

Estudio Comparativo de la aceleración en un Carro Experimental Descendiendo por un Plano Inclinado Utilizando Software Tracker y Phyphox

Comparative Study of Acceleration in an Experimental Cart Descending an Inclined Plane Using Tracker and Phyphox Software

Para citar este trabajo:

Plaza, J., y Saquinaula, J., (2024) Estudio Comparativo de la aceleración en un Carro Experimental Descendiendo por un Plano Inclinado Utilizando Software Tracker y Phyphox. *Reincisol*, 3(6), pp. 3318-3333. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)3318-3333](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)3318-3333)

Autores:

Juvitsa Juliana Plaza Santillán

Universidad Estatal de Milagro

Ciudad: Milagro, País: Ecuador

Correo Institucional: jplazas1@unemi.edu.ec

Orcid <https://orcid.org/0000-0003-4641-4420>

José Luis Saquinaula Brito

Universidad Estatal de Milagro

Ciudad: Milagro, País: Ecuador

Correo Institucional: jsaquinaulab@unemi.edu.ec

Orcid <https://orcid.org/0000-0003-2080-2548>

RECIBIDO: 18 agosto 2024 **ACEPTADO:** 28 septiembre 2024 **PUBLICADO** 14 octubre 2024

Este artículo presenta un análisis comparativo del software de análisis de video Tracker y la aplicación Phyphox para el estudio de movimientos rectilíneos uniformemente variados. Se evaluaron los datos obtenidos experimentalmente con ambas herramientas, comparándolos con los valores teóricos para analizar su precisión y aplicabilidad en el contexto educativo. Tracker permite observar detalladamente la evolución de la posición y la velocidad, pero mostró un error considerable en la medición de la aceleración, atribuible a factores como la resolución de la cámara y el rozamiento. En contraste, Phyphox, aunque limitado a la medición directa de la aceleración, demostró una mayor precisión con un margen de error significativamente menor.

Los resultados revelan que, si bien ambas herramientas tienen limitaciones, cada una ofrece ventajas únicas para la enseñanza de la física. Tracker es ideal para el análisis detallado de trayectorias y permite a los estudiantes visualizar el comportamiento completo del movimiento, mientras que Phyphox destaca en la precisión de la aceleración, proporcionando mediciones confiables que complementan la experiencia educativa. Este estudio subraya la importancia de la incorporación de tecnologías digitales en la enseñanza de la física, ya que permiten un aprendizaje práctico y basado en evidencias. La combinación de Tracker y Phyphox proporciona un enfoque integral para el análisis experimental de movimientos, facilitando el desarrollo de habilidades críticas en los estudiantes.

Palabras claves: Analizador de vídeo Tracker; aplicativo Phyphox, enseñanza de la física.

Abstract

This article presents a comparative analysis of the video analysis software Tracker and the Phyphox application for studying uniformly accelerated rectilinear motion. Experimental data obtained with both tools were evaluated and compared to theoretical values to assess their accuracy and applicability in educational contexts. Tracker allows detailed observation of position and velocity evolution but showed considerable error in measuring acceleration, likely due to factors such as camera resolution and friction. In contrast, Phyphox, while limited to direct acceleration measurement, demonstrated higher accuracy with a significantly lower margin of error.

The results reveal that although both tools have limitations, each offers unique advantages for physics education. Tracker is ideal for detailed trajectory analysis, enabling students to visualize the complete behavior of motion, whereas Phyphox excels in acceleration accuracy, providing reliable measurements that enhance the educational experience. This study underscores the importance of incorporating digital technologies in physics education, as they facilitate practical and evidence-based learning. The combination of Tracker and Phyphox offers a comprehensive approach to experimental motion analysis, supporting the development of critical skills in students.

Keywords: Tracker video analysis; Phyphox application; physics education.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física experimental ha enfrentado durante mucho tiempo desafíos relacionados con la disponibilidad y el costo de los equipos de laboratorio. En las unidades educativas de nivel medio, los experimentos de cinemática, como el análisis de un carro en un plano inclinado, solían ser difíciles de implementar debido a la necesidad de equipos comerciales de elevados costos y sensores. Sin embargo, el avance de la tecnología y el desarrollo de aplicaciones accesibles, como Phyphox y Tracker, han democratizado el acceso a estos experimentos, permitiendo a los estudiantes realizar mediciones detalladas y precisas utilizando dispositivos móviles comunes (Kuhn, 2013). Phyphox, desarrollado por la Universidad de RWTH Aachen, convierte los sensores de los teléfonos celulares en herramientas capaces de medir cantidades físicas como la posición, velocidad y aceleración, lo cual facilita la realización de experimentos incluso con materiales caseros (Erol, 2020).

