



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i2.4341>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

Intelligent virtual computational simulator for determining the degree of conservation of kinetic energy between particles - coefficient of restitution (e)

Simulador virtual computacional inteligente para a determinação do grau de conservação da energia cinética entre partículas - coeficiente de restituição (e)

Martin Mateo Ramírez Márquez^I
martin.ramirez@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2559-0372>

Abraham Tiverio Romero Morales^{II}
abrahamromer@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6135-2358>

Byron Emilio Blandón Matamba^{III}
byron.blandon.matamba@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-8419-0491>

Romel Álvez Mera Mosquera^{IV}
alvez.mera@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4050-9445>

Correspondencia: cristianguayanlema@gmail.com

***Recibido:** 23 de febrero de 2025 ***Aceptado:** 14 de marzo de 2025 * **Publicado:** 17 de abril de 2025

- I. Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Ecuador.
- II. Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Ecuador.
- III. Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Ecuador.

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

Resumen

El presente artículo describe una experiencia experimental basada en el uso de un simulador virtual inteligente, implementado en un teléfono inteligente, para determinar el coeficiente de restitución (e) en colisiones de una pelota de baloncesto con el suelo. La metodología empleada combina tecnologías accesibles con principios físicos fundamentales, permitiendo observar y analizar la conservación de la energía cinética durante los rebotes sucesivos. Mediante la aplicación phyphox, se recopiló datos como altura, tiempo y sonido, que fueron procesados para calcular el valor del coeficiente de restitución en cuatro experimentos con diferentes alturas iniciales. Los resultados muestran valores de e entre 0,75 y 0,79, confirmando la pérdida parcial de energía característica de colisiones inelásticas. El estudio resalta la utilidad pedagógica de los simuladores computacionales para promover el aprendizaje activo y significativo en el aula, además de democratizar el acceso a prácticas experimentales sin requerir infraestructura de laboratorio compleja. Se concluye que el uso de herramientas digitales en la enseñanza de la física facilita la comprensión de conceptos abstractos y mejora la experiencia educativa mediante la integración de recursos tecnológicos cotidianos.

Palabras Claves: Simulación virtual; coeficiente de restitución; energía cinética; phyphox; aprendizaje experimental.

Abstract

This article describes an experimental experience based on the use of a smart virtual simulator, implemented on a smartphone, to determine the coefficient of restitution (e) in basketball collisions with the floor. The methodology used combines accessible technologies with fundamental physical principles, allowing the observation and analysis of the conservation of kinetic energy during successive rebounds. Using the phyphox application, data such as height, time, and sound were collected and processed to calculate the value of the coefficient of restitution in four experiments with different initial heights. The results show e values between 0.75 and 0.79, confirming the partial loss of energy characteristic of inelastic collisions. The study highlights the pedagogical usefulness of computer simulators in promoting active and meaningful learning in the classroom, in addition to democratizing access to experimental practices without requiring complex laboratory infrastructure. It is concluded that the use of digital tools in physics teaching facilitates the understanding of abstract concepts and improves the educational experience by integrating everyday technological resources.

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

Keywords: Virtual simulation; coefficient of restitution; kinetic energy; phyphox; experiential learning.

Resumo

Este artigo descreve uma experiência experimental baseada na utilização de um simulador virtual inteligente, implementado num smartphone, para determinar o coeficiente de restituição (e) em colisões de uma bola de basquetebol com o solo. A metodologia utilizada combina tecnologias acessíveis com princípios físicos fundamentais, permitindo observar e analisar a conservação da energia cinética durante sucessivos ressaltos. Utilizando a aplicação phyphox, dados como a altura, o tempo e o som foram recolhidos e processados para calcular o valor do coeficiente de restituição em quatro experiências com diferentes alturas iniciais. Os resultados mostram valores de e entre 0,75 e 0,79, confirmando a perda parcial de energia característica das colisões inelásticas. O estudo destaca a utilidade pedagógica dos simuladores de computador na promoção da aprendizagem ativa e significativa na sala de aula, além de democratizar o acesso a práticas experimentais sem exigir infraestruturas laboratoriais complexas. Conclui-se que a utilização de ferramentas digitais no ensino da física facilita a compreensão de conceitos abstratos e melhora a experiência educativa ao integrar recursos tecnológicos do quotidiano.

