MRUV, se cumple que:

$$v = v_0 + at$$

Si un móvil parte con una velocidad inicial de 5 m/s a aceleración constante de 2.0 m/s<sup>2</sup> y recorre x metros en 10 segundos; ¿puede calcularse la distancia total recorrida usando las herramientas estadísticas de *Capstone*?; si su respuesta es afirmativa indique el procedimiento a seguir y el valor de x.

2. Usando la actividad *Ecuación Gráfica* de *Capstone*, grafíquelas siguientes funciones de posición y velocidad para un movimiento armónico simple:

$$x = 5.0\cos(2.0t + 0.5)$$

$$v = -10.0\sin(2.0t + 0.5)$$

Luego genere un gráfico para cada una de ellas y arrastre con el mouse los valores de posición hasta el eje de las abscisas de la gráfica velocidad; ¿Qué se observa en la gráfica?, ¿Qué información podemos obtener de ella?, explique.

3. Usando la información obtenida de la pregunta anterior y empleando la aplicación *calculadora* de *Capstone*, calcule la variación respecto al tiempo tanto de la energía cinética como de la energía potencial, del sistema; ¿De qué manera podría calcularse la energía total?, explique.
4. Haciendo uso de la actividad correspondiente en *Capstone* importe los datos grabados en la segunda actividad del archivo *posición-tiempo.txt*, luego efectúe un ajuste lineal y un ajuste cuadrático a los registros; ¿Cuál es en su opinión el ajuste más conveniente?, ¿Qué información útil puede extraerse de los datos presentados?, explique.
5. ¿Qué ocurriría en el caso de calibrar el sensor de movimiento para una distancia menor a la que se indica en la casilla *distancia de calibración*?, explique.

6. Describa las opciones de configuración para gráficos que tiene el software *Capstone*, para ello haga clic en *configuración* de la opción en la barra de herramientas del gráfico.
7. ¿Es posible importar un gráfico para una aplicación activa en *Capstone*?
8. Haga un recuento del número total de sensores en la base de datos de *Capstone* e indique su utilidad.
9. Explique cada una de las opciones de ajuste de graficas que permite *Capstone* e indique su utilidad.

## ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA CAPSTONE

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de la computadora personal para realizar gráficas sobre datos recogidos de una observación, facilita el proceso de análisis; sin embargo, es importante que el experimentador domine las técnicas para escoger la más conveniente según los resultados buscados.

### OBJETIVOS

El objeto de esta sesión es proporcionar las herramientas necesarias para obtener conclusiones respecto al comportamiento de los procesos bajo investigación, utilizando para ello herramientas de análisis computacional; en ese sentido, se plantea alcanzar los siguientes objetivos:

- Verificar los resultados proporcionados por el software, con los modelos matemáticos conocidos y establecer diferencias.
- Determinar relaciones matemáticas entre las variables físicas que intervienen en un experimento.
- Analizar usando el software Capstone los resultados que se obtienen de mediciones y observaciones, para predecir comportamientos previos ó posteriores a la toma de datos, junto con la verificación de parámetros estadísticos.
- Realizar mediciones con mayor grado de precisión.
- Calcular el error estimado para mediciones directas e indirectas aplicando la teoría de errores.
- Manejar correctamente el Vernier para mediciones de longitud y profundidad.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Funciones, tipos y representación

##### Tipos de Funciones

En el estudio de las ciencias fundamentales, existen muchos tipos de funciones utilizadas para describir fenómenos; sin embargo, nos centraremos en las tres más importantes:

- **Función lineal**, es aquella en que las variables dependientes e independientes están en relación directa y su gráfica corresponde a una línea recta. La ecuación matemática de esta función es:

$$y = mx + b \quad (1)$$

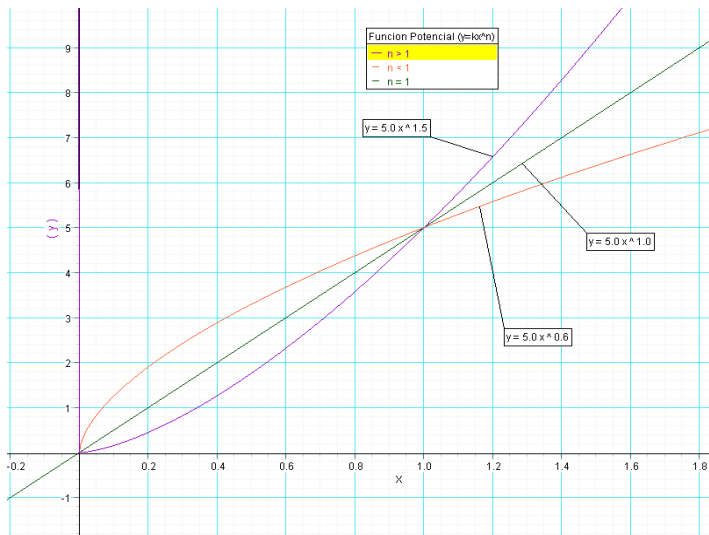
Donde:  $b$ , es la intersección de la recta con el eje vertical.  
 $m$ , corresponde a la pendiente de la recta.

- **Función Potencial**, es aquella en que la variable dependiente esta relacionada con la variable independiente, mediante una potencia de esta. Muchas leyes en física trabajan con este tipo de funciones, cuya ecuación matemática es:

$$y = kx^n \quad (2)$$

Donde:  $k$ , es coeficiente.  
 $n$ , corresponde a la potencia de la variable independiente.

En la figura (5) se han representado las curvas que corresponden a la función potencial para los posibles valores de  $n$ .



**Figura (5).** Representación gráfica de la función potencial.

- **Función exponencial**, es aquella en que la variable dependiente se relaciona exponencialmente con la variable independiente. La ecuación matemática que rige esta función es:

$$y = ka^{nx} \quad (3)$$

Donde: k, es el coeficiente.  
a, es la base.  
n, corresponde al exponente, junto al valor de la variable independiente x.

### Representación de Funciones

Para representar una función existen tres métodos:

- **El método analítico**, consiste en representar la función mediante una fórmula ó ecuación matemática.
- **El método de tabulación**, consiste en obtener valores numéricos de la función para ciertos valores del argumento, realizando luego un proceso llamado tabulación (ordenar los valores en una tabla).
- **Método gráfico**, este método consiste en representar una función por medio de la construcción de una gráfica, para lo cual se puede usar un computador ó algún papel especial (milimetrado, polar, logarítmico, etc.). Una gráfica es la representación geométrica que permite visualizar el carácter de variación de la función.

### Análisis de datos

La forma científica de relacionar las variables en estudio es expresándolas mediante una ecuación matemática, para usar correctamente esta ventaja del Software debemos considerar lo siguiente:

- En la toma de datos respecto a algún fenómeno obtenemos pares de datos con cierta variabilidad (grande o pequeña), estos conforman la nube de puntos, en primera instancia una inspección visual sugiere una posible relación entre x e y.
- La estrategia apropiada es derivar una función aproximada que ajuste la tendencia general de los datos sin ajustar necesariamente con los puntos individuales.

**Observación**, realizar un grafico directo sobre nubes de puntos (datos dispersos) no permitirá realizar un análisis valido.

### Ajuste lineal (método de los mínimos cuadrados)

Se utiliza cuando la nube de puntos sugiere una relación lineal entre  $x$  e  $y$ , lo que se busca es determinar los valores para la pendiente  $m$  y la constante  $b$ , en una línea recta denominada de ajuste.

Primera Recta de Regresión, Suponiendo que la primera recta de ajuste tiene la forma:  $y = mx + b$ . para cada valor de  $x_i$  asociamos un valor  $y_i$  que difiere de  $y_i$  en la cantidad  $D_{iy}$ , es decir:

De esta manera, tenemos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, de donde hallamos que:

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (4)$$

$$m = \frac{(\sum x_i y_i)N - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (5)$$

Quedando así determinada la primera recta de ajuste:  $y = mx + b$ .

*Segunda Recta de Regresión*, se repite el proceso minimizando la suma de los cuadrados de las desviaciones de las abscisas  $x_i$  y las abscisas de la primera recta de ajuste, obteniéndose:

$$b' = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i^2)}{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)} \quad (6)$$

$$m' = \frac{N(\sum y_i^2) - (\sum y_i)(\sum x_i)}{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)} \quad (7)$$

Quedando así determinada la segunda recta de ajuste:  $y = m'x + b'$ .

*Recta Promedio de Ajuste*, las condiciones de esta recta es que pase por el punto de intersección de las dos rectas de regresión y bisecar el ángulo formado por ellas. Con estas condiciones se demuestra que:

$$\bar{m} = \operatorname{tg}\left(\frac{\operatorname{arctg} m + \operatorname{arctg} m'}{2}\right) \quad (8)$$

$$b = \left( \frac{b(m' - \bar{m}) - b'(m - \bar{m})}{m' - m} \right) \quad (9)$$

los errores respectivos son:

$$\Delta b = \pm \frac{b - b'}{2} \quad \Delta \bar{m} = \pm \frac{m - m'}{2} \quad (10)$$

## Dígitos significativos, mediciones, incertidumbre y errores

### Dígitos significativos

La primera regla para efectuar mediciones y realizar cálculos es la siguiente:

*El resultado de un cálculo no puede tener más dígitos significativos que los que aparecen en cualquiera de los números empleados.*

Debido a la dificultad para determinar el número de dígitos significativos y no significativos, es preferible utilizar la *notación científica*; si aplicamos esta notación a las tres expresiones para el radio, tendríamos:

$$r = 1.3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$r = 1.3 \text{ cm} \quad ; \text{ en todos los casos son solo dos los dígitos significativos.}$$

$$r = 1.3 \times 10^4 \text{ } \mu\text{m}$$

Se evalúa lo siguiente: *si es mayor ó igual que cinco, aumentamos en uno al dígito anterior, en caso contrario el ultimo dígito deseado se queda como esta*, a este proceso se le conoce como redondeo.

### Mediciones

La medición de una magnitud **M**, consiste en determinar un numero **x**, que se obtiene comparando esta magnitud con respecto a una que sea fija y arbitraria **u** llamada unidad. Considerando esto la magnitud **M** cumple la siguiente ecuación:  $M = xu$ ; cuando realizamos la medición de una cantidad física, es común que no se obtenga un resultado exacto ó real, por consiguiente, no es posible afirmar algo respecto a la exactitud, existen dos tipos de mediciones:

- **Medición Directa.** - es la que se obtiene por observación al hacer uso de instrumentos de medida.
- **Medición Indirecta.** - se obtiene como resultado de la aplicación de fórmulas ó ecuaciones matemáticas sobre una serie de observaciones ó medidas directas.

El objetivo es determinar el *valor real ó verdadero*, que como su nombre lo indica, posee la magnitud en forma exacta ó real, perfectamente definida y que no tiene ninguna clase de errores.

### **Incertidumbre de lectura y valor medio**

Para calcular la incertidumbre, tomamos en cuenta lo siguiente: *como resulta posible identificar la división más cercana de la escala, hemos de tomar a la incertidumbre de lectura como la mitad de la división más pequeña del instrumento.*

Aunque la especificación de una medición junto con su incertidumbre da toda la información necesaria sobre la medición, a veces es conveniente presentar este resultado de otras maneras, una de ellas es usando la *incertidumbre relativa*:

$$\frac{\sigma}{L} = \frac{0.5}{113.0} = 0.004 \quad \text{o} \quad \frac{\sigma}{L} \times 100\% = 0.4$$

Ahora el valor más próximo y que mejor representa el valor real ó verdadero de una magnitud y que resulta de una serie de mediciones que son promediadas, se conoce como valor medio:

$$\langle x \rangle = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N) / N = (\sum x_i) / N \quad (11)$$

Donde:

$x_i$ , es el valor de cada medición

$N$ , es el total de mediciones realizadas.

### **Errores**

El error de una medición es la desviación, discrepancia ó diferencia entre la lectura de una medida (valor medio  $\langle x \rangle$ ), y el valor real ó verdadero  $x$ , generalmente este valor es expresado en función de la lectura de una medida ó de su valor medio  $x$ , acompañado con una de las diferentes representaciones para el error, así:

$$x = \langle x \rangle \pm \text{error}$$

**Error absoluto ( $\Delta x$ ).**- la notación usual es:

$$\Delta x = \pm (x - \langle x \rangle) \quad (12)$$

**Error relativo ( $\Delta x_r$ ).**- podemos calcularlo usando la siguiente relación:

$$\Delta x_r = \Delta x / \langle x \rangle \quad (13)$$

**Error porcentual ( $\Delta x_p$ ).**- es posible calcularlo usando la siguiente relación:

$$\Delta x_p = (\Delta x / \langle x \rangle) \cdot 100\% \quad (14)$$

### El calibrador Vernier

Es posible realizar mediciones en mm ó pulgadas en la regla principal; se establece que, la mínima lectura es 1mm y 1/16 pulgadas, la mínima usada en el nonio (1/n).1mm y (1/n)(1/16 pulgadas).

La distancia medida se puede calcular usando la siguiente formula:

$$d = (a + b/n) \text{ mm} \quad \text{ó} \quad d = (a + b/16n) \text{ pulg.}$$

Donde d es el valor total de la longitud medida en mm ó pulgadas; a es el número de milímetros ó pulgadas en la regla principal a la izquierda del cero del nonio; b es el número de divisiones que indica el nonio, medida desde su cero a la derecha, hasta aquella división que coincida con una de la regla principal y n es el número total de divisiones del nonio.

### EQUIPOS Y MATERIALES

N <sup>ro</sup>	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone		1
3	Interface Universal 850	UI-5000	1
4	Microsoft Excel instalado		1
5	Objeto de forma cilíndrica		1
6	Regla graduada en cm y milímetros	ME-7032	1
7	Calibrador Vernier de acero inox. ó Digital.	530-104 500-196-30	1

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Verifique la conexión y estado de la fuente de alimentación de la interface, luego proceda a encenderla.
- Encender el computador (CPU y monitor).
- Ingresar al software *Capstone* haciendo doble clic en el icono ubicado en el escritorio.

### Primera actividad (ajuste lineal)

- Usando *Capstone* con la actividad para *Anotación Manual*, ingresar los datos de la tabla (2), obtenidos de la medición de la velocidad  $v$  (m/s) en función del tiempo  $t$  (s), para un móvil.

**Tabla (2).** Datos de velocidad vs. tiempo.

tiempo (s)	velocidad (m/s)	tiempo (s)	velocidad (m/s)
0.000	1.000	4.250	5.140
0.250	1.900	4.500	4.960
0.500	1.800	4.750	5.850
0.750	2.350	5.000	5.100
1.000	2.300	5.250	5.700
1.250	2.500	5.500	5.900
1.500	2.550	5.750	6.430
1.750	3.150	6.000	6.000
2.000	2.750	6.250	6.350
2.250	3.900	6.500	6.702
2.500	3.300	6.750	6.588
2.750	3.820	7.000	7.600
3.000	3.450	7.250	7.300
3.250	4.310	7.500	7.450
3.500	3.910	7.750	7.555
3.750	4.635	7.800	8.678
4.000	3.830	7.850	9.767

- b. Digite los datos de la tabla (2) en el *block de notas de Windows* y guarde un archivo con el nombre de *exper1.txt*, en la carpeta *mis documentos*.
- c. Ingrese al software *Capstone* y seleccione *introducir datos*, luego elija en el menú archivo la opción *importar datos*.
- d. Genere un gráfico nuevo para la tabla creada y elimine el gráfico y la tabla vacía creada por defecto.
- e. En la *ventana resumen*, active la opción para introducir los encabezados apropiados (para el x, nombre de la variable = tiempo, para el eje y, nombre de variable = velocidad; unidades  $x = s$ ,  $y = m/s$ ).
- f. En el formato para presentación de gráficos desactive la unión de puntos con líneas.
- g. Escoja del menú de *ajustes* el tipo más apropiado según la configuración de nube de puntos observada (en este caso lineal).
- h. Usando las ecuaciones dadas en clase verifique los resultados proporcionados por el sistema para la recta de regresión promedio (parámetros m y b).
- i. Analice los valores obtenidos y determine lo siguiente:
  - Valor de la velocidad inicial.
  - Aceleración del móvil.
  - Valor máximo y mínimo de velocidad.
  - desviación estándar en datos ingresados.

### Segunda actividad (errores, incertidumbre y uso del Vernier)

- a. Medir 10 veces el diámetro del cuerpo cilíndrico, usando la regla graduada.
- b. Medir 10 veces el diámetro del cuerpo cilíndrico, usando el Vernier.
- c. Registrar sus datos usando la actividad para creación y edición de tablas del software *Capstone* y edite los encabezados apropiados.
- d. Usando las herramientas estadísticas calcule el valor mínimo, máximo, la media, la desviación estándar y la varianza.
- e. Use las relaciones proporcionadas en clase verifique los resultados obtenidos usando *Capstone*.
- f. Proporcione como resultado final el diámetro del cilindro, indicando la incertidumbre de lectura, error relativo, porcentual y absoluto, usando las medidas obtenidas con la regla graduada y las registradas usando el Vernier.

### CUESTIONARIO

1. ¿Es posible determinar la función que relaciona las variables x e y sin realizar un ajuste?
2. ¿Es posible aplicar el método de mínimos cuadrados para ajustar polinomios?
3. ¿En qué consiste el procedimiento de linealización?

4. Con los resultados de la primera actividad calcule la velocidad del móvil luego de 1 hora de iniciado su recorrido.
5. Indique algún fenómeno natural cuyo comportamiento pueda ser descrito usando una ecuación exponencial.
6. ¿Sería útil realizar un ajuste para una gráfica que considere los datos registrados y el número de mediciones?
7. ¿Cuál de los 2 instrumentos utilizados (Regla graduada y Vernier) es más confiable? y ¿Cuáles son en su opinión los valores más aceptables para dar un resultado?, explique ¿Por qué?
8. De lo obtenido en el paso e) para la segunda actividad, explique en sus propios términos, los beneficios y desventajas observadas al utilizar *Data Studio* para evaluar estadísticamente las mediciones.
9. ¿Qué representan? y ¿para qué sirven?, los valores obtenidos para la desviación estándar, varianza y media.
10. ¿Cuál es la diferencia entre precisión y exactitud?

## MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME Y UNIFORMEMENTE VARIADO

### INTRODUCCIÓN

Se conoce el movimiento completo si sabemos cómo se mueve cada punto del cuerpo; por ello, para comenzar, consideraremos solamente un punto móvil, ó un cuerpo pequeño denominado partícula.

### OBJETIVOS

El estudiante será capaz de:

- Establecer cuáles son las características del movimiento rectilíneo con aceleración constante.
- Determinar experimentalmente las relaciones matemáticas que expresan la posición, velocidad y aceleración de un móvil en función del tiempo.
- Ser capaz de configurar e implementar equipos para toma de datos experimentales y realizar un análisis gráfico utilizando como herramienta el software *Capstone*.
- Utilizar el software *Capstone* para verificación de parámetros estadísticos respecto a la información registrada.
- Analizar usando *Capstone* los resultados que se obtienen de mediciones y observaciones, para predecir comportamientos previos ó posteriores a la toma de datos, junto con la verificación de parámetros estadísticos.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

**Velocidad Media.** - Se define como la razón del desplazamiento al tiempo transcurrido. La velocidad media estará dada por:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (15)$$

La ecuación (15), puede escribirse de la forma:

$$x - x_0 = vt \quad (16)$$

**Velocidad Instantánea.** - La velocidad instantánea  $v$  es:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (17)$$

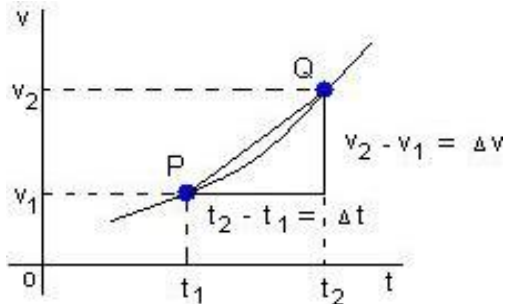
**Movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV)**

**Aceleración Media.** - Se define como la razón de cambio de velocidad al tiempo transcurrido:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (18)$$

Donde  $t_1$  y  $t_2$  son los tiempos correspondientes a las velocidades  $v_1$  y  $v_2$ .

La aceleración media entre  $t_1$  y  $t_2$  es igual a la pendiente de la cuerda PQ.



