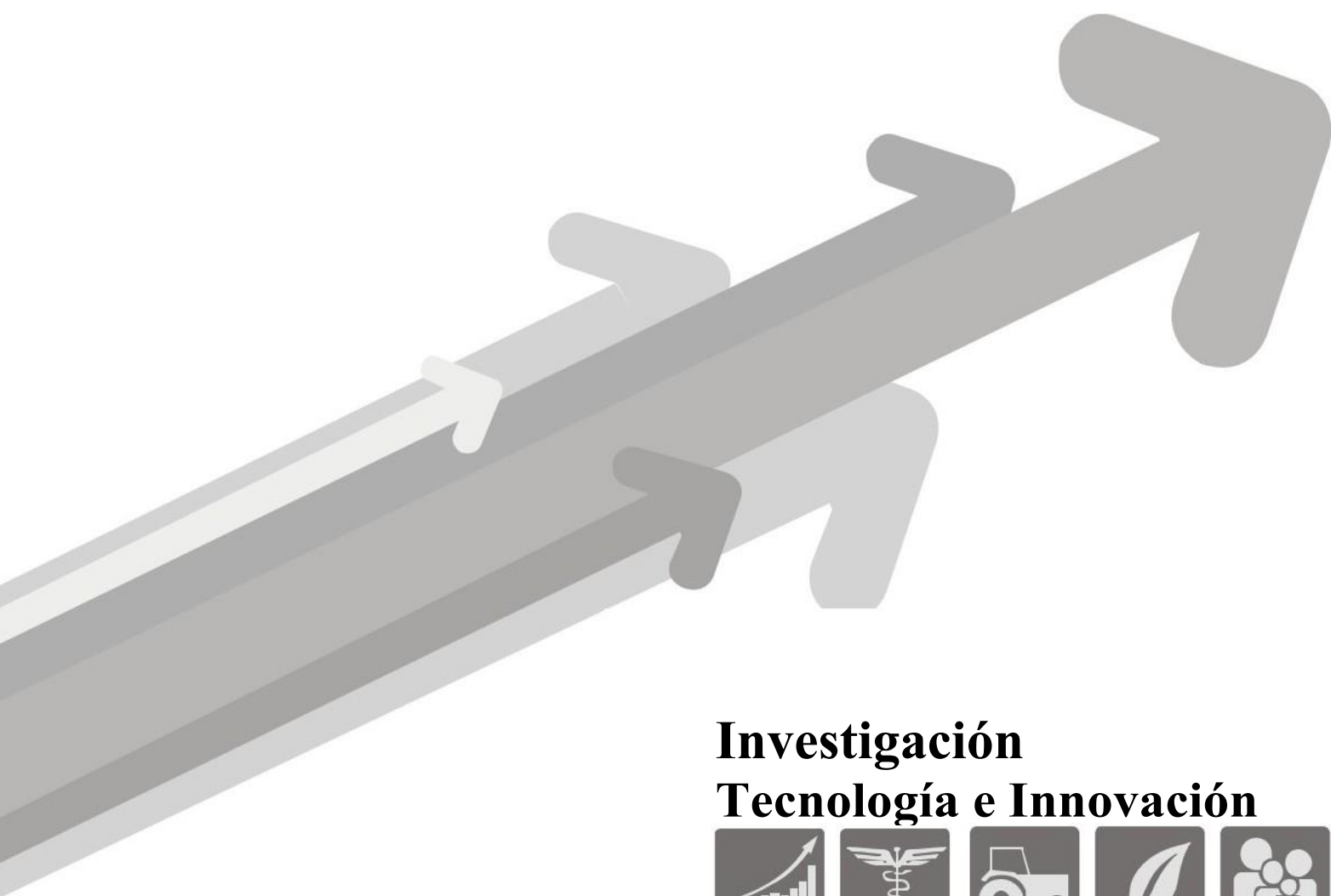


## **Determinación del coeficiente de rozamiento cinético entre un bloque y un plano inclinado mediante análisis de video**