Palavras-chave: Simulação virtual; coeficiente de restituição; energia cinética; phyphox; aprendizagem experiencial.

Introducción

En el estudio de la dinámica de los cuerpos que colisionan, es el que puede realizarse con una pelota. La experiencia consiste en dejar caer una pelota desde una cierta altura de manera tal que al colisionar con el piso rebote, moviéndose luego verticalmente hacia arriba. De esta forma la pelota continúa subiendo y bajando tras sucesivas colisiones. En cada colisión la pelota pierde parte de su energía, por lo que va disminuyendo la altura que alcanza cada vez. Esta disminución puede caracterizarse por el valor del coeficiente de restitución (Pavioni & Ortega, 2015).

Cuando ocurre una colisión, los cuerpos sufren una deformación que genera energía en forma de calor. Según su elasticidad deben recobrar su forma original. Se debe tener en cuenta que tanto la cantidad de movimiento como la energía cinética deben conservarse en los choques. Aunque esta

afirmación es aproximadamente cierta para cuerpos duros, es falsa para cuerpos suaves o que puedan rebotar más lentamente cuando chocan.

Si la energía cinética permanece constante después del choque, se dice que este ha sido perfectamente elástico (caso ideal). Si los cuerpos que chocan entre sí, permanecen juntos después de la colisión, se dice que este fue perfectamente inelástico. En estos choques horizontales de dos partículas, intervienen la energía potencial y energía cinética. (González, González, Vegas & Llamas, 2017)

Las colisiones inelásticas se caracterizan por una pérdida en la energía cinética, se puede representar por e , a la fracción de la velocidad relativa final entre la inicial, o sea:

$$(V_{1f} - V_{2f}) = -e \cdot (V_{1i} - V_{2i})$$

El coeficiente de restitución (e) puede calcularse como el cociente negativo de la velocidad relativa después del choque a la velocidad relativa antes del choque.

$$e = - \frac{V_{1f} - V_{2f}}{V_{1i} - V_{2i}}$$

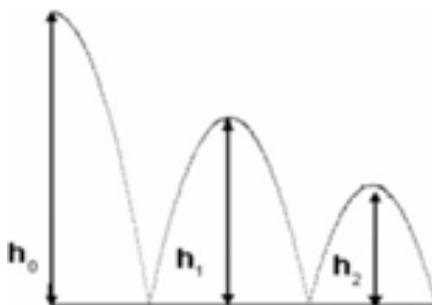


Figura 1: Altura alcanzada por la pelota

Se lanza, desde una altura inicial, y las alturas sucesivas alcanzadas por la pelota después del choque con la superficie del suelo se observan en la figura 1. Donde:

$V_{1f} - V_{2f}$ son las velocidades de la pelota antes del choque y después del choque.

$V_{2i}; V_{2f}$ son las velocidades de la superficie (tierra) antes y después del choque.

$V_{2i} = V_{2f} = 0$ reemplazando se obtiene la fórmula:

$$e = - \frac{V_{1f} - 0}{V_{1i} - 0} = - \frac{V_{1f}}{V_{1i}}$$

Para choques perfectamente elásticos, $e = 1$ Para choques perfectamente inelásticos,

$e = 0$. Aplicando las ecuaciones del movimiento uniforme acelerado, obtenemos:

$$h_f = h_i \pm v_i \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad h_f = 0 ; v_i = 0 \quad h_0 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

se obtiene

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h_0}{g}}$$

se despeja el tiempo de caída

$$v_{1i} = -\frac{d_{h_0}}{d_t} = -g \cdot t$$

a la velocidad se reemplaza el tiempo de caída

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h_0}{g}}$$
$$v_{1i} = -g \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_0}{g}} = -\sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}$$

donde v_{1i} corresponde a la velocidad del objeto antes de chocar con la tierra y corresponde a la velocidad final de la caída desde una altura h_0

$$v_{1f} = +g \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_1}{g}} = +\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

se reemplazan en el coeficiente de restitución

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

Se pueden despejar las alturas.