**Figura (6).** Grafica aceleración vs. tiempo.

**Aceleración Instantánea.** - es la aceleración en cierto instante, ó en determinado punto de su trayectoria, se define como:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (19)$$

**EQUIPOS Y MATERIALES**

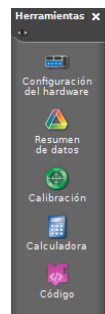
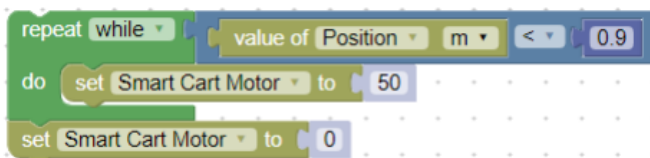
N°	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone instalado		1
3	Smart Cart (Rojo o Azul)	ME-1240 ó ME-1241	1
4	Motor de Smart Cart	ME-1247	1
5	Carril de plástico con tope magnético y polea	ME-6960, ME-8971, ME-9448B	1
6	2 m de Cuerda trenzada Dacron	SE-8050	1
7	Set de masas	ME-6757A	2

**PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES****Procedimiento para configuración de equipos y accesorios**

- Verifique el estado de la batería del *Smart Cart* y el *Motor del Smart Cart*, enciéndalo y conectarlo vía bluetooth al ordenador.
- Encender el computador (CPU y monitor).
- Ingresa al Software *Capstone* haciendo doble clic en el icono ubicado en el escritorio.
- Seleccionar el *Smart Cart* y el *Motor* en la lista de sensores, efectuar la conexión y calibración a cero.
- Configure el sensor a fin de que sea capaz de registrar 30 lecturas por segundo.
- Genere un gráfico para cada uno de los parámetros medidos por el sensor (aceleración, velocidad y posición).
- Realizar el montaje del conjunto de accesorios (carro, carril, pesos y tope) a fin de ejecutar la actividad, tal como se muestra en la figura (7).

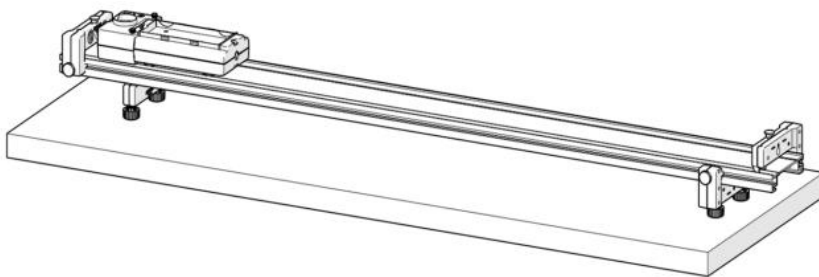
**Primera actividad (MRU)**

- Coloque sobre el carril el *Smart Cart* con el accesorio del Motor.
- Configure el Motor para que se mueva a una velocidad constante con el siguiente programa con la herramienta de codificación de bloques:



- Como el carro parte del reposo existirá una aceleración inicial hasta que el carro se

- mueva con una velocidad constante, ubique en el gráfico la zona de interés en la cual la Velocidad es constante por lo menos por 3 segundos.
- Finalizado el recorrido pulse el botón *detener* para detener el carro.
  - Utilice las herramientas de análisis del programa para determinar la velocidad media de la gráfica velocidad vs. tiempo.
  - Usando la *Coordenadas múltiples* sobre la gráfica posición vs. tiempo, determine las posiciones iniciales y finales, así como el tiempo que duro el recorrido, luego determine la velocidad media, este será el valor teórico.
  - Repita el proceso hasta completar 10 mediciones.
  - Compare sus valores experimentales con sus cálculos teóricos y determine el error absoluto, el error porcentual.
  - Calcule el área bajo la gráfica velocidad vs. tiempo, en cada caso y anótelos como la longitud recorrida.
  - Utilice la tabla (3) para anotar sus resultados.



**Figura (7).** Configuración de equipos para la primera actividad.

**Tabla (3),** datos de velocidad y posición para el MRU

Numero de Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidad Media (m/s)										
Longitud Recorrida (m)										

### Segunda actividad (MRUV)

- Coloque el *Smart Cart* (ME-1241) en la posición inicial.
- Use el peso del soporte (5 gramos) para la medición, véase la figura (8).
- Inicie la toma de datos soltando el carro y oprimiendo el botón *Registrar* en la barra de

- configuración principal de software.
- Utilice las herramientas de análisis del programa para determinar la aceleración media durante todo el recorrido, esto del gráfico aceleración vs. tiempo.
  - Usando la *Coordenadas múltiples* determine las velocidades inicial y final del móvil, luego el tiempo que duro el recorrido, luego calcule la aceleración media, este será considerado como el valor teórico.
  - Repita el proceso hasta completar 10 mediciones.
  - Evalué la aceleración media dada por la gráfica aceleración vs. tiempo, y compárela con su cálculo teórico, luego determiné el error absoluto y el error porcentual.
  - Utilice la tabla (4) para anotar sus resultados.



**Figura (8).** Configuración de equipos para la segunda actividad.

**Tabla (4),** datos registrados considerando un peso de 5 gramos.

Numero de Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aceleración media ( $m/s^2$ )										
Longitud Recorrida (m)										

Análisis	Valor Teórico	Error		Estadísticas	
		absoluto	Porcentual	Media	Desviación estándar
Aceleración Media ( $m/s^2$ )					
Longitud Recorrida (m)					

**CUESTIONARIO**

1. Grafique los datos de posición vs. tiempo de la segunda actividad (exportándolos), realice un ajuste cuadrático y determine la aceleración, la posición inicial y la velocidad en  $t = 0$ .
2. ¿Muestra la gráfica alguna evidencia de que exista error experimental?, explique la respuesta y si así es, sugiera las posibles causas de este error.
3. Realice un ajuste lineal sobre la gráfica velocidad vs. tiempo de la primera actividad y por extrapolación determine la velocidad del móvil para  $t = 15$  seg. y compare este valor con el obtenido usando las ecuaciones dadas en clase.
4. Analice el valor de la desviación estándar, ¿Qué indica respecto a los datos recogidos?
5. ¿Existirá fricción entre el carro y el carril?, ¿Por qué no se toma en cuenta?
6. Cuando la velocidad es constante, ¿difiere la velocidad media en un intervalo de tiempo cualquiera de la velocidad instantánea en un instante cualquiera?
7. ¿Puede un cuerpo tener rapidez constante y a la vez tener velocidad variable?
8. ¿Qué se observaría en la gráfica velocidad vs. tiempo para un móvil si la aceleración no fuese constante?
9. ¿Es el MRU un caso especial del MRUV cuando la aceleración es nula?
10. ¿En que se modificarían los cálculos para la velocidad y aceleración del móvil si se tuviese en cuenta la resistencia del aire?



## CAIDA LIBRE

### INTRODUCCIÓN

El movimiento de caída libre es un movimiento uniformemente acelerado, es decir, la aceleración instantánea es la misma en todos los puntos del recorrido y coincide con la aceleración media, y esta aceleración es la aceleración de la gravedad.

### OBJETIVOS

El movimiento de caída libre es un movimiento uniformemente acelerado, donde la aceleración instantánea coincide con la aceleración de la gravedad; luego de esta sesión el estudiante será capaz de realizar lo siguiente:

- Calcular la aceleración de la gravedad usando el sistema Capstone.
- Verificar que la aceleración de caída de un cuerpo no depende de su masa.
- Realizar un análisis gráfico de los parámetros registrados por los sensores a fin de establecer con un mínimo margen de error las magnitudes físicas buscadas (gravedad, tiempo de caída).
- Verificar la relación entre la distancia de caída con el tiempo empleado.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Movimiento de caída libre

La aceleración de un cuerpo en caída libre se denomina *aceleración debida a la gravedad* y se representa con la letra  $g$ , en la superficie terrestre ó cerca de ella, es aproximadamente:

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2 \text{ ó } 32 \text{ pies/s}^2 \quad (20)$$

Como el valor total de la longitud  $x$  se conoce en el experimento (desde  $x_0$  hasta el final del recorrido) y la aceleración es la aceleración de la gravedad, podemos decir que:

$$g = \frac{x}{t^2} \quad (21)$$

Esta relación nos permitirá calcular el valor experimental de la gravedad, al determinar el tiempo total de recorrido.

Es posible también medir el valor de la velocidad final de caída usando la ecuación (27) y el valor obtenido de  $g$ , recordemos que se suelta el objeto con velocidad nula ( $v_0 = 0$ ), por lo tanto:

$$v = gt \quad (22)$$

Considerando el tiempo total de caída  $t$ , medido experimentalmente.

Para determinar el grado de error correspondiente en nuestras mediciones, utilizaremos el valor de la gravedad establecida a nivel del mar y sobre el ecuador ( $980 \text{ cm/s}^2$ ).

## EQUIPOS Y MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone instalado		1
3	Aparato De Caída Libre -Frederiksen	SF-7274	1
4	Cronometro de Estudiante	SF-7275	1
5	Regla graduada de 1.0m	ME-7032	1

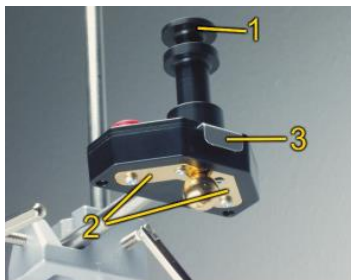
## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Montar el set up del experimento como se muestra en la Figura (9).
- Prepare el mecanismo de liberación presionando hacia abajo el botón (1) hasta escuchar un clic. Coloque la bola de acero entre las placas de contacto (2). Utilice el gatillo (3) para soltar la bola y así comenzar el temporizador Cuando la pelota golpea el objetivo de caída, el temporizador se detiene. Figura (10)
- Ingresar al software *Capstone*.
- Seleccionar *tabla*, en la primera columna de la tabla hacer clic en el botón *Seleccionar Medida* y elegir la opción *Crear Nuevo y Datos Introducidos por el Usuario*, Ingresar en el nombre de la medida *Altura* con unidad *metros*, en la segunda columna hacer los mismos pasos anteriores y colocar en el nombre de la medida *Tiempo* y unidad en *Segundos*, Aquí se colocará la altura de la cual se soltará el objeto, y el tiempo será medido por el timer de estudiante (SF-7275).

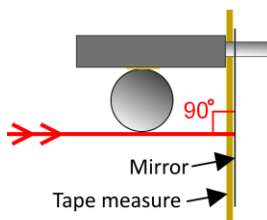


**Figura (9).** Montaje del Experimento



**Figura (10).** Preparación del sistema de liberación.

- e. La altura de caída debe ser determinada previamente utilizando la regla graduada. Y midiendo de la siguiente manera para evitar errores de paralaje.
- f. El montaje de dispositivos y accesorios, es tal y como se muestra en la figura (11).



**Figura (11).** Medición de altura.

**Primera actividad (determinación de la gravedad)**

- Pulse el botón 3 que se muestra en la figura 10
- Anote el tiempo de caída mostrado en el *timer*.
- Calcule la magnitud de la gravedad en  $m/s^2$ .
- Con el valor obtenido previamente calcule el valor de la velocidad final de caída.
- Anote sus resultados en la tabla (5).

**Tabla (5)**, datos registrados considerando esfera de poliestireno.

Numero de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo de caída (s)										
Aceleración gravedad ( $m/s^2$ )										
Velocidad final de caída										
Longitud recorrida (m)										

Análisis	Valor Teórico	Error		Estadísticas	
		absoluto	Porcentual	Media	Desviación
Aceleración media ( $m/s^2$ )	9.8				
Tiempo promedio de caída (s)					

- Repita los pasos de a) hasta e) diez veces, anotando sus resultados en cada caso.
- Determine el error absoluto y porcentual, luego calcule la media y la desviación estándar de las mediciones.
- Cambie la esfera de PVC por la Vinílico y repita los pasos de a) hasta la g).

**CUESTIONARIO**

- ¿Qué factores pueden causar las diferencias entre el valor obtenido y el valor comúnmente aceptado para la *aceleración gravitacional* a nivel del mar?
- ¿La fuerza de fricción juega un papel importante en este experimento?
- ¿Cuál diría usted que es la relación que liga el tiempo de recorrido con la

- distancia total de caída?, exprese usted la ecuación considerando la constante proporcionalidad correspondiente y señale cuál es su significado.
4. Si lanzamos un cuerpo verticalmente hacia arriba, alcanzará una altura máxima y después caerá. ¿tanto la fase de ascenso como la de descenso son de caída libre?
  5. Elabore una gráfica posición vs. tiempo para la caída libre, calcule la pendiente de esta gráfica para  $t = 0.01$  seg. ¿Qué unidades tiene?, ¿Qué significado físico tiene este valor?
  6. En el espacio, ¿Existe la gravedad?, justifique su respuesta.
  7. ¿Cuál es la incertidumbre en nuestra medición experimental de la gravedad?
  8. ¿Está usted conforme con el valor experimental obtenido para la aceleración?, justifique su respuesta.
  9. Si los frenos de tu automóvil son capaces de crear una aceleración retardatriz de  $17 \text{ m/s}^2$ , Si tú vas a  $85 \text{ km/h}$  y de repente ves un policía de tránsito, ¿cuál es el tiempo mínimo en el que tú puedes bajar la velocidad a  $55 \text{ km/h}$ ?
  10. Un avión en vuelo horizontal a una altura de  $300 \text{ m}$  y con una velocidad de  $60 \text{ m/s}$ ,deja caer una bomba. Calcular el tiempo que tarda en llegar al suelo, y el desplazamiento horizontal de la bomba.

## MOVIMIENTO DE UN PROYECTIL

### INTRODUCCIÓN

El propósito de este experimento es predecir el alcance horizontal de un disparo de proyectil desde varias alturas y ángulos. Además, los estudiantes compararán el tiempo de vuelo de proyectiles disparados horizontalmente a diferentes velocidades de salida.

### OBJETIVOS

- Verificar las relaciones cinemáticas que gobiernan el movimiento de un proyectil.
- Determinar la relación entre ángulo de disparo y alcance máximo.
- Determinar la velocidad de lanzamiento.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Movimiento de un Proyectil

En este caso se lanza un objeto con cierto ángulo de elevación respecto a un plano horizontal de referencia, el vector velocidad  $v$  es tangente en todo instante a la trayectoria. Luego como  $v_x$  es constante, la accisa  $x$  (alcance) en un instante cualquiera es:

$$x = (v_0 \cos \theta_0)t \quad (23)$$

y la ordenada y vale:

$$y = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (24)$$

En el tiro con ángulo de elevación mayor a cero, el tiempo requerido para que el proyectil alcance máxima altura  $h$ , se calcula mediante la fórmula:

$$t_{h_{\max}} = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (25)$$

La *altura máxima* es la siguiente:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2g} \quad (26)$$

El tiempo necesario para que el proyectil retorne al nivel de referencia de lanzamiento se denomina *tiempo de vuelo*, y puede calcularse el *alcance máximo*, es decir la distancia horizontal cubierta, esto es:

$$R = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta_0 \quad (27)$$

La ecuación de la trayectoria se obtiene despejando de la siguiente ecuación:

$$y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} x^2 + x \tan \theta_0 \quad (28)$$

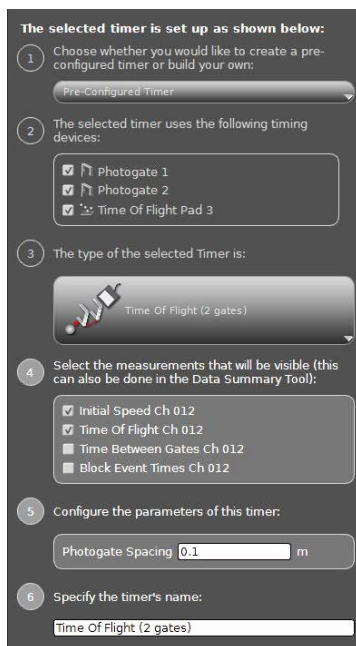
## EQUIPOS Y MATERIALES

N°	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Casptone instalado		1
3	Interface Universal 850	UI-5000	1
4	Mini lanzador	ME-6825	1
5	Cabeza de fotopuerta	ME-9498A	2
5	Accesorio para tiempo de vuelo	ME-6810A	1
6	Adaptador para fotopuerta	ME-6821A	1
7	Esferas de plástico	ME-6822	1
8	Papel carbón, papel bond, gafas protectoras		1
9	Cinta métrica 30.0 m	SE-8712A	1

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### CONFIGURACIÓN 1: velocidad de salida, tiempo de vuelo y alcance

1. Deslice el soporte Photogate en la ranura en la parte inferior del lanzador y apriete el tornillo de mariposa.
2. Conecte dos fotopuertas al soporte (vea las fotos a continuación). Ajuste el soporte de Photogate para que el primer photogate esté lo más cerca posible del lanzador sin bloquear el haz de infrarrojos.
3. Fije el lanzador al soporte del lanzador utilizando los orificios superiores (vea la foto a continuación).
4. Enchufe la fotopuerta más cercana al lanzador en la entrada digital 1 en la interfaz universal 850. Enchufe el otro photogate en la entrada digital 2.
5. Enchufe el accesorio de tiempo de vuelo en la entrada digital 3.
6. En PASCO Capstone, haga clic en Entrada digital 1 en la configuración del hardware y seleccione un photogate. Luego haga clic en Digital Input 2 y seleccione otro photogate. Luego haga clic en Entrada digital 3 y seleccione un accesorio de tiempo de vuelo.
7. Abra la configuración del temporizador y seleccione un temporizador preconfigurado para el tiempo de vuelo con dos Photogates como se muestra a continuación:



**Figura (12).** Disposición de equipos y accesorios.

**Primera actividad (determinación de la velocidad inicial)**

- a. Verifique la elevación angular del tubo lanzador.
- b. Inserte con ayuda del tubo atacador la esfera de plástico ó acero, en la primera o segunda posición de compresión del resorte según sea el caso.
- c. Verificar la puntería, esta debe coincidir con la dirección del *accesorio para tiempo devuelto*.
- d. Pulsar el botón *Registrar*
- e. Tirar suavemente del cable que activa el disparador.
- f. Verificar el punto de alcance máximo correspondiente; de ser necesario, ajuste la distancia de ubicación del accesorio para tiempo de vuelo.
- g. Anote el valor del alcance máximo (fotopuerta al punto de impacto en el plato), el tiempo de vuelo y el ángulo empleado; realice esta operación tres veces y tome el promedio.
- h. Varíe la posición angular aumentando cinco grados cada vez.
- i. Repita los procedimientos desde (a) hasta (g), para las medidas angulares mostradas en las tablas (6) y (7), usando la esfera de acero y la esfera de plástico.
- j. Usando Capstone con la actividad introducir datos, realice una gráfica alcance máximo (m) vs. ángulo de tiro (rad), y determine la velocidad inicial empleando el valor conocido de gravedad.

**Tabla (6)**, Datos registrados para alcance máximo y ángulo de tiro, usando la esfera de plástico

Angulo de tiro (Rad)	Alcance máximo promedio (m)	Tiempo de vuelo promedio (s)
0.087 (5)		
0.175 (10)		
0.262 (15)		
0.349 (20)		
0.436 (25)		
0.524 (30)		
0.611 (35)		
0.698 (40)		
0.785 (45)		
0.873 (50)		

**Tabla (7)**, Datos registrados para alcance máximo y ángulo de tiro, usando la esfera de acero

Angulo de tiro (Rad)	Alcance máximo promedio (m)	Tiempo de vuelo promedio (s)
0.087 (5)		
0.175 (10)		
0.262 (15)		
0.349 (20)		
0.436 (25)		
0.524 (30)		
0.611 (35)		
0.698 (40)		
0.785 (45)		
0.873 (50)		

### CUESTIONARIO

1. Señalar y clasificar las fuentes de error en este experimento.
2. ¿Se cumple el principio de independencia de movimiento, para las esferas lanzadas?
3. Demostrar que un ángulo de  $45^\circ$  da el máximo alcance horizontal.
4. Encontrar el ángulo de disparo para el cual, el alcance horizontal es igual a la máxima altura del proyectil.
5. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre el proyectil después de haber sido lanzado?, muestre su respuesta en un diagrama.
6. ¿Cómo se determinaría la velocidad inicial de una bala si solo se dispone de una cinta métrica?
7. ¿Qué es una *curva balística*?, Explicar detalladamente.
8. ¿A qué se denomina *visual de puntería*?, hacer un esquema explicativo de cómo apuntar con un arma de fuego para batir el blanco.
9. ¿A qué se denomina *parábola de seguridad*?
10. ¿Qué es y cómo se origina el *efecto de desvío lateral de un proyectil*?



## MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME Y UNIFORMEMENTE VARIADO

### INTRODUCCIÓN

El estudio y descripción del movimiento circular es muy importante. En esta sesión, vamos a definir las magnitudes características de un movimiento circular, análogas a las ya definidas para el movimiento rectilíneo.