### **Determination of the Kinetic Friction Coefficient between a Block and an Inclined Plane Using Video Analysis**

José Luis Saquinaula Brito

Juvitsa Juliana Plaza Santillán



**Investigación  
Tecnología e Innovación**



# Determinación del coeficiente de rozamiento cinético entre un bloque y un plano inclinado mediante análisis de video

## Determination of the Kinetic Friction Coefficient between a Block and an Inclined Plane Using Video Analysis

José Luis Saquinaula Brito<sup>1</sup>, Juvitsa Juliana Plaza Santillán<sup>2</sup>

**Como citar:** Saquinaula Brito, J. L., Plaza Santillán, J. J. (2025). Determinación del coeficiente de rozamiento cinético entre un bloque y un plano inclinado mediante análisis de video. *Investigación, Tecnología e Innovación*. 17(23), 19-27. DOI: <https://doi.org/10.53591/iti.v17i23.2011>

### RESUMEN

**Contexto:** El software Tracker es ampliamente utilizado en la enseñanza de la física para medir magnitudes cinemáticas como posición, velocidad y aceleración mediante análisis de video. Su aplicación permite a los estudiantes observar y cuantificar el comportamiento de los objetos en diversos experimentos. Sin embargo, su uso en dinámica es menos común debido a que no mide directamente magnitudes clave como fuerzas o energía. **Objetivo:** Este estudio tuvo como objetivo determinar el coeficiente de fricción entre un bloque que desliza por un plano inclinado, utilizando Tracker y las leyes de Newton. **Método:** Se realizó un experimento en el que un bloque fue liberado desde la parte superior de un plano inclinado. El movimiento fue grabado con un teléfono móvil, y se analizaron las gráficas y ecuaciones de posición y velocidad con Tracker. Posteriormente, al aplicar la segunda ley de Newton, se determinó el coeficiente de fricción. **Resultados:** El análisis reveló que el bloque descendió con una aceleración de  $(2.56 \pm 0.01) \text{ m/s}^2$  y se determinó un coeficiente de fricción cinética de  $0.4402 \pm 0.0014$  con un error en la medición del 4%. **Conclusiones:** Este estudio destaca la importancia de incorporar herramientas tecnológicas en la enseñanza de la física, facilitando el aprendizaje práctico y el desarrollo de habilidades críticas con recursos accesibles.

**Palabras clave:** Analizador de vídeo Tracker, Enseñanza de la física, Leyes de Newton.

### ABSTRACT

**Context:** The Tracker software is widely used in physics education to measure kinematic quantities such as position, velocity, and acceleration through video analysis. Its application allows students to observe and quantify the behavior of objects in various experiments. However, its use in dynamics is less common because it does not directly measure key quantities such as forces or energy. **Objective:** The objective of this study was to determine the friction coefficient between a block sliding down an inclined plane, using Tracker and Newton's laws. **Method:** A low-cost experiment was conducted where a block was released from the top of an inclined plane. The movement was recorded using a mobile phone, and the position and velocity graphs and equations were analyzed with Tracker. Subsequently, by applying Newton's second law, the friction coefficient was determined. **Results:** The analysis revealed that the block descended with an acceleration of  $2.54 \text{ m/s}^2$  and a kinetic friction coefficient of 0.44 was determined. **Conclusions:** This study highlights the importance of incorporating technological tools in physics education, facilitating practical learning and the development of critical skills with accessible resources.

**Keywords:** Tracker video analysis; physics education; Newton's laws.

**Fecha de recepción:** Enero 14, 2025.

**Fecha de aceptación:** Febrero 05, 2025.

<sup>1</sup> Máster en Física, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. Correo electrónico: jsaquinaulab@unemi.edu.ec

<sup>2</sup> Máster en ingeniería de software y sistemas informáticos, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. Correo electrónico: jplazas1@unemi.edu.ec



## INTRODUCCIÓN

La experimentación juega un rol crucial en el aprendizaje de conceptos esenciales en física, como el movimiento, la dinámica y la interacción entre fuerzas. No obstante, en muchos programas educativos, la enseñanza de la física suele enfocarse más en los aspectos teóricos, relegando la parte experimental, lo que limita las posibilidades de los estudiantes para obtener una comprensión aplicada y profunda de los principios físicos (Briceño et al., 2019). La carencia de actividades prácticas obstaculiza el desarrollo de habilidades clave, como el análisis de datos y la resolución de problemas, fundamentales para el estudio de fenómenos físicos (Sánchez et al., 2020).