$$e = -\frac{+\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}}{-\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}} = \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$$
$$h_2 = e^2 \cdot h_1$$

Materiales y Método

El método que se implementó para medir el coeficiente de restitución está basado en dejar caer una pelota de básquet desde una altura inicial h_0 , siendo h_1 y h_2 las alturas sucesivas alcanzadas por la

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

pelota después del choque con la superficie del suelo, para este trabajo se procedió a realizar cuatro experimentos, con alturas iniciales diferentes.

En cuanto a los materiales usados para los experimentos tenemos: un teléfono inteligente en el cual se instalará el simulador informático phyphox, el cual permitirá usar los sensores del teléfono para realizar los experimentos, permitiendo además exportar los datos obtenidos. Una pelota de básquet que será el cuerpo esférico que se dejará caer sobre la superficie del suelo para poder medir el coeficiente de restitución (e). Un flexómetro que permitirá medir las diferentes alturas iniciales de la pelota en cada uno de los experimentos.

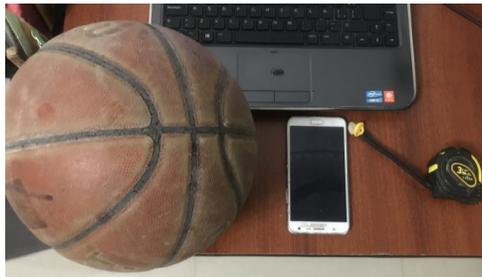


Figura 2: materiales usados en el experimento

A través del uso del teléfono inteligente con el simulador informático phyphox, se obtendrán los datos por medio del sonido generado por la pelota de básquet al chocar con una superficie horizontal inelástica (piso) y estos serán, la altura, el tiempo, y la energía, para después poder calcular el coeficiente de restitución e , por el rebote efectuado por el balón.

Resultados y discusión

En el primer experimento a la pelota se la dejó caer desde una altura inicial de 75,57 cm, valor que se ingresó al simulador informático phyphox, usado para el experimento. Los datos obtenidos se muestran en la figura 3, donde se puede observar que la altura de la pelota después del choque con la superficie horizontal fue de 43,58 cm. Por lo que para calcular el coeficiente de restitución se reemplazó los datos que se agregan a la tabla con sus respectivos resultados.

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

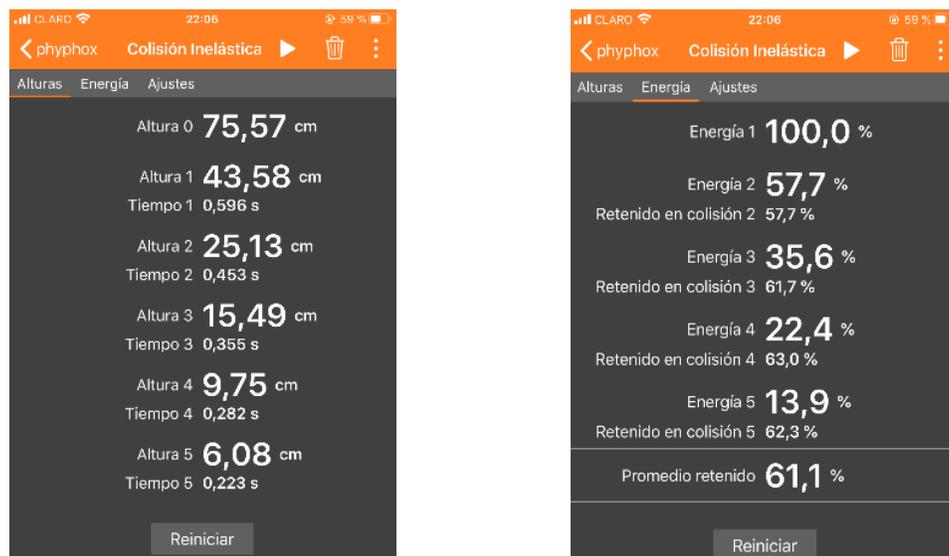


Figura 3. Datos obtenidos en el simulador informático phyphox para el experimento 1