### OBJETIVOS

Luego de la exposición de los métodos matemáticos para caracterizar el movimiento circular y de realizar la comprobación experimental, el estudiante será capaz de:

- Establecer cuáles son las características del movimiento circular con aceleración constante.
- Determinar experimentalmente las relaciones matemáticas que expresan la posición, velocidad y aceleración de un móvil en función del tiempo.
- Ser capaz de configurar e implementar equipos para toma de datos experimentales y realizar un análisis gráfico utilizando como herramienta el software *Capstone*.
- Utilizar el software *Capstone* para verificación de parámetros estadísticos respecto a la información registrada.
- Analizar usando *Capstone* los resultados que se obtienen de mediciones y observaciones, para predecir comportamientos previos ó posteriores a la toma de datos, junto con la verificación de parámetros estadísticos.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Movimiento Circular

##### Posición angular ( $\theta$ )

El ángulo  $\theta$ , es el cociente entre la longitud del arco  $s$  y el radio de la circunferencia  $r$ :

$$\theta = \frac{s}{r}$$

La posición angular es el cociente entre dos longitudes y, por tanto, no tiene dimensiones.

##### Velocidad angular ( $\omega$ )

Se denomina velocidad angular media al cociente entre el desplazamiento y el tiempo.

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (29)$$

La velocidad angular en un instante se obtiene calculando la velocidad angular media en un intervalo de tiempo que tiende a cero.

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (30)$$

### Aceleración Angular ( $\alpha$ )

Se denomina *aceleración angular media* al cociente entre el cambio de velocidad angular y el intervalo de tiempo que tarda en efectuar dicho cambio.

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (31)$$

La aceleración angular en un instante, se obtiene calculando la aceleración angular media en un intervalo de tiempo que tiende a cero.

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (32)$$

Si conocemos un registro de la velocidad angular del móvil podemos calcular su desplazamiento  $\theta - \theta_0$  entre los instantes  $t_0$  y  $t$ , mediante la integral definida.

$$\theta - \theta_0 = \int_{t_0}^t \omega dt \quad (33)$$

Podemos hallar la posición angular  $\theta$  del móvil en el instante  $t$ , sumando la posición inicial  $\theta_0$  al desplazamiento, calculado mediante la medida del área bajo la curva  $\omega$  vs.  $t$  o mediante cálculo de la integral definida en la fórmula (33).

### Movimiento Circular Uniforme (MCU)

Un movimiento circular uniforme es aquél cuya velocidad angular  $\omega$  es constante, por tanto, la aceleración angular es cero.

### Movimiento Circular Uniformemente Variado (MCUV)

Un movimiento circular uniformemente acelerado es aquél cuya aceleración  $\alpha$  es constante. Dada la aceleración angular podemos obtener el cambio de velocidad angular  $\omega - \omega_0$  entre los instantes  $t_0$  y  $t$ , mediante integración de:

$$\omega - \omega_0 = \alpha(t - t_0) \quad (34)$$

### EQUIPOS Y MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Pasco Capstone		1
3	Sensor de Movimiento Circular Inalámbrico	PS-3220	1
4	Carro inteligente (rojo)	ME-1240	1
5	Motor de carro inteligente	ME-1247	1
6	Carril de plástico con tope magnético y polea.	ME-6960 ME-8971 ME-9448B	1
7	2.0 m de cuerda trenzada para experimentos de física.	SE-8050	1
8	calibrador Vernier digital.	500-196-30	1
9	Set de masas y soportes	ME-8967 ó ME-8979	1
10	Soporte universal (Accesorio IDS)	CI-6692	1

### PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

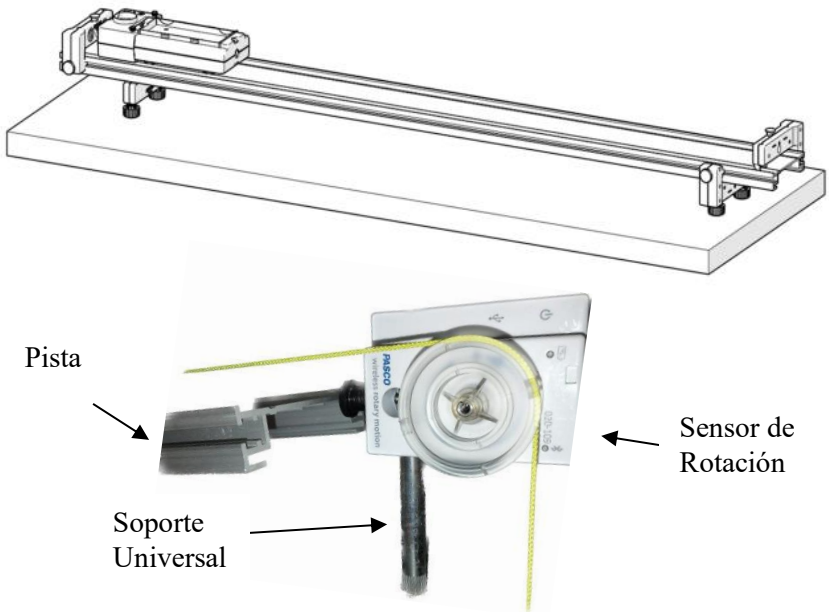
#### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Verifique la conexión y estado de la fuente de alimentación de la *interface*, luego proceda a encenderla.
- Encender el computador (CPU y monitor).
- Ingresa al software Capstone haciendo doble click en el icono ubicado en el *escritorio*.
- Seleccionar el *sensor de movimiento circular* en la lista de sensores, Conectar

- Configure el sensor a fin de que sea capaz de registrar 30 lecturas por segundo.
- Genere un gráfico para cada uno de los parámetros medidos por el sensor (aceleración angular, velocidad angular y posición angular).
- Con ayuda del calibrador Vernier determine el diámetro de la polea del *sensor de movimiento circular* luego calcule la longitud de su circunferencia  $L$ .

### Primera actividad (MCU)

- Coloque el motor de carro inteligente en el Smart Cart y próximo a la pista coloque el sensor de rotación en un soporte universal, este arreglo funcionará como una polea.



- Sujete una masa de 30 gramos en el extremo en el accesorio del Sensor de Fuerza del Smart Cart, emplee para esto el hilo negro, luego asegúrese que el hilo pase sobre la polea del *sensor de movimiento circular*.
- Regule la velocidad, de modo que pueda recorrer 0.8 m sobre el carril en aproximadamente en 10 segundos.
- El Smart Cart con el motor en la posición inicial (0.15 m del sensor de Rotación), en lugar del, que se muestra en la figura.
- Inicie la toma de datos encendiendo el carro y oprimiendo el botón *inicio* en la barra de configuración principal del software *Capstone*.

- f. Finalizado el recorrido pulse el botón *detener* y apague el carro.
- g. Utilice las herramientas de análisis del programa para determinar la velocidad angular media.
- h. Repita el proceso hasta completar 10 mediciones.
- i. Calcule el área en la gráfica velocidad angular vs. tiempo, anótelo como desplazamiento angular recorrido, luego divida esta cantidad entre  $2\pi$ , este es el número de vueltas (N).
- j. Evalúe la información obtenida, comparándola con sus datos teóricos y calcule el error absoluto, el error porcentual respecto a la distancia recorrida (D).
- k. Utilice la tabla (8) para anotar sus resultados.

**Tabla (8)**, datos de velocidad y posición para el MRU

Numero de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidad angular media (rad. /s)										
Desplazamiento angular(rad.)										
Numero de vueltas (N)										
Distancia recorrida ( $L \times N = D$ ) (m)										
Distancia recorrida teórica (m)			Error absoluto			Error porcentual				

**Segunda actividad (MCUV)**

- Coloque el Carro inteligente (ME-1240) en la posición inicial (0.15 m del sensor).
- Sujete un peso de 10 gramos en el extremo del carro, emplee para esto el hilo negro, luego asegúrese que pase sobre la polea del sensor de movimiento circular, véase la figura (16).
- Inicie la toma de datos soltando el carro y oprimiendo el botón inicio en la *barra de configuración* principal de software.
- Utilice las herramientas de análisis del programa para determinar la velocidad angular media y la aceleración angular media.
- Repita el proceso hasta completar 10 mediciones.
- Calcule el área en la gráfica velocidad angular vs. tiempo, anótelo como desplazamiento angular recorrido, luego divida esta cantidad entre  $2\pi$ , este será el número de vueltas (N).
- Evalúe la información obtenida, comparándola con sus datos teóricos y calcule el error absoluto, el error porcentual respecto a la distancia recorrida (D).
- Utilice la tabla (9) para anotar sus resultados.

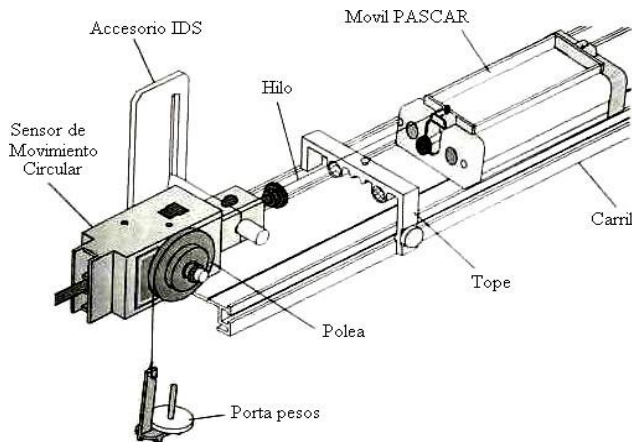


Figura (16). Configuración de equipos para la segunda actividad.

**Tabla (9)**, Datos registrados considerando un peso de 10 gramos.

Numero de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidad angular media (rad./s)										
Aceleración angular promedio (rad./s <sup>2</sup> )										
Numero de vueltas (N)										
Distancia recorrida (LxN = D) (m)										
Distancia recorrida teórica (m)	0.8	Error absoluto			Error porcentual					

## CUESTIONARIO

1. Grafique los datos de posición angular vs. tiempo de la segunda actividad, realice un ajuste cuadrático y determine la aceleración, la posición angular inicial y la velocidad angular en  $t = 0$ .
2. Sobre los datos de la segunda actividad, realice un ajuste lineal sobre la gráfica velocidad angular vs. tiempo y por extrapolación determine la velocidad angular del móvil para  $t = 15$  seg. y compare este valor con el obtenido usando las ecuaciones dadas en clase.
3. ¿Muestra la gráfica alguna evidencia de que exista error experimental?, explique la respuesta y si así es, sugiera las posibles causas de este error.
4. ¿En el movimiento circular la dirección del vector velocidad es constante?, justifique su respuesta.
5. Deduzca una expresión para la velocidad tangencial en función de la velocidad angular del radio de la polea.
6. Utilizando la ecuación obtenida en la pregunta anterior y los datos de velocidad angular (primera y segunda actividad) y diámetro de la polea calcule la velocidad tangencial a la cual se desplazó el móvil.
7. Calcule la frecuencia de rotación para la primera actividad.
8. Determine la frecuencia de rotación en la segunda actividad, luego elabore una gráfica frecuencia vs. tiempo.
9. ¿Qué representa cada una de las componentes del vector velocidad para un móvil que se desplaza con MCU?

## LEYES DE NEWTON

### INTRODUCCIÓN

En esta sesión estudiaremos el comportamiento de un cuerpo cuando es sometido a una fuerza no nula y veremos aquí que la respuesta a esta cuestión está contenida en las leyes de Newton

### OBJETIVOS

Usando el equipo experimental Pasco Scientific y el software *Capstone*, seremos capaces de alcanzar los siguientes objetivos:

- Verificar que todo cuerpo permanece en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que otros cuerpos actúen sobre él.
- Verificar que la fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración.
- Verificar que cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido opuesto.
- Ser capaz de configurar e implementar equipos para toma de datos experimentales y realizar un análisis gráfico utilizando como herramienta el software *Capstone*.
- Analizar usando *Capstone* los resultados que se obtienen de mediciones y observaciones, para predecir comportamientos previos ó posteriores a la toma de datos, junto con la verificación de parámetros estadísticos.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Primera ley de Newton

La primera ley de Newton, conocida también como *ley de inercia*, nos dice que, si sobre un cuerpo no actúa ningún otro, este permanecerá indefinidamente moviéndose en línea recta con velocidad constante (incluido el estado de reposo). La primera ley de Newton se enuncia como sigue:

***Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que otros cuerpos actúen sobre él***

## Segunda ley de Newton

Tanto la fuerza como la aceleración son magnitudes vectoriales, es decir, tienen, además de un valor, una dirección y un sentido. De esta manera, la *segunda ley de Newton* debe expresarse como:

$$F = ma \quad (35)$$

Donde:  $a$ , es la aceleración del cuerpo.

$F$ , es la fuerza neta externa.

$m$ , masa del cuerpo.

En conclusión, la *segunda ley de Newton*, expresada en la ecuación (35), es la más importante en cuanto nos permite establecer una relación numérica entre las magnitudes fuerza y aceleración; esta se podría enunciar como:

*La fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración*

## Tercera ley de Newton

La tercera ley puede enunciarse de la siguiente manera:

*Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido opuesto*

## EQUIPOS Y MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone instalado		1
3	Carro inteligente (azul)	ME-1241	1
4	Carro inteligente (rojo)	ME-1240	1
5	Carril de plástico con tope magnético y polea.	ME-6960, ME-8971, ME-9448B	1
6	2.0 m de hilo negro.	ME-9875	1
7	Set de masas	ME-8967	1
8	Balanza analógica ( $\sigma \pm 0.1$ gr.)	SE-8707	1
9	Masas adicionales (250 gr.)	ME-6757A	2
10	Nivel de burbuja	TRUPER NT-9	1

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

El propósito de este experimento es verificar la Segunda Ley de Newton para un sistema unidimensional. Se aplica una fuerza medida a un carro de baja fricción y se mide la aceleración resultante.

### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Encender el computador (CPU y monitor).
- Ingresa al software *Capstone* haciendo doble click en el icono ubicado en el escritorio, luego seleccione *crear experimento*.
- Seleccionar *Carro inteligente (azul)* en la lista de sensores, luego efectuar la conexión según lo indicado por el software.
- Configure el *Carro inteligente (azul)* a fin de que sea capaz de registrar 30 lecturas por segundo.
- Sujete la polea al otro extremo de la pista. Coloque este extremo sobre el borde de la mesa. Coloque el tope final elástico para evitar daños en la polea.
- Configure el *sensor de fuerza del Carro inteligente (poner a 0)*
- Sítue el carril sobre una superficie horizontal, luego póngalo a nivel empleando la regla de nivel de burbuja, para corregir la altura utilice el pie ajustable del extremo del carril.
- Determine con ayuda de la *balanza analógica*, la masa del carro, anote sus datos en la tabla (10).

**Tabla (10),** Masa del Carro

Componente	Masa en gramos	Masa en Kilogramos
SMART CART		

### Primera actividad (segunda ley de Newton)

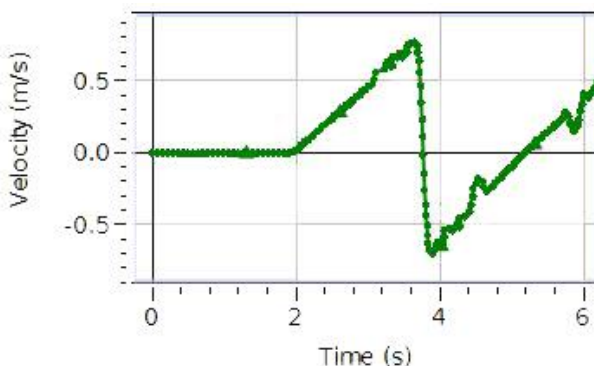
#### CONFIGURACIÓN



**Figura (14).** Configuración de equipos para la primera actividad.

**PROCEDIMIENTO A**

1. En Capstone, seleccione el sensor de fuerza Smart Cart en la barra de control de muestreo en la parte inferior de la página. Retire la cuerda del gancho del sensor de fuerza del Smart Cart y presione el botón "CERO" en la barra de control de muestreo (al lado de la frecuencia de muestreo) en Capstone. Luego reemplace la cuerda.
2. Tire del carro hacia atrás lo más que pueda sin permitir que el soporte de masa entre en contacto con la polea.
3. Comience a grabar y suelte el carrito.
4. Haga clic en DETENER después de que el carro llegue al tope.
5. El gráfico debería verse como la imagen de abajo. La región de interés en este ejemplo es la región acelerada entre 2,0 y 3,5 s. Elimine ejecuciones de datos incorrectos haciendo clic en Eliminar última ejecución en la parte inferior derecha de la pantalla.



6. Haga clic en el botón Resumen de datos en la barra de herramientas izquierda. Haga doble clic en la ejecución que acaba de realizar en cualquier cuadro y vuelva a etiquetarla como 10 g Ejecución 1. Luego cierre el Resumen.
7. Repita los pasos 2 a 6 anteriores cuatro veces más usando masas de 20 g, 30 g, 40 g y 50 g en el extremo de la cuerda. Etiquételes 20 g Ejecución 1, etc. ¡¡¡No repita el paso 1 !!!!

**ANÁLISIS**

1. Cree una tabla y cree un conjunto de datos ingresado por el usuario llamado a1 con unidades de  $m/s^2$  en la primera columna y otro conjunto de datos ingresado por el usuario llamado a2 con unidades de  $m/s^2$  en la segunda columna.

	Masa Colgante(g)	a1 ( $m/s^2$ )	a2 ( $m/s^2$ )
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

2. En la barra de herramientas en la parte superior del gráfico de velocidad, haga clic en el triángulo negro de la herramienta Seleccionar ejecución y seleccione “10 g Ejecución 1”.
3. Haga clic en la herramienta de selección (barra de herramientas de gráficos) y arrastre los controladores en el cuadro de selección para seleccionar la parte acelerada inicial de la ejecución donde los datos están limpios (sin picos) y lineales. Anota el rango de tiempo que has seleccionado. Utilizará esto en el paso 10 a continuación.
4. Seleccione un ajuste lineal.
5. Registre la pendiente (m) del cuadro Ajuste de curva lineal en la línea 1 de la columna “a1” de la tabla. Quieres una precisión de 2 decimales. Puede ajustarlo usando el ícono de ajustes en el cuadro Ajuste de curva. Primero haga clic derecho en cualquier lugar del cuadro Lineal. Luego haga clic en Propiedades de ajuste de curva y seleccione 2 decimales fijos.
6. Repita los pasos anteriores para la “Carrera 1 de 20 g”, ingresando la aceleración en la línea 2, y así sucesivamente para las cinco carreras.
7. Crea una nueva página en Capstone y haz una gráfica de fuerza versus tiempo.

8. Cree una segunda tabla y cree un conjunto de datos ingresado por el usuario llamado F1 con unidades de N en la primera columna y otro conjunto de datos ingresado por el usuario llamado F2 con unidades de N en la segunda columna.

	Masa Colgante(g)	F1 (N)	F2 (N)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

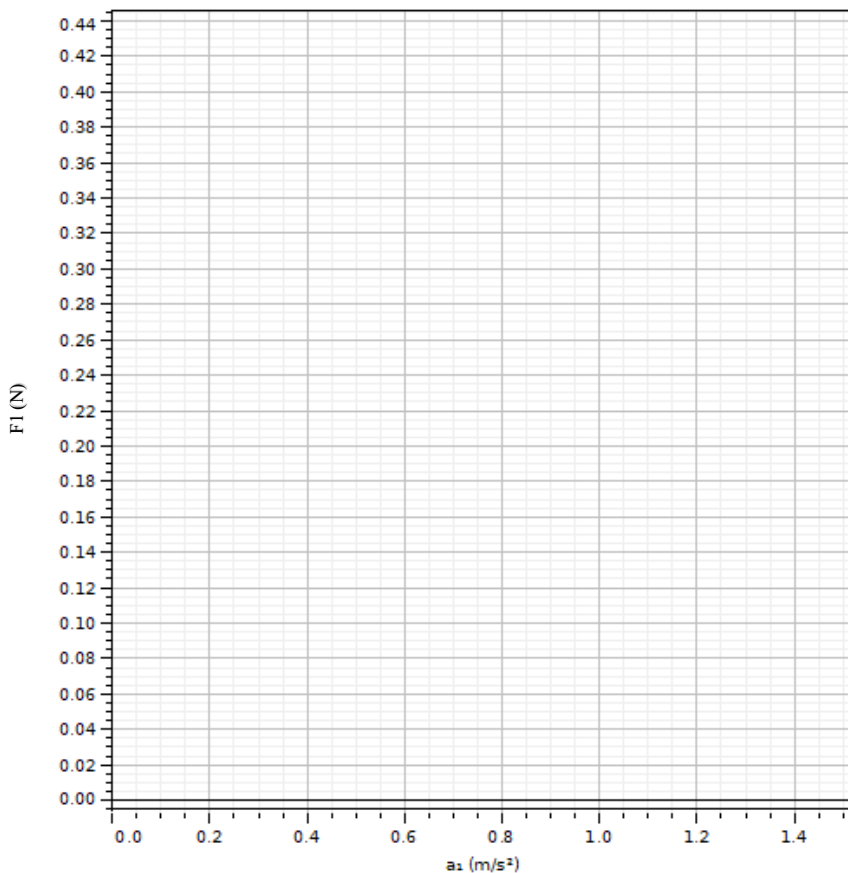
9. En la barra de herramientas en la parte superior del gráfico, haga clic en la herramienta Ejecutar Seleccionar y seleccione "10 g Ejecutar 1".
10. Haga clic en la herramienta de selección y arrastre los controles en el cuadro de selección para seleccionar el mismo rango de tiempo que seleccionó en el paso 3 anterior.
11. Haga clic en la herramienta Estadísticas (barra de herramientas de gráficos) para activarla y luego en el triángulo negro y seleccione Media. El valor medio de la región seleccionada debería aparecer en la pantalla. Queremos una precisión de tres decimales aquí. Para cambiar la precisión, haga clic en abrir Resumen de datos (a la izquierda de la pantalla), haga clic en Forzar, haga clic en el ícono de ajustes que aparece y elija 3 decimales fijos en la ventana emergente que aparece. Aunque los datos parecen bastante ruidosos, el promedio está bien definido. Registre el valor medio en la tabla en la línea 1 de la columna "f1".
12. Repita los pasos 7 y 8 anteriores para la "Carrera 1 de 20 g", ingresando la fuerza en la línea 2, y así sucesivamente para las cinco carreras.

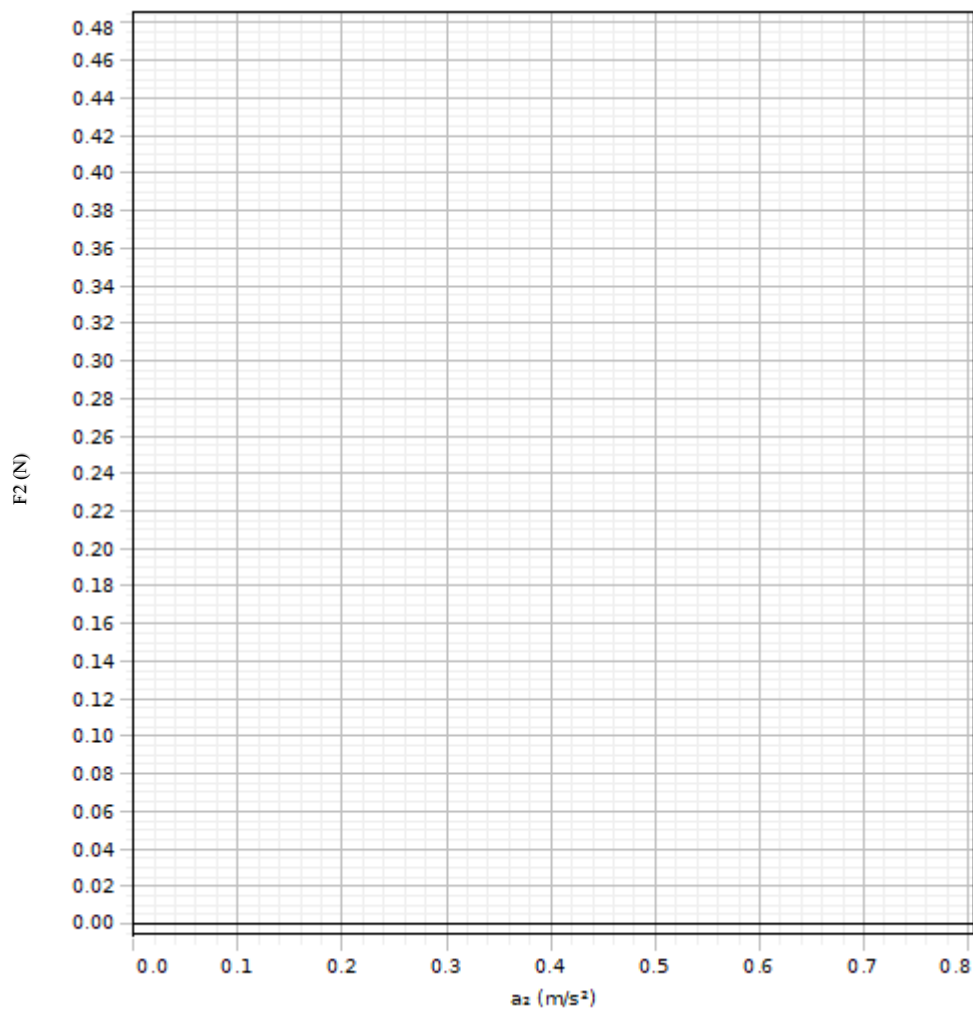
## PROCEDIMIENTO B

1. Añade al carrito una barra de masa de 250 gramos.
2. Repita el procedimiento (Parte A), excepto que etiquete los experimentos como "10 g Experimento 2", etc.
3. Repita el análisis excepto que ingrese los valores de aceleración en la columna "a2" y los valores de fuerza en la columna "F2".
4. Encuentre la masa en kilogramos del Smart Cart y la masa del Smart Cart más la barra de masa.

**INCERTIDUMBRE:**

1. Es valioso estimar las incertidumbres en este experimento. Una manera fácil de hacer esto es repetir la “Carrera 2 de 50 g” dos veces más y ver cuánto varía la aceleración. Ingrese sus dos valores adicionales en las líneas 6 y 7 de la columna "a2" de la primera tabla.
2. ¿Cuál es su estimación de la incertidumbre en la aceleración?
3. En una nueva página de Capstone, cree una gráfica de  $f1$  frente a  $a1$  y otra gráfica de  $f2$  frente a  $a2$ .





## CONCLUSIONES

1. Examina las gráficas de fuerza versus aceleración. El gráfico 1 es el gráfico de fuerza ( $f_1$ ) versus aceleración ( $a_1$ ) para el carro y el sensor. El gráfico 2 es la fuerza ( $f_2$ ) versus la aceleración ( $a_2$ ) del carro con la masa compacta agregada.
2. ¿Estos gráficos apoyan la segunda ley de Newton? ¿Explica tu respuesta completamente! No olvides que hay cierta incertidumbre aquí ( $a_2$  del Procedimiento B). ¿Explica alguna desviación de lo que predeciría Newton?
3. ¿Esperaría que la intersección vertical fuera igual a cero? ¿Lo es? Explicar.
4. ¿Qué propiedad física representa la pendiente de una gráfica de Fuerza versus Aceleración? Pista: ¿cuáles son las unidades de la pendiente? ¿Por qué las pistas son diferentes? Explicar.
5. ¿Qué tan bien coinciden tus pistas con lo que deberías esperar?

## SEGUNDA ACTIVIDAD (PRIMERA Y TERCERA LEYES DE NEWTON)

### EQUIPOS

1	Carro Inteligente Azul	ME-1241
1	Bloque de fricción	ME-9807
1	Súper Polea con Abrazadera	ME-9448B
1	Juego de masa y colgador	ME-8979
1	Cuerda de física trenzada	SE-8050

### INTRODUCCIÓN

El propósito de este experimento es determinar cómo las fuerzas externas influyen en el movimiento de un objeto. Los siguientes objetos son empujados brevemente: Un carro y un bloque de fricción. Un análisis de este movimiento produce la Primera Ley de Newton.

### CONFIGURACIÓN 1

1. Encienda el Smart Cart y conéctese al Smart Cart a través de Bluetooth en la configuración del hardware.
2. Use patas ajustables en ambos extremos para nivelar el riel. Dale al carrito un pequeño empujón en una dirección para ver si se detiene o acelera y luego empujalo en la dirección para ver si el carrito se detiene por igual en ambas direcciones. Coloque toques de goma en cada extremo de la pista para evitar que el carro se salga del final de la pista.
3. Coloque el bloque de fricción en la pista con el lado de la madera hacia abajo.
4. Coloque el carro inteligente en la pista con el extremo del sensor de fuerza (sin gancho) contra el bloque de fricción.

5. En PASCO Capstone, establezca la frecuencia de muestreo del Smart Cart en 40 Hz.
6. Cree una gráfica de Velocidad vs. Tiempo.



### PROCEDIMIENTO 1

1. Comience a grabar.
2. Empuje y suelte el carro en dirección al bloque de fricción.
3. Pulse el botón DETENER para detener la recopilación de datos.
4. Examine el gráfico Velocidad vs. Tiempo.
5. Haga clic en Abrir Resumen de datos a la izquierda de la página. Haga doble clic en la ejecución actual (probablemente la ejecución n.º 1) y vuelva a etiquetarla como Bloque de fricción.
6. Retire el bloque de fricción de la pista y repita solo para el carro inteligente. Intente detener la grabación antes de que el carro rebote en el tope final. Cambie el nombre del carrito de ejecución.

### ANÁLISIS 1

1. Si ambas ejecuciones no se muestran en el gráfico, haga clic en el icono Selección de ejecución en la barra de herramientas del gráfico (para permitir la visualización de varias ejecuciones) y seleccione ambas ejecuciones utilizando el triángulo negro junto al icono Selección de ejecución.
2. Haga clic en el botón Ajustar a escala a la izquierda de la barra de herramientas del gráfico para que los datos llenen el gráfico.
3. Considere la región después de haber soltado el objeto.
  - a. ¿El carro desaceleró más rápido con o sin el bloque de fricción?
  - b. ¿Por qué?

## CONFIGURACIÓN 2

Sujete la polea al final de la pista, ate un extremo de una cuerda al carro, pase la cuerda sobre la polea y sujete un colgador de masa en el otro extremo de la cuerda.



## PROCEDIMIENTO 2

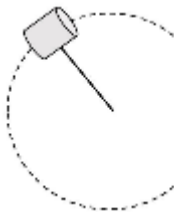
1. Tire del carrito hacia atrás y suéltelo. ¿El carrito acelera o desacelera o va a velocidad constante? Cambia la cantidad de masa que cuelga sobre la polea hasta que el carro vaya a una velocidad constante cuando lo empujas. Es posible que deba quitar el colgador de masas y simplemente atar masas de medio gramo a la cuerda.
2. Para verificar si el carro va a una velocidad constante, comience a registrar y dé un pequeño empujón al carro hacia el extremo de la polea de la pista. Entonces deja de grabar. Verifique el gráfico para ver si el carrito está acelerando.

## ANÁLISIS 2

1. ¿Cuánta masa tuviste que colgar para que el carro se moviera a una velocidad constante? ¿Cuánta fuerza es esto? Recuerda, la fuerza es igual al peso de la masa,  $mg$ .
2. ¿Por qué se necesita una fuerza para que el carro vaya a velocidad constante? ¿Qué otras fuerzas actúan sobre el carro?
3. Cuando el carro se mueve a una velocidad constante a lo largo de la vía, ¿cuál es la fuerza neta sobre el carro?

## CONCLUSIONES

1. Considere la región después de haber liberado el carrito en la Ejecución 1. Si la pista fuera más larga, ¿seguiría el carro y nunca se detendría? ¿Por qué o por qué no?
2. ¿Los objetos en reposo permanecen en reposo? Al comienzo de ambas ejecuciones, el carro estaba en reposo. ¿Por qué no se quedó en reposo?
3. Trate de reformular la Primera Ley de Newton de una manera más cuantitativa de lo que hicimos en la Teoría.
4. La imagen es una vista desde arriba de un objeto en una cuerda que gira en el sentido de las agujas del reloj a una velocidad constante en un círculo. ¿Qué camino seguiría el objeto si la cuerda se rompiera en el instante que se muestra en la imagen?



### 3RA LEY DE NEWTON

#### EQUIPO

1	Carro Inteligente Rojo	ME-1240
1	Carro Inteligente Azul	ME-1241
1	Masas apilables de 250 g (juego de 2)	ME-6757A
1	Juego de masa y colgador	ME-8979
1	Pies de pista Dynamics (juego de 2)	ME-8972
1	Parachoques elásticos	ME-8998
1	Súper Polea con Abrazadera	ME-9448B
1	Pista dinámica de 1,2 m	ME-9493
1	Cuerda de física trenzada	SE-8050
1	Banda elástica	

#### INTRODUCCIÓN

El propósito de este experimento es determinar la relación entre las fuerzas que forman un par acción-reacción.



CONFIGURACIÓN A: tira y afloja

Fig. 1: Tira y afloja

1. Encienda los dos Smart Carts y conéctelos a través de Bluetooth en la Configuración de hardware.
2. En PASCO Capstone, establezca la frecuencia de muestreo común en 25 Hz.
3. Cree un gráfico de Red Smart Cart Force frente al tiempo y luego agregue la medida similar Blue Smart Cart Force al mismo eje vertical.
4. Fije los ganchos a los sensores de fuerza en el extremo de cada Smart Cart.
5. Ponga un Smart Cart en la pista dinámica. Use patas ajustables en ambos extremos para nivelar el riel. Dale al carrito un pequeño empujón en una dirección para ver si se detiene o acelera y luego empujalo en la dirección para ver si el carrito se detiene por igual en ambas direcciones.
6. Con cada Smart Cart sentado en la pista, seleccione el sensor de fuerza del Smart Cart en la barra de control a continuación y sin nada conectado al sensor de fuerza, presione los botones "CERO" al lado de la frecuencia de muestreo en la barra de control a continuación.
7. En la Barra de control en la parte inferior de la pantalla, abra las Condiciones de grabación y establezca la Condición de parada en un tiempo de 10 segundos.

## CALIBRACIÓN

1. Abra el asistente de calibración en Capstone y elija calibrar uno de los sensores de fuerza del Smart Cart.
2. Ponga el Smart Cart en la pista dinámica. Coloque el tope de goma frente al carro para que no se mueva. Sujete la polea al final de la pista y cuelgue 275 g de masa sobre la polea. Ajuste la polea para que la cuerda esté nivelada con la pista.
3. Elija una calibración de un punto (compensación) porque ya hemos puesto a cero el sensor de fuerza.
4. La masa de 275 g pesa 2,70 N. En el asistente de calibración, ingrese 2,70 N y luego haga clic en "Establecer valor actual en valor estándar". Luego haga clic en "Finalizar".
5. Repita este procedimiento para el segundo sensor de fuerza del Smart Cart.

**PROCEDIMIENTO A: Tira y afloja**

1. Retire la masa colgante utilizada para la calibración. Coloque los dos carros en la vía con los ganchos del sensor de fuerza uno frente al otro. Conecte los dos Smart Carts sujetando una banda elástica a los ganchos del sensor de fuerza.
2. Presione el botón GRABAR en la parte inferior izquierda de la pantalla.
3. Juegue un juego de tira y afloja a pequeña escala tirando de ambos carros, sin que ninguno de los carros gane, pero trate de variar la fuerza. No exceda los 100 N.
4. Después de unos 10 segundos, la grabación de datos se detendrá automáticamente.
5. Si es necesario eliminar ejecuciones de datos no deseadas, haga clic en el botón Eliminar última ejecución en la parte inferior derecha de la pantalla.
6. Haga clic en abrir el botón Resumen de datos a la izquierda de la pantalla. Haga doble clic en cualquier lugar que diga "Corrida n.º 1", o cualquiera que sea la carrera actual, y vuelva a etiquetarla como "Nadie gana".
7. Repita los pasos 1-5 anteriores con el carrito rojo ganando, de modo que el carrito rojo se mueva hacia atrás y el carrito azul se "obligue" a seguirlo. Etiquétalo como "El rojo gana".
8. Repita los pasos 1-5 anteriores con el carrito azul ganando. Etiquétalo como "Blue wins".

**ANÁLISIS A: tira y afloja**

1. Seleccione la carrera "Nadie gana" en el gráfico.
2. Haga clic en el botón Escalar para ajustar a la izquierda de la barra de herramientas del gráfico.
3. Examine las dos curvas para ver si las fuerzas ejercidas por el carro rojo y el carro azul son las mismas. Probablemente tenga problemas para ver los dos conjuntos de datos al mismo tiempo. La mejor manera es alternar entre los dos conjuntos de datos. En la leyenda del gráfico, haga clic en el icono debajo de "F,Red" para resaltar los datos del carrito rojo. Luego haga clic en el icono debajo de "F,Blue" para resaltar esos datos. Vaya de un lado a otro y vea si puede detectar alguna diferencia.
4. Ahora repita los pasos 1-3 para los datos "Gana el rojo" y "Gana el azul".
5. ¿Las fuerzas de acción/reacción son iguales en magnitud (tamaño)? ¿Incluso si un carro está ganando el tira y afloja?
6. ¿La fuerza ejercida por el carro rojo fue opuesta en dirección a la ejercida por el carro azul? Explica cómo lo sabes.

**CONFIGURACIÓN B: Colisiones**

1. Retire los ganchos de los sensores de fuerza. Reemplácelos con los toques magnéticos.

Figura 2: Configuración de colisión

2. Con los carros lejos uno del otro, para cada carro, seleccione el sensor de fuerza de carro inteligente en la barra de control en Capstone y presione los botones "CERO" al lado de la frecuencia de muestreo.

**PROCEDIMIENTO B: Colisiones**

1. Practique empujando los carros uno hacia el otro con sus parachoques magnéticos uno frente al otro. Si vas demasiado rápido, los carros saltarán la vía y se pegarán.

2. Comience con un carrito en cada extremo de la pista. Haga clic en GRABAR. Empuje los carros juntos con velocidades similares. Después de la colisión, haga clic en DETENER. Haga clic en Abrir Resumen de datos y etiquete la ejecución como "Colisión simétrica".

3. Repita con el carro rojo en reposo antes de la colisión. Etiquételo como "Carrito rojo en reposo".

4. Coloque una masa adicional en el carro rojo de modo que su masa sea al menos el doble de la del otro carro.

5. Antes de continuar, abra la pestaña Conclusiones y responda la Pregunta 1.

6. Con el carrito rojo en reposo, haz clic en GRABAR y haz una colisión al pasar el carrito azul contra el carrito rojo. Haga clic en DETENER. Etiquete la carrera como "Carro rojo pesado".

7. Opcional: pruebe algunas variaciones propias.

**ANÁLISIS B: Colisiones**

1. Haga clic en el triángulo negro junto a la herramienta Seleccionar ejecución en la barra de herramientas del gráfico y seleccione la ejecución "Colisión simétrica".

2. Haga clic en el botón Escalar para ajustar a la izquierda de la barra de herramientas del gráfico.

3. Examine las dos curvas para ver si las fuerzas ejercidas por los dos carros son las mismas.

4. Ahora repita los pasos 1-3 para los otros conjuntos de datos de colisión.

5. ¿Las fuerzas de acción/reacción son iguales en magnitud (tamaño)? ¿Son iguales incluso

6. ¿Fueron las fuerzas ejercidas por los dos autos de dirección opuesta? Explica cómo lo sabes.

### CONCLUSIONES

1. Si un automóvil de baja masa (Volkswagen) choca de frente con un automóvil de gran masa (Suburban), ¿cuál de ellos experimentará la fuerza mayor?

2. ¿Todavía cree su respuesta a la pregunta 1? Explique.

3. ¿Por qué la mayoría de la gente se equivoca en la pregunta 1? (Por cierto, la probabilidad de que algo como la Pregunta 1 esté en su próximo examen de Física es casi del 100 %).

4. ¿Los resultados del laboratorio respaldaron la tercera ley de Newton?

5. La luna es unas 100 veces menos masiva que la Tierra. La luna se mantiene en órbita alrededor de la Tierra por una fuerza,  $F$ , que la gravedad de la Tierra ejerce sobre la luna. ¿Qué puedes decir sobre la fuerza que la gravedad de la luna ejerce sobre la Tierra?

## FUERZA DE FRICCIÓN

### INTRODUCCIÓN

Estableceremos en esta sesión los conceptos elementales para determinar el coeficiente de fricción que surge del rozamiento entre cuerpos en este caso sólidos.

### OBJETIVOS

Al finalizar esta sesión el estudiante habrá logrado lo siguiente:

- Estudiar las características de los coeficientes de rozamiento dinámico y estático de diferentes materiales.
- Calcular el coeficiente de fricción estático y cinético para deslizamiento en superficies arbitrarias (caso específico del corcho).
- Verificar la relación entre el coeficiente de fricción y la fuerza de rozamiento.
- Realizar cálculos cinemáticos basándose en consideraciones dinámicas y mecánicas para los materiales y accesorios usados.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

Es posible que hayas notado que empujar una caja de cartón pesada sobre una superficie lisa (como una alfombra) requiere menos esfuerzo que empujarla sobre una superficie rugosa (como el cemento). Este efecto se debe a las diferentes fuerzas de fricción entre la caja y la superficie lisa, y entre la caja y la superficie rugosa.

