



Movimiento curvilíneo: tiro parabólico, usando el software de análisis de video Tracker, bajo el programa PIAPIME ID 1.33.15.22

Roberto Reyes Arce¹, Yesenia Sánchez Fuentes², José Castillo Sánchez³, Juan Rogelio Castro Sánchez⁴, Norma Daniela Hernández Rodríguez⁵, Pablo Osnaya Osnaya⁶

RESUMEN

En el 2019, la pandemia COVID 19 mostró múltiples dificultades en la enseñanza aprendizaje en los laboratorios experimentales del departamento de Física de la FESC la cual maneja una enseñanza tradicional de forma presencial, por lo que no se contaba con las herramientas necesarias, para las necesidades que se presentaron durante ella, como el aprendizaje a distancia, con ello se elaboraron nuevas prácticas con los mismos temas de cada una de las prácticas del manual que se ha utilizado en los últimos años, para las asignaturas de los laboratorios de Cinemática y Dinámica, Física II, Mecánica Clásica de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica, Ing. Industrial, Ing. Agrícola, Tecnología y Química Industrial.

El objetivo de la práctica es analizar el comportamiento de los parámetros de movimiento posición, velocidad y aceleración de una partícula en cada uno de los pasos de su trayectoria que describe en un movimiento de tiro parabólico de una partícula, además de obtener las gráficas y ecuaciones paramétricas experimentales y los alcances máximos en base a la ecuación de su trayectoria $y(x)$ utilizando el software de análisis de video Tracker [1] y un video de un cuerpo que es lanzado al aire el cual va describiendo el movimiento mencionado.

Al analizar los resultados obtenidos experimentalmente muestran que el comportamiento de los parámetros de movimiento de una partícula que describe una trayectoria parabólica, son equivalentes a los teóricos, de forma indirecta y mediante la pendiente de la gráfica velocidad-tiempo se obtiene el valor de la aceleración de la gravedad la cual es cercano al valor estándar de ella. Los alcances máximos medidos y calculados también muestran valores similares, con porcentajes de error bajos, los cálculos obtenidos teóricamente respaldan al experimento ya que el comportamiento de ellos se da en forma similar.

ABSTRACT

In 2019, the COVID 19 pandemic showed multiple difficulties in teaching-learning in the experimental laboratories of the Physics department of the FESC, which handles traditional teaching in person, so the necessary tools were not available for the needs. that

were presented during it, such as distance learning, with this new practices were developed with the same topics of each one of the practices of the manual that has been used in recent years, for the subjects of the Kinematics and Dynamics laboratories, Physics II, Classical Mechanics from Electrical Mechanical Engineering, Telecommunications Engineering, Systems and Electronics, Industrial Engineering, Agricultural Engineering, Technology and Industrial Chemistry.

The objective of the practice is to analyze the behavior of the movement parameters position, velocity and acceleration of a particle in each one of the steps of its trajectory that it describes in a parabolic shooting movement of a particle, in addition to obtaining the graphs and equations experimental parametric measurements and the maximum ranges based on the equation of its trajectory $y(x)$ using the Tracker video analysis software [1] and a video of a body that is thrown into the air which describes the mentioned movement. The results obtained experimentally were analyzed and show that the behavior of the movement parameters of a particle that describes a parabolic trajectory. The results are equivalent to the theoretical ones, indirectly and through the slope of the velocity-time graph, the value is obtained of the acceleration of gravity which is close to the standard value of it. The maximum measured and calculated ranges also show similar values, with low error percentages. The theoretically obtained calculations support the experiment since their behavior occurs in a similar way.

Palabras claves: Movimiento curvilíneo, tiro parabólico, alcance máximo, ecuación de trayectoria.

INTRODUCCIÓN

El movimiento curvilíneo como lo menciona Hibbeler (2012) [2] ocurre cuando una partícula se desplaza a lo largo de una trayectoria curva, para el caso particular de un movimiento de tiro parabólico el análisis se da normalmente en función de sus componentes rectangulares considere que el proyectil es lanzado al aire y que no existe resistencia de este, es lanzado con una velocidad inicial y a un ángulo de disparo y que parte desde una posición inicial (x_0, y_0) Figura 1.