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

	Experimento 1				
	h0	h1	h2	h3	h4
Altura (cm)	75,5 7	43,5 8	25,1 3	15,4 9	9,75
e $= \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$	0,76				
e $= \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$	0,76				
e $= \sqrt{\frac{h_3}{h_2}}$	0,78				
e $= \sqrt{\frac{h_4}{h_3}}$	0,79				

Tabla 1. Coeficiente de restitución de las diferentes alturas para el experimento 1

En el segundo experimento a la pelota se la dejó caer desde una altura inicial de 100,52 cm, valor que se ingresó al simulador informático phyphox, usado para el experimento. Los datos obtenidos se muestran en la figura 4, donde se puede observar que la altura de la pelota después del choque con la superficie horizontal fue de 60,24 cm. Por lo que para calcular el coeficiente de restitución se reemplazó los datos que se agregan la tabla con sus concernientes resultados.

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

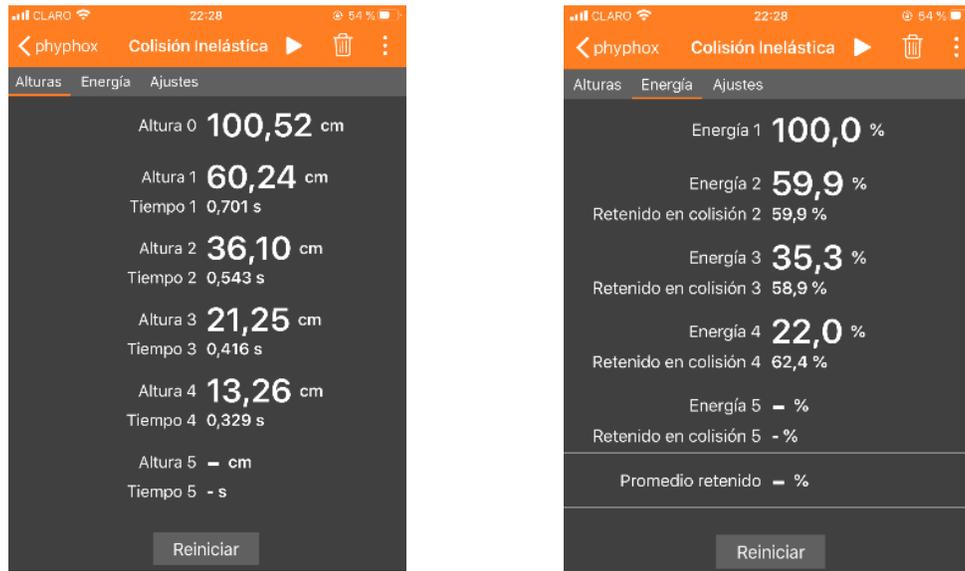


Figura 4. Datos obtenidos en el simulador informático phyphox para el experimento 2

Experimento 2				
	h ₀	h ₁	h ₂	h ₃
Altura (cm)	100,52	60,24	36,10	21,25
e	0,77			
$= \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$				
e	0,77			
$= \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$				
e	0,77			
$= \sqrt{\frac{h_3}{h_2}}$				

Tabla 2. Coeficiente de restitución de las diferentes alturas para el experimento 2

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

En el tercer experimento a la pelota se la dejó caer desde una altura inicial de 142,17 cm, valor que se ingresó al simulador informático phyphox, usado para el experimento. Los datos obtenidos se muestran en la figura 5, donde se puede observar que la altura de la pelota después del choque con la superficie horizontal fue de 80,58 cm. Por lo que para calcular el coeficiente de restitución se reemplazó los datos que se agregan a la tabla con sus pertinentes resultados.



Figura 5. Datos obtenidos en el simulador informático phyphox para el experimento 3

Experimento 3					
	h ₀	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄
Altura (cm)	142,1	80,58	45,68	27,76	17,23
$e = \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$	0,75				
$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$	0,75				

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

$e = \sqrt{\frac{h_3}{h_2}}$	0,78
$e = \sqrt{\frac{h_4}{h_3}}$	0,78

Tabla 3. Coeficiente de restitución de las diferentes alturas para el experimento 3

En el cuarto experimento a la pelota se la dejó caer desde una altura inicial de 182,83 cm, valor que se ingresó al simulador informático phyphox, usado para el experimento. Los datos obtenidos se muestran en la figura 6, donde se puede observar que la altura de la pelota después del choque con la superficie horizontal fue de 102,91 cm. Por lo que para calcular el coeficiente de restitución se reemplazó los datos que se agregan a la tabla con sus respectivos resultados.

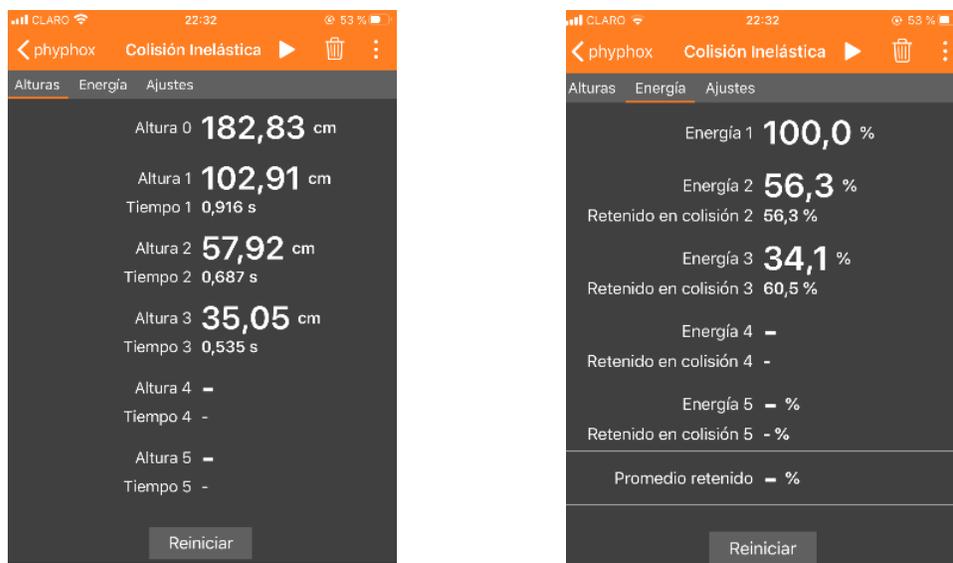


Figura 6. Datos obtenidos en el simulador informático phyphox para el experimento 4

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

Experimento 4				
	h ₀	h ₁	h ₂	h ₃
Altura (cm)	182,83	102,91	57,93	35,05
$e = \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$	0,75			
$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$	0,75			
$e = \sqrt{\frac{h_3}{h_2}}$	0,78			

Tabla 4. Coeficiente de restitución de las diferentes alturas para el experimento 4

En la figura se utilizó una aplicación que ayuda a medir el coeficiente de restitución de los sucesivos rebotes en el plano horizontal, utilizando un coeficiente de 0,7, observamos en la aplicación la energía que se conserva entre dos choques inmediatos con el suelo transformándose la energía cinética (en color azul) en potencial (en color rojo) cuando la pelota sube y en sentido contrario cuando la pelota baja, el número de rebotes de la pelota de básquet.

Simulador virtual computacional inteligente para la determinación del grado de conservación de la energía
cinética entre partículas - coeficiente de restitución (e)

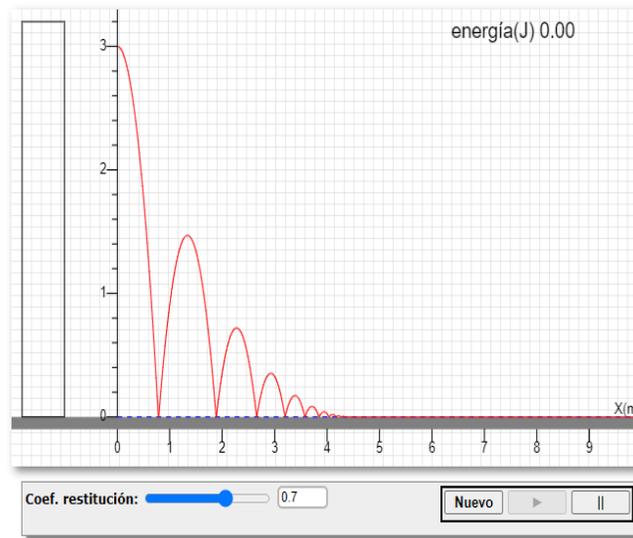


Figura 7. Aplicación coeficiente de restitución 0,7

Fuente: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/dinamica/rebotes/rebotes.html>

Conclusiones

La implementación de tecnologías digitales, como simuladores informáticos en dispositivos móviles, representa una alternativa eficaz y accesible para la enseñanza y experimentación de conceptos físicos fundamentales, como el coeficiente de restitución. El uso de la aplicación phyphox demostró ser una herramienta útil para recolectar datos precisos relacionados con el comportamiento cinemático de un objeto en caída libre y sus sucesivos rebotes, facilitando el cálculo del coeficiente de restitución con un nivel de exactitud adecuado para fines educativos.

Los resultados obtenidos en los cuatro experimentos realizados evidencian la pérdida de energía en cada colisión, validando la naturaleza inelástica del fenómeno observado. Asimismo, el estudio demuestra que es posible realizar experimentación científica significativa con recursos mínimos, promoviendo la inclusión educativa en contextos con limitaciones de infraestructura.

Además de su valor didáctico, esta experiencia fomenta el pensamiento crítico y el aprendizaje autónomo, al incentivar la formulación de hipótesis, el análisis de datos y la interpretación de resultados por parte de los estudiantes. En consecuencia, se recomienda la incorporación de este tipo de metodologías en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física, tanto en niveles secundarios como universitarios, como una estrategia innovadora que fortalece la comprensión conceptual y la motivación estudiantil

Referencias

- González, M., González, M., Vegas, J., & Llamas, C. (2017). Measuring the coefficient of restitution and more: A simple experiment to promote students' critical thinking and autonomous work. *Physics Education*, 52(5). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa71ea>
- O.D. Pavioni and F.M. Ortega. (2015). Obteniendo los coeficientes de restitución y arrastre en un solo experimento. *Revista mexicana de física* 61, <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v61n1/v61n1a3.pdf>.
- P.A. Tipler, G. Mosca, Física para la ciencia y la tecnología (Ed. Reverte, España, 2005). Vol. 1, p. 226.
- Bernstein A. D. Listening to the coefficient of restitution. *Am. J. Phys.* 45 (1) January 1977, pp. 41-44.
- G. R. Fowles and G. L. Cassiday, *Analytical Mechanics*, 6th ed. (Saunders College Publishing, Fort Worth, 1999).
- S. T. Thornton and J. B. Marion, *Classical Dynamics of Particles and Systems*, 5th ed. (Brooks/Cole, Belmont, 2004).
- González, M., González, M., Vegas, J., & Llamas, C. (2017). Measuring the coefficient of restitution and more: A simple experiment to promote students' critical thinking and autonomous work. *Physics Education*, 52(5). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa71ea>
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/dinamica/rebotes/rebotes.html>
- Bernstein A. D. Listening to the coefficient of restitution. *Am. J. Phys.* 45 (1) January 1977, pp. 41-44 (<https://phyphox.org/>)
- .