El uso de herramientas tecnológicas, como el software Tracker para el análisis de video, ha ganado relevancia en la educación en física, especialmente en el estudio de la cinemática y la dinámica de objetos en movimiento. Tracker ofrece la posibilidad a los estudiantes de observar y medir el movimiento en tiempo real, facilitando la comprensión de conceptos como velocidad y aceleración a través de la observación visual (Villacreses-Zambrano et al., 2024). Además, estudios recientes indican que el uso de tecnologías como Tracker incrementa la motivación de los estudiantes y les ayuda a entender mejor temas complejos, proporcionando una experiencia de aprendizaje interactiva (Garzón et al., 2021).

Aunque Tracker es ampliamente utilizado en la enseñanza de la física, generalmente se aplica para estudiar el cambio de posición y velocidad, pero se usa con menos frecuencia para analizar magnitudes físicas como el coeficiente de fricción en superficies inclinadas (Villacreses-Zambrano, 2024). Dado que Tracker permite calcular la aceleración, se presenta como una excelente oportunidad para integrarlo con las fuerzas que actúan sobre los objetos y aplicar las leyes de Newton en el estudio del movimiento, un aspecto esencial de la mecánica aplicada (Guisasola et al., 2019).

Este estudio propone un experimento clásico, en el que un bloque resbala por un plano inclinado, permitiendo a los estudiantes calcular el coeficiente de fricción cinética utilizando Tracker. La práctica incluye el análisis de las gráficas y ecuaciones de posición y velocidad obtenidas experimentalmente, la aplicación de las leyes de Newton para determinar la aceleración experimental. Finalmente, con la aceleración proporcionada por Tracker, se calculará el coeficiente de fricción cinética y se comparará con un valor conocido, proporcionando una experiencia educativa enriquecedora y completa (Mendoza et al., 2022).

### Analizador de vídeo Tracker

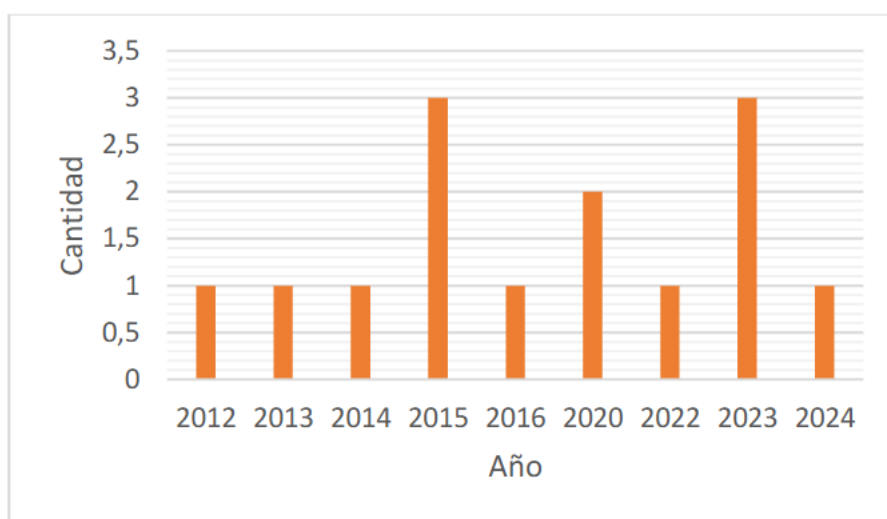
El software Tracker, una herramienta de análisis de video de código abierto, ha transformado la enseñanza y el aprendizaje de la física en diversos contextos educativos (Artiningsih et al., 2020). Gracias a su capacidad para rastrear movimientos en videos y proporcionar análisis detallados de trayectorias, velocidades y aceleraciones, Tracker permite a los estudiantes explorar conceptos de cinemática y dinámica de manera visual e interactiva (Garzón, 2021). Este software promueve un enfoque de aprendizaje activo, involucrando a los estudiantes en el análisis directo de fenómenos reales, lo que refuerza su comprensión tanto teórica como práctica de la física (Cordeiro et al., 2019). Tracker ha sido utilizado en varias áreas de la física, mostrando su efectividad en el estudio de fenómenos físicos.

