Estudio de conservación de magnitudes en una colisión unidimensional utilizando sensores de fuerza y posición y estudio de la conservación de la cantidad de movimiento y la energía utilizando un péndulo balístico

Agustín Binora

agusbinora@yahoo.com.ar

Objetivos

En este trabajo práctico estudiaremos dos tipos de colisiones. En primer lugar, un choque unidimensional sobre un riel utilizando sensores de posición y fuerza. Luego, con un péndulo balístico. Se analizará para cada caso la conservación de la cantidad de movimiento en forma teórica y en forma práctica, con los datos que iremos obteniendo, y para la segunda parte, la conservación de la energía.

Introducción teórica

En primer lugar, vamos a distinguir el concepto de colisión del de choque. El primero ocurre cuando dos o más partículas se encuentran dentro de una zona de interacción; no necesariamente debe haber contacto entre ellas. En cambio, el choque ocurre cuando en esta interacción se conserva la cantidad de movimiento.

Esta magnitud está definida como p = m * v. Es una magnitud vectorial, cuya variación con respecto al tiempo depende de la sumatoria de fuerzas externas, según la ecuación: ΣF_{ext} = dp/dt. De acuerdo a esto, un instante antes y un instante después del choque, si la sumatoria de fuerzas es cero, p es constante: se conserva (o viceversa). No necesariamente se debe conservar el vector p, a veces, es suficiente con que se conserve alguna componente de éste, según lo cual, la fuerza neta sobre ese eje será cero. Para analizar la conservación de la cantidad de movimiento, se debe explicitar el sistema de estudio.

De acuerdo a la ecuación escrita anteriormente, sale que F * dt = dp. Si integramos a ambos lados, $\int_{t_o}^{t_f} F dt = \Delta p = I$ (donde I es impulso). Esta integral, si ocurre entre dos tiempos extremadamente cercanos, cuando el choque dura muy poco (por ejemplo, una granada que explota), $t_o \approx t_f$, da O. Entonces se podría pensar que el p se conserva cuando el impulso vale cero, un momento antes, y un momento después del choque.

De acuerdo a las velocidades iniciales y finales de los móviles, se estudia cómo varía la energía cinética del sistema. Ésta es la energía que tienen las partículas del sistema en forma de movimiento, y está definida como Ec = ½ m * v^2. Entonces, de acuerdo a como sea la ΔEc antes y después del choque, quedan clasificados éstos:

* si ΔEc = 0, el choque es elástico: hay deformación del sistema, pero no hay pérdida de energía:
* si ΔEc < 0, el choque es inelástico: la velocidad final es menor a la inicial. Se pierde energía, pero tienen la suficiente como para separarse.
* si ΔEc < 0, yla energía que se pierde es máxima, los cuerpos no tienen la suficiente energía como para separarse: avanzarán juntos. Se trata de un choque plástico.
* si ΔEc > 0, se trata de un choque explosivo en el cual hubo una energía química que se transformó en cinética.

Si el choque es en una dimensión, se define un coeficiente de restitución e. Si v son las velocidades finales de los móviles, y u las iniciales: $(v_2 - v_1) = - e\ (u_2 - u_1)$, donde las expresiones que están entre paréntesis son las velocidades relativas de los móviles. De acuerdo a esto, si el choque es elástico, e = 1; si es plástico, e = 0; y si es inelástico, 0 < e < 1.

Estudio de conservación de magnitudes en una colisión unidimensional utilizando sensores de fuerza y posición

En esta parte de la práctica se estudiará la conservación de la cantidad de movimiento durante una colisión entre dos carros sobre un riel. Mediremos las velocidades de éstos usando sensores de posición, a partir de los gráficos que de éstos obtengamos, y el impulso de la fuerza existente entre los móviles durante el choque, con un sensor de fuerza.

Materiales

- 2 móviles Pasco ME-9554
- Sensor de posición Pasco CI-6742
- Sensor de fuerza Pasco CI-6537
- Interfase de adquisición de datos Pasco 750
- Carril
- Computadora
- Balanza con error de medición de 0,5 gramos.

Procedimiento y resultados

Colocados los móviles sobre el riel, se los hace colisionar de frente. Estos vienen en la misma dirección, sentido contrario, y luego del choque, cada uno sale en el sentido opuesto del que venía originalmente. Gracias a los gráficos de velocidad en función del tiempo que obtenemos a través del sensor de posición, obtenemos las velocidades iniciales y finales con la incerteza correspondiente, de cada uno de los móviles antes y después de la colisión. En el gráfico se ve que la primera meseta representa la velocidad inicial, y se obtiene como el valor medio entre todos los valores arrojados, y la incerteza la tomamos como la mayor diferencia con este valor medio. Luego hay una depresión, que representa el momento del choque, y finalmente, una segunda meseta, esta vez negativa (porque "vuelve" en el sentido contrario al que se tomó la velocidad inicial), que representa la velocidad final. De la misma manera para el otro carro, se obtiene la velocidad final representativa, con su incerteza.

Móvil sin el sensor de fuerza: $v_{1,i}$ = (0,50 ± 0,05) m/s
$v_{1,f}$ = (0,30 ± 0,10) m/s (se tomó mayor incerteza ya que el gráfico no está muy claro)

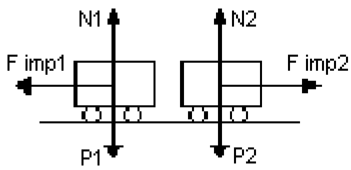
Móvil con el sensor de fuerza: $v_{2,i}$ = (0,35 ± 0,05) m/s.
$v_{2,f}$ = (0,35 ± 0,05) m/s.

Masamos ambos móviles tal como los hicimos interactuar, teniendo en cuenta que uno de ellos carga con el sensor de fuerza:

M_1 (carro sin sensor de fuerza) = (1495,0 ± 0,5) g.
M_2 (carro con sensor de fuerza) = (1840,5 ± 0,5) g.

Ahora vamos a analizar si se conserva p. Si hacemos los diagramas de cuerpo libre de ambos móviles durante el choque:

DCL:



donde P son los pesos y N las normales de cada cuerpo. F imp son las fuerzas impulsivas que aparecen durante el choque, por un instante muy corto, y son internas, ya que tienen su par de interacción dentro del sistema de estudio, que aquí es el móvil 1 + el móvil 2.

Entonces tenemos que $\Sigma F_{ext} = 0$. Si analizamos para cada eje, vemos que en el eje Y es cero ya que peso y normal de cada cuerpo se compensan, debido a que ninguno de los dos se acelera en esta dirección. En el eje X también es cero, ya que las fuerzas impulsivas son internas, por lo dicho anteriormente, entonces la sumatoria de fuerzas externas en esta dirección también es cero. Se concluye que se conserva el vector cantidad de movimiento.

Si ahora lo analizamos con los datos que obtuvimos, tenemos que $\Sigma F_{ext} = dp/dt$, entonces, p es constante si y solo si $\Sigma F_{ext} = 0$.

Tenemos que $p_i = p_f$

$p_i = M_1 * v_{1,i} + M_2 * v_{2,i}$ = (1,39 ± 0,17) kg m/s
$p_f = M_1 * v_{1,f} + M_2 * v_{2,f}$ = (1,09 ± 0,24) kg m/s

Vemos que los intervalos en donde se encuentran estos valores se superponen, por lo que podemos concluir que son mediciones indirectas comparables.

Luego, como segundo punto, tomaremos como sistema solamente al móvil 1, y estudiamos su variación de la cantidad de movimiento, y lo compararemos con el impulso de la fuerza interna durante la colisión, que obtuvimos gracias al sensor de fuerza. Analizaremos si estas magnitudes, dentro del error, son iguales.

El sensor de fuerza nos permite obtener un grafico de la fuerza en función del tiempo. Como se ve, esta fuerza vale 0 hasta el momento en que los móviles colisionan. Aquí aparece un pico de fuerza (esta es la fuerza impulsiva 1 que fue dibujada en el DCL). Como quedó antedicho, $\int_{t_o}^{t_f} Fdt = \Delta p = I$. En el gráfico que tenemos, la integral (que tiene como límites de integración el instante en que comenzó y en que finalizó el choque) o el impulso, lo podemos calcular como el área bajo la curva entre estos mismos instantes. Este valor lo obtenemos con el programa Science Workshop, considerándolo con un error del 10%.

$\int_{t_0}^{t_f} Fdt = I$ = (1,34 ± 0,13) N s

Y entonces, ahora analizamos el valor de Δp para el móvil 1:

$\Delta p = p_f - p_i$ = (-0,3 ± 0,23) kg m/s

Como claramente se ve, la variación de la cantidad de movimiento si tomamos como sistema sólo al carrito 1 no coincide con el impulso de la fuerza en el instante del choque. Intentaremos dar una explicación en las conclusiones.

Conclusiones

En primer lugar vamos a analizar cómo se comportó el sistema en la primera parte. Como vemos, la cantidad de movimiento se conservó en la colisión, por lo que podemos decir que se trata de un choque. Esto lo podemos decir si consideramos los valores representativos, con sus errores, y vemos como los intervalos se superponen parcialmente. Analizamos el choque, y se ve como el móvil con más masa (el número 2, que tenía el sensor de fuerza) sufrió menos la variación en la cantidad de movimiento (en la velocidad, ya que la masa es constante). Esta pequeña variación se la puede ver si se consideran los intervalos de error, ya que si se consideran sólo los valores representativos no se vería un cambio en ésta (es 0,35 m/s para ambas situaciones). Pero debemos pensar que el móvil puede llegar a conservar la velocidad sólo si colisiona con un móvil que tiene su misma masa, y que avanza con su misma velocidad. Como esto no ocurre, concluimos que los valores que toma la velocidad de este carrito son distintos, pero dentro de dicho intervalo.

Por otro lado y contrario a esto, el carrito con menos masa (el número 1) es el que más sufre la variación en la cantidad de movimiento. Nuevamente, como la masa permanece constante, este cambio se observa en la velocidad (además de cambiar su sentido, cambia su módulo: disminuye). Esto es contrario a lo que nos hubiésemos imaginado, ya que es esperable que el cuerpo con menos masa finalice con una velocidad mayor a la inicial. Pero los resultados que nos arrojó el sensor fueron esos, y si buscamos una explicación, podemos pensar en que hubo un leve rozamiento que provocó una disminución en la velocidad, además de que el choque no fue perfecto, sino que ambos carritos terminaron “temblando” luego del mismo.

Finalmente, con los valores de cantidad de movimiento inicial y final, vemos que si bien sus valores representativos están algo alejados, dentro de los intervalos de incerteza se conserva esta magnitud. La diferencia entre los valores representativos se la puede analizar desde el punto de vista de que de los gráficos no es tan sencillo extraer información precisa, ya que en los ejes no están todos los valores de cada marquita. Además, hicimos la suposición de que la sumatoria de fuerzas en el eje X (que es en el que ocurre el movimiento) es 0 porque no hay fuerzas en dicho eje. Pero como existen fuerzas de rozamiento la cantidad de movimiento no se debería conservar. Como estas fuerzas son de módulo bajas (debido a las condiciones de la pista y los carritos), las podemos despreciar y no influyen tanto en la variación de la cantidad de movimiento. Por esto, dentro del error de medición, esta magnitud se conserva.

Ahora vamos a ver qué ocurrió con la variación en la cantidad de movimiento si tomamos como sistema al carrito 1, y compararla con el impulso de la fuerza. El impulso, que calculamos como el área bajo la curva del gráfico de fuerza en función del tiempo, es un valor positivo. Como dijimos antes, ocurrió una particularidad, que fue que el carro 1, de menos masa, terminó con una velocidad final menor que la inicial. Por tanto, el Δp nos dio un valor negativo, entonces, no nos coincidió con el valor del impulso de la fuerza. Esta particularidad seguramente se debió a que el choque no fue "prolijo" en el sentido que los móviles chocaron, y volvieron hacia sus posiciones iniciales "temblando" un poco: esto se observó sobre todo en el carrito 1. Si pensamos que la igualdad se debería haber cumplido: $p_f - p_i \approx 1{,}34$. Resolviendo esto, se obtiene que la velocidad del móvil 1 final debiera estar alrededor de 1,4 m/s. Esto no ocurrió, así que pensamos que debido a las incertezas (reiteramos: análisis de los gráficos, desprolijidad en el choque) no obtuvimos los resultados que deberíamos haber obtenido.

Con los valores de las velocidades, vamos a analizar de qué tipo de choque se trata, a partir de la energía cinética:

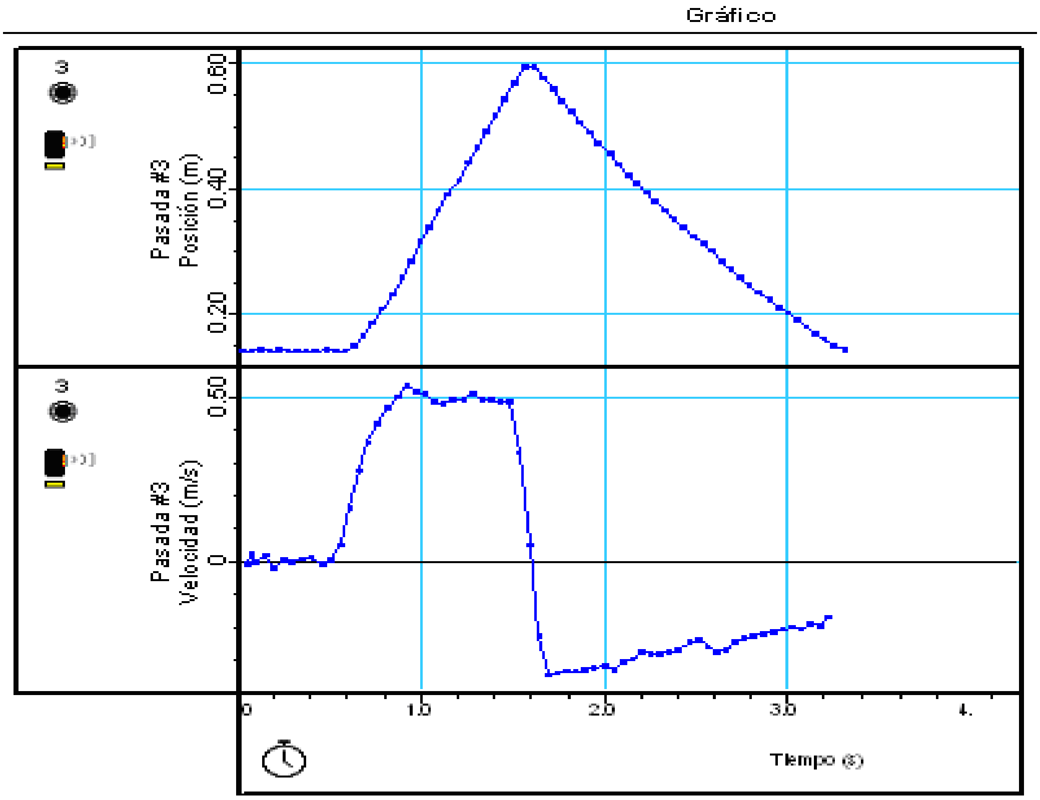
$Ec_i = 0{,}3$ J

$Ec_f = 0{,}17$ J

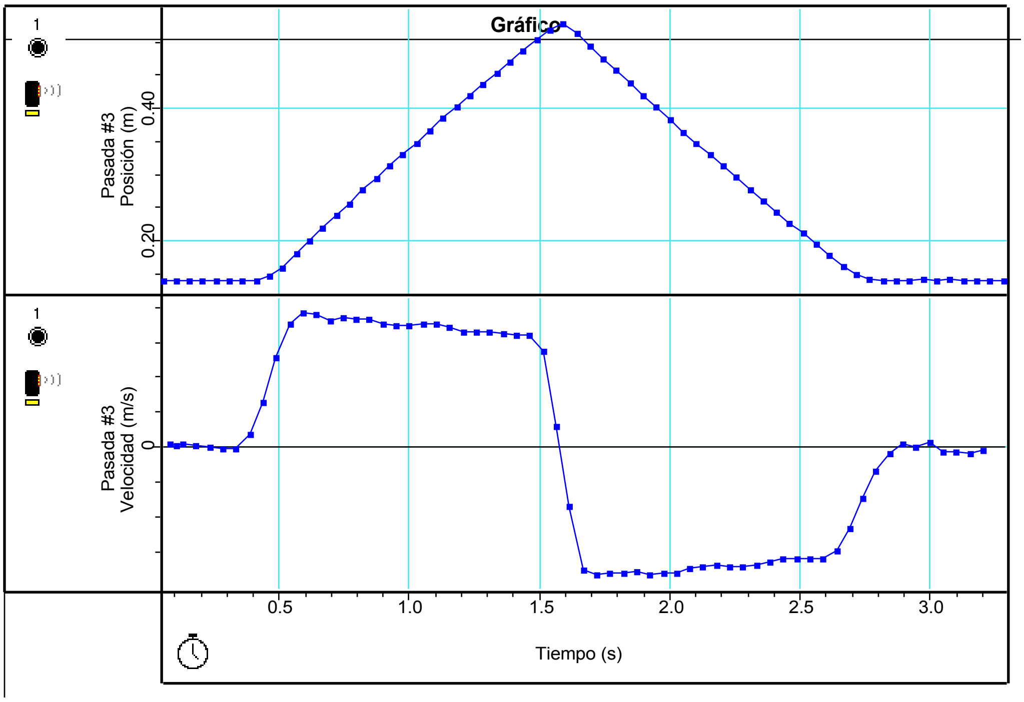
Como fue dicho en la introducción teórica, cuando la ΔEc es menor a 0, puede ser un choque inelástico o plástico. Si fuese plástico, los móviles deberían haber terminado juntos, con los cual concluimos que se trata de un choque inelástico. También lo podemos analizar a partir del valor que toma el coeficiente de restitución con las velocidades relativas iniciales y finales. Por este método se obtiene que e = 1/3, y nuevamente se llega a la conclusión de que se trata de un choque inelástico, ya que e se encuentra entre 0 y 1, lo cual es cierto, ya que los móviles permanecen separados luego del choque.

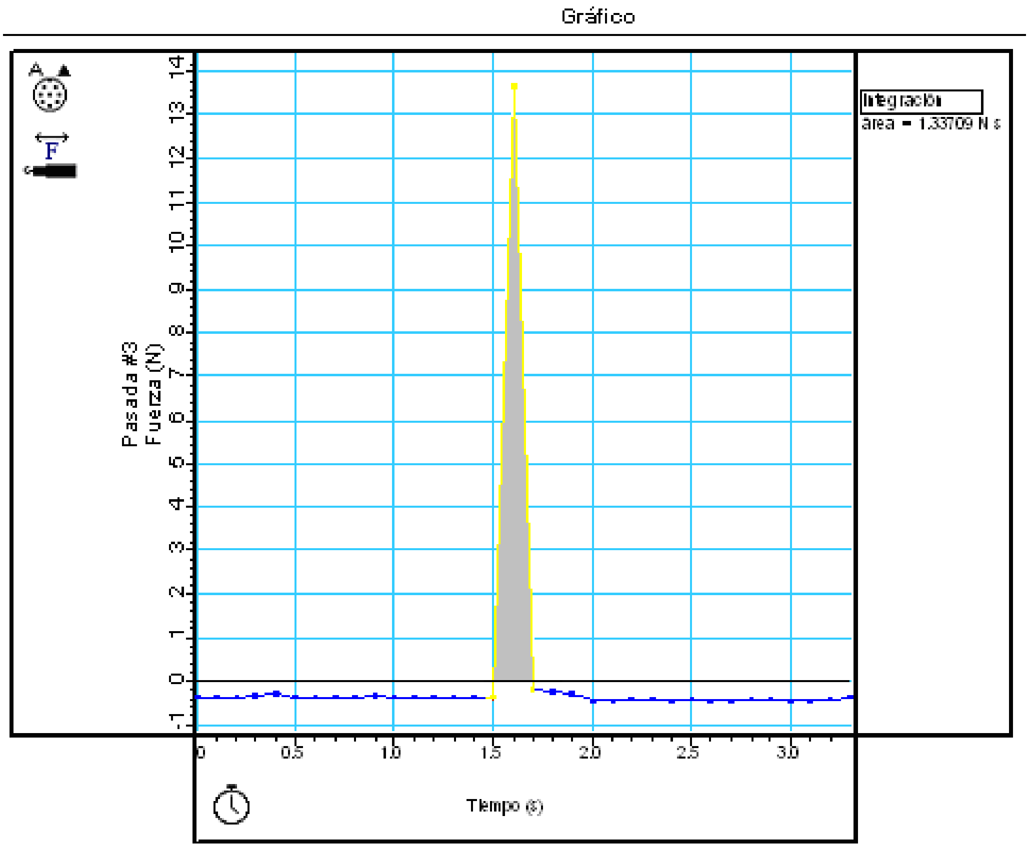
<u>Gráficos</u>

Móvil 1 (sin el sensor de fuerza)



Móvil 2 (con sensor de fuerza)





Impulso

Apéndice

p_i = 1,485 kg * 0,5 m/s + 1,84 * 0,35 m/s = 1,39 kg m/s.
p_f = 1,485 kg * 0,3 m/s + 1,84 * 0,35 m/s = 1,09 kg m/s.
$\Delta p_i = \Delta p_1 + \Delta p_2 = p_1 (erm_1 + erv_i) + p_2 (erm_2 + erv_2)$
= 0,74 kg m/s (0,005/1,495 + 0,05/0,5) + 0,64 (0,005/1,84 + 0,05/0,35)
Δp_i = 0,17 kg m/s.
De la misma manera para el error de la cantidad de movimiento final:
Δp_f = 0,24 kg m/s.

Para el móvil 1: $\Delta p = p_f - p_i$ = 1,485 kg * 0,3 m/s – 1,485 kg * 0,5 m/s = -0,3 kg m/s
$\Delta\Delta p = p_f (erm_1 + erv_f) + p_i (erm_1 + erv_i)$ = 0,15 + 0,08 = 0,23 kg m/s

Ec_i = ½ 1,485 kg * $(0{,}5 m/s)^2$ + ½ 1,84 kg * $(0{,}35 m/s)^2$ = 0,3 J
Ec_f = ½ 1,485 kg * $(0{,}3 m/s)^2$ + ½ 1,84 kg * $(0{,}35 m/s)^2$ = 0,18 J

$(v_{2f} - v_{1f}) = - e\,(v_{2i} - v_{1i})$
(0,35 – 0,30) m/s = -e (0,35 – 0,5) m/s. De aquí sale que e = 1/3.