Analizando el movimiento con estas consideraciones, la única fuerza que actúa en él es su propio peso por lo que el valor de la

* UNAM. FES Cuautitlán, Departamento de Física, 1 Mtro.
roberto_reyes_a@hotmail.com, 2 Mtra. yesna_25@hotmail.com, 3 Ing.

casanj@hotmail.com, 4 Ing. ing.jrcastro@gmail.com, 5 Est.
norma.hrdz.97@gmail.com, 6 Est. pablo.o.p608@gmail.com.

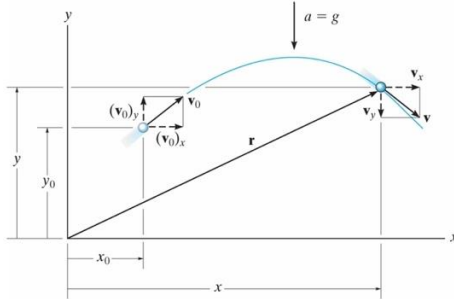




aceleración será el de la gravedad 9.81 m/s^2 en el Sistema Internacional o 32.2 ft/s^2 en el sistema inglés en dirección vertical hacia abajo, con esta aceleración podemos obtener las componentes de los parámetros de velocidad y posición en el eje horizontal "x"

Figura 1

Trayectoria de una partícula en movimiento de tiro parabólico



Nota: Reproducida de Ingeniería Mecánica - Dinámica (p. 39), por Russell C. Hibbeler, 2010, Pearson Educación.

Considerando que la componente de la aceleración $a_x = 0$

$$v_x = (v_0)_x \quad (1)$$

$$x = x_0 + (v_0)_x t \quad (2)$$

Para el caso de las componentes de los parámetros de velocidad y posición en el eje vertical "y", considerando que $a_y = -g$

$$v_y = (v_0)_y - gt \quad (3)$$

$$y = y_0 + (v_0)_y t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (4)$$

$$v_y^2 = (v_0)_y^2 - 2g(y - y_0) \quad (5)$$

Cálculo del tiempo para la altura máxima. Considerando que en la altura máxima la componente vertical de la velocidad $v_y = 0$ y sustituyendo esta condición en la ecuación (3), se tiene:

$$0 = (v_0)_y - gt$$

Entonces el tiempo en el que se alcanza la altura máxima es:

$$t = \frac{(v_0)_y}{g} \quad (6)$$

Cálculo de la altura máxima. Considerando el tiempo en el que se alcanza la altura máxima de la ecuación (6) y sustituyéndolo en la ecuación (4), se tiene:

$$y_{max} = y_0 + (v_0)_y \left[\frac{(v_0)_y}{g} \right] - \frac{1}{2}g \left[\frac{(v_0)_y}{g} \right]^2$$

por tanto, la altura máxima es:

$$y_{max} = y_0 + \frac{1}{2} \left[\frac{(v_0)_y^2}{g} \right] \quad (7)$$

Cálculo del alcance máximo horizontal. Considerando que el cuerpo alcanza su máximo horizontal cuando pasa por el nivel de donde se disparó, el tiempo que debe transcurrir para que esto ocurra debe ser dos veces el tiempo ecuación (6) en el que se alcanza la

altura máxima, $2t = 2 \frac{(v_0)_y}{g}$ sustituyendo en la ecuación (2), se tiene:

$$x_{max} = x_0 + (v_0)_x \left[2 \frac{(v_0)_y}{g} \right]$$

Sabiendo que las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial son $(v_0)_x = v_0 \cos \theta$ y $(v_0)_y = v_0 \sin \theta$ y sustituyendo en la ecuación anterior, se tiene que el alcance máximo horizontal es:

$$x_{max} = x_0 + \frac{v_0 \cos \theta * 2v_0 \sin \theta}{g}$$

$$x_{max} = x_0 + \frac{2v_0^2}{g} (\cos \theta * \sin \theta) \quad (8)$$

Usando la identidad trigonométrica de $\cos \theta * \sin \theta = \frac{1}{2} [\sin(\theta + \theta) + \sin(\theta - \theta)]$ se tiene:

$$x_{max} = x_0 + \frac{2v_0^2}{g} \frac{1}{2} [\sin(2\theta) + \sin(0)] \quad (9)$$

Por tanto, el alcance máximo horizontal es:

$$x_{max} = x_0 + \frac{v_0^2}{g} \sin(2\theta) \quad (10)$$

Para cualquier velocidad inicial v_0 , el mayor alcance horizontal se encuentra cuando el ángulo de disparo es: $\theta = 45^\circ$.

Ecuación de la trayectoria. Tomando las siguientes consideraciones

1. La posición inicial horizontal y vertical son $x_0 = 0$, $y_0 = 0$
2. El tiempo es igual a $t = \left(\frac{x}{(v_0)_x} \right)$
3. Las componente horizontal y vertical de la velocidad inicial son $(v_0)_x = v_0 \cos \theta$ y $(v_0)_y = v_0 \sin \theta$ y sustituyendo lo anterior en la ecuación (4) se tiene:

$$y = v_0 \sin \theta \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right) - \frac{1}{2}g \left(\frac{x}{v_0 \cos \theta} \right)^2$$

Le ecuación de la trayectoria es:

$$y = (\tan \theta)x - \frac{1}{2} \left(\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2 \quad (11)$$

$$y = C + Bx - Ax^2$$

ANTECEDENTES

Garzón, G. P. A. R. y colaboradores [3] demostraron en su estudio la importancia del uso de software de vídeo Tracker para analizar movimientos parabólicos. Donde, primeramente, se explica en clase la cinemática del movimiento parabólico, como segundo paso, los estudiantes construyen una catapulta y se familiarizan con la interfaz del software de vídeo Tracker a través de sus herramientas. Se hallaron las ecuaciones de movimiento de alcance máximo (x_f), altura máxima (y_f) y tiempo de vuelo (t_v), variando el ángulo a 15° , 30° , 45° , 60° y 75° . Finalmente, se cotejaron los cálculos teóricos con los datos experimentales de (x_f), (y_f) y (t_v), encontraron errores de $\sim 0.67\%$, $\sim 3.9\%$ y $\sim 0.12\%$,



respectivamente. Durante este proceso, se enfatizó la importancia de realizar la primera etapa antes de usar el software de vídeo Tracker. Por otro lado, Mondragón Sánchez, J. A. y colaboradores [4] propusieron la caracterización de la cinemática de un objeto en movimiento en dos o tres dimensiones mediante la grabación de un vídeo de un cuerpo en movimiento para digitalizar su trayectoria a través del software de análisis de vídeo Tracker; ya que se permite la obtención de los parámetros de aceleración, posición y velocidad, así como de diferentes gráficas, además de poder ajustar las curvas utilizando modelos empíricos simples o complejos a través del software de análisis de vídeo Tracker. Se expusieron las principales funciones del software de análisis de vídeo Tracker, además de ilustrar su uso mostrando el tiro parabólico.

La experimentación del tema de *cinemática del cuerpo rígido* en las diferentes asignaturas que da servicio el departamento de Física de la FES-Cuautitlán, no se contaba con alguna práctica para impartir a distancia.

DESARROLLO DEL TEMA

El comportamiento experimental de los parámetros de movimiento de la partícula que describe un movimiento de tiro parabólico se llevó a cabo mediante el software de análisis de vídeo Tracker y un video del movimiento mencionado de una partícula en donde se midió los parámetros de posición, velocidad y aceleración, así como la obtención de las gráficas de movimiento y ecuaciones representativas.

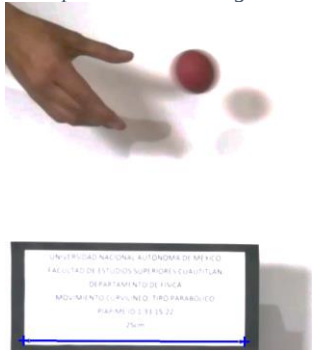
1. Elaboración de video

Los criterios para elaborar el video fueron: (Figura 2).

- Iluminación adecuada
- Uso de tripie para equipo de grabación previamente nivelado.
- Calidad de grabación (60 fps).
- Contraste de colores entre el objeto en movimiento y el fondo.