Por otro lado, Tracker proporciona una plataforma gratuita para el análisis de video, permitiendo a los estudiantes trazar el movimiento de objetos en grabaciones y generar datos visuales sobre la posición y la velocidad. Esta herramienta ha demostrado ser efectiva en la enseñanza de conceptos de cinemática al facilitar un análisis directo de los fenómenos físicos en tiempo real (Bhakat, 2024). La combinación de ambas herramientas no solo amplía las posibilidades de aprendizaje experimental en entornos educativos limitados por recursos, sino que también promueve un aprendizaje más activo y autónomo (Elvis Mbiydzennyuy, 2020). Este estudio se enfoca en el análisis cinemático de un carro experimental que desciende por un plano inclinado, utilizando herramientas digitales como un analizador de video y una aplicación móvil. La combinación de Tracker y Phyphox permite realizar un estudio comparativo de los parámetros cinemáticos, evaluando la precisión y aplicabilidad de cada herramienta en la enseñanza de la física. Investigaciones previas han demostrado que las herramientas móviles y los laboratorios virtuales pueden mejorar significativamente la comprensión conceptual y reducir la carga cognitiva en la educación de ciencias (Carroll, 2020; Oliveira, 2021) En este contexto, la investigación pretende determinar si las diferencias en los resultados obtenidos con ambas herramientas justifican la preferencia por una de ellas, o si son equivalentes en términos de utilidad educativa.

DESARROLLO

Analizador de vídeo Tracker

El software de análisis de video Tracker se utiliza ampliamente en la educación en física para analizar movimientos y modelar fenómenos físicos en tiempo real. Originalmente desarrollado para facilitar el aprendizaje de la cinemática y dinámica, Tracker ha demostrado ser eficaz en diversas aplicaciones, desde la enseñanza de conceptos básicos como el movimiento de un proyectil, hasta el estudio de la conservación de la energía mecánica y el análisis de simulaciones virtuales de física (Rodrigues, 2013; Brown, s.f.). En los últimos años, su uso se ha extendido para analizar fenómenos complejos como el movimiento de cilindros rodantes y el deslizamiento de objetos sobre superficies inclinadas, lo que subraya su versatilidad en la investigación educativa (De Ambrosis, 2015; Maidana, 2016). La importancia de Tracker en la educación en física radica en su capacidad para proporcionar una representación visual y cuantitativa del movimiento, lo que permite a los estudiantes observar y analizar datos cinemáticos de manera precisa. Al ser una herramienta de código abierto, Tracker ofrece un acceso económico a análisis detallados de video, lo cual es particularmente valioso en contextos educativos donde los recursos pueden ser limitados (Zamalloa, 2023). Además, facilita el desarrollo de habilidades prácticas en los estudiantes, ya que permite realizar experimentos a partir de videos grabados con cualquier dispositivo, promoviendo un aprendizaje autónomo y la experimentación fuera del laboratorio tradicional (Heck, 2009).

Entre las ventajas de Tracker se destacan su accesibilidad, dado que es gratuito, y su flexibilidad para adaptarse a diversos niveles de habilidad y tipos de análisis (Kang, 2012). Sin embargo, como cualquier herramienta educativa, Tracker presenta desventajas, tales como su dependencia de la calidad de los videos y la necesidad de cierta competencia técnica para su uso efectivo (Rodrigues, 2013). Otra limitación importante es que puede resultar menos intuitivo para estudiantes principiantes, especialmente si no se cuenta con el apoyo adecuado del docente (Heck, 2009).

El uso de Tracker en la enseñanza de la física proporciona a los estudiantes la oportunidad de aprender a través de la observación directa y el análisis detallado

de fenómenos reales, lo cual fomenta el desarrollo de habilidades críticas y la comprensión profunda de conceptos físicos (Pratidhina, 2021;Zamalloa, 2023). Como resultado, Tracker no solo facilita la enseñanza de la cinemática y la dinámica, sino que también contribuye a preparar a los estudiantes para futuros estudios en ciencias e ingeniería al desarrollar sus habilidades analíticas y experimentales.