En el estudio de la cinemática y dinámica de objetos en caída libre, Tracker ha facilitado que los estudiantes comparen movimientos reales con modelos teóricos (Winingsih et al., 2023). El software no solo permite verificar empíricamente las ecuaciones de movimiento, sino que también ayuda a los estudiantes de nivel secundario a comprender conceptos como la aceleración y la resistencia del aire (González et al., 2022). Además, en el estudio de movimientos circulares, sistemas de rotación, movimientos oscilatorios y colisiones, Tracker ha sido utilizado para analizar el comportamiento de estos sistemas (Ticona, 2024; da Cruz Dias et al., 2021).



Una de las principales ventajas pedagógicas de Tracker es su accesibilidad como software de código abierto, lo que permite su uso en entornos educativos con pocos recursos, democratizando el acceso a herramientas avanzadas de análisis (Brown, s.f.). Además, posibilita la recolección de datos precisos sin necesidad de sensores costosos, lo cual es especialmente beneficioso en instituciones con limitaciones de recursos. Tracker también fomenta la autonomía en el aprendizaje, ya que los estudiantes pueden grabar y analizar sus propios experimentos, lo que contribuye a una comprensión más profunda y a la aplicación de conceptos teóricos en situaciones reales (Del Punta et al., 2020).

Un análisis bibliométrico realizado en la base de datos Scopus muestra una tendencia variable en la publicación de estudios sobre el uso de Tracker en la enseñanza de la física universitaria hasta octubre de 2024. La Figura 1 muestra que los años con mayor número de publicaciones fueron 2015 y 2023, con tres artículos cada uno, reflejando un incremento significativo en esos años. También se observan picos importantes en 2020 y 2016, con dos artículos por año. En contraste, en los años 2012, 2013, 2014, 2022 y 2024, la cantidad de publicaciones fue considerablemente menor, con solo un artículo por año. Estos datos sugieren que el interés por el uso de Tracker no ha sido constante, sino que ha fluctuado a lo largo de los años, lo que podría estar relacionado con la aparición de nuevas tecnologías educativas o con un renovado interés por metodologías que integran herramientas tecnológicas en la enseñanza (Plaza et al., 2024).

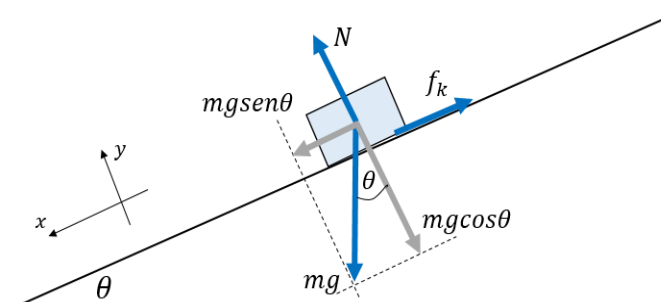


**Figura 1.** Distribución de la cantidad de artículos por año.

**Fuente:** Tomado de (Plaza, 2024)

## Análisis físico del experimento

El sistema consiste en un bloque de madera que se deja caer desde la parte alta de un plano inclinado de madera. La figura 2 muestra el diagrama de cuerpo libre sobre el bloque. Despreciamos el rozamiento del aire, pero no el efecto de la fricción entre las superficies.



**Figura 2.** Esquema del sistema experimental.

**Fuente:** Autores

La segunda ley de Newton expresa que la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el bloque es igual al producto de la masa con su aceleración.

$$\sum F = ma \quad (1)$$

El movimiento es solo en la dirección paralela al plano inclinado (eje x), por tanto:

$$\begin{aligned} mgsen\theta - f_k &= ma \\ mgsen\theta - u_k N &= ma \end{aligned} \quad (2)$$

Las fuerzas perpendiculares al plano inclinado deben sumar cero, por tanto:

$$N = mg \cos \theta \quad (3)$$

Combinando las ecuaciones (2) y (3) tenemos la expresión para determinar el coeficiente de rozamiento en función de la aceleración. La aceleración la obtendremos de manera experimental mediante el software Tracker.