Para cuantificar o comparar la cantidad de fricción entre dos superficies, los científicos emplean el coeficiente de fricción. Hay dos tipos de fricción: estática y cinética. Por lo tanto, hay dos coeficientes de fricción: el coeficiente de fricción estática y el coeficiente de fricción cinética.

Cuando aplica una fuerza relativamente pequeña a la caja de cartón pesada, puede notar que no se mueve. La fuerza que se opone a la fuerza aplicada se llama fricción estática. A medida que aplica una fuerza creciente, la fuerza de fricción estática coincide con la fuerza aplicada hasta una cantidad máxima. La siguiente es la ecuación para la fuerza de fricción estática máxima:

$$f_s = \mu_s F_n \quad (1)$$

Donde  $f_s$  es la magnitud de la fuerza de fricción estática máxima,  $\mu_s$  es el coeficiente de fricción estática y  $F_n$  es la magnitud de la fuerza normal.

Una vez que consigues que la pesada caja de cartón se mueva a velocidad constante, la fricción cinética se opone a la fuerza aplicada. La siguiente es la ecuación para la fuerza de fricción cinética:

$$f_k = \mu_k F_n \quad (2)$$

Donde  $f_k$  es la magnitud de la fuerza de fricción cinética,  $\mu_k$  es el coeficiente de fricción cinética y  $F_n$  es la magnitud de la fuerza normal.

Tenga en cuenta que se puede combinar las ecuaciones anteriores en una sola ecuación:

$$|F_f| \leq \mu |F_n| \quad (3)$$

Donde la fuerza de fricción  $F_f$  y la fuerza normal  $F_n$  son cantidades vectoriales y  $\mu$  es el *coeficiente dado de fricción* entre las dos superficies en cuestión.

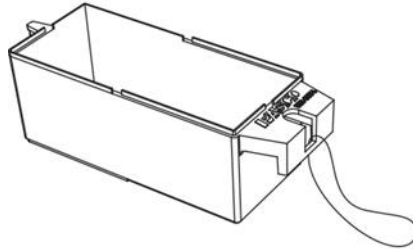
### EQUIPOS Y MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Capstone instalado		1
3	Carrito inteligente PASCO con gancho	ME-1240	1
4	Cajón de fricción (material corcho)	ME-8574	1
5	masa accesoria de 0.25 Kg.	ME-6756	2
6	Carril de plástico y tope	ME-6960, ME-8971	1
7	20 cm de hilo negro	ME-9875	1
8	Balanza, resolución de 0,1 g, capacidad de 2.000 g	SE-8707	1

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

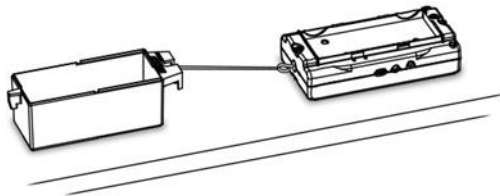
- Conecte el Smart Cart al sistema de recopilación de datos y luego cree dos pantallas gráficas: una visualización gráfica de la velocidad vs. el tiempo y la segunda visualización gráfica de la fuerza vs. tiempo.
- Pase un trozo de hilo de 20 cm de largo a través de la ranura de la parte delantera de la bandeja de fricción. Ata los extremos para hacer un lazo.



- Conecte el accesorio de gancho al sensor de fuerza en la parte delantera del Smart Cart y luego "ponga a cero" el sensor de fuerza del Smart Cart en su sistema de recopilación de datos.
- Deje el Smart Cart boca abajo hasta que esté listo para recopilar datos para que no se caiga de la mesa del laboratorio.

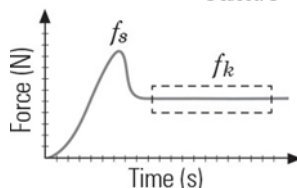
### RECOPIACIÓN DE DATOS

- Coloque 250 g de masa en la bandeja de fricción y luego mida la masa combinada de la bandeja de fricción más la masa usando una balanza. Registre la masa en la Tabla 1 junto a la Prueba 1.



- Fije el sensor de fuerza al bucle de rosca con el gancho en la parte delantera del sensor.
- Comience a registrar datos y luego, usando el carro para tirar, comience a tirar de la bandeja muy lentamente. La bandeja no se moverá al principio a medida que la fuerza aumenta hasta un máximo, momento en el que la bandeja comenzará a deslizarse.
- Una vez que comience a deslizarse, continúe arrastrando lentamente la bandeja durante aproximadamente 3 segundos mientras observa su gráfico de velocidad frente al tiempo, asegurándose de mantener la velocidad lo más constante posible mientras arrastra.

- i. Detenga la grabación de datos después de los 3 segundos. Observe el gráfico de Fuerza frente al tiempo. Si el procedimiento se llevó a cabo correctamente, la fuerza aumenta hasta un pico, disminuye y luego se estabiliza, de manera similar al gráfico de la derecha.



- j. Utilice las herramientas de su sistema de recopilación de datos para determinar la magnitud de la fuerza de fricción estática máxima  $f_s$  entre la bandeja y la mesa de laboratorio (el pico del gráfico). Registre este valor en la Tabla 1.

*NOTA: Su gráfico de fuerza frente al tiempo muestra la fuerza aplicada por el sensor de fuerza, no la fuerza de fricción; Sin embargo, a velocidad constante, la magnitud de la fuerza aplicada medida por el sensor es igual a la magnitud de la fuerza de fricción:*

$$\left| F_f \right| = \left| F_{\text{aplicado}} \right|$$

- k. Utilice las herramientas de su sistema de recopilación de datos para determinar el promedio de los datos en su gráfico correspondiente a la fuerza de fricción cinética  $f_k$  entre la bandeja y la mesa de laboratorio (la nivelada sección del gráfico). Registre este valor en la Tabla 1.

$$\text{Recuerde: } \left| \overline{ff} \right| = \left| f_{\text{aplicado}} \right|$$

- l. Repita los pasos anteriores de recopilación de datos 4 veces más, cada vez agregando una masa adicional de 250 g a la bandeja de fricción. Registre la masa resultante, la fuerza de fricción estática máxima y la fuerza de fricción cinética promedio para cada ensayo en la Tabla 1.

*NOTA: Distribuya la masa uniformemente en la bandeja.*

## Análisis de datos

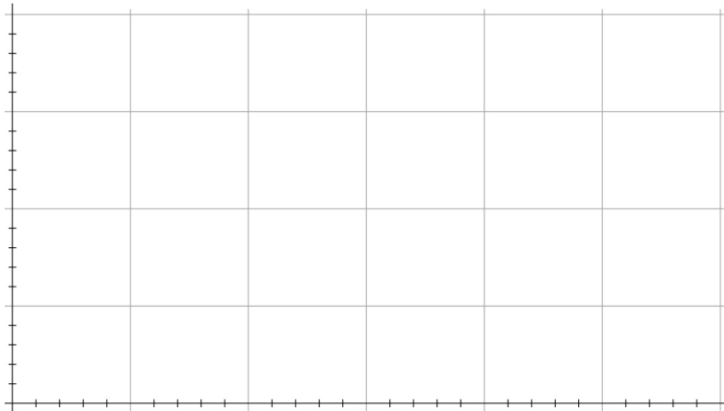
Tabla 1: Datos de masa y fuerza de fricción

Juicio	Masa (kg)	Fuerza normal (N)	Fuerza de fricción estática máxima (N)	Fuerza de fricción cinética (N)
1				
2				
3				
4				
5				

1. Utilice los datos de masa de la Tabla 1 para calcular la magnitud de la fuerza normal que actúa sobre la bandeja en cada ensayo. Registre estos valores en la Tabla 1. Para sus cálculos, use  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

2. Traza un gráfico de la fuerza de fricción frente a la fuerza normal en el Gráfico 1. Asegúrese de etiquetar ambos ejes con la escala y las unidades correctas. Este gráfico debe tener dos curvas: una para la fuerza de fricción estática y una segunda para la fuerza de fricción cinética. Indique en el gráfico qué curva corresponde a qué fuerza de fricción.

Gráfico 1: Fuerza de fricción estática y cinética frente a fuerza normal



3. Dibuja una línea de mejor ajuste para cada curva. Registra la ecuación de cada recta aquí:

Ecuación de la línea de mejor ajuste  
(fricción estática):

\_\_\_\_\_

Ecuación de la línea de mejor ajuste

(fricción cinética):

\_\_\_\_\_

4. Utilice la pendiente de cada línea de mejor ajuste para determinar el valor medido para el coeficiente de fricción estática y el coeficiente de fricción cinética.

Coeficiente de fricción estática: .....

Coeficiente de fricción cinética: .....

**CUESTIONARIO**

1. ¿Según usted a que se debe la diferencia entre  $\mu_s$  y  $\mu_k$ ?, explique.
2. ¿Será necesario considerar la fricción del conjunto con el aire circundante?, si su respuesta es afirmativa, explique ¿Por qué?
3. ¿De qué depende el coeficiente de fricción estático?
4. El coeficiente de fricción, ¿será el mismo cuando se aplique un lubricante entre las superficies en contacto?
5. ¿El coeficiente cinético varía con la velocidad?
6. ¿Afecta el peso del bloque a los coeficientes de fricción?
7. El coeficiente de fricción, ¿varía según la temperatura del cuerpo?
8. La fuerza de fricción, ¿depende de las interacciones entre las moléculas de las dos superficies?
9. Si el móvil empleado (con superficie de corcho) se colocará sobre un plano inclinado ¿Cuál debería ser el ángulo para el cual el cuerpo se quedaría inmóvil?
10. ¿Qué es el coeficiente de viscosidad?, ¿tiene relación con el coeficiente de fricción?

## PÉNDULO BALÍSTICO

### INTRODUCCIÓN

En esta sesión estudiaremos una segunda versión del péndulo balístico en el que las cuerdas son sustituidas por una varilla rígida. Para resolver el problema *aplicaremos el principio de conservación del momentum angular*.

### OBJETIVOS

Al finalizar esta sesión el estudiante habrá logrado lo siguiente:

- Verificar empíricamente la conservación de momentum angular en el péndulo balístico.
- Verificar empíricamente la no conservación de momentum lineal en el péndulo balístico (colisión inelástica de duración finita).
- Configurar e implementar equipos para toma de datos experimentales y realizar un análisis cuantitativo utilizando como herramienta el software *Data Studio*.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### El péndulo balístico

El péndulo balístico que estudiaremos, consiste en una bala de masa  $m$  y velocidad  $v$  que choca contra un bloque de masa  $M$  que cuelga del extremo de una cuerda el bloque de masa  $M$  y de altura  $r$  permanece y la cuerda se reemplaza por una varilla rígida de longitud  $d$  y de masa despreciable.

Después del choque se debe considerar el momento angular de un sólido rígido, formado por la varilla, el cilindro y la bala empotrada, en rotación alrededor de un eje perpendicular al plano que pasa por  $O$ .

$$L = \sqrt{2I(KE)} \quad (38)$$

Este momento angular es igual al momento de la bola antes de la colisión, medido desde el punto pivote del péndulo  $R_b$ .

$$L = mR_b^2\omega = mR_b v \quad (39)$$

Donde  $I$ , es el momento de inercia de la varilla, con la bala.

Aquí,  $R_{cm}$  es la distancia desde el punto pivote al centro de masa del péndulo balístico, despejando para  $v$ , tenemos:

$$v = \frac{1}{mR_b} \sqrt{2I(M+m)gR_{cm}(1-\cos\theta)} \quad (40)$$

Ahora para calcular el momento de inercia  $I$ , del péndulo y la bala juntos, se emplea el equivalente rotacional de la segunda ley de Newton y tenemos que:

$$I = \frac{(M+m)gR_{cm}}{\omega^2} = \frac{(M+m)gR_{cm}T^2}{4\pi^2} \quad (41)$$

Donde  $T$ , es el periodo del péndulo.

## EQUIPOS Y MATERIALES

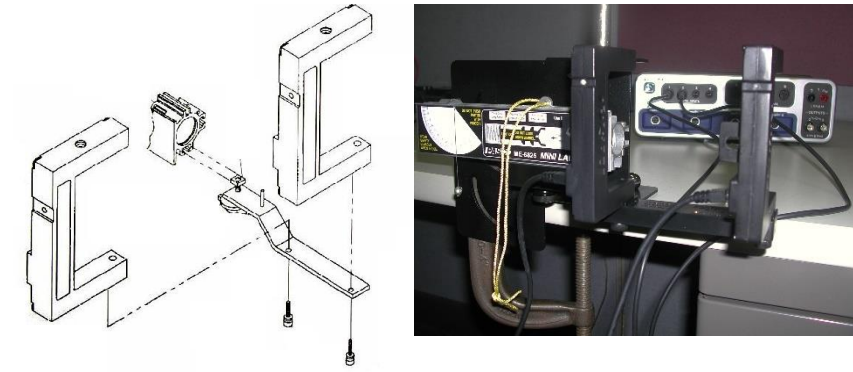
Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone		1
3	Mini Lanzador	ME-6831	1
4	Sensor de rotación	PS-2120A	1
5	Accesorio de Péndulo Balístico	ME-6829	1
6	Esferas de acero	ME-9872	3
7	Balanza analógica ( $\square \pm 0.1$ gr.)	SE-8707	1
8	Regla graduada de 100 cm.	ME-7032	1
9	Abrazadera de mesa.		1
10	Fotopuertas	ME-9734	2

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Monte el *lanzador de proyectiles* en la base y plataforma del *péndulo balístico*, asegurándose que este al nivel del receptor de proyectiles.
- Sujete con la abrazadera la base del *péndulo balístico* sin que esto interfiera con la trayectoria del proyectil.
- Conecte las dos *fotopuertas* tal como se muestra en la figura (19), y mida la distancia entre ellas, esto permitirá calcular la velocidad experimental del proyectil disparado.
- Con ayuda de la balanza pese la esfera de metal ( $m$ ) y el bloque del péndulo ( $M$ ) y anote sus resultados.

- e. Con ayuda de la regla, mida la distancia  $R_b$  y  $R_{cm}$ , indicada en la figura (20), recuerde que  $R_b$ , es la distancia del punto pivote al centro de la esfera.



**Figura (19).** Montaje de las *fotopuertas*.

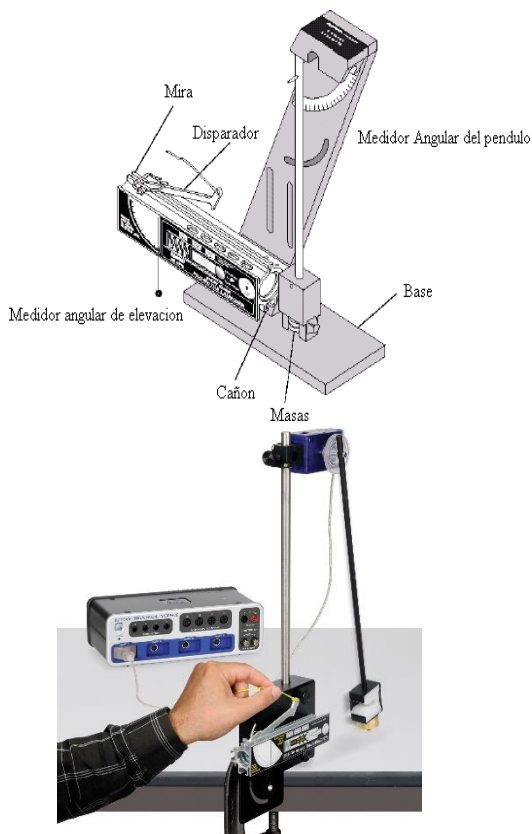
### Primera actividad (determinación del momento de inercia y la velocidad)

- Posicione el brazo del péndulo, junto con la bala, a  $5^\circ$  con la vertical, suelte y verifique que se producen oscilaciones con un ángulo pequeño.
- Con ayuda del cronometro determine el periodo  $T$  de oscilación del péndulo.
- Calcular el momento de inercia del péndulo, anote sus resultados luego de repetir cinco veces el proceso, luego calcule el promedio y anótelos como  $I$ .
- Cargue el *lanzador de proyectiles* en su máxima potencia con una esfera de metal, luego de haber colocado las *fotopuertas*.
- Pulse el botón *inicio* y verifique que las *fotopuertas* estén registrando datos.
- Lance la esfera, y detenga la medición.
- Con los datos de las *fotopuertas* y sabiendo la distancia entre ellas, calcule la velocidad de la esfera lanzada (velocidad teórica).
- Repita el paso anterior cinco veces y determine un promedio, anote sus resultados.

### Segunda actividad (cálculo de la velocidad experimental)

- Coloque el brazo del péndulo a  $90^\circ$  y proceda a cargar el péndulo con una esfera de metal, hasta su máxima capacidad.

- b. Baje el brazo y posicione el indicador angular en cero grados.
- c. Dispare la esfera y anote el ángulo alcanzado, ver figura (20).
- d. Use este valor junto con el obtenido para el momento de inercia y calcule la velocidad de la bala experimental.
  
- e. Repita la operación cinco veces y obtenga un promedio tanto de la velocidad como del ángulo alcanzado por el péndulo.
- f. Calcule el error absoluto, relativo y porcentual de los datos de velocidad teóricos y experimentales.
- g. Repita los pasos desde a) hasta f) para diferentes posiciones en el lanzador de proyectiles.



**Figura (20).** Disposición de equipos para segunda actividad Clásico y con Sensor de Rotación

**CUESTIONARIO**

1. Analizando los resultados obtenidos de la segunda actividad, ¿diría usted que, se conserva el momento angular en el péndulo balístico?
2. Mientras que una masa puntual en movimiento circular no puede tener una velocidad nula en el punto más alto de su trayectoria, ¿un sólido rígido en rotación puede tener una velocidad angular nula?
3. En el péndulo balístico, ¿Si el choque es instantáneo, las fuerzas exteriores se anulan en el momento del choque, pero si es de duración finita, las fuerzas exteriores no se anulan y por tanto, no se puede aplicar el principio de conservación del momentolineal?, explique.
4. ¿Se deberá esperar que cuanto más corta sea la duración del choque, más grande sea la fuerza interna  $F$  de frenado que ejerce el bloque sobre la bala?
5. ¿Cuál es la razón de la energía cinética del proyectil y el péndulo, después del choque, a la energía cinética inicial del proyectil?
6. Determine el error en el método para cálculo del momento de inercia, en la primera actividad.
7. Proponga otro método para calcular la velocidad del proyectil que no involucre conocer el momento de inercia del péndulo.
8. ¿Qué otros usos pueden tener el péndulo balístico?
9. ¿En que varían las ecuaciones utilizadas si es que se configura un péndulo balístico con un bloque de madera suspendido por dos cuerdas?
10. Explique detalladamente cuales pueden ser las posibles causas de los errores obtenidos entre las ecuaciones teóricas y las mediciones experimentales.

## TRABAJO Y POTENCIA

### INTRODUCCIÓN

Los conceptos de trabajo y energía se fundamentan en las leyes de Newton, por lo que no se requiere ningún principio físico nuevo. Con el uso de estas dos magnitudes físicas, se tiene un método alternativo para describir el movimiento, especialmente cuando la fuerza no es constante.

### OBJETIVOS

Los objetivos son los siguientes:

- Comprobar la relación entre el trabajo aplicado sobre un objeto y la variación en su energía cinética.
- Verificar el teorema trabajo-energía.
- Determinar experimentalmente el trabajo realizado por un resorte.
- Realizar cálculos cinemáticos basándose en consideraciones dinámicas y mecánicas para los materiales y accesorios usados.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Trabajo realizado por una fuerza constante

Si la fuerza  $F$  que actúa sobre una partícula es constante (en magnitud y dirección) el movimiento se realiza en línea recta en la dirección de la fuerza se define como:

$$W = Fx \quad (42)$$

Si la fuerza constante no actúa en la dirección del movimiento, la componente  $y$  de la fuerza, perpendicular al desplazamiento, no realiza trabajo sobre el cuerpo:

$$W = (F \cdot \cos\theta) \cdot x \quad (43)$$

#### Trabajo realizado por una fuerza variable

Si una fuerza variable  $F$  está moviendo a un objeto a lo largo del eje  $x$  desde una posición inicial a otra final, ya no se puede usar la expresión anterior para calcular el trabajo realizado por la fuerza:

$$dW = F_x dx \quad (44)$$

Matemáticamente, el valor de la integral es numéricamente igual al área bajo la curva de  $F_x$  vs.  $x$ ,

### Energía Cinética

Cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo, le produce una aceleración durante su desplazamiento. El trabajo realizado por la fuerza para mover al cuerpo es:

$$W_{\text{Total}} = \int_{r_i}^{r_f} mv \frac{dv}{dr} dr = m \int_{v_i}^{v_f} v dv = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv_0^2 \quad (45)$$

La cantidad  $\frac{1}{2}mv^2$ , se llama energía cinética  $E_C$ , es energía que se obtiene por el movimiento, es siempre positiva porque la rapidez está elevada al cuadrado.

### Potencia

Para fines prácticos interesa también conocer la rapidez con la cual se realiza trabajo, se define como:

$$P = \frac{Fdr}{dt} = Fv \quad (46)$$

Se puede definir una nueva unidad de energía en términos de la unidad de potencia, llamada kilowatt-hora. Un kilowatt-hora (kWh)

### EQUIPOS Y MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Capstone instalado en la computadora		1
3	Smart Cart	CI-6742	1
6	Set de masas	ME-8967	1
7	Carril de plástico con tope magnético y polea	ME-6960, ME-8971, ME-9448B	1
8	2.0 m de hilo negro.	ME-9875	1
9	Balanza analógica ( $\sigma \pm 0.1$ gr.)	SE-8707	1
10	Masas adicionales (250 gr.)	ME-6756	1
11	Nivel de burbuja	TRUPER NT-9	1
12	Accesorio para montaje del sensor de movimiento.	ME-6743	1
13	Resorte de constante elástica conocida.	SE-8749	1

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Encender el computador (CPU y monitor).
- Ingresar al software *Capstone* haciendo doble click en el icono ubicado en el escritorio, luego seleccione *crear experimento*.
- Seleccionar *Smart Cart* en la lista de sensores, luego efectuar la conexión según lo indicado por el software.
- Calibre y configure el *sensor de posición y el sensor de Fuerza del Smart Cart* a fin de que sea capaz de registrar 40 lecturas por segundo.
- Calibre el *sensor de fuerza*, para un para que la Tracción sea positiva y en el Sensor de posición como retrocederá configurara en el botón Resumen de Datos, Propiedades, Invertir Signo.
- Genere un gráfico para cada uno de los parámetros medidos por el *sensor de Posición* (aceleración, velocidad y posición vs. tiempo) y por el *sensor de fuerza* (fuerza vs. tiempo).
- Sitúe el carril sobre una superficie horizontal, luego nivélelo empleando la regla de nivel, para corregir utilice el pie ajustable del extremo del carril.
- Determine con ayuda de la *balanza analógica*, la masa del Smart Cart con el Accesorio Garfio en el Sensor de Fuerza anote sus datos en la tabla (15).

**Tabla (15),** Masas de los sensores.

Componente	Masa en gramos	Masa en Kilogramos
Smart Cart con garfio de Sensor de Fuerza		

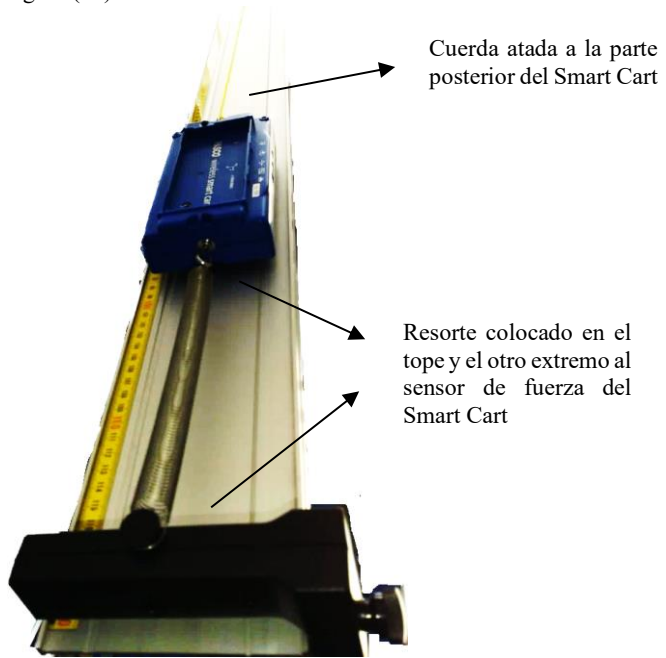
### Primera actividad (trabajo realizado por una fuerza variable)

Un sistema físico común en el que la fuerza varía con la posición, Si el cuerpo se desplaza desde una posición inicial a la final, el trabajo realizado por el resorte es:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} (-kx)dx = \frac{1}{2}kx_i^2 - \frac{1}{2}kx_f^2 \quad (47)$$

- En el *Smart Cart* ate una cuerda en la parte del posterior y coloque el accesorio de Fuerza en la parte delantera. Coloque un extremo del resorte en el tope ver figura (21).
- Asegure de poner a cero el sensor de Fuerza del Smart Cart y de visualizar en la pista cual serpa el punto de partida del experimento. Se recomienda partir del mismo punto cuando se haga las repeticiones.

- c. Sujete mediante el otro extremo de la cuerda atada a la parte posterior del Smart Cart a una pesa de 50 gramos.
- d. Asegúrese que el hilo negro pase sobre la polea ubicada en el extremo del carril, tal como se muestra en la figura (22).



**Figura (21).** Montaje del Smart Cart con Resorte y Tope.

- e. Anote la posición inicial del móvil.
- f. No es necesario hacer ningún cálculo, ya que el sensor de posición del Smart Cart, toma la posición inicial, donde empieza el movimiento.
- g. Genere una gráfica fuerza vs.  $x$
- h. Coloque una pesa de 20 g. en la porta pesas y sujete este al extremo del hilo, pero no lo suelte todavía.
- i. Inicie la toma de datos oprimiendo el botón inicio y luego soltando el peso.
- j. Registrar datos hasta antes de que el móvil llegue al final del carril, una vez detenido el móvil registre la distancia final a la cual ha llegado.
- k. En la gráfica fuerza vs.  $x$  determine el valor del área bajo la curva generada, este será el valor del trabajo realizado por el resorte (experimental).
- l. Utilice la ecuación (47) y determine el trabajo realizado por el resorte, para ir desde su posición inicial hasta su posición final, este será un valor (teórico).
- m. Repita el procedimiento 5 veces y calcule un promedio.

- n. Usando los valores teórico y experimental determine los errores relativo, absoluto y porcentual.



**Figura (22).** Configuración de equipos y accesorios para primera actividad.

### Segunda actividad (trabajo, potencia y energía)

- a. Configure los equipos tal como se muestra en la figura (23).
- b. Recuerde que el carril debe estar correctamente nivelado antes de ejecutar cualquier toma de datos.
- c. La masa en la porta pesos debe ser 5 gramos, es decir el conjunto colgante debe tener una masa total de 10 g.
- d. Calcule la fuerza aplicada sobre el carro multiplicando la masa en la porta pesas por la gravedad, recuerde considerar la masa del soporte de pesas (0.005 Kg.).
- e. Coloque el carro en el punto de inicio, pulse el botón *inicio* y luego suelte el carro, detenga la toma de datos a 85 cm. del inicio.
- f. De la gráfica velocidad vs. tiempo, calcule la velocidad máxima alcanzada, la distancia total recorrida y la aceleración promedio del móvil durante todo el recorrido, sobre ese mismo intervalo determine el tiempo total empleado para ir de la posición inicial hasta la posición final.
- g. Registre sus datos en la tabla (16).
- h. Repita el proceso 10 veces y calcule los promedios respectivos.
- i. Usando el valor para velocidad máxima de la tabla (24), calcule la variación en energía cinética experimentada por el carro.
- j. Genere una gráfica fuerza vs. posición y calcule el área bajo la curva, este será el trabajo (experimental)
- k. Con el valor promedio para el espacio total recorrido y la fuerza aplicada, determine el trabajo realizado, este será el trabajo (teórico).
- l. Con la información del tiempo que demora para desplazarse el móvil y el trabajo total realizado (teórica y experimentalmente), determine la potencia desarrollada por la fuerza.
- m. Calcule los errores relativos, absolutos y porcentuales correspondientes a: potencia, trabajo y energía.
- n. Registre sus resultados en la tabla (17).



**Figura (23).** Configuración de equipos y accesorios para segunda actividad.

**Tabla (16),** Datos registrados de los sensores.

Masa total del conjunto móvil (Kg.)						Fuerza aplicada (N)					
Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pro
Velocidad Máxima (m/s)											
Espacio Recorrido (m)											
Aceleración media (m/s <sup>2</sup> )											
Tiempo empleado (s)											

**Tabla (17),** Resultados experimentales.

Variación de la energía cinética del móvil al ir de la posición inicial hasta la posición final (J)			
Trabajo total realizado sobre el móvil para lograr el desplazamiento de la posición inicial hasta la posición final (J)			
Potencia desarrollada (Watt)			
Error absoluto (Potencia)		Error porcentual (Potencia)	
Error absoluto (Trabajo)		Error porcentual (Trabajo)	
Error absoluto (Energía Cinética)		Error porcentual (Energía Cinética)	

**CUESTIONARIO**

1. ¿Qué factores en su opinión determinaron la aparición de errores en este experimento?
2. Con los resultados mostrados en la tabla (17), determine la relación entre la variación de la  $E_C$  y el trabajo total realizado, ¿En su opinión, se cumple el teorema trabajo-energía?, explique.
3. En la primera actividad, usando los datos posición vs. tiempo, calcule la potencia media desarrollada por el resorte.
4. En la segunda actividad, con los datos velocidad vs. tiempo, determine la energía total del sistema para cada instante de tiempo y realice una gráfica energía vs. tiempo.
5. En el experimento realizado en la segunda actividad, diría usted que la fuerza ejercida por la masa colgante es conservativa ó disipativa, explique su respuesta.
6. ¿Es posible que un cuerpo tenga una energía mecánica negativa? ¿Por qué?
7. Si el movimiento se desarrollase sobre un plano inclinado no liso, que factores deberíamos incluir para calcular el trabajo requerido a fin de desplazar al móvil.
8. ¿Las fuerzas de rozamiento juegan un papel importante en esta experiencia?
9. ¿Podría usted calcular la cantidad de energía que se convierte en calor en el experimento realizado?
10. ¿Puede ser negativa la energía cinética de un cuerpo? y ¿la potencia?

## CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

### INTRODUCCIÓN

Cuando todas las fuerzas son conservativas se mantiene la energía mecánica del sistema y solamente cuando se realiza trabajo contra fuerzas conservativas se produce un incremento en la energía mecánica.

### OBJETIVOS

Usando el equipo experimental Pasco Scientific y el software *Data Studio*, los estudiantes serán capaces de alcanzar los siguientes objetivos:

- Estudiar la conservación de la energía mecánica (suma de la energía cinética más la energía potencial) en un sistema simple.
- Demostrar que para el sistema masa-resorte, la energía mecánica se conserva.
- Demostrar que el teorema de conservación de la energía mecánica es válido también para sistemas sometidos a un campo exterior constante.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Fuerzas conservativas y no conservativas

#### Energía Potencial

El trabajo realizado por una fuerza conservativa es independiente de la trayectoria y de la rapidez con la que se mueve la partícula. Se define la energía potencial  $E_p$ , a aquella que puede obtenerse en virtud de la posición del cuerpo:

$$W = \int_{r_i}^{r_f} F dr = -\Delta E_p = E_{p_f} - E_{p_i} \quad (48)$$

#### Energía potencial de la fuerza peso

Si se calcula el trabajo y la energía potencial para una partícula que se deja caer libremente desde una posición inicial  $y_i$  a otra posición final  $y_f$ . La fuerza que produce el

movimiento de la partícula es la gravitacional, que para caída libre es el peso  $P = mg$ , entonces el trabajo es:

$$W = mgy_f - mgy_i \quad (49)$$

Si consideramos la variación de la altura y respecto a una posición referencial  $y_0$ , se obtiene:

$$E_{p_g} = mg(y - y_0) \quad (50)$$

### Energía potencial de la fuerza elástica

El trabajo realizado por la fuerza elástica del resorte sobre el cuerpo, será:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} (-ky)dy = \frac{1}{2}ky_i^2 - \frac{1}{2}ky_f^2 = -\Delta E_p = E_{p_i} - E_{p_f}$$

Donde:  $k$ , es la constante de elasticidad del resorte.

La energía potencial elástica es cero cuando el resorte no está deformado, es máxima cuando alcanza su deformación máxima y es siempre positiva ya que es proporcional a  $y^2$ . Si consideramos la deformación y respecto a una posición referencial  $y_0$  la ecuación es:

$$E_{p_E} = \frac{1}{2}k(y - y_0)^2 \quad (51)$$

### Conservación de la Energía Mecánica

La *Ley de conservación de la energía mecánica* establece que la energía mecánica total de un sistema permanece constante si las únicas fuerzas que realizan trabajo sobre el sistema son conservativas, entonces:

$$W_{NC} + W_C = \Delta E_C \quad (52)$$

Donde:  $W_C = -\Delta E_p$

Es decir, el trabajo realizado por todas las fuerzas no conservativas es igual al cambio de energía mecánica total del sistema.

Cuando una partícula se mueve por la acción de una fuerza conservativa, por el *teorema del trabajo y la energía* se tiene que el trabajo realizado por la fuerza es igual a la variación de energía cinética de la partícula:

$$W = \Delta E_c \quad (53)$$

### EQUIPOS Y MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone instalado		1
3	Sensor de Movimiento Pasport o Inalámbrico	PS-2103A ó PS-3219	1
4	Set de masas	ME-8967	1
5	Abrazadera de péndulo	ME-9506	1
6	Regla metálica ( $\sigma = \pm 0.5$ mm)	ME-7032	1
7	Balanza analógica ( $\square \pm 0.1$ gr.)	SE-8707	1
8	Resorte de constante elástica conocida.	SE-8749	1

### PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

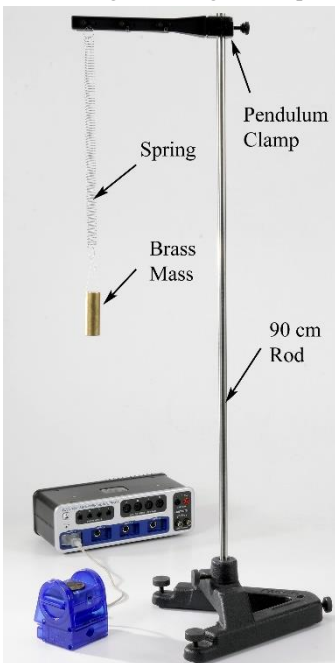
#### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

- Verificar la conexión e instalación de la *interface* a los sensores inalámbricos
- Ingresar al software *Capstone* y seleccionar la actividad *crear experimento*.
- Seleccionar el *sensor de movimiento* de la lista de sensores
- Efectúe la calibración correspondiente, elija para el *sensor de movimiento* una frecuencia de disparo igual a 30 (registros por segundo).
- Genere un gráfico para cada uno de los siguientes parámetros (velocidad y posición) medidos por el *sensor de movimiento*.
- Seleccione un resorte de longitud adecuada y constante elástica  $k$  conocida y una masa (pesada previamente), luego colóquela en la porta pesas de modo que el sistema permita oscilaciones en una sola dirección.

#### Primera actividad (cálculo de la energía mecánica en el sistema masa-resorte)

- Realice el montaje de accesorios y sensores tal como se indica en la figura (24)
- Inicie una medición de prueba soltando el resorte desde la posición de *elongación natural*, detenga la toma de datos luego de 4.0 segundos.
- Determine la amplitud  $A$ , en la gráfica posición vs. tiempo y determine cual es la distancia desde el eje  $x$  hasta el punto medio de la senoide generada, esta distancia será  $y_0$ .

- j. Por calculadora formule la *energía cinética*, el valor de masa (constante) y velocidad del *sensor de movimiento*, luego sobre estos datos genere un gráfico  $E_c$  vs. tiempo.
- k. Por calculadora formule la *energía potencial elástica*, el valor para la constante elástica  $k$  y el valor de  $y_0$ , en este caso  $y$  será la posición medida por el *sensor de movimiento*, luego sobre estos datos genere un gráfico  $E_{pE}$  vs. tiempo.
- l. Por calculadora formule la *energía potencial gravitatoria*, el valor de la masa, la gravedad (de signo negativo) y el valor de  $y_0$ , en este caso  $y$  será la posición medida por el *sensor de movimiento*, luego sobre estos datos genere un gráfico  $E_{pg}$  vs. tiempo.



**Figura (24).** Montaje y configuración de equipos y sensores para primera actividad

- m. Por calculadora formule la *energía mecánica*, luego sobre estos datos genere un gráfico  $E$  vs. tiempo.
- n. De la gráfica  $E_c$  vs. tiempo, calcule la  $E_{cmax}$ .
- o. De la gráfica  $E_{pE}$  vs. tiempo, calcule  $E_{pEmax}$ .
- p. De la gráfica  $E_{pg}$  vs. tiempo, calcule  $E_{pgmax}$ .
- q. Grafique  $E_c$  y  $E_p$  ( $E_{pE} + E_{pg}$ ) vs. posición, luego superponga ambas gráficas.

- r. Exporte los datos  $E_p$  vs. posición,  $E_c$  vs. posición vs. tiempo, velocidad vs. tiempo y  $E$  vs. tiempo, para análisis posterior.
- s. Registre sus datos en la tabla (18).

**Tabla (18)**, Resultados obtenidos.

Masa (Kg.)	Amplitud A (m)	Distancia d (m)	E. Cinética Max. (J)	Energía potencial Max. (J)	Energía total (J)
Elongación natural (m)			Elongación de equilibrio (m)		

**CUESTIONARIO**

- Del análisis realizado sobre las gráficas obtenidas, ¿Diría usted que se ha conservado la energía mecánica, durante el experimento?
- ¿Cuál es la velocidad máxima que se observa en el sistema masa-resorte?
- ¿Cuál es la energía total del sistema?, ¿Es constante en el tiempo?, explique sus respuestas.
- ¿El sistema estudiado es cerrado?
- Diga cuales son los valores máximos y mínimos para la energía potencial y cinética.
- En el experimento realizado, cual diría usted que es la fuerza ejercida sobre el resorte, ¿conservativa ó disipativa?, explique su respuesta.
- Usando los datos exportados de  $E_p$  y  $E_c$  vs. posición, localice los puntos donde  $E_p = E_c$ .
- Con los datos exportados para posición vs. tiempo y velocidad vs. tiempo, determine las ecuaciones de posición y velocidad en función del tiempo, recuerde que se debe considerar el desfase.
- ¿Qué energía total tendrá el sistema analizado luego de 60 segundos?
- Si el resorte se coloca sobre un plano inclinado, ¿De qué forma sería necesario plantearlas ecuaciones para calcular la energía cinética y potencial del sistema?

## IMPULSO Y MOMENTUM

### INTRODUCCIÓN

En esta sesión veremos que cada interacción entre un par de objetos, ya sea una colisión o una explosión significa una fuerza sobre uno de los objetos y una fuerza igual y opuesta sobre el otro (tercera ley del movimiento de Newton), pudiendo cuantificar variables dinámicas bajo el *principio de conservación del momentum*.

### OBJETIVOS

En esta sesión analizaremos dos conceptos elementales de la dinámica, el caso del impulso y la cantidad de movimiento, posteriormente veremos como en un sistema aislado el momentum se conserva, al finalizar esta sesión el estudiante habrá logrado lo siguiente:

- Determinar experimentalmente el impulso aplicado por una fuerza durante una colisión elástica.
- Verificar empíricamente la *conservación de momentum lineal* en colisiones y explosiones.
- Configurar e implementar equipos para toma de datos experimentales y realizar un análisis gráfico utilizando como herramienta el software *Data Studio*.
- Utilizar *Data Studio* para verificación de parámetros estadísticos respecto a la información registrada.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Momentum

El momentum o cantidad de movimiento es una magnitud física que se representa por la letra  $p$  y que se define como el producto de la masa de un cuerpo por su velocidad, es decir:

$$p = mv \quad (54)$$

La cantidad de movimiento es una magnitud vectorial.

### Impulsión de una fuerza

Con el propósito de establecer una relación entre la fuerza aplicada, el tiempo de acción y el cambio de la *cantidad de movimiento* resultante; estableceremos que la fuerza aplicada

durante un intervalo de tiempo  $\Delta t = t_2 - t_1$ , es una fuerza promedio  $F$ , y al producto de la fuerza promedio  $F$  por el intervalo de tiempo, le llamaremos impulso  $I$ , quedando:

$$I = F\Delta t = mv_2 - mv_1 \quad (55)$$

Por consiguiente, el cambio en la *cantidad de movimiento* de un cuerpo sobre el cual obra una fuerza impulsiva es igual al impulso. Tanto el impulso como la cantidad de movimiento son vectores y ambos tienen las mismas unidades y dimensiones.

También se puede expresar de la siguiente manera:

Según la Segunda Ley de Newton:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Donde  $F$  es la fuerza sobre un objeto,  $p$  es el momentum Lineal del objeto y  $t$  es el tiempo. Resolviendo para  $\Delta p$

$$\Delta p = p_f - p_i = \int F dt$$

Donde  $\Delta p = mv_2 - mv_1$  y el  $\int F dt$  es el área bajo la curva de  $F$  vs  $t$ .

### Conservación del momentum

El principio de *conservación de la cantidad de movimiento* es independiente de la naturaleza de las fuerzas de interacción entre las partículas del sistema aislado y se puede enunciar como sigue:

***Si la fuerza total que actúa sobre un cuerpo es nula, la cantidad de movimiento del cuerpo permanece constante en el tiempo***

### Conservación del momentum en colisiones elásticas

Una colisión elástica es un tipo de interacción en la cual no existe pérdida de

energía.

Dado que se trata de un sistema aislado y hay pérdida de energía se puede aplicar el *principio de conservación del momentum lineal*, es decir:

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (56)$$

Podemos obtener las velocidades  $v_1$  y  $v_2$  después del choque empleando la *conservación del momento lineal* y de la energía cinética, dado que la energía cinética inicial es igual a la final.

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (57)$$

### Conservación del momentum en las explosiones

Tenemos un sistema aislado formado por dos partículas bajo la acción de una fuerza interna. Como las velocidades iniciales  $u_1$  y  $u_2$  son cero. La conservación del momento lineal establece que:

$$m_1(-v_1) + m_2 v_2 = 0 \quad (58)$$

El balance energético, es:

$$Q = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (59)$$

El tiempo  $t$  que invierte el primer móvil en desplazarse hacia la izquierda una distancia  $x_1$ , es el mismo que emplea el segundo móvil en desplazarse una distancia  $x_2$  hacia la derecha, lo cual implica que:

$$V_1 = \frac{x_1}{t} \text{ y } V_2 = \frac{x_2}{t}$$

Y, por tanto,

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (60)$$

Las energías cinéticas son inversamente proporcionales a sus masas respectivas

## EQUIPOS Y MATERIALES

Nº	DESCRIPCIÓN	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone instalado		1
3	Smart Cart Azul	ME-1241	1
4	Smart Cart Rojo	ME-1240	1
5	Móvil PASCAR	ME-6950	1
6	Carril de plástico con tope magnético y polea.	ME-6960, ME-8971, ME-9448B	1
7	2.0 m de hilo negro.	ME-9875	1
8	Set de masas	ME-8967	1
9	Balanza analógica ( $\sigma \pm 0.1$ gr.)	SE-8707	1
10	Masas adicionales (250 gr.)	ME-6756	2
11	Nivel de burbuja	TRUPER NT-9	1
12	Soporte de riel para sensor de fuerza	ME-6622	1

## PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

**Procedimiento para configuración de equipos y accesorios**

- Un carro con un tope de resorte corre por una vía y choca con el tope. El carro experimenta una fuerza variable durante el momento de la colisión, lo que hace que cambie su velocidad. En este experimento, se explorará la relación entre momento, fuerza e impulso para el tope de resorte, un tope de arcilla y un tope magnético.
- Para determinar el cambio de impulso (impulso), se miden las velocidades antes y después de la colisión utilizando el sensor de posición Smart Cart. La fuerza durante la colisión se mide mediante el sensor de fuerza Smart Cart. Para confirmar el impulso, se traza la fuerza versus el tiempo y el impulso se determina encontrando el área bajo la curva
- Conectar el adaptador bluetooth a la PC.
- Encender el computador (CPU y monitor).
- Definimos la dirección positiva para que la velocidad esté alejada del sensor de fuerza del Smart Cart. Vea la Figura 1. La fuerza sobre el carro es negativa durante la colisión

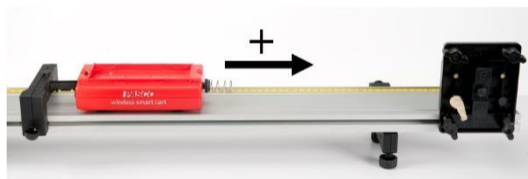


Figura 1: Definición de la dirección positiva

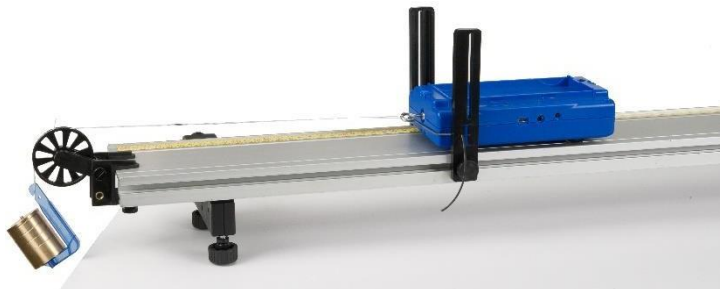
- f. Coloque el soporte del sensor de fuerza al final del riel. Ver Figura 2



Figura 2: Configuración del parachoques de resorte

- g. Utilice pies ajustables en ambos extremos para nivelar el riel. Coloque el carro en la vía y empújelo un poco en una dirección para ver si se detiene por inercia o acelera y luego empújelo en la dirección para ver si el carro se detiene por igual en ambas direcciones.
- h. Encienda el Smart Cart y conéctese mediante Bluetooth en la Configuración de hardware.
- i. Coloque el amortiguador de resorte débil en el extremo del sensor de fuerza del Smart Cart.
- j. Coloque un tope aproximadamente en el medio de la pista. Este será el punto de partida del carro para cada recorrido.
- k. En PASCO Capstone, cree un gráfico Fuerza versus tiempo, agregue un gráfico más y coloque Velocidad en el eje vertical. Configure la frecuencia de muestreo del sensor de fuerza del Smart Cart en 500 Hz y el sensor de posición del Smart Cart en 40 Hz.
- l. Genere con ayuda de la calculadora un gráfico momentum vs. tiempo, usando datos de velocidad de cada uno de los *Smart Cart* y por el *sensor de fuerza* (fuerza vs. tiempo).
- m. Calibración de fuerza
- ✓ Abra el Asistente de calibración a la izquierda y elija calibrar uno de los sensores de fuerza del Smart Cart.
  - ✓ Sujete la polea en el extremo de la pista. Coloque el Smart Cart en la pista dinámica. Coloque el parachoques de goma delante del carrito para que no se mueva. Conecte una cuerda al gancho y sostenga el Smart Cart en su lugar mientras cuelga 275 g de masa sobre la polea. Ajuste la polea para que la cuerda quede nivelada con el riel.
  - ✓ Elija una calibración de un punto (compensación) porque ya hemos puesto a cero el sensor de fuerza.
    - ✓ La masa de 275 g pesa 2,70 N. En el Asistente de calibración, ingrese 2,70 N y luego haga clic en "Establecer valor actual en valor estándar". Luego haga

clic en "Finalizar".



- n. Sitúe el carril sobre una superficie horizontal, luego nivélelo empleando la regla de nivel, para corregir la altura utilice el pie ajustable del extremo del carril.
- o. Determine con ayuda de la *balanza analógica*, la masa del Smart Cart con sus distintas configuraciones anote sus datos en la tabla (19).

Componente	Masa en gramos	Masa en Kilogramos
Smart Cart con Resorte		
Smart Cart con Arcilla		
Smart Cart con bumper magnético		

**Tabla (19)**, Masas de las configuraciones.

### Primera actividad (impulso)

#### PROCEDIMIENTO

- w. Seleccione el sensor de fuerza en el selector de frecuencia de muestreo y presione el botón Cero al lado de la frecuencia de muestreo mientras nada toca el sensor de fuerza.
- x. Abra las Condiciones de registro en la barra de control de muestreo y establezca la condición de inicio en Medición basada en la posición por encima de 0,01 metros. Establezca la condición de parada en Basado en tiempo durante 1,5 segundos.
- y. Comprima el émbolo del carro a su primera posición. Coloque y sostenga el émbolo del carro contra el tope.



- z. Comience a registrar datos, luego presione el botón de liberación del émbolo en la parte superior del carro con una barra de masa. Recuerde, la grabación comenzará después de que el carro se haya movido 1 cm y se detendrá automáticamente después de 1,5 segundos.

### ANÁLISIS

- aa. Usando la herramienta de coordenadas múltiples, encuentre las velocidades inicial y final para cada prueba y regístrelas en la Tabla I. En Capstone, cree conjuntos de datos de usuario para todas las columnas excepto la última. El %Diff es un cálculo realizado en la calculadora Capstone:
- bb.  $\%Dif = ([\Delta p] - [\text{Impulso}]) / (0,5 * ([\Delta p] + [\text{Impulso}])) * 100$

Table I: Results from Graph Analysis

	■ Set	● Set	◆ Set	✦ Set	▼ Set	⚡ Set
	Bumper Type	Initial Velocity (m/s)	Final Velocity (m/s)	Impulse (Ns)	$\Delta p$ (kg-m/s)	% Diff (%)
1	Spring					
2	Clay					
3	Magnet					

- cc. En el gráfico Fuerza versus Tiempo, encuentre el área bajo la curva para determinar el impulso desde el momento justo antes de la colisión hasta el momento justo después de la colisión para cada prueba. Debe hacer una selección para incluir solo el área de la colisión. Es posible que deba aumentar la precisión del Área haciendo clic derecho en la anotación, eligiendo Propiedades de herramienta y cambiando el Formato numérico. Registre cada valor en la Tabla I.
- dd. Calcule el cambio en el impulso  $\Delta p$  usando las velocidades para cada prueba y registre los valores resultantes en la Tabla I. Muestre un cálculo de muestra.

### PARACHOQUES DE ARCILLA Y BUMPER MAGNÉTICOS

1. Reemplace el tope de resorte débil con el tope de arcilla. Dale forma a la arcilla en una protuberancia larga para que tarde mucho en colapsar durante la colisión. Repetir el procedimiento y el análisis.



2. Reemplace el parachoques de arcilla con el parachoques magnético. Coloque otro parachoques magnético en el soporte de fuerza al final del riel. Repetir el procedimiento y el análisis.



### PREGUNTAS

1. ¿Cómo se comparan los valores medidos del impulso con los valores calculados del cambio de impulso?
2. ¿Cuáles son algunos de los factores que pueden haber causado errores en los valores medidos y cómo se podrían haber evitado?
3. ¿Cómo se relaciona el impulso del carro antes y después de la colisión? ¿Se perdió energía en la colisión? Si es así, ¿a dónde se fue la energía? La energía cinética es  $K=1/2 mv^2$ . Calcule la energía cinética antes y después de la colisión.
4. ¿Cómo se comparan los tres gráficos diferentes de Fuerza versus Tiempo?
  - ✓ ¿Cuál tuvo la fuerza máxima más alta?
  - ✓ ¿Cuál tuvo el mayor tiempo de impacto?
  - ✓ ¿Cuál tuvo mayor impulso?
  - ✓ ¿Cuál tuvo el mayor cambio de impulso?
  - ✓ Explique por qué las formas de las curvas son diferentes.
5. ¿Cómo se compara el impulso de la arcilla con el impulso de los imanes? ¿Por qué?
  - a. Compare las velocidades iniciales del carro para los parachoques de arcilla y magnéticos.
  - b. Compare las velocidades finales del carro para arcilla y parachoques magnéticos.

### CONCLUSIÓN

Resumir las diferencias y similitudes de colisiones elásticas, inelásticas y completamente inelásticas. Incluya los resultados numéricos del impulso para cada uno de los parachoques y las diferencias porcentuales.

¿Cómo se comparan los valores medidos del impulso con los valores calculados del cambio de impulso? ¿Cuáles son algunos de los factores que pueden haber causado errores en los valores medidos y cómo se podrían haber evitado?

### Segunda actividad (conservación del momentum en colisiones)

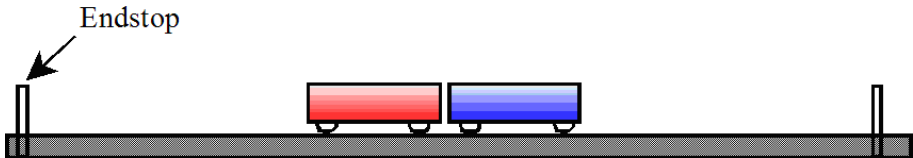
Las colisiones elásticas e inelásticas se realizan con dos carros dinámicos de diferentes masas. En la colisión elástica se utilizan parachoques magnéticos y en la colisión completamente inelástica se utilizan parachoques de Velcro®. En ambos casos, el impulso se conserva.



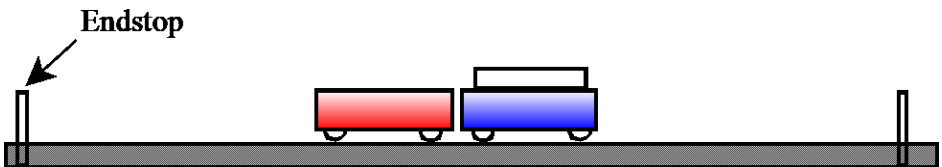
Las velocidades de los carros se registran utilizando dos sensores de movimiento giratorio conectados a los carros mediante una cuerda enrollada alrededor de poleas. Este método de medición añade muy poca fricción al experimento y, dado que las velocidades se monitorean continuamente, se puede medir cualquier desaceleración debida a la fricción. También se estudia la energía cinética total antes y después de la colisión.

### CONFIGURACIÓN

1. Instale los topes magnéticos en los carros.
2. Nivele el riel usando los tornillos niveladores en las patas del riel. Cuando coloque un carro en reposo sobre la vía, dale un pequeño empujón en cada dirección. No debería acelerar en ninguna dirección
3. Use la balanza para encontrar la masa de cada carro.
4. Cree una gráfica de velocidad versus tiempo, colocando la velocidad del carro rojo y la velocidad del carro azul en el mismo eje vertical.
5. Comprueba los signos de las velocidades. El objetivo es que las velocidades de ambos carros sean positivas hacia la derecha.
  - ✓ Con el carrito rojo a la izquierda del carrito azul, mire ambos carritos con sus parachoques magnéticos hacia la derecha. Comience a grabar y empuje ambos carros hacia la derecha. Ambas velocidades deben ser positivas.
  - ✓ Esto establece que el sistema de coordenadas tenga  $x$  positiva a la derecha para ambos carros.

**PROCEDIMIENTO****I. EXPLOSIONES****A. CARROS DE IGUAL MASA**

1. Presione el émbolo de un carro hasta la posición n.º 2. ¿Importa cuál carro tiene el émbolo presionado siempre que esté en contacto con el otro carro? Coloque los dos carros en contacto entre sí en el centro de la pista.
2. Comience a grabar y toque el gatillo para lanzar los carros. Presionar el gatillo con una barra de masa funciona bien.
3. Detenga la grabación antes de que cualquiera de los carros llegue al final de la pista.
4. En el gráfico de velocidad versus tiempo, use la herramienta de coordenadas múltiples para encontrar la velocidad de los carros rojo y azul justo después de la explosión.

**B. CARROS DE MASA DESIGUAL**

Usa la balanza para encontrar la masa de dos barras de masa y luego colócalas en el carrito azul. Repita los pasos 1 a 4 de la parte A.

**Tabla (21)**, Datos registrados de momentum en explosión igual masa.**Igual Masas**

Experimental				
Masa del móvil 1 (Kg.)		Masa del móvil 2 (Kg.)		Momentum total
Momentum móvil 1 después de la explosión (N.s)		Momentum móvil 2 después de la explosión (N.s)		

**Masas Desiguales**

Experimental				
Masa del móvil 1 (Kg.)		Masa del móvil 2 (Kg.)		Momentum total
Momentum móvil 1 después de la explosión (N.s)		Momentum móvil 2 después de la explosión (N.s)		

**II. COLISIONES COMPLETAMENTE INELÁSTICAS**

Parachoques de Velcro® para colisiones inelásticas

**A. CARROS DE IGUAL MASA**

1. Coloque los carros rojo y azul en reposo sobre la pista como se muestra arriba, con los parachoques de Velcro® uno frente al otro.
2. Debido a que estamos invirtiendo el carrito rojo, para mantener el mismo marco de referencia, abra el Resumen de datos y haga clic en el botón de propiedades al lado del sensor de posición del carrito inteligente rojo y seleccione Cambiar señal.
3. Comience a grabar y empuje el carrito rojo hacia el carrito azul. Detenga la grabación antes de que cualquiera de los carros llegue al final de la pista.

4. En la gráfica de velocidad versus tiempo, encuentre la velocidad del carrito rojo justo antes y después de la colisión. Puede resultar útil ampliar el gráfico para ver solo el área que le interesa.
  5. La velocidad inicial del carrito azul es cero y su velocidad final es la misma que la del carrito rojo porque están pegados.
- B. CARROS DE MASA DESIGUAL**



1. Coloque las dos barras de masa en el carrito azul.
2. Repita el procedimiento de la Parte A.

**Tabla (22)**, Datos registrados de momentum en explosión igual masa.

#### Igual Masas

Experimental				
Masa del móvil 1 (Kg.)		Masa del móvil 2 (Kg.)		Momentum total
Momentum móvil 1 después de la explosión (N.s)		Momentum móvil 2 después de la explosión (N.s)		

#### Masas Desiguales

Experimental				
Masa del móvil 1 (Kg.)		Masa del móvil 2 (Kg.)		Momentum total
Momentum móvil 1 después de la explosión (N.s)		Momentum móvil 2 después de la explosión (N.s)		

### III. COLISIONES ELÁSTICAS

#### PARAQUOS MAGNÉTICOS PARA COLISIONES ELÁSTICAS

##### A. Carros de igual masa

1. Coloque los carros rojo y azul en reposo sobre la pista como se muestra arriba, con los paraquos magnéticos uno frente al otro. Ahora el carrito rojo está en la

dirección positiva original y el carrito azul se ha invertido, así que abra el Resumen de datos y haga clic en el botón de propiedades al lado del Sensor de posición del carrito inteligente rojo y anule la selección de Cambiar señal y abra las propiedades del Sensor de posición del carrito inteligente azul y seleccione Cambiar signo.

- Coloque los carros rojo y azul en reposo sobre la pista, con los parachoques magnéticos uno frente al otro.
- Comience a grabar y empuje el carrito rojo hacia el carrito azul.
- Detenga la grabación antes de que cualquiera de los carros llegue al final de la pista.
- En la gráfica de velocidad versus tiempo, encuentre la velocidad del carrito rojo justo antes y después de la colisión. Puede resultar útil ampliar el gráfico para ver solo el área que le interesa.
- La velocidad inicial del carro azul es cero. Encuentra el carro azul de velocidad final.

### B. Carros de masa desigual

- Coloque las dos barras de masa en el carrito azul.
- Repita el procedimiento de la Parte A.

### ANÁLISIS

- Calcule el momento inicial y final de cada carro para cada una de las colisiones.
- Calcule la diferencia porcentual entre el impulso inicial total y el impulso final total para cada colisión.

$$\% \text{ diferencia} = \frac{P_{\text{antes}} - P_{\text{despues}}}{P_{\text{despues}}} \times 100\%$$

- Calcule la energía cinética inicial y final de cada carro para cada una de las colisiones.
- Calcule el porcentaje de la energía cinética total perdida en cada colisión.

### MOMENTO TOTAL Y ENERGÍA TOTAL

- Cree estos cálculos en PASCO Capstone:

$$p_{\text{total}} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$EC_{1\text{total}} = 1/2 * m_1 v_1^2$$

$$EC_{2\text{total}} = 1/2 * m_2 v_2^2$$

$$v_1 = [\text{Red Velocity, Ch P1 (m/s)}]$$

$$v_2 = [\text{Blue Velocity, Ch P2 (m/s)}]$$

$m_1$  = masa del Carro rojo

$m_2$  = masa del Carro azul

2. Gráfique  $p_{total}$  vs. tiempo y agregue una segunda gráfica para  $E_{C_{total}}$  vs. tiempo.
3. Examina los gráficos para ver qué sucede antes, durante y después de las colisiones. Observa cada tipo de colisión y registra tus observaciones. Tendrás que cambiar las masas en los cálculos cuando observes las colisiones de masas desiguales.

### CONCLUSIÓN

1. En general, ¿qué aprendiste sobre la conservación del momento y la energía cinética en diferentes tipos de colisiones?
2. ¿Se conservó el impulso para todos los tipos de colisiones?
3. ¿Se conservó la velocidad total para todos los tipos de colisiones?
4. ¿Se conservó la energía para todos los tipos de colisiones? ¿De dónde vino la energía cinética extra en las explosiones? ¿Qué sucede con la energía cinética inicial que se pierde en una colisión?

## MOMENTO DE INERCIA

### INTRODUCCIÓN

En esta sesión, veremos que siempre es posible encontrar un sistema ó eje de referencia para cada uno de los movimientos descritos por la masa (rotación y traslación), pudiéndose calcular experimentalmente el momento de inercia alrededor de dicho eje.

### OBJETIVOS

Usando el equipo experimental Pasco Scientific y el software *Data Studio*, seremos capaces de alcanzar los siguientes objetivos:

- Determinar experimentalmente el momento de inercia de una masa puntual y compararla con su valor teórico.
- Determinar en momento de inercia de un cilindro hueco y compararlo con su valor teórico.
- Determinar en momento de inercia de un disco y compararlo con su valor teórico.
- Analizar usando *Data Studio* los resultados que se obtienen de mediciones y observaciones, para predecir comportamientos previos ó posteriores a la toma de datos, junto con la verificación de parámetros estadísticos.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### Torque

La relación equivalente rotacional de la *segunda ley de Newton* para el movimiento rotacional, es:

$$\vec{\tau} = I\vec{\alpha} \quad (67)$$

Donde:  $\alpha$ , es la aceleración angular.  
 $\tau$ , es el torque.  
 $I$ , es el momento de inercia.

Se define al torque como el producto vectorial del vector posición por la fuerza, así:

$$\vec{\tau} = r \times \vec{F} \quad (68)$$

Al producto vectorial, dado en la ecuación (69), se le llama también *momento de una fuerza alrededor de un eje*, y como se puede observar de la figura (33), depende de la fuerza y de donde este aplicada. El módulo del torque es  $rF\text{sen}\theta$ , donde, puede introducirse la cantidad:  $b = r\text{sen}\theta$ , a esta se le llama “brazo de palanca”, ver figura (33).

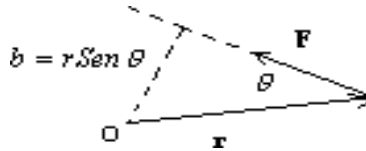


Figura (33). Brazo de palanca.

## Dinámica rotacional (inercia rotacional)

### Momento de inercia de una distribución de masas puntuales

Para una distribución de masas puntuales, el momento de inercia estaría dado por la ecuación:

$$I = \sum x_i^2 m_i \quad (69)$$

Donde  $x_i$  es la distancia de la partícula de masa  $m_i$  al eje de rotación.

### Momento de inercia de una distribución continua de masa

Pasamos de una distribución de masas puntuales a una distribución continua de masa. La fórmula que tenemos que aplicar es:

$$I = \int x^2 dm \quad (70)$$

Aquí,  $dm$  es un elemento de masa situado a una distancia  $x$  del eje de rotación.

### Momento de inercia de una varilla

Vamos a calcular el momento de inercia de una varilla de masa  $M$  y longitud  $L$  respecto de un eje perpendicular a la varilla que pasa por el centro de masas. Su momento de inercia es:

$$I = I_c + M \left( \frac{L}{2} \right)^2 = \frac{1}{3} ML^2 \quad (71)$$

### Momento de inercia de un disco

El momento de inercia de un disco de masa  $M$  y radio  $R$  respecto de un eje perpendicular al plano del disco y que pasa por su centro es:

$$I_C = \int_0^R \frac{2M}{R^2} x^3 dx = \frac{1}{2} MR^2 \quad (72)$$

Si el giro se da por un eje que pasa por su diámetro, el momento de inercia estará dado por:

$$I_D = \frac{1}{4} MR^2 \quad (73)$$

### Momento de inercia de un cilindro

El momento de inercia de un cilindro de masa  $M$ , radio  $R$  y longitud  $L$  respecto de su eje principal es:

$$I_C = \int x^2 dm = \int_0^R \frac{2M}{R^2} x^3 dx = \frac{1}{2} MR^2 \quad (74)$$

Si se tratase de un cilindro hueco el momento de inercia sería:

Donde,  $R_1$ , es el radio interior y  $R_2$ , el radio exterior.

$$I_C = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2) \quad (75)$$

### Calculo experimental del momento de inercia

Para determinar experimentalmente el momento de inercia tanto para una masa puntual, como para una varilla, un cilindro y un disco, aplicaremos un torque y mediremos la aceleración angular resultante, luego aplicaremos la ecuación:

$$I = mr^2 \left( \frac{g}{a_T} - 1 \right) \quad (76)$$

Esta ecuación nos permitirá calcular experimentalmente el momento de inercia del sistema partiendo de la aceleración tangencial,  $a_T$  y el valor conocido de la aceleración gravitacional  $g$ .

### EQUIPOS Y MATERIALES

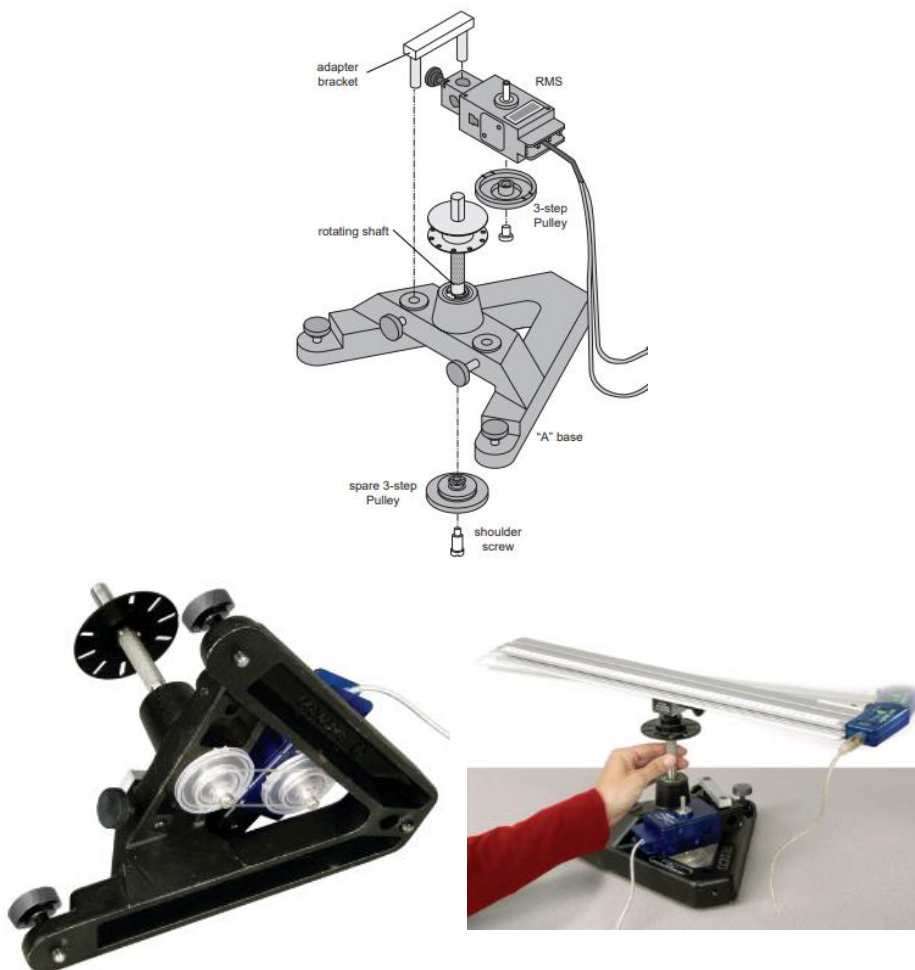
Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Computadora personal		1
2	Programa Capstone instalado		1
3	Sensor de Movimiento rotacional	PS-2120A PS-3220	1
4	Accesorio adaptador de base rotacional	CI-6690	1
5	Set de masas	ME-8967	1
6	Sistema Rotacional completo	ME-8950	1
7	Equipo de rotación	ME-8951	1
8	Balanza analógica ( $\sigma \pm 0.1$ gr.)	SE-8707	1
9	2.0 m de hilo negro.	ME-9875	1
10	Nivel de burbuja.	TRUPER NT-9	1
11	Calibrador Vernier de acero inox. ó Digital.	530-104 500-196-30	1

### PROCEDIMIENTO Y ACTIVIDADES

#### Procedimiento para configuración de equipos y accesorios

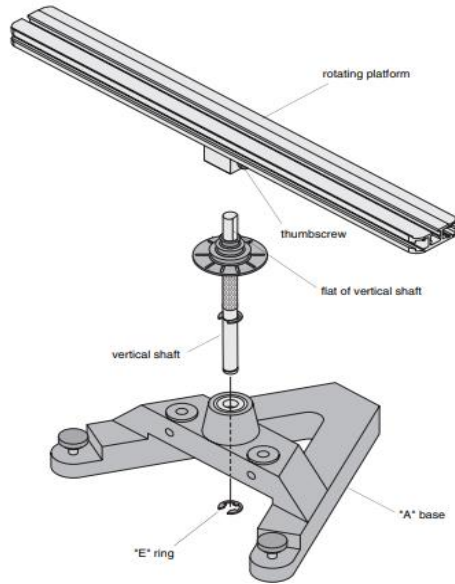
- Verifique la conexión y estado de la fuente de alimentación de la *interface*, luego proceda a encenderla.
- Encender el computador (CPU y monitor).
- Ingresar a *Capstone* haciendo doble click en el *icono* ubicado en el escritorio, luego seleccione *gráfica*.
- Seleccionar el *sensor de movimiento rotacional* de la lista de sensores, luego efectuar la conexión vía bluetooth en el caso del inalámbrico, o con la interfaz en el caso sea pasport.
- Genere un gráfico para la aceleración tangencial vs. tiempo.
- Mida con un vernier el diámetro de la polea grande del *sensor de movimiento rotacional* y calcule el radio.

- g. Realice el montaje del *sensor de movimiento circular* en el soporte del *sistema rotacional completo*, usando el *accesorio adaptador de base rotacional* (CI-6690), tal como se muestra en la figura (34).



**Figura (34).** Acoplamiento del sensor de movimiento circular.

- h. Monte la plataforma rotante de aluminio, la cual previamente deberá ser pesada junto con el eje de acero, tal como se muestra en la figura (35).



**Figura (35).** Montaje de la plataforma rotante de aluminio.

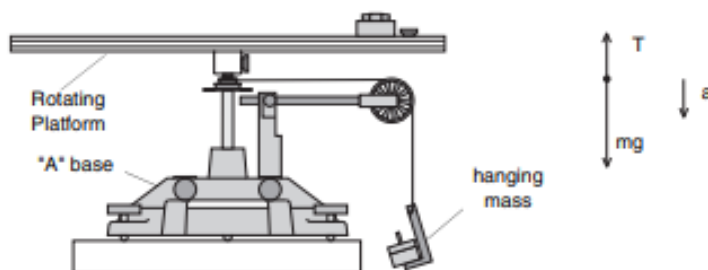
- i. En este punto haga una prueba con una masa en la porta pesas de 5 gramos.  
 j. Usando las ecuaciones correspondientes calcule el momento de inercia del conjunto solo, y anótelos en la tabla (27), este resultado deberá restarse de los resultados posteriores del momento de inercia.  
 k. Recuerde que las distancias deben estar dadas en metros y las masas en kilogramos, ya que el momento de inercia en el sistema MKS está dado en  $\text{Kg}\cdot\text{m}^2$ .

**Tabla (27).** Masa y momento de inercia del sistema solo.

Masa eje rotante	Masa plataforma de aluminio	Momento de inercia del eje	Momento de inercia sistema (eje-plataforma)
Masa del disco	Masa del cilindro hueco	Masa del elemento puntual	Masa disco y cilindro hueco
Radio interno del cilindro hueco ( $R_1$ )		Radio externo del cilindro hueco ( $R_2$ )	

**Primera actividad (momento de inercia de masa puntual)**

- a. Pese el elemento puntual y colóquela a una distancia conocida del eje de rotación, sobre la plataforma rotante de aluminio tal como se muestra en la figura (36).

**Figura (36).** Disposición de equipos y accesorios para primera actividad.

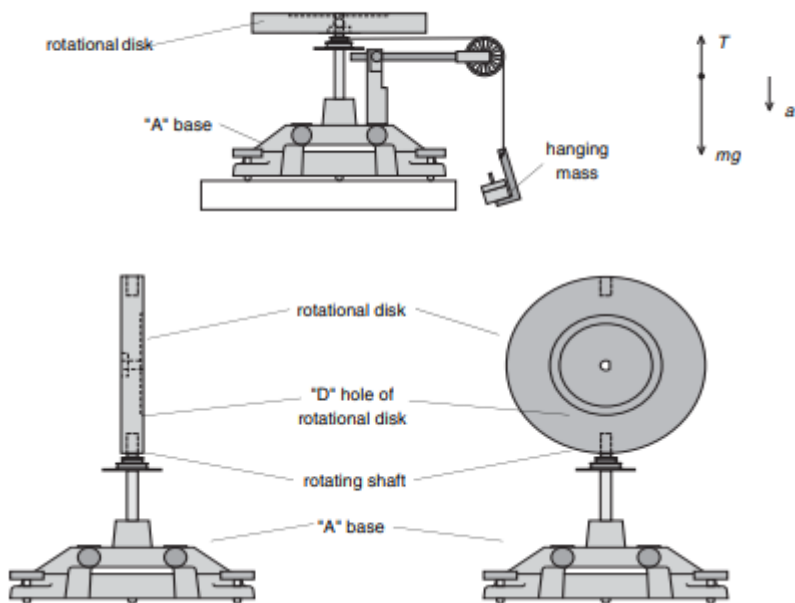
- b. Use inicialmente una masa de 5 g y realice una medición, anote los datos de aceleración tangencial, el radio ( $r$ ) es conocido (radio de la puleya del eje rotante).
- c. Calcule el momento de inercia restándole del encontrado para el momento de inercia del conjunto solo.
- d. Varíe la masa en la porta pesos adicionando 5 gramos y efectúe nuevamente una medición.
- e. Repita el proceso 5 veces y calcule un promedio.
- f. Compare estos resultados con el valor teórico y determine el error absoluto, relativo y porcentual, anote sus resultados en la tabla (28).

**Tabla (28).** Momento de inercia del elemento puntual.

Momento de inercia experimental	Momento de inercia Teórico	Error Absoluto	Error porcentual

**Segunda actividad (Momento de inercia del disco)**

- a. Pese el disco y colóquelo sobre el eje rotante tal como se muestra en la figura (37).

**Figura (37).** Disposición de equipos y accesorios para segunda actividad.

- b. Use inicialmente una masa de 5 g y realice una medición, anote los datos de aceleración tangencial, el radio ( $r$ ) es conocido (radio de la polea del eje rotante).
- c. Calcule el momento de inercia restándolo del encontrado para el momento de inercia del conjunto solo.
- d. Varíe la masa en la porta pesos adicionando 5 gramos y efectué nuevamente una medición.
- e. Repita el proceso 5 veces y calcule un promedio.
- f. Compare estos resultados con el valor teórico y determine el error absoluto, relativo y porcentual, anote sus resultados en la tabla (29).
- g. Repita el proceso, pero esta vez el eje de rotación debe pasar por el diámetro del disco, ver figura (37).
- h. Compare estos resultados con el valor teórico y determine el error absoluto, relativo y porcentual, anote sus resultados en la tabla (30).

**Tabla (29).** Momento de inercia del disco, eje de rotación perpendicular a su plano.

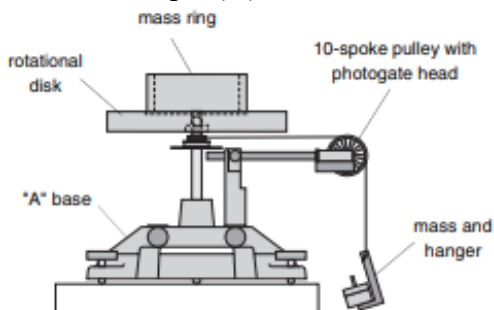
Momento de inercia experimental	Momento de inercia teórico	Error absoluto	Error porcentual

**Tabla (30).** Momento de inercia del disco, eje de rotación por el diámetro.

Momento de inercia experimental	Momento de inercia teórica	Error absoluto	Error porcentual

**Tercera actividad (momento de inercia del disco y el cilindro hueco)**

- a. Usando el vernier determine los radios interiores  $R_1$  y exterior  $R_2$  del cilindro hueco, luego pese el cilindro y colóquelo sobre el disco en posición horizontal sobre el eje rotante tal como se muestra en la figura (38).



**Figura (38).** Disposición de equipos y accesorios para tercera actividad.

- b. Use inicialmente una masa de 5 g y realice una medición, anote los datos de aceleración tangencial, el radio ( $r$ ) es conocido (radio de la polea del eje rotante).
- c. Calcule el momento de inercia restándole el encontrado para el momento de inercia del conjunto solo.
- d. Varíe la masa en la porta pesos adicionando 5 gramos y efectúe nuevamente una medición, el momento de inercia no debe cambiar.
- e. Repita el proceso 5 veces y calcule un promedio.
- f. Este resultado debe restarse del momento de inercia mostrado en la tabla (29).
- g. Compare estos resultados con el valor teórico dado y determine el error absoluto, relativo y porcentual, anote sus resultados en la tabla (31).

**Tabla (31).** Momento de inercia del cilindro hueco.

Momento de inercia experimental	Momento de inercia teórica	Error absoluto	Error porcentual

**CUESTIONARIO**

- ¿Qué factores podrían motivar las diferencias entre los valores teóricos y experimentales?, justifique su respuesta.
- Determine el radio de giro para cada uno de los elementos utilizados (varilla, disco y cilindro).
- ¿A través de qué punto debe pasar el eje de rotación para que el momento de inercia sea mínimo en el caso de la varilla y el cilindro?

4. ¿Si el eje permanece fijo con respecto al cuerpo rígido, el momento de inercia permanece constante?
5. ¿Mediante que ecuación se relacionan el momento de inercia y el momento angular para un cuerpo rígido?
6. Aplicando un razonamiento similar al aplicado para el caso del cilindro y el disco, calcule el momento de inercia de una placa rectangular delgada de masa  $M$  de lados  $a$  y  $b$  respecto del eje que pasa por la placa.
7. Aplicando un razonamiento similar al aplicado para el caso del cilindro y el disco, calcule el momento de inercia de una esfera de masa  $M$  y radio  $R$  respecto de uno de sus diámetros.
8. ¿Cómo se denomina al punto respecto al cual el momento estático de una distribución de masas es nulo?
9. ¿Por qué el momento estático respecto a un plano es la proyección perpendicular al mismo del momento estático respecto a cualquiera de sus puntos?, explique.
10. ¿Por qué el momento de inercia en el caso de una masa puntual respecto al punto en que esté concentrada es nulo?

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alvarenga, B. y Máximo, A. (1981).** *Física general con experimentos sencillos*, Editorial Harla; 1ra. Edición, México.
- Donnelly, D. y Diamond, J. (2003).** *Slow collisions in the ballistic pendulum: A computational study*. Am. J. Phys. 71 (6) 540 pags.
- Finn, E y Alonso, M. (1970).** *Física: Mecánica*; Volumen I. Fondo Educativo Interamericano S.A. México.
- Hewitt, P. (1999).** *Física conceptual*, Editorial Addison Wesley, 3ra. Edición, México.
- Halliday, Resnick y Krane (1985).** *Física para estudiantes de ciencias e ingeniería*, Cía. Editorial Continental, S.A.; 4ta. Edición, México.
- Mc. Kelve y Zemansky, M. (1978).** *Física para Ciencia e Ingeniería*; Tomo I. Ed. Harla. Primera Edición; México.
- Nieves, A. y Domínguez, F. (1999).** *Métodos Numéricos*, Editorial Continental S.A.; 4ta. Edición, México.
- Pasco Systems (2005).** *Worldwide Catalog and Experiment Guide*; Roseville CA., USA.
- Sears, F. y Zemansky, M. (2004).** *Física General*, Editorial Aguilar S.A.; 9na. Edición, España.
- Tipler (2005).** *Física*, Tomo I, Editorial Reverte, 8va. Edición; España.
- Wilson, J. (1996).** *Física*; Editorial Prentice Hall, 2da. Edición, México.
- Guías de Física y Química (Colección completa)** – Biblioteca Especializada de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (FCNM). Universidad Nacional del Callao (UNAC). – 2012.