

Guía de Laboratorio: Análisis del Movimiento Parabólico

Preparado por: Prof. Dr. José Hernández-Jiménez
Curso de Física I

Resumen

Introducción

En esta práctica se estudia el movimiento parabólico mediante el lanzamiento manual de una esfera. El experimento se graba en video y se analiza con el software *Tracker* para obtener datos de posición y tiempo. A partir de los gráficos $x(t)$ y $y(t)$, se identifican las funciones que describen el movimiento horizontal uniforme y el movimiento vertical uniformemente acelerado. El objetivo es comprender la trayectoria parabólica, calcular parámetros como la velocidad inicial, la aceleración y el alcance, y relacionar los resultados experimentales con las ecuaciones del Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU) y del Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA).

Marco Teórico

El movimiento parabólico es una forma de movimiento bidimensional que se produce cuando un objeto es lanzado con una velocidad inicial que forma un ángulo con la horizontal. Este tipo de movimiento se puede descomponer en dos componentes independientes:

- **Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)** en el eje horizontal (x), donde la velocidad se mantiene constante:

$$x(t) = v_{0x} \cdot t = v_0 \cdot \cos(\theta) \cdot t \quad (1)$$

- **Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA)** en el eje

vertical (y), donde actúa la aceleración de la gravedad (g):

$$y(t) = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 = v_0 \cdot \sin(\theta) \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

Combinando ambas expresiones se obtiene la ecuación de la trayectoria, que corresponde a una parábola:

$$y(x) = x \cdot \tan(\theta) - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2(\theta)}x^2 \quad (3)$$

Donde:

- v_0 es la velocidad inicial del proyectil.
- θ es el ángulo de lanzamiento respecto a la horizontal.
- g es la aceleración de la gravedad (aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$).

Además, existen dos cantidades relevantes que caracterizan este tipo de movimiento:

- **Altura máxima (H_{\max})**: es el punto más alto que alcanza el proyectil durante su trayectoria, y se calcula como:

$$H_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2(\theta)}{2g} \quad (4)$$

- **Alcance máximo horizontal (R)**: es la distancia horizontal total recorrida por el proyectil antes de tocar el suelo (suponiendo lanzamiento y recepción al mismo nivel):

$$R = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\theta)}{g} \quad (5)$$

Finalmente, el análisis experimental de los gráficos $x(t)$ y $y(t)$ permite obtener parámetros físicos clave. En particular:

- La pendiente del gráfico $x(t)$ corresponde a la componente horizontal de la velocidad: v_{0x} .
- El gráfico $y(t)$ tiene forma parabólica; si se ajusta con la expresión $y(t) = at^2 + bt + c$, se puede recuperar la aceleración como $g = -2a$, y la componente vertical inicial como $v_{0y} = b$.

Este marco teórico proporciona las bases para analizar y modelar el movimiento parabólico, y se puede verificar experimentalmente utilizando herramientas como Tracker y ajustes de curvas.

Requerimientos para el montaje experimental

- Pelota ligera (ping pong, icopor, antiestrés o similar).
- Regla métrica u objeto de referencia de tamaño conocido.
- Celular con cámara (preferiblemente con cámara lenta).
- Trípode o soporte para el celular (muy recomendable).
- Computadora o tablet con acceso a la aplicación Tracker.

Recomendación: Entre más grande sea la pelota, mejor será el seguimiento (tracking) en el video.

3. Actividad: Registro en video y análisis con Tracker

1. Elige un lugar plano, con buena iluminación y fondo contrastante.
2. Coloca un objeto de tamaño conocido (por ejemplo, una regla de 20 cm) visible en todo el recorrido.
3. Monta el celular en un trípode o soporte para que no se mueva durante la grabación.
4. Lanza la pelota con la mano, haciendo un movimiento suave en un plano perpendicular a la cámara.
5. Graba el lanzamiento en cámara lenta o a máxima resolución.
6. Asegúrate de que toda la trayectoria de la esfera sea visible en el video.
7. Transfiere el video al computador y ábrelo con TRACKER para el análisis.

3 bis.

Con el fin de profundizar en la comprensión del movimiento parabólico, realiza otros **dos** lanzamientos con diferentes condiciones iniciales. Para cada uno, graba un video y realiza el análisis como se describe en las secciones anteriores.

1. Realiza las grabaciones, variando intencionalmente el ángulo de lanzamiento y/o la velocidad inicial en cada caso.
2. Asegúrate de que en cada video la trayectoria completa de la esfera sea claramente visible.
3. Analiza cada lanzamiento de manera independiente en TRACKER, exporta los datos y usa el notebook de ajuste

para obtener los parámetros físicos de cada trayectoria (v_{0x} , v_{0y} , v_0 , θ).

4. Asegúrate de etiquetar claramente cada conjunto de resultados como Trayectoria 1, Trayectoria 2 y Trayectoria 3.

Comparación: Incluye en tu informe una sección de comparación entre las tres trayectorias. Discute:

- ¿Cuál trayectoria tuvo el mayor alcance horizontal? ¿Cuál alcanzó mayor altura?
- ¿Qué influencia tuvo el ángulo de lanzamiento en la forma de la parábola?
- ¿Cómo varió la velocidad inicial entre los tres casos?
- ¿Qué conclusiones puedes sacar sobre la relación entre las condiciones iniciales y la forma de la trayectoria?

4. Instalación y uso de Tracker:

La idea es usar el programa TRACKER para hacer el Tracking (seguimiento) de la esfera en el video grabado durante la experiencia, y de esta forma poder obtener las curvas de $x(t)$ y $y(t)$ y hacer un análisis del movimiento parabólico.

Antes de usar TRACKER, primero vea este ejemplo de una guía rápida de TRACKER <https://www.youtube.com/watch?v=n4Eqy60yYUY>. El video está en inglés, pero puede activar subtítulos en español.

TRACKER puede ser instalado o accedido en línea (aunque corre más lentamente):

- Instalador para Windows: <https://physlets.org/tracker/installers/download.php?file=Tracker-6.2.0-windows-x64-installer.exe>

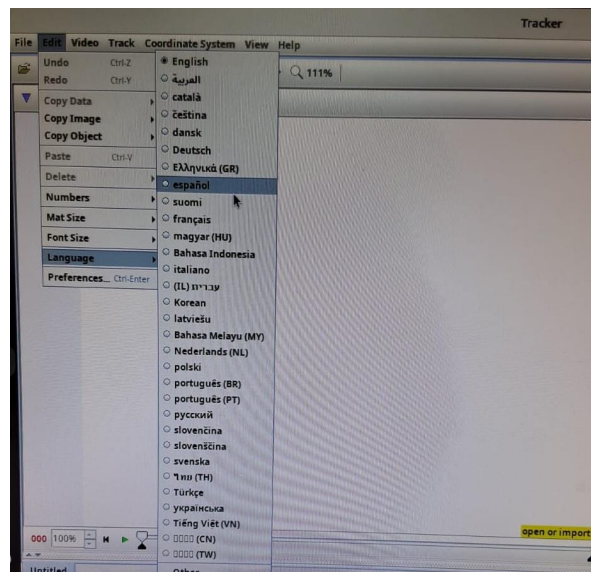


Figura 1: Cambio de lenguaje en TRACKER.

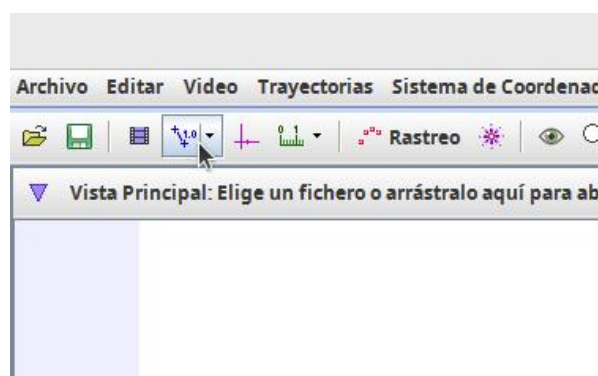


Figura 2: Calibrando la imagen en TRACKER.

- Versión en línea: <https://opensourcephysics.github.io/tracker-online/>
- Sitio oficial: <https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/>

Pasos para el análisis con Tracker

Una vez instalado TRACKER, abra el programa y siga los siguientes pasos:

1. Cambia el idioma a español: Edit → Language → Spanish. Ver Fig. 1.
2. Abre el video: Archivo → Abrir.

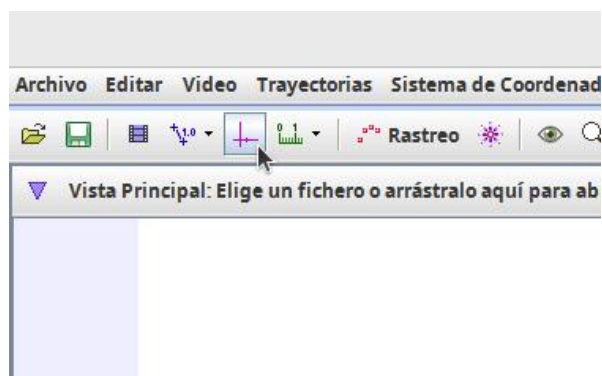


Figura 3: Estableciendo los ejes de coordenadas en TRACKER.

3. Calibración del video:

- Haz clic en el **cuarto botón** de izquierda a derecha, ver Fig. 2.
- Aparecerá una regla de calibración, muevela y ajústala sobre el objeto de referencia.
- Introduce la medida del objeto de calibración en metros (Por ej., si usó una regla de 30 cm, entonces coloque 0,3).

4. Establecimiento de los ejes de coordenadas:

- Primero, escoja el frame (cuadro) donde va comenzar el tracking.
Recomendación: Escoja como primer cuadro el momento que la esfera sale de la mano, de tal forma que es fácil definir los ejes de coordenadas.
- Haz clic en el **quinto botón** de izquierda a derecha, ver Fig. 3.
- Aparecerá unos ejes coordenados, coloca el origen y orientación de los ejes sobre el centro de la esfera (recuerde que se puede hacer un zoom en el frame escogido para mayor precisión), tomé cuidado que el eje horizontal coincida con

el plano horizontal del movimiento parabólico.

5. Rastreamiento de la trayectoria de la esfera:

- Haz clic en el **séptimo botón** de izquierda a derecha, ver Figura. Selecciona **Nuevo → Masa puntual**.
- Aparecerá un puntero, haga clic, presionando al mismo tiempo la tecla **Shift**, en el centro de la esfera.
- En seguida aparecerá el próximo frame, vuelva a clickar (presionando al mismo tiempo la tecla **Shift**) en el centro de la esfera.
- Repetir el tracking en cada frame hasta que la esfera sea capturada de nuevo.

6. Exportando los datos:

- Archivo → Exportar → Archivo de datos.
- Escoge **espacio** como delimitador.
- En “Formato de números”, selecciona **Como formateo**.
- Guarda el archivo.

5. Análisis con el notebook de ajuste

Usa el notebook compartido en Classroom. Cargue el archivo de datos exportado de Tracker. Siga las siguientes instrucciones:

1. Cargue el archivo de datos.
2. A todos los valores de la columna de tiempo, réstele el valor inicial del tiempo para que todas las medidas del tiempo

po comiencen desde cero. Repita el mismo procedimiento para las columnas de las variables $x(t)$ y $y(t)$ (resteles sus respectivos valores iniciales), de tal forma que ahora todos los valores iniciales para las columnas sean cero ($x = y = t = 0$).

3. Haga los gráficos x vs. t , y vs. t y y vs. x .
4. Ajusta una línea recta (x vs. t) usando la ecuación del MRU: $x = v_x t + x_0$. Certifique que el valor ajustado para x_0 sea cercano a cero, ¿Por qué?
5. ¿Qué representa la pendiente de esta recta?
6. Ajusta una parábola (y vs. t) usando la ecuación del MRUA: $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}at^2$. Certifique que el valor ajustado para y_0 sea cercano a cero, ¿Por qué?
7. ¿Qué valor obtuviste para v_{0y} y para la aceleración vertical a ?, ¿Es el valor de a cercano a $-9,8 \text{ m/s}^2$?
8. Calcula la velocidad inicial $v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$.
9. Calcula el ángulo inicial de lanzamiento $\theta = \arctan\left(\frac{v_{0y}}{v_{0x}}\right)$.
10. Con los valores ajustados para v_0 , θ y g use las ecuaciones dadas en la Sección del Marco teórico para calcular la Altura Máxima y el Alcance Máximo. Compare con los valores observados en el gráfico y vs. x , ¿los valores se aproximan? sino, ¿cuáles serían los motivos para la discrepancia?

6. Preguntas de análisis

1. ¿Qué tipo de función representa el gráfico x vs. t ? ¿Qué indica su pendiente?

2. ¿Qué tipo de función representa el gráfico y vs. t ? ¿Qué información da la concavidad?
3. ¿Se conserva constante la aceleración vertical? ¿Qué tanto se aproxima al valor teórico de la gravedad?
4. ¿Qué fuentes de error pueden haber afectado los resultados (grabación, seguimiento, etc.)?
5. ¿Qué mejorarías en una repetición del experimento?

7. Conclusión

Escribe una sobre lo aprendido en relación con el movimiento parabólico, el uso de herramientas digitales y los resultados obtenidos.

8. Entrega del trabajo

Cada grupo debe entregar un informe en PDF que contenga las siguientes secciones:

1. Introducción/Marco Teórico.
2. Sección de Materiales
3. Montaje/Ejecución del experimento:
 - Montaje.
 - Objeto de referencia (¿Qué objeto se usó?, su tamaño).
 - Capturas de los videos o enlace a los videos.
4. Sección de Resultados con:
 - Gráficos x vs. t , y vs. t , y la tabla con los datos de Tracker (x, y, t) para cada una de las tres trayectorias.
5. Sección de Análisis con:

- Las ecuaciones de ajuste y los detalles de la ejecución del programa de ajuste, y los parámetros de ajuste.
- Gráficos de los ajuste de las curvas x vs. t , y vs. t para cada una de las tres trayectorias.
- Tabla con los parámetros ajustados (v_0 y θ) para las tres trayectorias.
- Gráficos y vs. t con las tres trayectorias para facilitar la comparación.

6. Sección de Análisis con:

- Respuestas todas las preguntas de las secciones (3 bis, 5 y 6) de la Guía.

7. Recomendaciones

8. Conclusión final.

Medio de entrega: Class Room.