$$\begin{aligned} mgsen\theta - u_k mg \cos \theta &= ma \\ u_k &= \tan \theta - \left(\frac{a}{g}\right) \sec \theta \end{aligned} \quad (4)$$

El sistema consiste en un movimiento rectilíneo uniformemente variado el cual es soltado, en el que la posición y la velocidad cambia con el tiempo según:

$$x = \frac{1}{2} at^2 \quad (5)$$

$$v = at \quad (6)$$

## Materiales y recursos

En este trabajo, se utilizará la herramienta tecnológica Tracker para el análisis de video y la obtención de las gráficas y ecuaciones del movimiento del bloque. Además, se requerirán materiales básicos como se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.** Materiales y software usados para el montaje experimental.

Un bloque de madera de 92,5
Una balanza digital
Una tabla de madera de 1 m de largo
Un flexómetro
Un teléfono celular
Software Tracker

**Fuente:** Autores

## Resultados

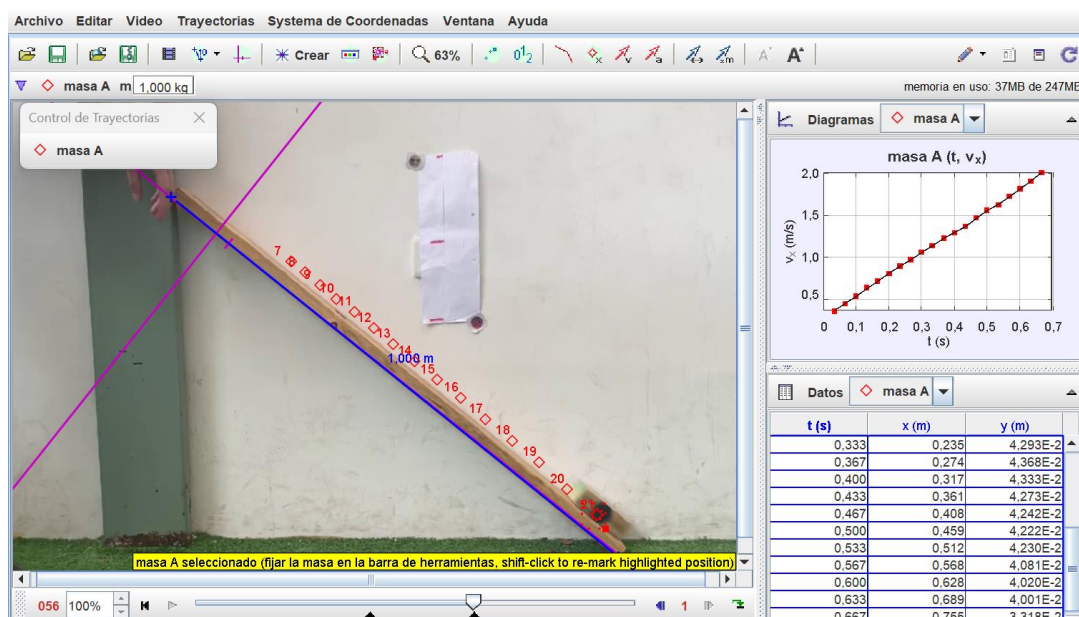
Para la implementación del experimento, se utilizaron varios materiales. En la figura 3 se muestra un bloque de madera que se desliza a lo largo de un plano inclinado. Se utilizó un flexómetro para medir la altura de la tabla y obtener el ángulo de inclinación. El uso de una hoja de papel en la pared y un sticker oscuro pegado al bloque son para ayudar al Tracker a que pueda realizar un buen seguimiento del objeto.



**Figura 3.** Montaje experimental bloque - plano inclinado.

**Fuente:** Autores

La figura 4 ilustra el uso del software Tracker, en la cual se pueden observar tanto las gráficas como la tabla de datos correspondiente al análisis del movimiento del sistema bloque-plano inclinado.

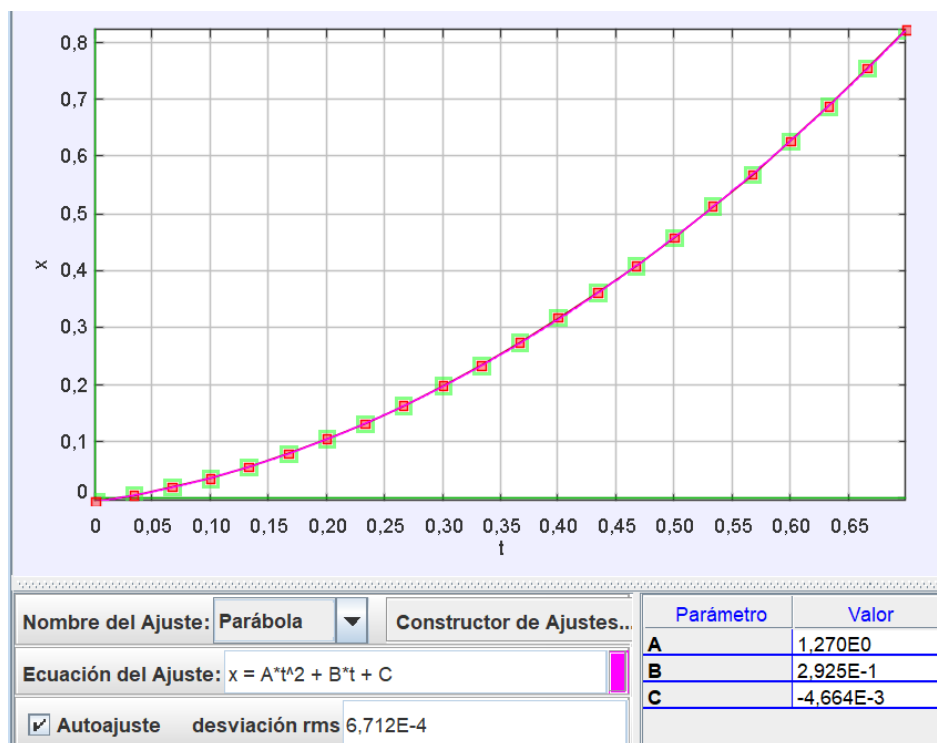


**Figura 4.** Uso de Tracker para analizar el movimiento.

**Fuente:** Autores

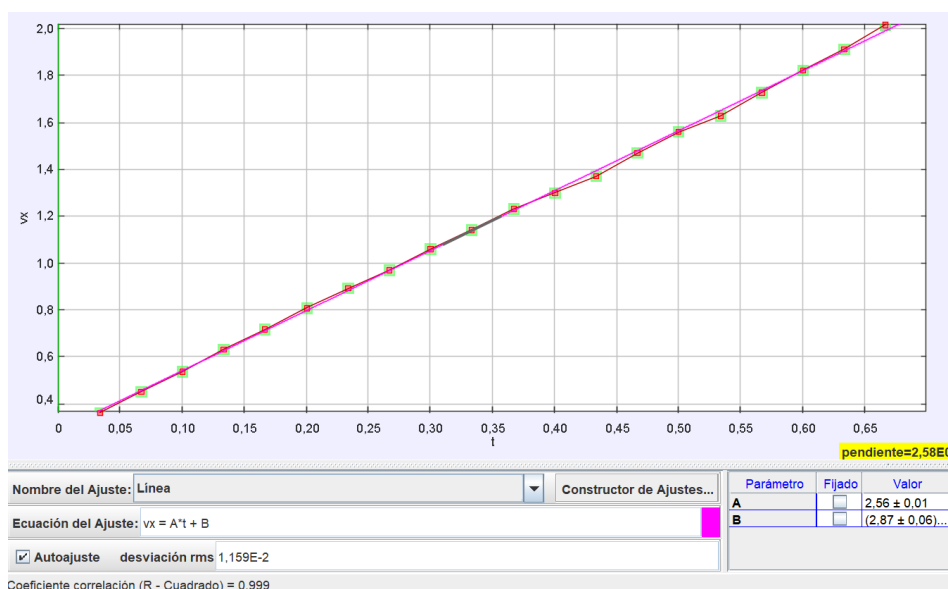
A continuación, la figura 5 presenta como es el comportamiento de la posición en función del tiempo. Confirmamos que se trata de un movimiento rectilíneo uniformemente variado y la ecuación que nos da el Tracker es:

$$x(t) = -0.004 + 0.29t + 1.27t^2$$



**Figura 5.** Curva de ajuste experimental para la posición.

**Fuente:** Autores



**Figura 6.** Curva de ajuste experimental para la velocidad.

**Fuente:** Autores



La figura 6 nos muestra el comportamiento de la velocidad durante la caída del bloque. Tal como lo indica la ecuación (6) como se trata de un movimiento con aceleración constante la línea de tendencia debe ser una recta.

$$v(t) = 0.28 + 2.56t$$

La aceleración, junto con su incertidumbre, determinada a través del software Tracker, es:

$$a = (2.56 \pm 0.01) \text{ m/s}^2$$

El flexómetro tiene una precisión de 1 mm, el error absoluto en la medición será 0.5 mm. Por tanto, la longitud de la table ( $L$ ) y la altura medida ( $y$ ), junto con sus respectivas incertidumbres, se expresan de la siguiente manera:

$$L = (1.000 \pm 0.0005) \text{ m}$$

$$y = (0.6100 \pm 0.0005) \text{ m}$$

El ángulo de inclinación de la table es:

$$\theta = (37.58 \pm 0.04)^\circ$$

Aplicando la ecuación (4), se determina el valor del coeficiente de rozamiento cinético. Asimismo, a partir del teorema de Pitágoras, se expresan las funciones trigonométricas en términos de los parámetros  $L$  y  $y$ .

$$\tan\theta = \frac{y}{\sqrt{L^2 - y^2}} \quad , \quad \sec\theta = \frac{L}{\sqrt{L^2 - y^2}}$$

$$u_k = \frac{y}{\sqrt{L^2 - y^2}} - \left( \frac{a}{9.8 \text{ m/s}^2} \right) \frac{L}{\sqrt{L^2 - y^2}}$$

Al sustituir los valores experimentales junto con sus respectivas incertidumbres, se obtiene:

$$u_k = 0.4402 \pm 0.0014$$

## Discusión

En primer lugar, se ha comprobado con esta experiencia que el analizador de vídeo Tracker es una herramienta tecnológica muy importante en el área de física ya que permite analizar datos, elaborar gráficas y ajustes estadísticos para obtener las ecuaciones del movimiento de un experimento con elementos caseros. Las gráficas obtenidas tanto de la posición (función cuadrática) como de la velocidad (función lineal) confirman que el bloque resbala con aceleración constante. Las ecuaciones que ofrece el Tracker concuerdan con las obtenidas del análisis de las leyes de Newton aplicadas al sistema. Ambas gráficas muestran que el bloque tiene una velocidad inicial pequeña, aunque debería ser idealmente cero ya que parte del reposo. Esa pequeña discrepancia que no afecta al resultado de la aceleración radica en dos principales motivos: 1) que al momento de soltar existen pequeñas vibraciones del suelo que el Tracker detecta como una velocidad y 2) que el punto inicial de seguimiento no es exactamente cuándo se suelta el objeto. En cualquier caso, eso no afecta a la medición del coeficiente cinético. De la literatura se conoce que este parámetro para el rozamiento entre maderas tiene un promedio de 0.4. Por tanto, el error de la medición es del 4%.



## CONCLUSIONES

Tracker es una herramienta accesible y versátil que permite el análisis detallado del movimiento sin la necesidad de sensores especializados o equipos comerciales costosos. Además, el programa facilita el procesamiento de datos experimentales al integrar herramientas de análisis estadístico, permitiendo calcular incertidumbres y obtener mediciones más precisas. Su capacidad para capturar, analizar y representar gráficamente el comportamiento de una amplia gama de sistemas físicos tradicionales lo convierte en una alternativa eficiente para la enseñanza y la investigación en diversos entornos educativos.

El trabajo muestra una aplicación del programa Tracker en el estudio cinemático del movimiento. Permite observar detalladamente la evolución de la posición y la velocidad a medida que pasa el tiempo. Además, el ajuste estadístico de las curvas confirmó que el bloque desciende con movimiento rectilíneo uniformemente variado. El estudio demostró que el Tracker puede ser usado de manera indirecta para determinar parámetros usados en el estudio de las fuerzas. Con el valor de la aceleración ( $2.56 \pm 0.01$ ) m/s<sup>2</sup> se pudo determinar el coeficiente de rozamiento cinético entre las superficies cuyo valor es de  $0.4402 \pm 0.0014$ .

Una limitación identificada es el empleo de un teléfono celular con una frecuencia de captura de 30 fotogramas por segundo (fps) en el análisis experimental. Esta característica reduce la precisión del software Tracker al rastrear el movimiento. En experimentos futuros donde los cuerpos se muevan rápidamente se recomienda utilizar celulares con mayor resolución o cámaras de alta velocidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artiningsih, A. &. (2020). Analysis of investigative skills based on the use of tracker video analysis for 21st century skill. *Journal of Science Education Research*, 3(2).
- Briceño, J. R. (2019). La Experimentación y su Integración en el proceso Enseñanza Aprendizaje de la Física en la Educación Media. *RELACult-Revista Latino-Americana de Estudios em Cultura e Sociedade*, 5(2). doi:<https://doi.org/10.23899/relacult.v5i2.1512>
- Brown, D. H. (s.f.). Tracker Video Analysis and Modeling Tool. Obtenido de Recuperado el 4 de Noviembre de 2024, de <https://physlets.org/tracker/>.
- Cordeiro, A. L. (2019). O software tracker: uma ferramenta educacional para potencializar o ensino de física. *Essentia-Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA*, 20(2). doi:<https://doi.org/10.36977/ercct.v20i2.301>
- da Cruz Dias, G. d. (2021). ESTUDO EXPERIMENTAL DA DINÂMICA DO MOVIMENTO E APLICAÇÃO DO SOFTWARE LIVRE DE VÍDEO-ANÁLISE TRACKER. *Educere-Revista da Educação da UNIPAR*, 21(1). doi:<https://doi.org/10.25110/educere.v21i1.2021.7914>
- Del Punta, J. A. (2020). Una experiencia con modelos matemáticos mediante la incorporación de software libre. *Docentes Conectados*, 3(6), 91-108. Obtenido de <https://server-profesorado-informatica-1piso-bl2.unsl.edu.ar/index.php/dc/article/view/117>
- Garzón, G. P. (2021). Uso de Tracker como herramienta de análisis en experimentos caseros para el aprendizaje de la física mecánica. *Revista Educación En Ingeniería*, 17(34), 1-17. doi:<https://doi.org/10.26507/rei.v17n34.1203>
- González, C. A. (2022). Enseñanza de la Física en la carrera de Kinesiología: Experiencia mediante el uso de TIC. *Latin-American Journal of Physics Education*, 16(1).
- Guisasola, J. Z. (2019). Una propuesta de diseño y evaluación de secuencias de enseñanza-aprendizaje en Física: el caso de las leyes de Newton. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(2), 57-69. doi:<https://doi.org/10.55767/2451.6007.v31.n2.26948>
- Mendoza-Mendoza, R. A.-C. (2022). Estrategias Didácticas para la Enseñanza de las Ciencias Naturales y Desarrollo del Pensamiento Científico. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 859-875. doi:<https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2527>
- Plaza Santillán, J. J. ., & Saquinaula Brito, J. L. . (2024). Efectividad del uso de la herramienta Tracker en la



enseñanza universitaria de física: una revisión sistemática. *Reincisol.*, 3(6), 6148–6168.

[https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)6148-6168](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)6148-6168)

Sánchez, I. R. (2020). Eficacia de resolución colaborativa de problemas en el desarrollo de habilidades cognitivo lingüísticas y en el rendimiento académico en física. 13(16), 191-204. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000600191>

Ticona, A. J. (2024). Efectos de la implementación de un laboratorio virtual de física en estudiantes de secundaria. *Warisata-Revista de Educación*, 6(16). doi:<https://orcid.org/0009-0002-8881-7260>

Villacreses-Zambrano, J. P.-C.-R. (2024). Tracker para la enseñanza de la Física I: una experiencia con estudiantes de educación superior. *MQRInvestigar*, 8(3), 5765-5779. doi:<https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.5765-5779>

Winingsih, P. K. (2023). Analysis of understanding of physics concepts through problem solving units review in free fall motion materials. *Revista Mexicana de Física E*, 20(2). doi:<https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.20.020205>