Figura 2

Captura de pantalla de video grabado y usado para la práctica



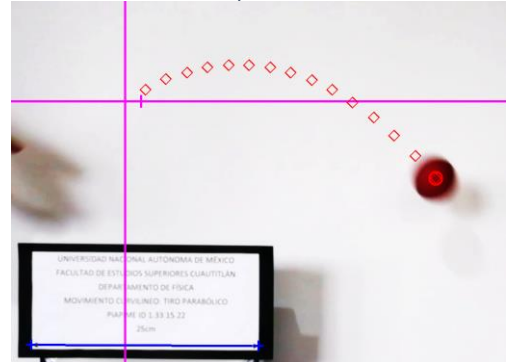
2. Rastreo de la pelota en el Tracker

Una vez elaborado el video se procedió a la configuración del software Tracker mediante el siguiente procedimiento (Figura 3).

- Ajuste de corte de video.
- Ajuste en la vara de calibración
- Ubicación de los ejes coordenados.
- Generar masa puntal.
- Establecer plantilla para rastreo.
- Obtener rastreo del movimiento de la pelota.

Figura 3

Rastreo del movimiento de tiro parabólico



- Selección de los parámetros posición, velocidad y aceleración (Figura 4).

Figura 4

Selección de parámetros posición, velocidad y aceleración y ángulo de disparo.

Columnas de la Tabla Visibles			
masa A			
☒ x	☒ y	☐ r	☐ θr
☒ vx	☒ vy	☒ v	☒ θv
☒ ax	☒ ay	☐ a	☐ θa
☐ px	☐ py	☐ p	☐ θp
☐ θ	☐ ω	☐ α	☐ K
☒ step	☐ frame	☐ pixelx	☐ pixely
☐ L			
Definir...		Texto columnas	
Cerrar			

- Medición de las componentes horizontales y verticales experimentales de la posición, velocidad y aceleración, desde el software Tracker, como se muestra en la Tabla 1 y 2.
- Obtención de las gráficas paramétricas experimentales (t, x) , (t, v_x) , (t, a_x) , (t, y) , (t, v_y) y (t, a_y) . desde el software Tracker.
- Obtención de las ecuaciones experimentales representativas de cada gráfica, desde el software Tracker. Ecuaciones de la 12 a la 17.



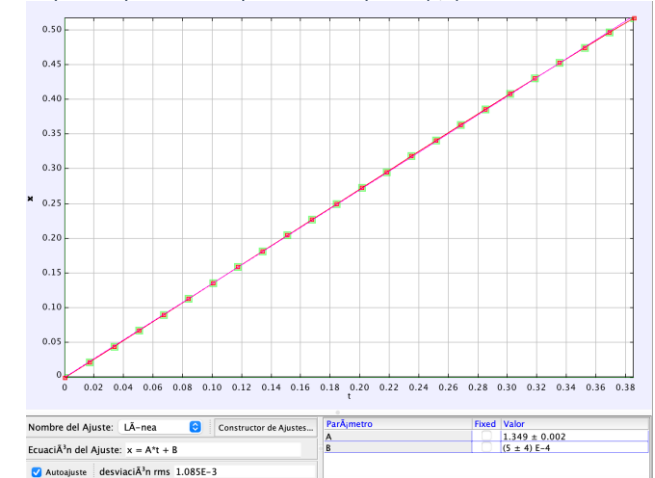
Tabla 1. Componentes horizontales experimentales de posición, velocidad y aceleración

Step	Posición x (m)	Velocidad v_x (m/s)	Aceleración a_x (m/s ²)
1	0.022	1.329	-
2	0.045	1.356	0.930
3	0.068	1.366	0.569
4	0.090	1.358	-0.108
5	0.113	1.364	-0.027
6	0.136	1.369	-0.034
7	0.159	1.364	0.075
8	0.182	1.358	0.028
9	0.205	1.365	-0.480
10	0.228	1.356	-0.281
11	0.250	1.349	0.225
12	0.273	1.358	0.496
13	0.296	1.364	-0.541
14	0.319	1.354	-0.285
15	0.341	1.347	-0.313
16	0.364	1.341	-0.320
17	0.386	1.330	-0.582
18	0.408	1.336	-0.010
19	0.431	1.329	-0.582
20	0.453	1.306	-0.884

Gráficas y ecuaciones de las componentes horizontales

Figura 5

Gráfica de posición respecto al tiempo en (t, x)

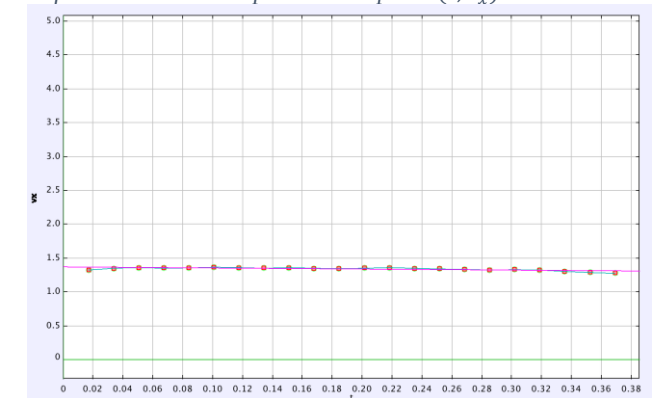


De acuerdo con la pendiente de la gráfica de la figura 5 (t, x) , la componente de la posición en x es:

$$x = 1.349 t \quad (12)$$

Figura 6

Gráfica de velocidad respecto al tiempo en (t, v_x)



En relación con la pendiente de la gráfica de la figura 6 (t, v_x) , la componente de la velocidad en x es:

$$v_x = 0.137 \quad (13)$$

sd

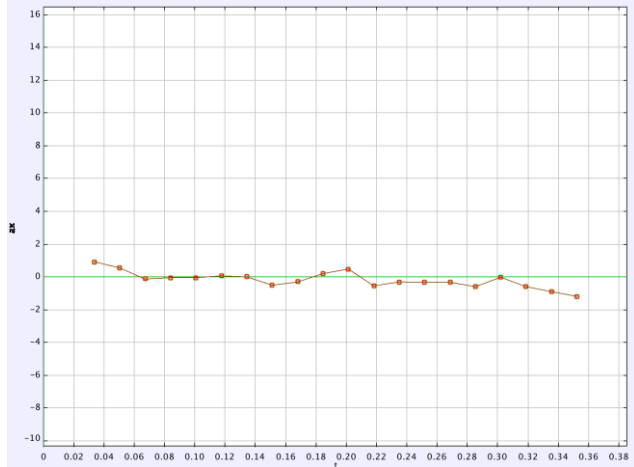
Tabla 2. Componentes verticales experimentales de posición, velocidad y aceleración

Step	Posición y (m)	Velocidad v_y (m/s)	Aceleración a_y (m/s ²)
1	0.013	0.733	-
2	0.025	0.564	-9.517
3	0.032	0.403	-9.817
4	0.038	0.244	-9.576
5	0.041	0.072	-10.101
6	0.040	-0.088	-9.325
7	0.038	-0.245	-9.551
8	0.032	-0.401	-9.825
9	0.024	-0.577	-10.419
10	0.013	-0.755	-9.862
11	-0.001	-0.910	-9.561
12	-0.018	-1.063	-9.819
13	-0.037	-1.242	-10.417
14	-0.059	-1.423	-9.840
15	-0.084	-1.575	-9.534
16	-0.112	-1.724	-9.247
17	-0.143	-1.890	-9.551
18	-0.175	-2.057	-9.271
19	-0.211	-2.205	-9.545
20	-0.249	-2.351	-9.818



Figura 7

Gráfica de aceleración respecto al tiempo (t, a_x)



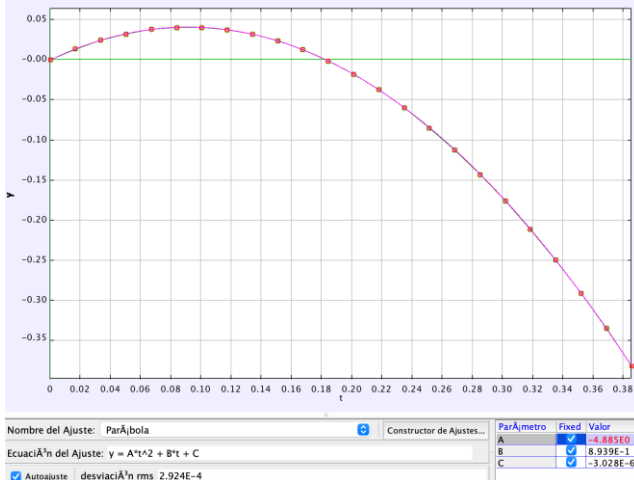
En función a la pendiente de la gráfica de la figura 7 (t, a_x), la componente de la velocidad en x es:

$$a_x = 0 \quad (14)$$

Gráficas y ecuaciones de las componentes verticales

Figura 8

Gráfica de posición respecto al tiempo en (t, y)

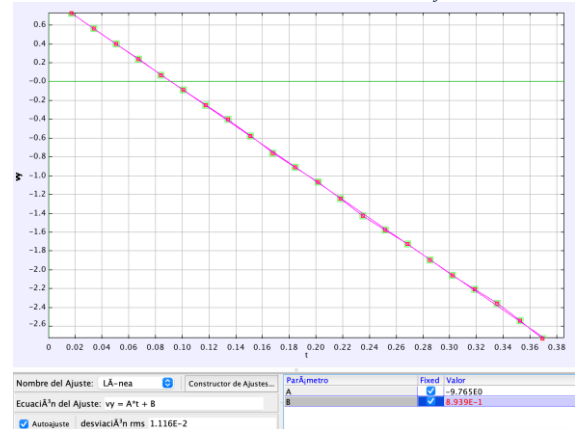


De acuerdo con la pendiente de la gráfica de la figura 8 (t, y), la componente de la velocidad en x es:

$$y = -4.885 t^2 + 0.894 t \quad (15)$$

Figura 9

Gráfica de velocidad respecto al tiempo en (t, v_y)

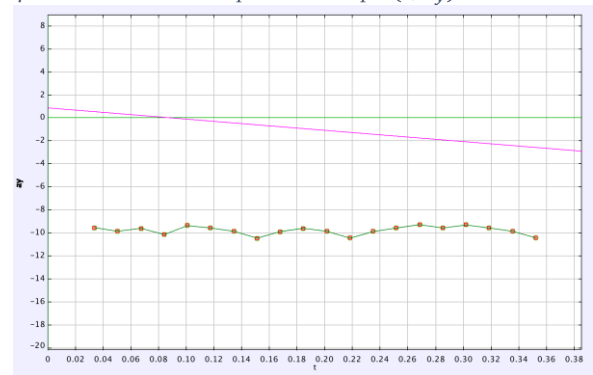


En relación con la pendiente de la gráfica de la figura 9 (t, v_y), la componente de la velocidad en x es:

$$v_y = -9.765 t + 0.893 \quad (16)$$

Figura 10

Gráfica de aceleración respecto al tiempo (t, a_y)



Acorde a la pendiente de la gráfica de la figura 10 (t, v_y), la componente de la aceleración en y es:

$$a_y = -9.765. \quad (17)$$

Alcances máximos horizontal y vertical

- k) Obtención de los parámetros $y_0, (v_0)_y, x_0, v_0, \theta$ desde las tablas de Tracker (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros para cálculos de alcances máximos y ecuación experimental

Posición inicial y_0 (m)	Posición inicial x_0 (m)	Velocidad inicial $(v_0)_y$ (m/s)	Velocidad inicial v_0 (m/s)	Angulo disparo θ (°)
0.013	0.022	0.733	1.517	28.9



- l) Obtención de los alcances máximos experimentales horizontal y vertical desde las tablas del Tracker.
- m) Cálculo de los alcances máximos teórico horizontal y vertical con las ecuaciones (7) y (10) (Tabla 4).
- n) Cálculo del porcentaje de error de los alcances máximos (Tabla 4).

Tabla 4. Alcances máximos experimental y teóricos y porcentaje de error

Alcance	Experimental	Teórico	Error (%)
Horizontal $x_{max} (m)$	0.228	0.221	1.5
Vertical $y_{max} (m)$	0.041	0.040	3.28

Ecuación y gráfica de trayectoria

- o) Obtención de la ecuación de trayectoria teórica mediante la ecuación (11) (Tablas 5 y 6).

$$y = (\tan \theta)x - \frac{1}{2} \left(\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} \right) x^2$$

$$y = C + Bx - Ax^2$$

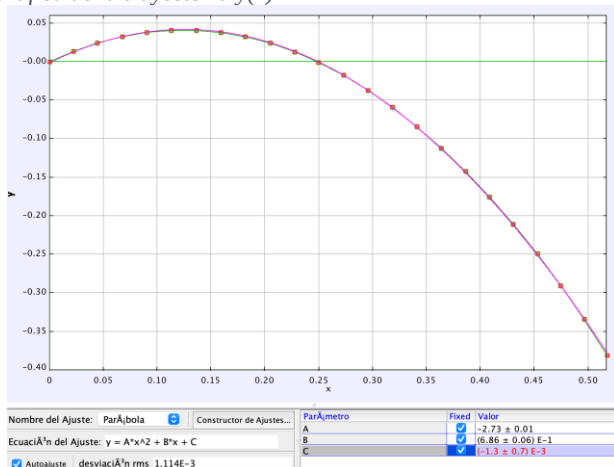
Tabla 5. Cálculo de los parámetros de la ecuación de trayectoria teórica

$B = (\tan \theta)$	$A = \frac{1}{2} \left(\frac{g}{v_0^2 \cos^2 \theta} \right)$
0.552	2.781

- p) Obtención de la gráfica experimental de la trayectoria desde el software Tracker.

Figura 11

Gráfica de la trayectoria $y(x)$



- q) Obtención de la ecuación de la trayectoria experimental $y(x)$ de la gráfica de la figura 11. (Tabla 6).

Tabla 6. Ecuación de trayectoria, teórica y experimental

Tipo	Ecuación
Teórica	$y = -2.781x^2 + 0.552x$
Experimental	$y = -2.730x^2 + 0.686x$

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Componentes horizontales

Los resultados obtenidos las componentes horizontales de los parámetros de movimientos de una partícula que se mueve en forma curvilínea tipo tiro parabólico muestran que para el caso de la aceleración como lo muestra la gráfica de la Figura 7 oscila en alrededor de cero, por lo que se cumple con lo establecido en la teoría de que la componente es cero. En cuanto a la componente de la velocidad la tabla 1 muestra que el valor oscila entre una magnitud de 1.31 m/s y 1.38 m/s , obteniéndola por la pendiente de la gráfica (t, x) el valor es de 1.349 m/s por lo que se cumple con lo establecido en la teoría de que debe ser un valor constante, gráfica de la Figura 6. Para la componente de la posición como lo muestra la gráfica de la Figura 5, los valores aumentan constantemente de forma lineal, desde un valor de 0.022 m hasta 0.453 m (Tabla 1), cumpliendo con los establecido en la teoría.

Componentes verticales

Los resultados obtenidos para las componentes verticales de los parámetros de movimientos de una partícula que se mueve en forma curvilínea tipo tiro parabólico muestran que para el caso de la aceleración como se ve en la gráfica de la Figura 10 oscila entre 9.3 m/s^2 hasta 10.4 m/s^2 (Tabla 2) considerándola constante y cercana al valor de la gravedad. El valor de la aceleración obtenido por la pendiente de la gráfica (t, v_y) es de -9.78 m/s^2 por lo que se cumple con lo establecido en la teoría de que la magnitud de la componente es el valor de la gravedad. En cuanto a la componente de la velocidad la tabla 2 muestra que inicia con un valor máximo de 0.773 m/s y disminuye hasta un valor de cero cuando la partícula alcanza su altura máxima a partir de ahí empieza a aumentar negativamente como lo muestra la gráfica de la Figura 9 en forma constante hasta un valor de -2.351 m/s . Para la componente de la posición como lo muestra la gráfica de la Figura 5, los valores varían en forma parabólica, iniciando con un valor cercano a cero de 0.013 m , (Tabla 2) alcanzando su valor máximo positivo de 0.041 m y a partir de ahí moviéndose en sentido negativo, pasando por el nivel de cero y teniendo su máximo negativo de -0.249 m .

Ecuaciones paramétricas

En cuanto a las ecuaciones paramétricas obtenidas de las gráficas mencionadas, para el caso de las componentes horizontales las ecuaciones (12, 13 y 14), muestran que son acorde al comportamiento mencionado en la teoría, así mismo pasa con las ecuaciones de las componentes verticales, las ecuaciones (14, 15 y 16) cumplen con el comportamiento establecido en la teoría.



Alcance máximo horizontal y vertical

El valor obtenido del alcance máximo horizontal en forma experimental fue de 0.228 m mientras que el calculado fue de 0.221 m teniendo un porcentaje de error del 1.5% , en cuanto al alcance máximo vertical experimental el valor fue de 0.041 m mientras que el calculado fue de 0.040 m , teniendo un porcentaje de error del 3.28% .