Aplicativo Phyphox

El aplicativo Phyphox es una herramienta versátil en la educación en física que convierte los teléfonos inteligentes en laboratorios portátiles. Aprovecha los sensores integrados de los dispositivos móviles para medir variables físicas como la aceleración, la frecuencia y el sonido, lo cual permite a los estudiantes explorar una amplia gama de fenómenos científicos de manera accesible y práctica (Carroll, 2020). Utilizado inicialmente en la Universidad de RWTH Aachen para facilitar experimentos en mecánica clásica, el uso de Phyphox se ha expandido a múltiples entornos educativos, demostrando su efectividad en la enseñanza de conceptos como la aceleración centrífuga y la resonancia (Staacks, 2022).

La importancia de Phyphox radica en su capacidad de proporcionar una experiencia de aprendizaje interactiva y accesible. Al ser una aplicación gratuita y de código abierto, Phyphox ofrece una solución económica para los educadores, permitiéndoles implementar experimentos de física sin necesidad de equipos especializados. Esta accesibilidad es fundamental en contextos de aprendizaje remoto y en instituciones con recursos limitados, ya que permite que los estudiantes utilicen sus propios dispositivos para llevar a cabo experimentos y analizar datos en tiempo real (Carroll, 2020). Además, el aplicativo permite la personalización de experimentos mediante el uso de archivos configurables y códigos QR, lo que facilita su adaptación a diferentes niveles educativos (Staacks, 2022).

Entre las principales ventajas de Phyphox se encuentran su accesibilidad y flexibilidad, ya que permite realizar experimentos de física utilizando dispositivos móviles comunes, lo que democratiza el acceso a la educación científica. También permite la exportación de datos en tiempo real y la integración con otras plataformas y lenguajes de programación, lo que amplía sus aplicaciones en la educación y la investigación (Pierratos, 2020). Sin embargo, una de sus desventajas

es que la precisión de los datos obtenidos depende de la calidad de los sensores del dispositivo, que pueden variar según el modelo de teléfono. Además, algunos usuarios encuentran limitada la capacidad del software para realizar análisis avanzados sin el apoyo de complementos externos (Carroll, 2020).

Fundamento teórico del experimento

El sistema implica un carro experimental de masa m que se desplaza sobre un riel que forma un ángulo θ con la horizontal. La figura 1 muestra el diagrama de fuerzas en el carro. Para el análisis teórico ignoraremos la fricción entre las ruedas y el riel, así como cualquier influencia del aire.

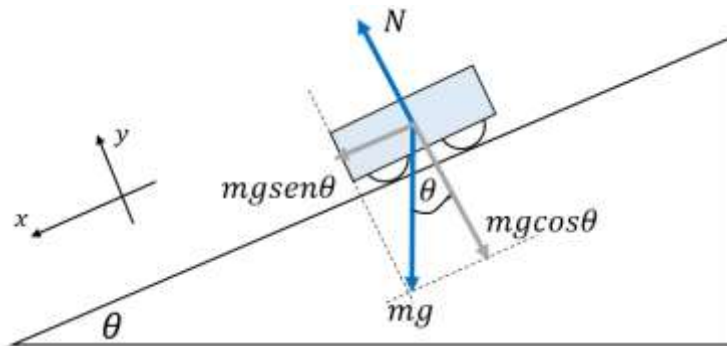


Figura 1. Esquema del sistema carro-plano inclinado.

Según la segunda ley de Newton, la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre el carro es igual al producto de la masa con su aceleración.

$$\sum F = ma \tag{1}$$

El móvil se mueve solo en la dirección paralela al plano inclinado, por lo que su aceleración actúa solo en ese eje.

$$\begin{aligned} mg \text{sen} \theta &= ma \\ a &= g \text{sen} \theta \end{aligned} \tag{2}$$

La aceleración del carrito experimental es constante y depende tanto de la aceleración de la gravedad como de la inclinación del riel. Es decir, realiza un movimiento rectilíneo uniformemente variado en el que la posición y la velocidad cambia con el tiempo según:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \tag{3}$$

$$v = v_0 + a t \tag{4}$$

Materiales y recursos

En este trabajo, se utilizarán herramientas tecnológicas específicas, incluyendo el software Tracker para el análisis de video y la aplicación Phyphox para la recopilación de datos a través de sensores móviles. Además de los dispositivos móviles, se requerirán materiales básicos, como un carro experimental y un plano inclinado, los cuales permitirán recrear el experimento en condiciones controladas y reproducibles. La lista completa se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Materiales y softwares usados para el montaje experimental.

| |
|------------------------------------|
| 1 carrito experimental de 48.9 g |
| 1 balanza digital |
| 1 cinta adhesiva |
| 1 soporte levantar el riel |
| 1 Riel metálico de 100 cm de largo |
| 1 Flexómetro |
| 2 Celulares |
| Software Tracker |
| Aplicativo Phyphox |

RESULTADOS

Para el desarrollo del experimento sobre el análisis cinemático del movimiento de un carro en un plano inclinado, se utilizaron varios materiales. En la figura 2 se muestra un carrito experimental de 48.9 gramos que se desplaza a lo largo de un riel metálico de 1 metro de largo, el cual fue inclinado para generar la cuña. Se utilizó un flexómetro para medir el ángulo de inclinación del riel, asegurando precisión en la configuración experimental. La cinta adhesiva se empleó para fijar uno de los celulares al carrito experimental, mientras que el segundo teléfono se utilizó para grabar el video, que sería posteriormente analizado con el software Tracker. La elección de dos celulares se debe a que en una fase posterior del experimento se planea usar Phyphox; al adherir uno de los teléfonos al carrito, se mantiene constante la masa del sistema, permitiendo una comparación precisa de la aceleración obtenida con Tracker y la que se registrará más adelante con Phyphox.



Figura 2. Montaje experimental carro-plano inclinado.

La figura 3 ilustra el uso del software Tracker, en la cual se pueden observar tanto las gráficas de posición y velocidad como la tabla de datos correspondiente al análisis del movimiento del carro en el plano inclinado.

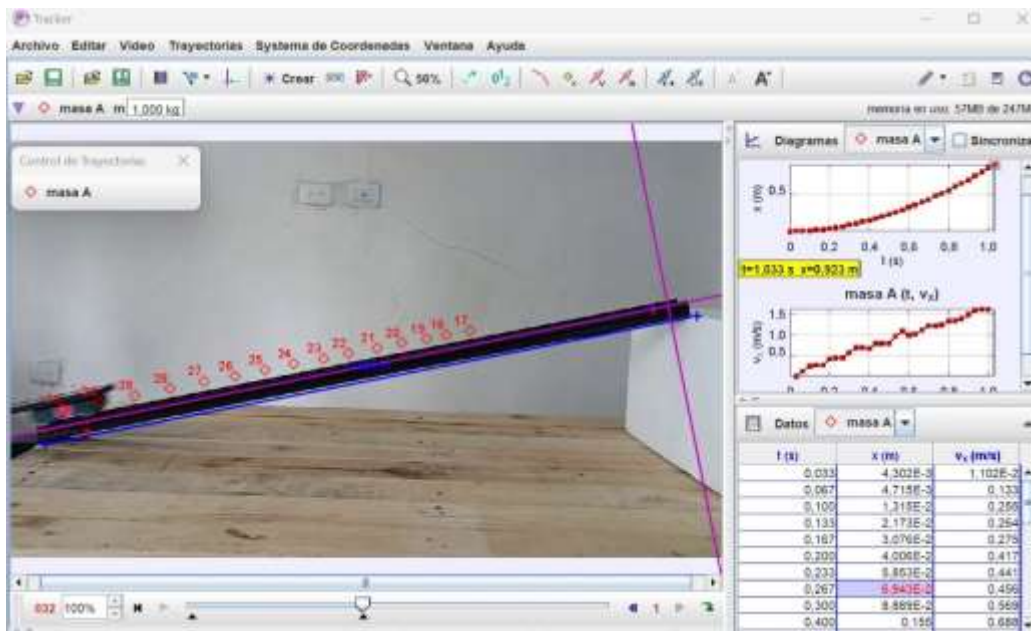


Figura 3. Uso de Tracker para analizar el movimiento.

A continuación, se presenta la gráfica de posición en función del tiempo. Para facilitar el análisis comparativo, los datos obtenidos con Tracker han sido exportados a Excel, donde se realizó un tratamiento detallado de los mismos. La imagen muestra dos gráficas: una correspondiente a los valores registrados por Tracker y otra basada en los valores teóricos, permitiendo así evaluar la precisión de los datos experimentales.



Figura 4. Posición del carro: compara valores experimentales con lo teórico. Con el flexómetro medimos la altura del riel (23 cm) y la distancia entre el extremo del riel en el suelo y el soporte (97 cm). El ángulo de inclinación es:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{23}{97}\right) = 13.33^\circ$$

Por tanto, la aceleración teórica despreciando la fricción nos da,

$$a_{teórica} = g \sen \theta$$

$$a_{teórica} = (9.8 \text{ m/s}^2)(\sen 13.33^\circ) = 2.259 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

La línea de tendencia en Excel nos da la siguiente ecuación para la posición,

$$x(t) = -0.0075 + 0.0957t + 0.779t^2 \tag{5}$$

Comparando con la ecuación (3) la aceleración medida por el Tracker es:

$$a_{tracker} = 1.558 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

A continuación, se presenta la gráfica de velocidad en función del tiempo. La imagen muestra dos curvas que permiten realizar un comparativo entre los valores obtenidos experimentalmente con Tracker y los valores teóricos. Esta comparación visual facilita la evaluación de la precisión del modelo teórico en relación con los datos experimentales, permitiendo identificar discrepancias y analizar su posible causa.

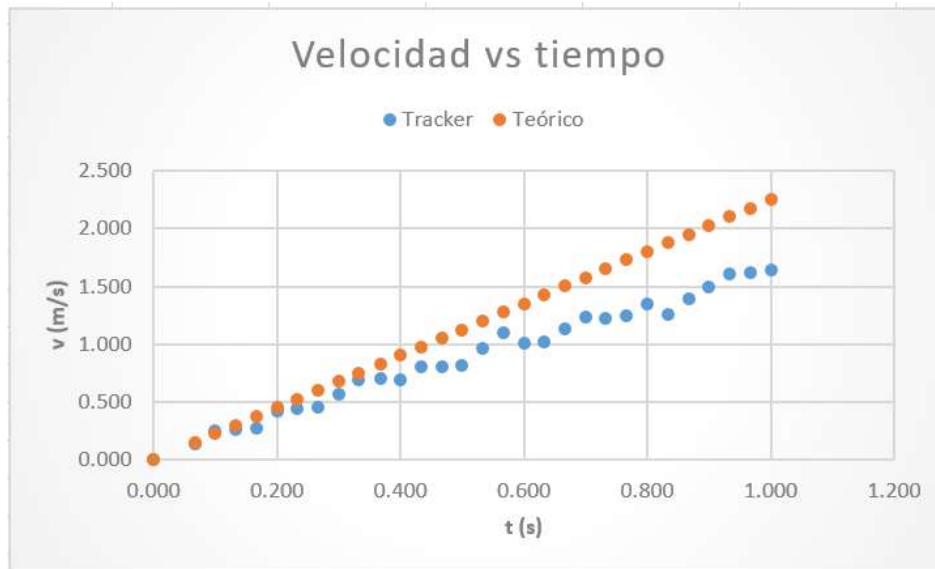


Figura 5. Velocidad del carro: compara valores experimentales con lo teórico. La línea de tendencia en Excel nos da la siguiente ecuación para la velocidad,

$$v(t) = 0.068 + 1.589t \quad (6)$$

La siguiente parte del experimento consiste en activar la aplicación Phyphox en el teléfono celular que está adherido al carrito experimental.

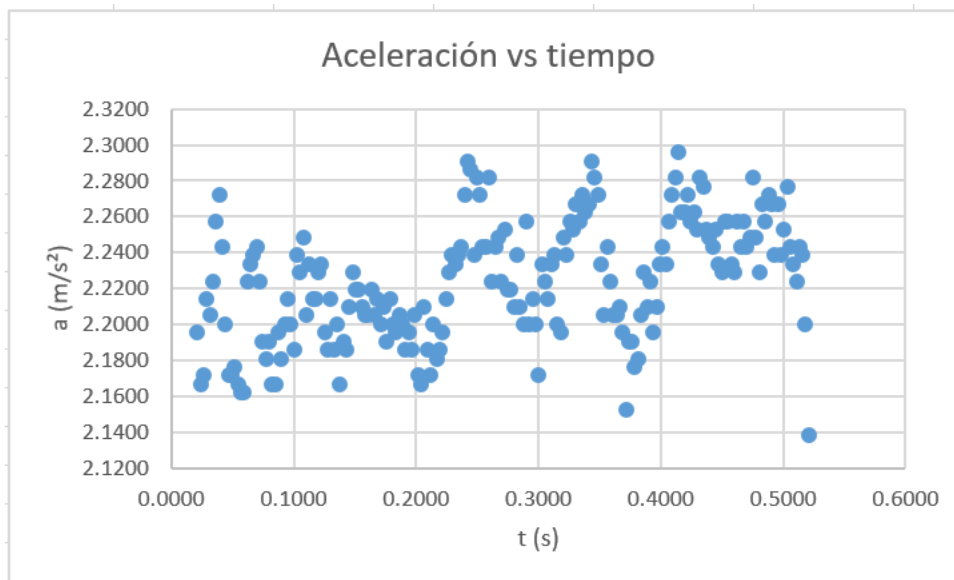


Figura 6. Aceleración del carro mediante Phyphox.

Esta configuración permite utilizar el sensor del teléfono para medir directamente la aceleración durante el movimiento en el plano inclinado. A excepción de la

incorporación de Phyphox, el montaje experimental se mantiene igual que en la primera fase del experimento, asegurando consistencia en las condiciones. El uso del sensor integrado en el celular facilita la recolección de datos precisos sobre la aceleración, lo que permitirá posteriormente comparar estos valores con los datos obtenidos previamente mediante Tracker. La aceleración del carro experimental sufre pequeños desvíos alrededor de un valor medio, por lo que se obtuvo el valor promedio de las mediciones.

$$a_{phyphox} = 2.224 \frac{m}{s^2}$$

Tabla 2. Resultados comparativos para la aceleración.

| | a (m/s ²) | Error de la medida (%) |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| Aceleración teórica | 2.259 | ----- |
| Aceleración con Tracker | 1.558. | 31.03 |
| Aceleración con Phyphox | 2.224 | 1.55 |

DISCUSIÓN

En esta sección, se analizan los resultados obtenidos con las herramientas de análisis de video Tracker y Phyphox. Se evaluarán las mediciones registradas con ambos programas, examinando su precisión y utilidad en la enseñanza de sistemas dinámicos, y se discutirán sus implicancias para la práctica educativa en física.

Análisis con Tracker

En la figura 4, se observa la evolución de la posición del objeto en función del tiempo, donde la curva azul representa los datos experimentales obtenidos mediante el software Tracker, y la curva naranja corresponde a los valores teóricos calculados a partir de la ecuación (3). La forma parabólica de la curva experimental confirma la presencia de un movimiento rectilíneo uniformemente variado. Sin embargo, se evidencian diferencias entre las curvas teórica y experimental. Estas variaciones pueden atribuirse a diversos factores, como la resolución de la cámara utilizada, la masa del carrito afectada por la resistencia del aire, y los posibles márgenes de error asociados al uso del software Tracker. Además, de la presencia de rozamiento entre las ruedas del carrito y el riel.

En la figura 5, se muestra el comportamiento de la velocidad en función del tiempo, donde la curva azul representa los valores experimentales obtenidos mediante Tracker y la curva naranja los valores teóricos calculados usando la ecuación (4). Se observa que la curva experimental no sigue una tendencia lineal y presenta ciertas fluctuaciones. Esto se debe a que Tracker calcula la velocidad de manera indirecta, a partir de los datos de la posición, lo cual introduce variaciones en los valores registrados. A pesar de estas discrepancias, al ajustar los datos experimentales en Excel, se encontró que el valor de la aceleración obtenida solo difiere en la tercera cifra significativa, confirmando la coherencia del experimento con el modelo teórico.

Análisis con Phyphox

La figura 6, muestra el valor de la aceleración versus tiempo, obtenida con Phyphox, se observa una distribución dispersa de los datos en torno a un valor promedio. Esta variabilidad en los datos podría deberse a la sensibilidad de los sensores del dispositivo móvil utilizado para las mediciones. Aunque se observa una tendencia general, las fluctuaciones indican que el sensor registra pequeñas variaciones por la vibración entre las llantas del carrito experimental y el riel.

A diferencia de Tracker, Phyphox no permite observar directamente el comportamiento de la posición y la velocidad en función del tiempo, ya que se enfoca en el registro de la aceleración. Sin embargo, al comparar ambos recursos, es evidente que Phyphox proporciona una mayor precisión en la medición de la aceleración. Como se muestra en la tabla 2, el valor de la aceleración obtenido con Phyphox presenta un error de solo 1.55% respecto al valor teórico, mientras que Tracker muestra una discrepancia significativamente mayor del 31.03%. Esto sugiere que, a pesar de las limitaciones de Phyphox en cuanto a la visualización de ciertos datos, su precisión lo convierte en una herramienta confiable para el análisis de la aceleración en sistemas dinámicos.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se evaluaron las capacidades de las herramientas de análisis de video Tracker y la aplicación Phyphox en el estudio de movimientos dinámicos. A través del análisis de datos experimentales y teóricos, se constató que ambas herramientas, aunque con enfoques distintos, ofrecen valiosas perspectivas para el estudio del movimiento rectilíneo uniformemente variado. Tracker permitió

observar detalladamente la evolución de la posición y la velocidad, pero presentó un margen de error considerable en la medición de la aceleración, probablemente debido a factores externos como el rozamiento y la precisión de la cámara. Por otro lado, Phyphox, aunque limitado a la medición de la aceleración, demostró una notable precisión, confirmada por el bajo margen de error en comparación con los valores teóricos.

Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar herramientas de análisis en función de los objetivos del estudio. Tracker es valioso para el análisis detallado de trayectorias, mientras que Phyphox se destaca en mediciones directas de aceleración, particularmente útil cuando la precisión es prioritaria. En conjunto, ambos recursos complementan la enseñanza y el aprendizaje de conceptos físicos fundamentales, proporcionando a estudiantes y docentes acceso a análisis experimentales precisos y accesibles. Este estudio resalta el valor de la integración de tecnologías digitales en la educación en física, promoviendo un aprendizaje práctico y basado en la evidencia.

Referencias bibliográficas

- Bhakat, P. C. (2024). Tracking the Motion of a Simple Pendulum with Tracker. *Resonance*, 29(8), 1085–1093.
- Brown, D. H. (s.f.). *Tracker Video Analysis and Modeling Tool*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2024, de <https://physlets.org/tracker/>
- Carroll, R. &. (2020). Phyphox app in the physics classroom. *The Physics Teacher*, 58(8), 606-607. doi:<https://doi.org/10.1119/10.0002393>
- De Ambrosis, A. M. (2015). Investigating the role of sliding friction in rolling motion: A teaching sequence based on experiments and simulations. *European Journal of Physics*, 36(3). doi:<https://doi.org/10.1088/0143-0807/36/3/055036>
- Elvis Mbiydzenyuy, N. (2020). Teaching and Learning in resource-limited settings in the face of the COVID-19 pandemic. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 3(3), 211-223. doi:<https://doi.org/10.31681/jetol.732077>

- Erol, M. Y. (2020). Conservation of linear momentum using tracker analysis: a teaching material. *The Physics Educator*, 2(2), 2050008. doi:<https://doi.org/10.1142/S2661339520500080>
- Heck, A. &. (2009). Giving students the run of sprinting models. *American Journal of Physics*, 77(11), 1028–1038. doi:<https://doi.org/10.1119/1.3187150>
- Kang, W. L. (2012). Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education*, 47(4), 448. doi:<https://doi.org/10.1088/0031-9120/47/4/448>
- Kuhn, J. &. (2013). Analyzing Experiments with the Smartphone Acceleration Sensors. *The Physics Teacher*, 51(2), 118-119. doi:<https://doi.org/10.1119/1.4775534>
- Maidana, N. e. (2016). The rolling with slipping experiment in the virtual physics laboratory—Context-based teaching material. 51(4), 045001. doi:<https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/4/045001>
- Oliveira, D. P. (2021). The use of mobile applications in higher education classrooms: An exploratory measuring approach in the University of Aveiro. *Education Sciences*, 11(9), 484. doi:<https://doi.org/10.3390/educsci11090484>
- Pratidhina, E. R. (2021). Implementation of a tracker-assisted modeling activity in an online advanced physics experiment course. *J. Educ. e-Learning Res*, 8(2), 222-229. doi:[10.20448/journal.509.2021.82.222.229](https://doi.org/10.20448/journal.509.2021.82.222.229)
- Rodrigues, M. &. (2013). Teaching physics with Angry Birds: Exploring the kinematics and dynamics of the game. *Physics Education*, 48(4), 431. doi:<https://doi.org/10.1088/0031-9120/48/4/431>
- Zamalloa, A. C. (2023). Use of Tracker software for teaching distance physics laboratories: Demonstration of error reduction in the simple pendulum. *arXiv preprint*.

Conflicto de intereses

Los autores indican que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

Con certificación de:

