



MOMENTO LINEAL E IMPULSO EN CONDICIONES DE LABORATORIO¹

Linear Momentum and Impulse
under laboratory conditions

D. Y. Risk², A. García³, S. Durango⁴ y P. C. Cárdenas⁵

1 El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto: “Aprendizaje basado en investigación para la solución de problemas de ingeniería a partir de conceptos de Física Básica” con código 574-087. La entidad financiadora es la Universidad Autónoma de Manizales.

2 Universidad Autónoma de Manizales. CC 1094974096. Contacto: david.riskm@autonoma.edu.co

3 Universidad Autónoma de Manizales. CC 1053839289. Contacto: angelica.garciav@autonoma.edu.co

4 Universidad Autónoma de Manizales. CC 75084921. Cód. ORCID: 0000-0002-5475-1390. Contacto: sebastiandi@autonoma.edu.co

5 Universidad Autónoma de Manizales. CC 75098608. Cód. ORCID: 0000-0002-7546-5916. Contacto: pcardenasm@autonoma.edu.co

Resumen

En los cursos básicos de física se estudia el concepto de cantidad de movimiento lineal y su relación con el impulso. Los experimentos en los cuales se indagan estos conceptos y las cantidades relacionadas son escasos. Por otro lado, el uso de herramientas tecnológicas, como computadores y celulares en la realización de experimentos sencillos, es una tendencia actual en los procesos de enseñanza y aprendizaje, puesto que evidencia cierta apropiación tecnológica por parte de los estudiantes. En este trabajo se presenta un experimento que permite estudiar la cantidad de movimiento lineal y su relación con el impulso, para un cuerpo que se mueve en una dimensión en un riel de aire; el experimento es asistido por un celular y las curvas se obtienen por medio de análisis de video usando el software libre *Tracker*.

Palabras clave

Análisis de video, cantidad de movimiento lineal, enseñanza, impulso, Laboratorio de Física Mecánica.

Abstract

The fundamental concept of linear momentum and its relationship with impulse are studied in basic physics courses. Experiments with these concepts and related quantities are hard to find. The use of technological tools like computers and cellphones in simple experiments is an actual trend in teaching, given the fact that it shows technological appropriation from students. In this paper, an experiment is presented to study linear momentum and its relationship with impulse for a body moving in one dimension through an air-track, the experiment is accomplished with help of a cell-phone and the data analysis is done with the free-software *Tracker*.

Keywords

Impulse, Linear Momentum, Video Analysis, Basic Physics Laboratory, Teaching.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se presentan las ideas de caída libre en cursos básicos, es común encontrar situaciones en las cuales los estudiantes afirman que la velocidad con la que un cuerpo golpea el suelo es cero. De igual forma, cuando se lanza el cuerpo hacia arriba en la dirección vertical, los estudiantes no tienen claridad de cómo se relaciona el mecanismo que provee la velocidad del cuerpo con el movimiento que se va a estudiar.

Las ecuaciones del modelo de caída libre son válidas mientras el cuerpo se encuentra en presencia del campo gravitacional, y la velocidad inicial del cuerpo proviene de un agente externo a él, el cual realiza un impulso sobre el mismo, transmitiendo la velocidad inicial. Además, cuando el cuerpo golpea el suelo, hay un cambio instantáneo en la velocidad que no puede explicarse por la cinemática de la caída libre, ya que en ningún momento modela esta situación.

¿Es posible considerar el efecto del mecanismo que genera la velocidad inicial, o la colisión con el suelo del cuerpo en la situación anterior? La respuesta es sí, pero se requiere el uso de conceptos de física, que en general, exigen mayor profundización.

El momento lineal es fundamental en física y aparece en todas las áreas de esta ciencia, como mecánica clásica, mecánica relativista, mecánica cuántica, mecánica estadística, etc. [1]. De igual forma, el impulso es un cuantificador del efecto de una fuerza que actúa durante un intervalo de tiempo, y es de utilidad, no solo en física, sino también en ingeniería. Ambos conceptos están relacionados, como se mostrará más adelante.

Estas ideas permiten explicar situaciones en las cuales el cambio en la velocidad de un cuerpo es instantáneo, como, por ejemplo, el fenómeno del cuerpo que choca contra el suelo, o el lanzamiento de un cuerpo por la mano o un cañón para imprimirle cierta velocidad inicial, entre muchas otras situaciones que, en algunos casos, se reducen al problema de colisiones.

En adición a la presentación de estos contenidos en aula, los estudiantes apropian el conocimiento por medio de experimentación en el laboratorio. En general, los experimentos para medir el momento lineal son pocos, además, el impulso es

una cantidad para la cual no se diseñan experimentos, pese a su relación directa con el momento lineal.

De otro lado, en el diseño de prácticas de laboratorio hay una tendencia actual que tiene como objetivo que los estudiantes apropien o adopten algún tipo de tecnología que sea de su cotidianidad. Por ejemplo, es común encontrar experimentos en física en los cuales se usan los sensores del celular (distintos a la cámara) para obtener parámetros o verificar leyes de conservación [2] [5].

Asimismo, se reportan experimentos por medio de video obtenido directamente de las cámaras de los celulares inteligentes. Este tipo de estrategia en general, es soportada por algún software que permite realizar análisis de vídeo, por ejemplo, *Tracker*, que es libre y se puede instalar en cualquier sistema operativo [6]. Esta estrategia admite usar *Tracker* como soporte en cursos de astronomía, al estudiar trayectorias de cuerpos celestes [7]. También, en la determinación de parámetros como aceleraciones angulares para movimientos de cuerpos que se trasladan y rotan [8], entre otros.

Considerando el contexto anterior, en este trabajo se reporta el diseño de un montaje experimental sencillo para determinar el momento lineal, el impulso, y realizar algunas verificaciones teóricas en un movimiento unidimensional de un cuerpo. El video se logra por medio de un celular inteligente y los datos se obtienen de *Tracker*.

II. MARCO TEÓRICO

El momento lineal (\vec{p}), se define como el producto entre la masa de un cuerpo y su velocidad; esto implica que si dos cuerpos de masas diferentes se desplazan con la misma velocidad (\vec{v}), la cantidad de movimiento es mayor en magnitud para aquel cuerpo de mayor masa. Este concepto es una herramienta fundamental en el estudio de sistemas complejos, por ejemplo, aquellos que involucran flujo de masa o colisiones [9]. Matemáticamente se define como:

$$\vec{p} \equiv m\vec{v}. \quad (1)$$

Como ya se dijo, el momento lineal es una cantidad fundamental, ya que a partir de este se pueden derivar las leyes de Newton. Es claro que, a partir de la ecuación (1), se puede definir la fuerza como:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad (2)$$

Para el caso en el cual la masa de la partícula es constante, la ecuación (2) deriva directamente a la segunda ley de Newton en su versión más conocida: $\vec{F} = m\vec{a}$.

El impulso se define como el cambio de la cantidad de movimiento de un cuerpo, es decir:

$$\vec{I} \equiv \Delta\vec{p}, \quad (3)$$

Se nota que, según esta definición, el impulso es una cantidad vectorial. De igual forma, se obtiene el impulso al integrar la fuerza con respecto al tiempo en un cierto intervalo temporal durante el cual actúa dicha fuerza (se observa que hay una simetría interesante entre esta relación, y la definición de trabajo, que corresponde a la integral de línea de la fuerza a lo largo de un camino parametrizado).

$$\vec{I} = \int \vec{F} dt. \quad (4)$$

Cantidades físicas, como la energía, el impulso y la cantidad de movimiento, pueden resultar conceptos abstractos para los estudiantes, por lo tanto, las simulaciones, animaciones, o el análisis experimental por medio de vídeos sobresalen como una de las mejores herramientas para el estudio de dichos fenómenos [10].

III. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo básica aplicada, de forma que al final se tendrá un diseño de una guía de laboratorio para determinar el impulso y cantidades relacionadas de un cuerpo, o cuerpos moviéndose en una dimensión. El enfoque de la investigación es cuantitativo y el alcance va desde lo descriptivo hasta lo explicativo, pues las teorías en las que se basa la investigación permitirán analizar y explicar los resultados obtenidos.

Los materiales usados para realizar el experimento son (algunos de estos elementos se identifican en la Fig. 1.):

1. Mecanismo de disparo: consiste en un electroimán que permite anclar un carro para riel de aire y disparados.
2. Riel de aire.
3. Carros para riel de aire.
4. Elementos adicionales para los carros (resortes, masas, banderas, etc.).
5. Fuente de voltaje.
6. Multímetro.
7. Trípode.
8. Tablero verificador de paralelismo.
9. Nivelador de burbuja.
10. Plomada.
11. Celular *smartphone*.

Los elementos (1-10) y sus respectivos manuales de uso [11] se pueden encontrar en el almacén del Laboratorio de Física de la Universidad Autónoma de Manizales.

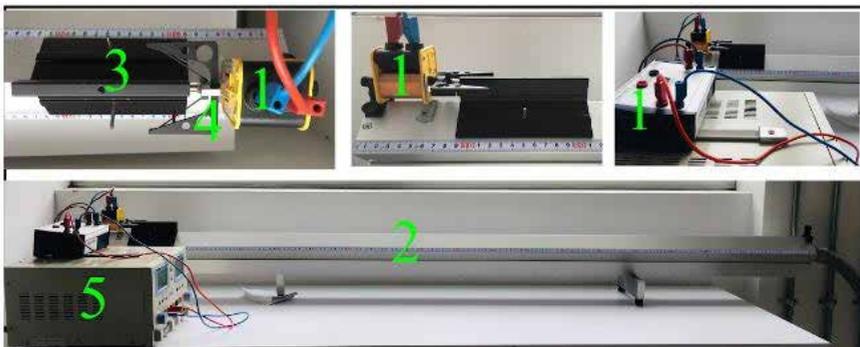


Fig. 1. Elementos relevantes del montaje experimental. Se muestran en detalle los elementos (1-5). Observar el detalle de 4 que corresponde al mecanismo de transmisión de impulso por medio del nivel de tensión en una banda elástica.

Con relación a la toma de vídeos para validar principios físicos, se desarrolló un protocolo para el registro de fenómenos cinemáticos contenidos en un plano [12], que corresponde a unos pasos sencillos de verificación de condiciones de luz y paralelismo para el movimiento y la cámara que registra el movimiento. El montaje se realiza de la siguiente forma:

1. Verificar que el riel de aire está nivelado con respecto al piso por medio de un nivelador de burbuja.
2. Activar el electroimán para anclar el carro que será impulsado por medio de una banda elástica (ver detalle en la Fig. 1, elemento 4).
3. Cortar el paso de corriente por el electroimán, de forma que el carro salga impulsado a lo largo del riel por efecto del impulso que provee la banda elástica.
4. Realizar el video de esta situación. Es muy importante que se realice desde el momento en el cual el carro tiene velocidad cero.
5. Realizar los procesos de análisis necesarios en *Tracker* para describir el movimiento observado y poder explicar el fenómeno físico que lo describe.

El video se realizó en el modo de cámara lenta de un *iPhone 6S plus*. La configuración del video es de 1080 píxeles a 120 cuadros por segundo.

IV. RESULTADOS

Los resultados que se reportan a continuación corresponden a un experimento en el cual se le suministra impulso al carro por medio de la banda elástica. Se definen tres niveles de tensión en la banda elástica (Tensión 1, Tensión 2 y Tensión 3), de forma que a cada masa se le aplica cada una de las tensiones. Las masas del carro se modificaron de la siguiente forma: $M1 = 0,2 \text{ kg}$, $M2 = 0,4 \text{ kg}$ y $M3 = 0,6 \text{ kg}$. Para cada valor de masa y tensión, se realizaron tres videos (para un total de 27 videos analizados). El resultado final reportado corresponde al promedio de los datos en cada caso. Todas las cantidades presentadas a continuación se encuentran en el S.I.

En la Fig. 2. se presenta el momento lineal, ecuación (1), en función del tiempo, para las tres masas y el mismo nivel de tensión (Tensión 1).

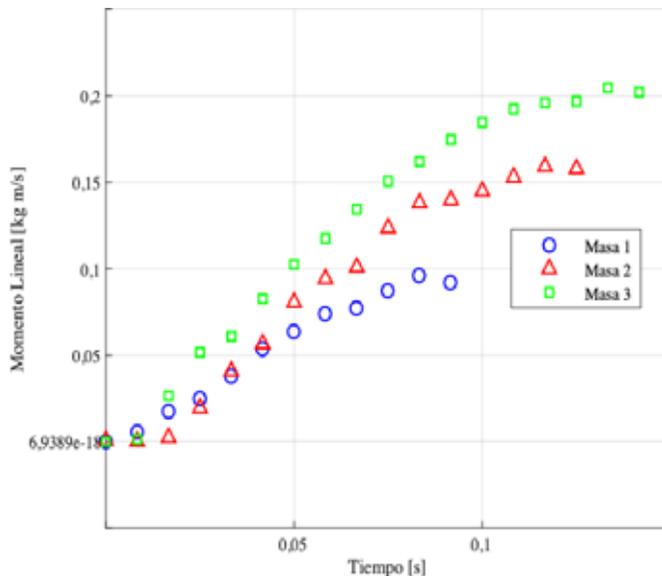


Fig. 2. Gráfica Momento Lineal - Tensión 1.

Cada masa parte del reposo y, por tanto, al inicio su momento es cero. A medida que la tensión sobre el carro se aplica, esta gana velocidad y, eventualmente, llega a un régimen de momento constante. Se evidencia que cada masa adquiere una cantidad de momento lineal diferente en el régimen de momento constante; en el caso de M1 es de 0,1 kg m/s, mientras que para M3 se tiene aproximadamente 0,2 kg m/s; el caso de M2 da un valor intermedio. Este régimen es el esperado teóricamente, ya que una vez que la banda elástica deja de actuar sobre el carro, justo en ese momento, no actúan fuerzas a lo largo del eje horizontal, de esta forma el momento lineal se conservará a partir de este instante.

En la Fig. 3 se presenta el momento lineal en función del tiempo para el nivel de tensión 3 para las mismas masas.

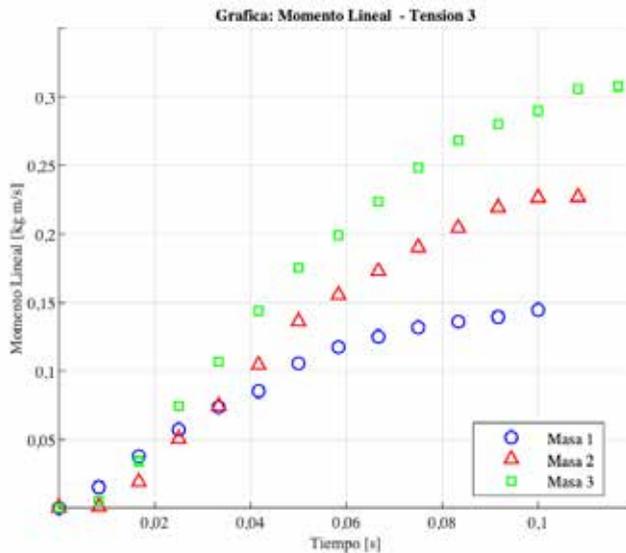


Fig. 3. Gráfica Momento Lineal - Tensión 3.

Se observa nuevamente que los cuerpos tienen momento inicial cero y llegan a un régimen de momento constante alrededor de 0,1s. En este caso, las masas alcanzan diferentes valores de momento lineal, sin embargo, son mayores al caso anterior. Así, el momento para M1 es aproximadamente 0,14 kg m/s, mientras que el momento para M3 es aproximadamente 0,3 kg m/s; por su parte, el momento para M2 arroja un valor intermedio.

Para el nivel de tensión 2 se presenta algo similar a lo evidenciado para los otros dos niveles de tensión, sin embargo, la gráfica no se reporta.

En la Tabla I se reporta el impulso calculado usando la ecuación (3). Se evidencia que el impulso varía para cada masa y nivel de tensión.

Tabla I. Impulso calculado según la ecuación (3).

	Impulso [kg m/s]		
	Tensión 1	Tensión 2	Tensión 3
M1	0,0974	0,1381	0,1312
M2	0,1721	0,2193	0,2406
M3	0,2133	0,2836	0,3166

V. CONCLUSIONES

Se diseñó una práctica que permite medir la cantidad de movimiento y relacionar dicha cantidad con el impulso que es suministrado a un carro desplazado en una dimensión sobre un riel de aire. El experimento se analizó por medio del software *Tracker* a través de un registro en video obtenido de un celular.

El análisis de movimiento evidenció que el cuerpo parte del reposo y mientras se aplica el impulso, hay un cambio de momento lineal hasta que alcanza un régimen de momento constante. De igual forma, a partir de las curvas de momento en función del tiempo se determinó el impulso suministrado (ver Tabla I).

Según las Fig. 2. y 3., el tiempo durante el cual actúa la fuerza es diferente para cada masa a un mismo nivel de tensión. En consecuencia, el impulso asociado a un mismo nivel de tensión varía, lo cual es evidente según la ecuación (4).

Finalmente, cabe resaltar que, para determinar el impulso usando la ecuación (4) y contrastar con los resultados reportados en la Tabla I, se construye la Fuerza en función del tiempo a partir de los datos de posición de *Tracker*. Conocida la fuerza y la ventana de tiempo en la cual la masa alcanza un régimen de velocidad constante, se realiza la integral.

REFERENCIAS

1. H. D. Young y R. A. Freedman, *Física Universitaria. Vol. 1*. Ed. 13. México, México D.F, Pearson, 2013.
2. R. A. Serway y J. W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers with modern Physics*. 9th Ed. Boston, MA. Brooks/Cole, 2014.
3. S. Staacks, S. Hütz, H. Heinke y C. Stamper, “Advanced tools for smartphone, based experiments: phyphox”. *Physics Education*, vol. 53, p. 045009, 2018.
4. S. A. Kapucu, “A simple experiment to measure the maximum coefficient of static friction with a smartphone”. *Physics Education*, vol. 53, p. 053006, 2018.

5. M. Braskén y R. Pörn, “Studying rotational dynamics with a smartphone accelerometer versus gyroscope”. *Physics Education*, vol. 52, p. 045024, 2017.
6. T. Pierratos y H. Polatoglou, “Study of the conservation of mechanical energy in the motion of a pendulum using a smartphone”. *Physics Education*, vol. 53, 015021, 2017.
7. Tracker. Video Analysis and Modelling Tool (2019). [Computer Software]. Obtenido de: <https://blog.apastyle.org/apastyle/2015/01/how-to-cite-software-in-apa-style.html>.
8. M. Belloni y C. Wolfgang, “Teaching astronomy using tracker”, *The Physics Teacher*, vol. 51, p. 149, 2013.
9. E. Prima, N. Mawaddah, N. Winarno and W. Sriwulan, *Kinematics investigations of cylinders rolling down a ramp using tracker*. AIP Conference Proceedings 1708, 070010, 2016.
10. D. Kleppner y R. Kolenkow, *An introduction to Mechanics*. 2nd Ed. United Kingdom. Cambridge University, 2014.
11. D. Brown y A. Cox, “Innovative uses of video analysis”, *The physics Teacher*, vol. 47, p. 145, 2009.
12. Airtrack Operational Manual. Referencias 1950.00, 1950.10. Ed. 13.
13. S. Valencia, S. Idárraga, J. Guzmán y P. Cárdenas, *Protocolo para el registro de video de fenómenos cinemáticos contenidos en un plano*. 2019, no publicado.

Autor 1: David Yamil Risk Mora

Estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad Autónoma de Manizales. Pertenece al grupo de investigación de Física y Matemáticas del departamento de Física y Matemáticas de la Universidad Autónoma de Manizales. Actualmente cursa sexto semestre. Pertenece al grupo de investigación ARCHYTAS del mismo departamento.

Áreas de investigación: Didáctica de la Física. Modelado de sistemas físicos en ingeniería. Computación en MATLAB.

Autor 2: Angélica García Vélez

Estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Autónoma de Manizales. Pertenece al grupo de investigación de Física y Matemáticas del departamento de Física y Matemáticas de la Universidad Autónoma de Manizales. Actualmente cursa octavo semestre. Pertenece al grupo de investigación ARCHYTAS del mismo departamento.

Áreas de investigación: Didáctica de la Física. Modelado de sistemas físicos en ingeniería.

Autor 3: Sebastián Durango Idárraga

Doctorado en Ingeniería de la Universidad EAFIT. Magíster en Sistemas Automáticos de Producción de la Universidad Tecnológica de Pereira. Ingeniero Mecánico y de Manufactura Flexible de la Universidad Autónoma de Manizales. Actualmente se desempeña como profesor adscrito al departamento de Mecánica y Producción de la Universidad Autónoma de Manizales.