Ecuación de la trayectoria

La ecuación obtenida de la trayectoria de la partícula en forma experimental es $y = -2.730x^2 + 0.686x$, comparando con la ecuación calculada la cual es $y = -2.781x^2 + 0.552x$ analizando cada una de los parametros de cada ecuación se observa que son muy similares en cada uno de ellos.

CONCLUSIONES

Una de las necesidades que tiene actualmente el Departamento de Física de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán es el bajo presupuesto que tiene anualmente lo que limita en la compra de equipo para ampliar el número de equipos que puede usarse en cada una de las brigadas que cuenta el laboratorio en las asignaturas de Cinemática y Dinámica, Física II y Mecánica Clásica, la presente practica junto con otras que se han desarrollada con el software de análisis de video Tracker permite que más alumnos puedan interactuar y tengan un mejor aprendizaje del tipo de movimiento que se está analizando en cada práctica, además de que como se comentó en el resumen, ésta fue desarrollada por las necesidades que se tuvieron durante la pandemia Covid 19 entre los meses de Marzo de 2020 hasta marzo de 2022, las cuales fueron de brindar prácticas que pudieran llevar a cabo los estudiantes y profesores a distancia, por lo que se pueden desarrollar en forma presencial, híbrida o a distancia, inclusive en asignaturas que no cuenta con laboratorio experimental.

Los resultados obtenidos demuestran que el análisis de movimiento de una partícula que se mueve en forma curvilínea tipo tiro parabólico se puede llevar a cabo con el software de análisis de video Tracker de forma efectiva ya que los datos obtenidos de las tablas, gráficas y ecuaciones de las componentes paramétricas de movimiento horizontal y vertical experimentales comparándolos con los teóricos muestran mínimas diferencias, con porcentaje de error bajos, el comportamiento de dicho movimiento es acorde a lo que nos marca la teoría con lo que los alumnos podrán comprobar el comportamiento del movimiento estudiado.

NOMENCLATURA

v_0 = Magnitud del vector de velocidad inicial (m/s)
 a_x = componente horizontal vector de aceleración (m/s²)
 v_x = componente horizontal del vector de velocidad (m/s)
 x = componente horizontal del vector de posición (m)
 $(v_0)_x$ = componente horizontal vector velocidad inicial (m/s)
 x_0 = componente horizontal del vector posición inicial (m)
 a_y = componente vertical del vector de aceleración (m/s²)
 v_y = componente vertical del vector de velocidad (m/s)
 y = componente vertical del vector de posición (m)
 $(v_0)_y$ = componente vertical del vector velocidad inicial (m/s)

y_0 = componente vertical del vector de posición inicial (m)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

t = tiempo (seg)

θ = angulo de disparo (°)

x_{max} = alcance maximo horizontal (m)

y_{max} = alcance maximo vertical (m)

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brown D., Christian W. y Hanson R. M., *Software Tracker Video Analysis and Modeling Tool* (2023), <https://physlets.org/tracker/>
- [2] Hibbeler, R. C., *Mecánica Vectorial para Ingenieros. Dinámica*, 2010, 12ª edición, pp. 32 – 39
- [3] Garzón, G. P. A. R., & Villate, M. A. M. (2022). Cálculo de las ecuaciones del movimiento parabólico usando Tracker. *Revista Educación En Ingeniería*, 17(33), 45–51. Retrieved from <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/1183>
- [4] Mondragón, S. J. A. (2018) Tracker: Una herramienta para el análisis y modelado del movimiento de objetos en el laboratorio de dinámica. Universidad Iberoamericana de Puebla. Repositorio Institucional. <https://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/3822>

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Roberto Reyes Arce: Ingeniero Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Educación de la Universidad del Valle de México

Yesenia Sánchez Fuentes: Ingeniera Mecánica Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestra en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, del Instituto Politécnico Nacional

José Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Juan Rogelio Castro Sánchez: Ingeniero Mecánico Electricista de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Norma Daniela Hernández Rodríguez: Estudiante de la carrera Ingeniería Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM

Pablo Osnaya Osnaya: Estudiante de la carrera Ingeniería Industrial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM