



LABORATORIO DE FÍSICA I

TRABAJO DE LABORATORIO

Colisiones entre Partículas

2024

**Ing. Agustín Zabaljauregui
Ing. Maximiliano Dévoli**

Resumen:

En este trabajo práctico se propone comprobar, experimentalmente, las distintas hipótesis implicadas en los choques plástico y elástico (inelástico). En la experiencia se utilizaron dos carritos inteligentes marca Pasco, midiendo la velocidad y la posición de cada uno con el software Capstone. El análisis de datos se realiza a partir de la gráfica de velocidades y tabla de posiciones de cada cuerpo obtenidas durante la colisión.

Objetivos:

- Comprobar la conservación de la cantidad de movimiento del sistema de partículas
- Comprobar que la velocidad del sistema es constante
- Analizar la cantidad de movimiento y la energía cinética para cada cuerpo
- Determinar la fuerza de interacción entre los cuerpos durante el choque.

Competencias a desarrollar por el alumno:

- Adquirir experiencia en medición con sensores
- Analizar datos obtenidos de gráficos y tabla de datos
- Realizar líneas de tendencia e interpretarlas
- Analizar los resultados experimentales con el modelo teórico
- Trabajar en grupo

CHOQUE INELASTICO

Objetivos:

- ⊕ Estudiar físicamente una colisión inelástica.
- ⊕ Determinar el coeficiente de restitución para el impacto entre dos carros inteligentes.
- ⊕ Calcular la Fuerza interna en el choque.

Materiales:

- ⊕ Sistema “SMART CARTS” (Carritos inteligentes) de PASCO.

Desarrollo:

El desarrollo del siguiente trabajo experimental se apoya fundamentalmente en dos teoremas de conservación:

El de la cantidad de movimiento lineal $\left(Si \sum F_{ext.} = 0 \Rightarrow \vec{P}_{tot.} = cte. \text{ o bien: } \Delta \vec{P} = 0 \right)$, y el de la conservación de la energía mecánica $\left(Si \sum W_{F_{nocons.}} = 0 \Rightarrow E_{m_r} = cte. \text{ o bien: } \Delta E_m = 0 \right)$.

Por otro lado, podemos mencionar el **coeficiente de restitución** en los choques entre partículas que se desplazan sobre un mismo eje antes y después del choque.

Esta única razón como caso particular, nos permite prescindir del símbolo vectorial en las expresiones que siguen y darles así un tratamiento puramente algebraico.

Para cualquier tipo de choque se conserva la cantidad de movimiento.

Podremos escribir:

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} \quad (1)$$

Solamente para el choque perfectamente elástico se conserva además la energía cinética

$$\frac{1}{2} * m_1 * v_{1i}^2 + \frac{1}{2} * m_2 * v_{2i}^2 = \frac{1}{2} * m_1 * v_{1f}^2 + \frac{1}{2} * m_2 * v_{2f}^2$$

Simplificando el $\frac{1}{2}$ y operando

$$m_1 * (v_{1i}^2 - v_{1f}^2) = m_2 * (v_{2f}^2 - v_{2i}^2)$$

Descomponiendo las diferencias de cuadrado en sus bases:

$$m_1 * (v_{1i} - v_{1f}) * (v_{1i} + v_{1f}) = m_2 * (v_{2f} - v_{2i}) * (v_{2f} + v_{2i}) \quad (2)$$

La (1) la podemos escribir

$$m_1 * (v_{1i} - v_{1f}) = m_2 * (v_{2f} - v_{2i}) \quad (3)$$

Dividimos miembro a miembro la (2) por la (3) y nos queda:

$$(v_{1i} + v_{1f}) = (v_{2f} + v_{2i})$$

$$(v_{1i} - v_{2i}) = (v_{2f} - v_{1f})$$

y para mantener el orden literal tanto en numerador como en denominador

$$(v_{1i} - v_{2i}) = -(v_{1f} - v_{2f})$$

$$1 = -\frac{(v_{1f}-v_{2f})}{(v_{1i}-v_{2i})} \quad (\text{para el choque perfectamente elástico})$$

Obviamente para el choque perfectamente plástico será por lógica dado que ambas partículas continuarán unidas después del choque.

$$0 = -\frac{(v_{1f}-v_{2f})}{(v_{1i}-v_{2i})} \quad (\text{para el choque perfectamente plástico})$$

Y generalizando para choque inelásticos:

$$K = -\frac{(v_{1f}-v_{2f})}{(v_{1i}-v_{2i})} \quad \text{donde } 0 < k < 1 \quad (\text{para el choque perfectamente inelástico})$$

O como se muestra habitualmente en la bibliografía

$$K = -\frac{(v_1' - v_2')}{(v_1 - v_2)} \quad (\text{el símbolo prima indica velocidades finales o posteriores al choque})$$

PROCEDIMIENTO:

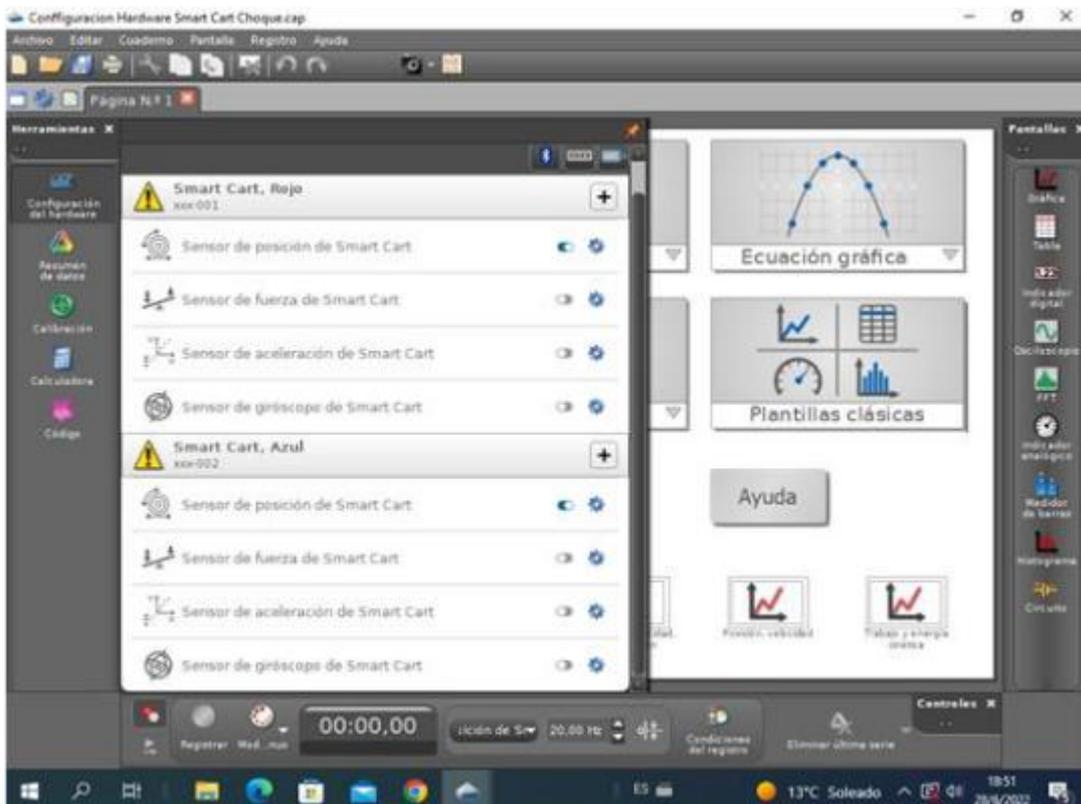
Pasos a seguir en la PC para configurar el software Capstone para:

a) Choque Inelástico

Una vez cargada sus baterías se retira la fuente y los carritos se moverán y comunicarán libremente. Luego reemplazamos los topes magnéticos de los carritos (si los tuviesen colocados) por topes de goma que vienen en sus cajas originales. Esta operación es manual y sencilla, ya que los topes están simplemente roscados sin necesidad de apretarlos fuertemente.

Colocamos ambos carritos sobre el riel y en forma análoga a lo que hemos hecho con las interfaces SPARKLINK en otras prácticas, pulsamos el micro botoncito del carrito durante unos 3 segundos, hasta que comience el parpadeo azul del led incorporado en él, que indica la habilitación de la comunicación vía bluetooth con la PC.

Hacemos click luego sucesivamente sobre cada carrito para que se muestre la siguiente pantalla, en la que operamos de la siguiente manera.



Observamos en ambos carritos opciones con los sensores que tienen adentro y que se pueden habilitar o deshabilitar solo haciendo click sobre los pequeños "óvalos" que se muestran junto a ellos. Observamos que estos pequeños óvalos tienen una mitad azul y otra blanca. En principio, están en posición de sensor habilitado. Si hacemos click sobre el óvalo la mitad azul (izquierda); pasa a blanco y la blanca (derecha); pasa a gris. Ahora el sensor quedará deshabilitado.

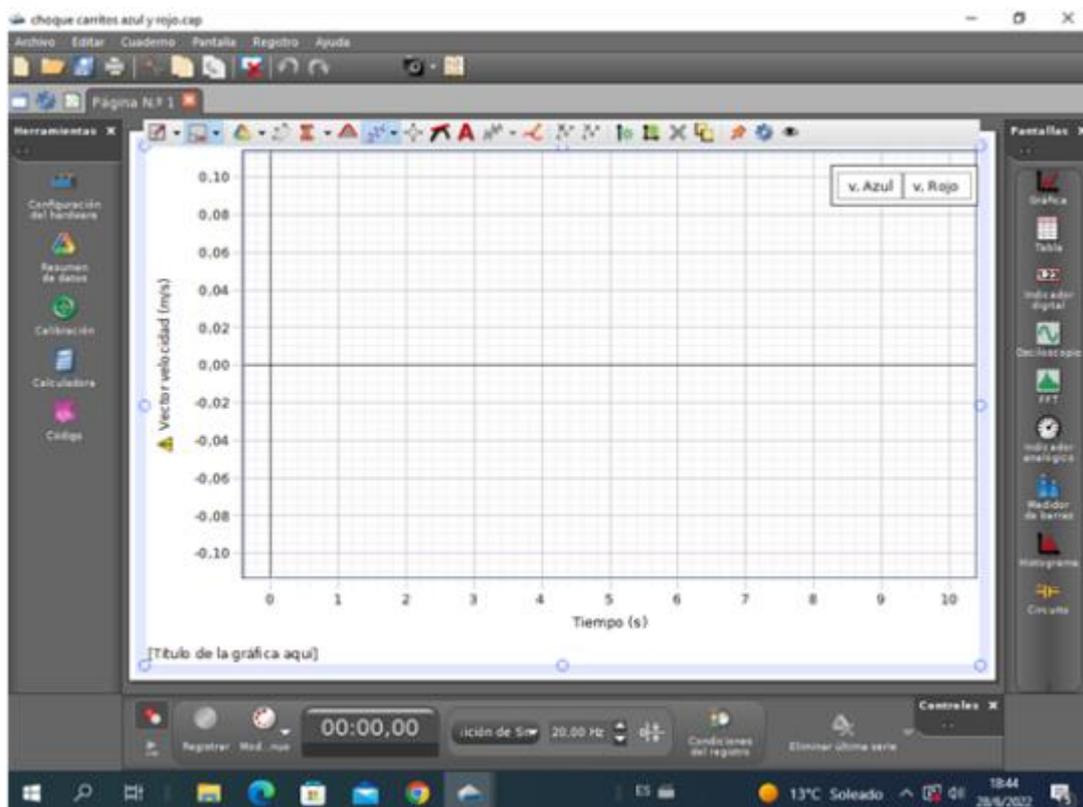
Para este caso particular dejamos solo habilitado el sensor de **“Posición”** como vemos en la figura anterior.

Luego para fijar estas opciones para la experiencia, hacemos click nuevamente sobre el primer ícono bluetooth (contorno celeste) que se ve en pantalla (justo arriba de la leyenda “Smart Cart Rojo).

Nuevamente hacemos click sobre el ícono inicial azul sobre el margen izquierdo, sobre la barra vertical de herramientas: **“CONFIGURACION HARDWARE”** con lo cual desaparece la figura anterior.

Ahora vamos a la barra de herramientas vertical, pero del margen derecho de la pantalla y hacemos click sosteniendo y arrastrando con el mouse hasta el centro de la pantalla; el ícono **“GRAFICA”**.

Allí lo soltamos observando lo siguiente:



Se ha desplegado un gráfico con el eje “X” en el centro de la página.

Como en casos anteriores designamos unidades sobre sus ejes. Sobre el eje “X” al tiempo y sobre el eje “Y” donde dice “Seleccionar Medida”, elegimos: “velocidad Rojo” en (m/seg).

Enseguida volvemos a hacer click sobre esta indicación elegida en el eje “Y” y se despliega un cuadro donde elegimos **“Añadir medición similar”** y con botón derecho se observa la opción **“Velocidad azul”** en (m/s) que aceptamos.

Antes de iniciar la experiencia y la toma de datos, haremos dos verificaciones importantes.

La primera será la de comprobar que la velocidad de ambos carritos permanezca constante durante el trayecto de desplazamiento de ambos sobre el riel.

Para ello tomemos por ejemplo el carrito rojo, lo movemos manualmente en el sentido de las X adoptado como positivo (de izquierda a derecha). Pulsamos un instante el botón Rojo de “registrar Datos” y si vemos que la velocidad **disminuye** a medida que avanza, procedemos a desnivelar muy suavemente el riel con su tornillo de registro de altura. Esto es normal, porque debemos compensar el efecto del pequeñísimo rozamiento que tienen sus rueditas contra el riel. Así lo expresa el fabricante PASCO.

Cuando observemos que la velocidad permanece constante en el tramo de riel donde operará el carrito rojo, hacemos la misma verificación con el carrito azul.

La segunda comprobación corresponde al signo de la velocidad que tendrán los carritos en nuestra experiencia.

Haremos una colisión de izquierda a derecha, donde por ejemplo el carrito azul para $t=0$ comienza con velocidad y choca al rojo que al principio está parado en un valor del eje X cerca del centro del riel, digamos $X= 60\text{cm}$.

Luego de la colisión ambos se moverán hacia la derecha. Consideramos que ambas velocidades deben ser positivas.

Ahora bien, damos nuevamente con la mano un pequeño impulso al carrito rojo y con el mismo botón de tomar registros ahora observamos (por ejemplo) que la velocidad es constante, pero de signo negativo, paramos con el mismo botón y volvemos al inicio sobre la margen izquierda en “Configuración de Hardware”.

Como dijimos nuestro único sensor habilitado es el de posición. Buscamos el del carrito rojo y junto al pequeño óvalo donde dejamos habilitado el sensor anterior, hay una “ruedita dentada” que el mouse nos muestra como “Propiedades”. Al dar click en ella vemos un cuadrito de posibilidades donde elegimos: “Cambiar de signo” y comprobaremos que la velocidad del carrito rojo ahora será positiva además de constante (que ya lo era a partir del punto anterior).

Enseguida verificamos lo mismo con el carro azul. Si vemos que se mueve con velocidad positiva (de izquierda a derecha) lo dejamos así, de lo contrario realizamos los mismos pasos que con el carrito rojo para invertir el signo.

Quedan dos ajustes convenientes de hacer, antes de iniciar la experiencia con la toma de datos.

En la parte final de la pantalla junto al botón de “Eliminar la última serie; **hay otro a su izquierda; llamado “Condiciones de Grabación”**.”

Al hacer click en él, se observan dos opciones:

a) Condiciones de inicio

b) Condiciones de detención.

Condiciones de inicio:

Ingresaremos por orden en cada una de ellas

Por ejemplo, deseo que la experiencia arranque cuando el carrito azul tenga una velocidad $> 0,05$ m/s y 0,5 seg después de haber pulsado el botón de registro. Me aseguro así que para el $t=0$ del gráfico; el carrito (en este ejemplo el azul) tenga una velocidad inicial. Obviamente el rojo para ese instante tendrá velocidad cero. Esa configuración deseada, la impongo así:

Hacemos click en Condiciones de inicio y se abre un cuadrado de opciones

Tipo de condición: experimental (se despliegan opciones. Elijo velocidad carrito azul).

Valor: 0,05 (se impone por experiencia y usando buen criterio) Son 0,05m/s

Pre-grabación: 0,5 seg (se impone por experiencia. Es un tiempo de espera luego del cual empieza a grabar)

Luego, un renglón más abajo se ingresa en:

Condiciones de detención:

Aquí por ejemplo le podemos especificar la detención automática de la toma de registros una vez que el carrito rojo luego de la colisión avance 20 cm, pasando de 60 cm a 80cm de la escala marcada sobre el riel.

Tipo de condición: basada en mediciones

Origen de los datos: posición carrito rojo

Valor: por encima 0,2 (Son metros)

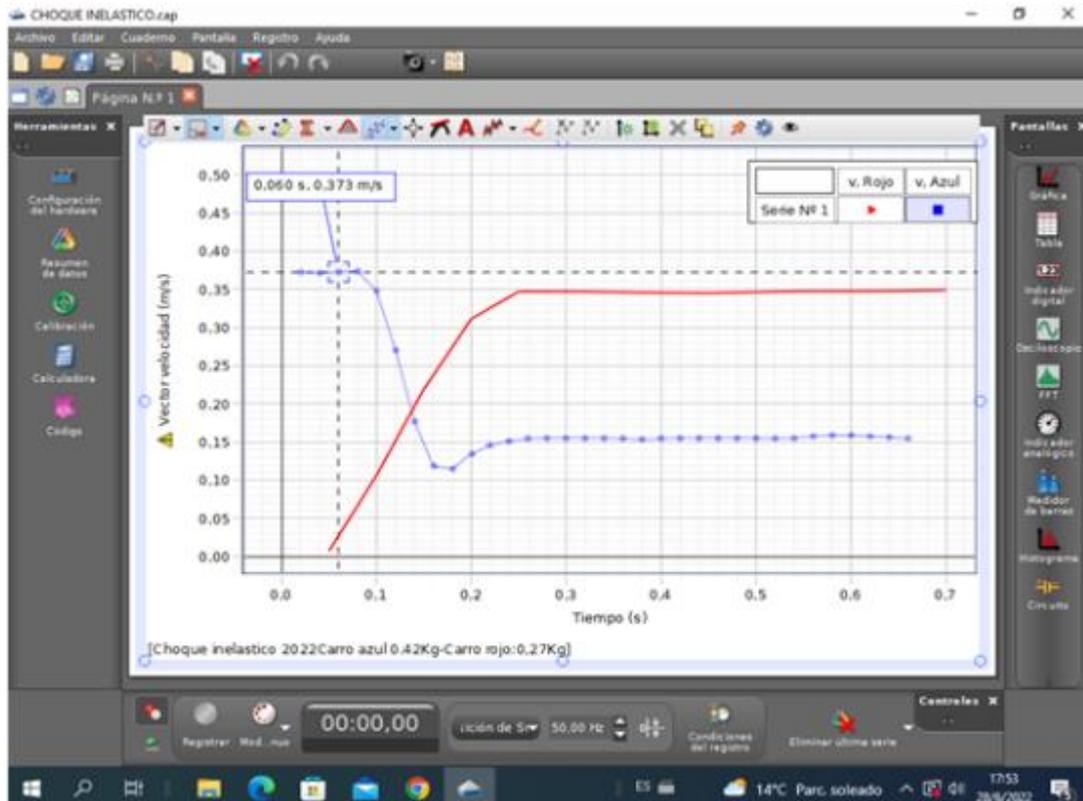
Finalmente hacemos click en **ACEPTAR**

Lo anterior no es obligatorio, pero ayuda a interpretar el gráfico evitando visualizar los rebotes de los carritos (que no usaremos en el trabajo). No olvidemos que el riel es muy corto y que se producirán varios rebotes contra los topes y entre carritos, que conllevan a confusión. Para quienes permitan las colisiones hay otra forma en el Software Capstone de borrar datos indeseados al final de la experiencia, pero la idea es no apartarse del objetivo primordial del trabajo práctico.

Finalmente se procede al registro de datos:

Finalmente, como en otros trabajos, pulsamos simultáneamente el botón circular rojo (al final de la pantalla y a la izquierda) que implica: Iniciar **“REGISTRO de DATOS”**, al tiempo que se le da un impulso manual al carrito Azul para que avance sobre el riel en busca del carrito Rojo. Luego de chocarlo y que el rojo comience a moverse, se detiene el conteo en forma automática con las condiciones fijadas en el párrafo anterior, o se detiene el conteo en forma manual con el mismo botón Rojo anterior si no hemos fijado condiciones de detención automática.

Tendremos un gráfico similar al que mostramos abajo.



Allí observamos (ajustando con el mouse convenientemente las escalas); en primer lugar; una velocidad inicial para el carrito azul y velocidad cero para el rojo. Esto junto a sus masas define: la cantidad de movimiento inicial y la energía cinética inicial del conjunto.

Nota: este transitorio lo capta y amplía el Software Capstone pero (no se nota a simple vista, sin ampliar la escala)

Por último, observamos en el gráfico, un régimen de estado final permanente para ambos carritos con sus velocidades finales.

En la parte inferior escribimos con teclado los valores experimentales de masas que utilizamos y los valores de velocidad obtenidos en el choque (del gráfico).

Ahora nos centramos en analizar el comportamiento de los carritos justo antes de chocar y en seguida de haberlo hecho conformando los estados: INICIAL y FINAL de nuestra experiencia.

ESTADO INICIAL:

Masa del carrito Rojo: 0,27Kg (masa propia)

Masa del carrito azul: 0,27 Kg (masa propia) + 0,150 Kg (pesas adicionales agregadas encima)
=0,42Kg

Velocidad inicial del carrito rojo: 0 m/s

Velocidad inicial del carrito azul: (del gráfico):0,373 m/s

ESTADO FINAL :(luego del transitorio a que da lugar el choque)

Masa del carrito Rojo: 0,27Kg (masa propia)

Masa del carrito azul: 0,27 Kg (masa propia) + 0,150 Kg (pesas adicionales agregadas encima)
=0,42Kg

Velocidad final del carrito rojo: 0,346 m/s (del gráfico)

Velocidad final del carrito azul: 0,154 m/s (del gráfico)

Veamos lo que ocurre con la Energía Cinética en el choque.

Energía Cinética inicial:

$$Ec_0 = \frac{1}{2} * m_{azul} * V_{azul}^2$$

$$Ec_0 = \frac{1}{2} * 0,42 \text{ Kg} * (0,343 \text{ m/s})^2$$

$$Ec_0 = \frac{1}{2} * 0,42 \text{ Kg} * 0,139 \text{ N} * \text{m}$$

$$Ec_0 = 0,029 \text{ joules}$$

Energía cinética final:

$$Ec_f = \left(\frac{1}{2} * m_{azul} * V_{f_{azul}}^2 \right) + \left(\frac{1}{2} * m_{rojo} * V_{f_{rojo}}^2 \right)$$

$$Ec_f = \left(\frac{1}{2} * 0,42 \text{ Kg} * (0,154 \text{ m/s})^2 \right) + \left(\frac{1}{2} * 0,27 \text{ Kg} * (0,346 \text{ m/s})^2 \right)$$

$$Ecf = 0,016 \text{ Joules} + 0,005 \text{ Joules}$$

$$Ecf = 0,021 \text{ Joules}$$

Por lo tanto, $Ecf < Ec_0$ Es decir que en el choque inelástico se **pierde** energía cinética en de forma de calor, en pequeñísima deformación etc....

Calculemos ahora el coeficiente de restitución de esta colisión inelástica

$$C_r = \frac{-(V_{azul_f} - V_{rojo_f})}{(V_{azul_0} - V_{rojo_0})}$$

$$C_r = \frac{0,192}{0,373} = 0,515$$

Donde $0 < C_r = 0,515 < 1$ Implica choque inelástico

Complemento: También con los mismos pasos sobre el Software Capstone pero solo seleccionando sobre él; Posición =f(t); en lugar de Velocidad =f(t) como acabamos de hacer, veremos su gráfica donde se puede requerir en cualquier punto el valor de la velocidad de cualquiera de los dos carritos.

CHOQUE PLÁSTICO

Objetivos:

- ✦ Verificar experimentalmente el comportamiento de la cantidad de movimiento y el de la energía cinética de dos carritos con rueditas, que chocan desplazándose sobre un riel bruñido. El conjunto presenta bajo rozamiento
- ✦ Familiarizarse con la matemática implicada en el modelo que describe un choque plástico central.
- ✦ Aplicar los conceptos teóricos de colisiones, conservación de la cantidad de movimiento y energía mecánica a una determinación experimental.

Materiales:

- ✦ Sistema “SMART CARTS” (Carritos inteligentes) de PASCO.

Desarrollo:

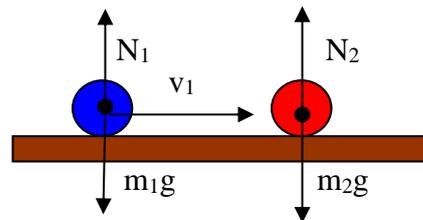
- ❖ Estos carritos se dicen inteligentes porque cuentan con electrónica que les permite vincularse en forma inalámbrica (vía bluetooth) con el Software CAPSTONE ya utilizado en trabajos anteriores. Es fundamental que previamente se hayan cargado sus micro baterías de litio incorporada en ellos. Para ello cuentan con un puerto mini USB que mediante cable (con ficha USB normal) en el otro extremo, se vincula a una pequeña fuente que viene con ellos.

Marco teórico:

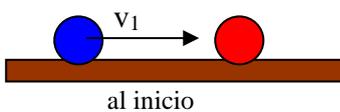
Supongamos que tenemos un cuerpo que se mueve en línea recta con una cierta velocidad v_1 , y colisiona con otro que se encuentra detenido interponiéndose en su trayectoria, y que luego del choque ambos cuerpos continúan su marcha unidos. Ambos han sufrido deformaciones permanentes a causa del impacto. Consideremos el estudio del sistema formado por ambos cuerpos, donde las cosas ocurren sin la aparición de fuerzas de rozamiento. Las únicas fuerzas presentes antes y después del impacto serán entonces el peso de cada cuerpo y la reacción del piso sobre ellos; como ambas fuerzas no realizan trabajo, y además se anulan entre sí, no serán responsables de modificación alguna en la energía ni en la cantidad de movimiento de nuestro sistema.

Tal y como lo ha estudiado en la teoría correspondiente a colisiones, un choque de estas características, donde los cuerpos continúan su marcha unidos después de colisionar, se denomina **plástico**.

El esquema muestra gráficamente la situación del choque:

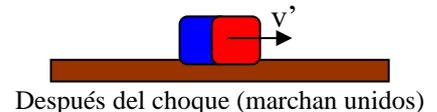


El desplazamiento es en todo momento perpendicular a las fuerzas, antes y después del choque, por lo tanto, no son responsables de los eventuales cambios en la energía del sistema. La suma de fuerzas antes y después del choque es cero, por lo que tampoco modificarán la cantidad de movimiento del mismo.



$$E_{c_o} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

$$\vec{P}_{O_t} = m_1 \vec{v}_1$$



$$E_{c_f} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2$$

$$\vec{P}_{f_t} = (m_1 + m_2) \vec{v}'$$

¿Qué ha pasado con la energía? En un choque plástico, la energía no se conserva. Inicialmente el sistema posee energía cinética (llamada en el esquema E_{Co}), y parte de ésta la perderá durante el impacto (se disipará en forma de ruido, calor, deformaciones permanentes en los cuerpos). Al final emergerá del impacto con una energía cinética final (E_{Cf}) que resultará menor en magnitud que la que tenía inicialmente. Simbólicamente: $E_{Co} > E_{Cf}$. Por supuesto, luego del impacto, si no hay alguna fuerza que realice trabajo sobre las masas unidas, la energía del sistema se conservará.

¿Qué ha pasado con la cantidad de movimiento? Sabemos que para que la cantidad de movimiento lineal de un sistema se modifique, debe haber por lo menos una fuerza que no se anule y que actúe durante un cierto tiempo; es decir, lo que puede modificar la cantidad de movimiento total de un sistema es un impulso aplicado ($\vec{I} = \Delta\vec{P}_T$). Para el caso que nos ocupa, todas las fuerzas que actúan en el sistema, en todo momento sumadas dan cero, por lo que la cantidad de movimiento total del sistema permanece constante. En símbolos: $\Delta\vec{P}_T = 0$.

Podemos valernos de esto para estudiar el fenómeno de un choque plástico. Si tomamos las ecuaciones correspondientes a las cantidades de movimiento inicial y final, y escribimos el algoritmo correspondiente a la conservación:

$$(m_1 + m_2)\vec{v}' - m_1\vec{v}_1 = 0$$

De donde se puede despejar la velocidad del sistema después del choque:

$$\vec{v}' = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

Este planteo nos servirá para analizar la física de un dispositivo utilizado para medir la velocidad con la que un proyectil abandona el cañón de un arma.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

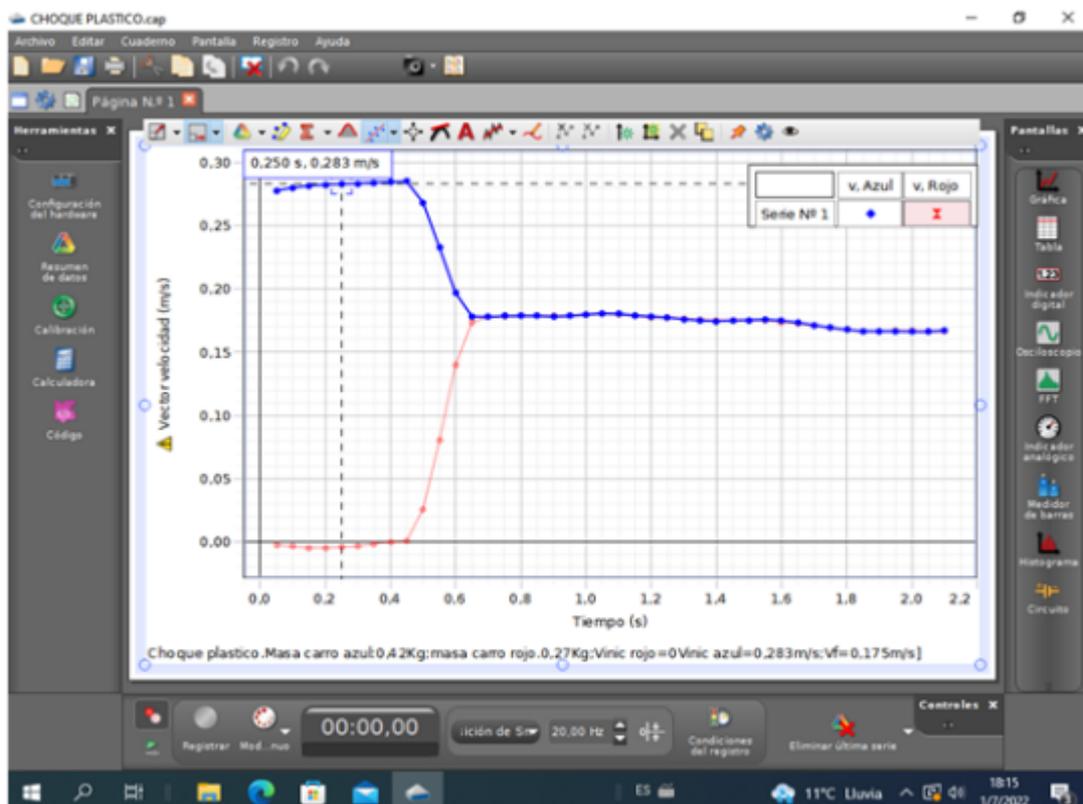
b) Choque Plástico:

Con los mismos **carritos inteligentes** y las mismas masas en juego. Solamente que antes de iniciar la experiencia, quitamos los topes de goma y dejaremos que los carritos choquen con sus topes de Velcro (quedarán adheridos al chocar)

Verificamos todas las condiciones anteriores previas al choque respecto de velocidades, sus signos y demás consideraciones en ambos carritos como lo hicimos en el choque inelástico.

NOTA: la velocidad inicial en ambas experiencias las asignamos manualmente al carro azul en un simple movimiento de impulso. Por lo tanto, las velocidades iniciales solo por casualidad podrían ser iguales, pero ello no importa para las conclusiones que buscamos.

Al pulsar el botón rojo de toma de registros y luego de su detención automática; veremos el siguiente gráfico en el CAPSTONE:



Calculemos la cantidad de movimiento antes y después del choque con valores obtenidos del gráfico.

Masa carro azul: 0,42Kg

Masa carro rojo: 0,27 Kg

Velocidad inicial: Carro azul: 0,283 m/s

Velocidad inicial carro rojo: 0 m/s

Velocidad final del conjunto después del choque: 0,173 m/s

Nuevamente expresamos la condición a verificar:

$$\dot{p}_0 = \dot{p}_f$$

Reemplazando datos para este choque unidireccional. Dado que se trata de la misma dirección tanto para el vector cantidad de movimiento inicial como para el vector cantidad de movimiento final, podemos tratarlo algebraicamente como excepción, como lo haríamos con escalares.

$$m_{\text{azul}} * V_{\text{azul}0} + m_{\text{rojo}} * V_{\text{rojo}0} = (m_{\text{azul}} + m_{\text{rojo}}) * V_f$$

$$0,42 \text{ kg} * 0,283 \text{ m/s} + 0,27 \text{ kg} * 0 = 0,69 \text{ Kg} * 0,173 \text{ m/s}$$

$$0,119 \text{ kg} * \text{m/s} = 0,119 \text{ kg} * \text{m/s}$$

Con valores obtenidos del gráfico experimental comprobamos la conservación de la cantidad de movimiento inicial después del choque

Análogamente a lo realizado en el choque anterior veamos el comportamiento de la energía cinética en este caso de choque plástico.

Energía Cinética inicial:

$$Ec_0 = \frac{1}{2} * m_{\text{azul}} * V_{\text{azul}0}^2$$

$$Ec_0 = \frac{1}{2} * 0,42 \text{ kg} * (0,283 \text{ m/s})^2$$

$$Ec_0 = 0,017 \text{ joules}$$

Energía Cinética final:

$$Ec_f = \frac{1}{2} * (m_{\text{rojo}} + m_{\text{azul}}) * V_f^2$$

$$Ec_f = \frac{1}{2} * (0,27 \text{ Kg} + 0,42 \text{ kg}) * (0,173 \text{ m/s})^2$$

$$Ec_f = 0,010 \text{ joules}$$

Nuevamente comprobamos la pérdida de energía cinética también en el choque plástico.

Calculemos ahora el coeficiente de restitución de esta colisión plástica

$$C_r = \frac{-(V_{azul_f} - V_{rojo_f})}{(V_{azul_0} - V_{rojo_0})}$$

$$C_r = \frac{-(0)}{(0,283 - 0)}$$

$C_r = 0$ ó los que es lo mismo, $K = 0$

PROBLEMAS Y PREGUNTAS:

- 1- Realice un esquema del dispositivo y haga un diagrama de cuerpo libre del carro en movimiento; justifique desde la dinámica el tipo de movimiento del carro después del impacto.
- 2- ¿Por qué se solicita que nivele el carro antes de realizar la experiencia? ¿En qué cambiarían los planteos teóricos si el riel tuviese una inclinación apreciable?
- 3- Siendo la cantidad de movimiento una magnitud vectorial, justifique porqué para el cálculo de la velocidad del carro azul le damos a la ecuación un tratamiento escalar.
- 4- La gráfica de la posición del carro en función del tiempo nos informa no sólo de la velocidad del mismo, sino también de una ordenada al origen; ¿es cero? ¿Por qué? ¿Puede considerarse aproximadamente cero?
- 5- Busque en bibliografía citada en su curso, la pérdida en términos de porcentaje de la energía cinética; y compare con la obtenida experimentalmente; ¿Son similares?

Algunos links interesantes:

- <http://www.aceros-de-hispania.com/accesorios-gamo/balines-gamo-ts.asp> Datos técnicos acerca de balines, donde se incluye la velocidad al salir de la boca del arma. Interesante para comparar con resultado experimental del TP.
- http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/con_mlineal/balistico/balistico.htm Simulación sobre un péndulo balístico, cuyo comportamiento es similar al de nuestro dispositivo.
- http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/con_mlineal/bala_bloque/bala_bloque.htm Simulación del choque plástico entre un proyectil y un carro, con una pequeña introducción teórica.