

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA ELECTRICA, ELECTRONICA Y

SISTEMAS



Informe N° 1 de Experimento

Tema: *Movimiento parabólico de un proyectil*

Escuela Profesional: Ingeniería de Sistemas

Asignatura: Laboratorio de Física I

Presentado por: Jhon Deyvis Romario Mamani Machaca

Código: 236754

Grupo: 136

Docente: Lic. MACHACA CONDORI Álvaro Diego

Semestre: II

2024 – II



1. RESUMEN

Este informe presenta un experimento sobre el movimiento parabólico de un proyectil, cuyo objetivo principal fue comprobar las ecuaciones que describen dicho movimiento y comparar los resultados obtenidos en el experimento con los valores teóricos. El procedimiento incluyó la medición de la velocidad inicial y el tiempo de vuelo del proyectil para varios ángulos de lanzamiento, utilizando un lanzador de proyectiles y fotopuertas para obtener datos precisos. Los resultados experimentales mostraron una concordancia razonable con las predicciones teóricas, aunque se encontraron discrepancias debido a factores no considerados, como la resistencia del aire y posibles errores en las mediciones.

2. OBJETIVOS

Comprobar las ecuaciones correspondientes al movimiento de un proyectil.

Comparar datos teóricos y experimentales del alcance máximo y la velocidad inicial.

Medir la velocidad de un proyectil y su tiempo de vuelo.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Para Tipler (2014) El movimiento parabólico ocurre cuando un objeto es lanzado con una velocidad inicial que tiene componentes horizontales y verticales. El movimiento en la dirección horizontal se mantiene constante, ya que no hay fuerzas actuando sobre él, mientras que, en la dirección vertical, la gravedad provoca una aceleración uniforme hacia abajo. Como resultado, el objeto sigue una trayectoria curva o parabólica al combinar estos dos movimientos. Además, considerando que la única fuerza que actúa sobre el proyectil es su propio peso, la segunda ley de Newton en forma de componentes rectangulares, indica que la componente horizontal es nula, y como componente vertical está dirigida hacia abajo realizando un movimiento igual a la de caída libre, entonces se cumple:

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{\sum F_x}{m} = 0 \\ a_y &= \frac{\sum F_v}{m} = \frac{-mg}{m} = -g \end{aligned} \quad (1)$$

En virtud de la ecuación (1), se concluye que el movimiento puede definirse como una combinación de movimiento horizontal a velocidad constante y movimiento vertical uniformemente acelerado.

3.1. Movimiento parabólico de un proyectil

En este caso se lanza un objeto con cierto ángulo de elevación respecto a un plano horizontal de referencia, tal como se ve en la Figura 1. La velocidad en el punto origen o donde inicia su recorrido está representada por el vector $\vec{v} \rightarrow \vec{v}_0 \rightarrow$ (velocidad inicial), en este punto hacemos por conveniencia $t = 0$, luego designamos el "ángulo de tiro" como θ_0 de modo que se puede descomponer la velocidad inicial en:

Una componente horizontal:

- Por el movimiento uniforme

$$x = x_0 + v_{0x}t$$
$$\frac{d(x)}{dt} = \frac{d(v_{0x}t)}{dt}$$

$$v_x = v_0 \cos \theta_0; \text{cte.} \quad (2)$$

Una componente vertical:

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$
$$\frac{d(y)}{dt} = \frac{d(v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2)}{dt}$$

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt \quad (3)$$

Puesto que la aceleración horizontal a_x es nula tal como se ve en la ecuación (1), la componente horizontal v_x de la velocidad permanece constante durante el movimiento, para cualquier instante posterior $t > 0$. Y la aceleración vertical a_y es igual a g , pero en ascenso lo cual genera una desaceleración del objeto.

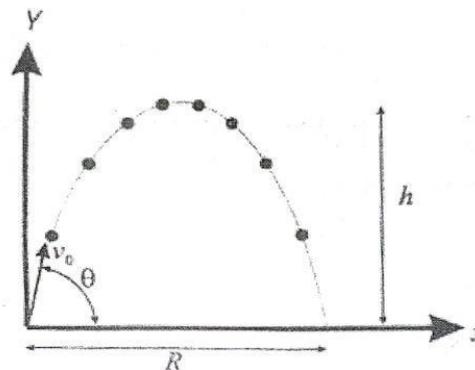


Figura 1. Trayectoria de un proyectil, lanzado con un ángulo de elevación θ_0 , y con velocidad inicial v_0



El vector velocidad v es tangente en todo instante a la trayectoria. Luego como v_x es constante, la abscisa "x" (alcance) en un instante cualquiera es:

$$\begin{aligned}v_x &= v_0 \cos \theta_0 \\ \frac{d(x)}{dt} &= v_0 \cos \theta_0 \\ \int dx &= \int v_0 \cos \theta_0 dt \\ x &= (v_0 \cos \theta_0)t\end{aligned}\quad (4)$$

y la ordenada "y" es:

$$\begin{aligned}v_y &= v_0 \sin \theta_0 - gt \\ \frac{d(y)}{dt} &= v_0 \sin \theta_0 - gt \\ \int dy &= \int (v_0 \sin \theta_0 - gt) dt \\ y &= (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}\quad (5)$$

En el tiro con ángulo de elevación mayor a cero, el tiempo requerido para que el proyectil alcance la máxima altura h , lo calculamos haciendo $v_y = 0$ en la ecuación (3),

Entonces:

$$\begin{aligned}v_y &= v_0 \sin(\theta_0) - gt \\ 0 &= v_0 \sin(\theta_0) - gt \\ gt &= v_0 \sin(\theta_0) \\ t_{sub} &= \frac{v_0 \sin(\theta_0)}{g}\end{aligned}\quad (6)$$

La "altura máxima" se obtiene sustituyendo (6) en la ecuación (5), lo cual da como resultado lo siguiente:

$$\begin{aligned}y &= (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \\ y &= (v_0 \sin \theta_0)\left(\frac{v_0 \sin(\theta_0)}{g}\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{v_0 \sin(\theta_0)}{g}\right)^2 \\ y &= \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{g} - \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{g} \\ h_{max} &= \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2g}\end{aligned}\quad (7)$$

El tiempo necesario para que el proyectil retorne al nivel de referencia de lanzamiento se denomina "tiempo de vuelo", y es el doble del valor dado por la ecuación (6), reemplazando este valor en la ecuación (4), puede calcularse el "alcance máximo", es decir la distancia horizontal recorrida, esto es:

$$\begin{aligned}t_{\text{vuelo}} &= \frac{2v_0 \text{sen}(\theta_0)}{g} \\ \frac{x}{(v_0 \cos \theta_0)} &= t \\ \frac{x}{(v_0 \cos \theta_0)} &= \frac{2v_0 \text{sen}(\theta_0)}{g} \\ x &= \frac{2v_0 \text{sen}(\theta_0)(v_0 \cos \theta_0)}{g} \\ x &= \frac{(v_0 v_0)(2 \text{sen} \theta_0 \cos \theta_0)}{g} \\ R &= \frac{v_0^2 \text{sen}(2\theta_0)}{g}\end{aligned}\quad (8)$$

La ecuación de la trayectoria se obtiene despejando t en la ecuación (4) y reemplazando este valor en la ecuación (5), nos da la ecuación de una parábola.

$$\begin{aligned}\frac{x}{(v_0 \cos \theta_0)} &= t \\ y &= (v_0 \text{sen} \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \\ y &= (v_0 \text{sen} \theta_0)\left(\frac{x}{(v_0 \cos \theta_0)}\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{(v_0 \cos \theta_0)}\right)^2 \\ y &= (x)\left(\frac{v_0 \text{sen} \theta_0}{(v_0 \cos \theta_0)}\right) - \frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \theta_0} \\ y &= x \tan \theta_0 - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}x^2\end{aligned}\quad (9)$$

3.2. Teoría de errores:

A menudo, en estos laboratorios hay que comparar un valor obtenido por medición con un valor estándar o generalmente aceptado. Para cuantificarlo, se puede calcular el porcentaje de error, que se define del siguiente modo.

$$E\% = \left| \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teórico}} \right| \times 100\%$$

4. EQUIPOS Y MATERIALES DE LABORATORIO

- Computadora personal.
- Programa capstone instalado.
- Interface Science Workshop 850.
- Sistema lanzador de proyectiles (ME-6831).
- Adaptador para fotopuerta.
- Dos fotopuertas (ME-6821).
- Papel carbón, papel bond.

- Esfera de plástico (proyectil).
- Accesorio de tiempo de vuelo.
- Una regla de 1m.
- Soporte universal, flexómetro 2m.
- Abrazadera.
- Gafas protectoras.

5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

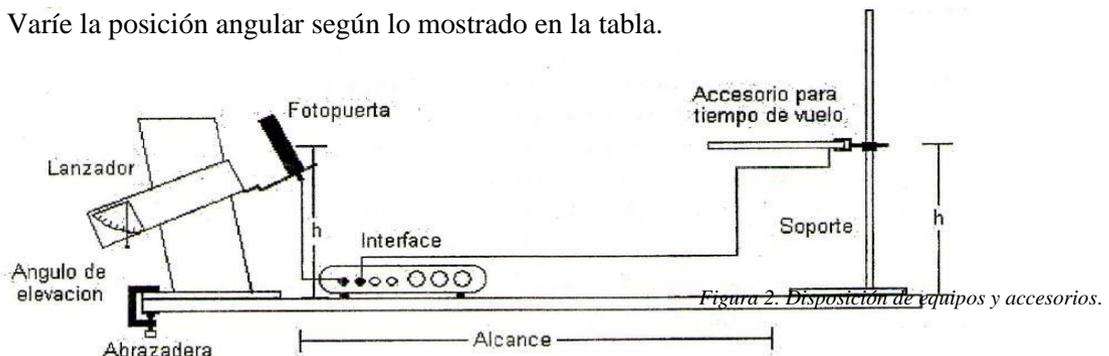
Procedimiento para configuración de equipos y accesorios.

5.1. Movimiento Parabólico.

1. Corroborarla adecuada conexión e instalación de la interface.
2. Ingresar al programa Capstone.
3. Seleccionar fotopuerta, de la lista de sensores y efectuar la conexión usando los cables para transmisión de datos, de acuerdo a lo indicado por Capstone.
4. Ingresar a la configuración del temporizador, para la fotopuerta y el accesorio para tiempo de vuelo.
5. Coloque las fotopuertas en el adaptador y luego en el extremo del lanzador de proyectiles.
6. Efectúe el montaje de dispositivos y accesorios tal como se muestra en la Figura 2.

5.2. Segunda actividad (determinación de la velocidad inicial)

1. Verifique la elevación angular del lanzador de proyectiles.
2. Inserte con ayuda del tubo atascador la esfera de plástico o acero, en la primera posición (alcance corto) de compresión del resorte según sea el caso.
3. Verificar la puntería, esta debe coincidir con la dirección del accesorio de tiempo de vuelo.
4. Pulsar el botón inicio.
5. Tirar suavemente del cable que activa el disparador.
6. Verificar el punto de alcance máximo correspondiente; de ser necesario ajuste la distancia de ubicación del accesorio de tiempo de vuelo.
7. Anote el valor en la Tabla 2 del alcance máximo (fotopuerta al punto del impacto en el plano), el tiempo de vuelo, el ángulo empleado y anote la velocidad inicial en la Tabla 1; realice esta operación tres veces y tome el promedio.
8. Varíe la posición angular según lo mostrado en la tabla.



6. RESULTADOS

Tabla 1

Datos registrados para la velocidad inicial y tiempo de vuelo, usando la esfera de plástico.

Ángulo de tiro (°)	Intento	Tiempo de vuelo (s)	Velocidad inicial experimental (m/s)	Velocidad inicial teórica (m/s)	Error porcentual (%)
0.437 (25°)	1	0.26	3.26	3.00	8.81
	2	0.26	3.27	3.00	9.14
	3	0.26	3.27	3.00	9.14
	Promedio	0.26	3.266	3.00	9.03
0.524 (30°)	1	0.31	3.25	3.02	7.64
	2	0.31	3.24	3.02	7.31
	3	0.32	3.25	3.12	4.27
	Promedio	0.313	3.246	3.05	6.41
0.698 (40°)	1	0.42	3.20	3.18	0.56
	2	0.42	3.20	3.18	0.56
	3	0.42	3.19	3.18	0.25
	Promedio	0.42	3.196	3.18	0.46
0.785 (45°)	1	0.47	3.17	3.24	2.07
	2	0.46	3.15	3.17	0.57
	3	0.46	3.17	3.17	0.06
	Promedio	0.463	3.163	3.19	0.86
0.873 (50°)	1	0.49	3.12	3.12	0.16
	2	0.50	3.16	3.18	0.59
	3	0.50	3.13	3.18	1.53
	Promedio	0.496	3.136	3.16	0.65
1.047 (60°)	1	0.57	3.12	3.21	2.66
	2	0.57	3.10	3.21	3.29
	3	0.57	3.11	3.21	2.97
	Promedio	0.57	3.11	3.21	2.97

Tabla 2

Datos registrados para alcance máximo, usando la esfera de plástico.

Ángulo de tiro (°)	Intento	Alcance máximo experimental (m)	Alcance máximo teórico (m)	Error porcentual (%)
0.437 (25°)	1	0.806	0.706	14.16
	2	0.807	0.706	14.31
	3	0.813	0.706	15.16
	Promedio	0.809	0.71	14.54
0.524 (30°)	1	0.925	0.811	14.11
	2	0.924	0.811	13.99
	3	0.931	0.864	7.79
	Promedio	0.927	0.83	11.96
0.698 (40°)	1	1.078	1.024	5.29
	2	1.083	1.024	5.78
	3	1.083	1.024	5.78
	Promedio	1.081	1.02	5.62
0.785 (45°)	1	1.099	1.076	2.16
	2	1.087	1.030	5.48
	3	1.093	1.030	6.07
	Promedio	1.093	1.05	4.57
0.873 (50°)	1	1.066	0.981	8.65
	2	1.083	1.022	6.01
	3	1.073	1.022	5.03
	Promedio	1.074	1.01	6.56
1.047 (60°)	1	0.956	0.914	4.65
	2	0.950	0.914	3.99
	3	0.952	0.914	4.21
	Promedio	0.953	0.91	4.29



7. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1 Toma de datos y error porcentual

La toma de datos experimentales se realizó de acuerdo al procedimiento experimental, en cambio para completar los resultados teóricos a partir de solo contar con los datos del ángulo y tiempo de vuelo, se dedujo las siguientes formulas:

7.1.1 Para la velocidad inicial teórica:

De la ecuación (3) y tomando en cuenta que la velocidad vertical en $t/2$ será nula:

$$v_y = v_0 \text{sen} \theta_0 - gt$$

$$0 = v_0 \text{sen} \theta_0 - g\left(\frac{t}{2}\right)$$

$$v_0 = \frac{gt}{2 \text{sen} \theta_0}$$

Donde $g=9.74$ en la ciudad de Puno; t =tiempo de vuelo y, θ_0 =ángulo de tiro.

7.1.2 Para el alcance teórico:

De la ecuación (4) y teniendo en consideración la formula antes encontrada:

$$x = (v_0 \text{cos} \theta_0)t$$

$$x = \left(\left(\frac{gt}{2 \text{sen} \theta_0}\right) \text{cos} \theta_0\right)t$$

$$x = \frac{gt^2 \text{cot} \theta_0}{2}$$

Donde $g=9.74$ en la ciudad de Puno; t =tiempo de vuelo y, θ_0 =ángulo de tiro.

Posteriormente se completo el resto de la tabla hallando con el error porcentual con la formula dada en la teoría de errores.

7.2 Comparación y contraste de los datos experimentales y teóricos:

En la sección de resultados, se realizó una comparación entre los datos experimentales obtenidos para el movimiento parabólico del proyectil y los valores teóricos calculados. Los resultados fueron presentados en las Tablas 1 y 2, que incluyen la velocidad inicial, el tiempo de vuelo y el alcance máximo del proyectil para diversos ángulos de lanzamiento.

7.2.1 Velocidad inicial (Tabla 1)

Los datos experimentales y teóricos presentados en la Tabla 1 muestran una concordancia razonable, con errores porcentuales que varían según el ángulo de lanzamiento. Por ejemplo, para un ángulo de 25° , el error promedio fue del 9.03%, lo que evidencia una diferencia notable entre los resultados experimentales y teóricos. Sin embargo, al aumentar el ángulo a 40° o 50° , el error porcentual disminuye, lo que indica una mejor correspondencia



entre ambos conjuntos de datos.

En la mayoría de los casos, los errores son relativamente bajos, como en el caso del ángulo de 40° , donde el error es de solo 0.46%, lo que confirma la precisión del experimento en ciertos ángulos. No obstante, en ángulos más extremos, como 60° , el error se incrementa a un promedio de 2.97%, lo que podría deberse a factores no considerados, como la resistencia del aire o errores en las mediciones. Según Tipler y Mosca (2019), los errores en las mediciones de proyectiles pueden atribuirse a factores como la resistencia del aire, que no se incluyen en los cálculos teóricos simples.

7.2.2 Alcance máximo (Tabla 2)

En la Tabla 2, se observan patrones similares en cuanto al alcance máximo del proyectil. Para un ángulo de 25° , el error porcentual promedio fue del 14.54%, uno de los más altos comparado con otros ángulos, lo que sugiere que el alcance teórico es considerablemente menor que el experimental. No obstante, al aumentar el ángulo a 40° o 50° , el error disminuye a aproximadamente 5-6%, indicando una mayor precisión en estos casos. El error más bajo se registró en el ángulo de 60° , con un promedio de 4.29%, lo que implica que, aunque los ángulos mayores tienden a generar más errores en la velocidad inicial, esto no ocurre con el alcance máximo.

Es común encontrar pequeñas discrepancias entre los resultados teóricos y experimentales debido a las limitaciones del equipo y las condiciones del laboratorio, como lo señala Halliday et al. (2021), lo que destaca la importancia de calcular los errores porcentuales. En general, se observó que los ángulos intermedios, como 40° y 45° , presentaron los errores más bajos, tanto en la velocidad inicial como en el alcance máximo, sugiriendo que estos ángulos permiten una mejor comparación entre los valores teóricos y experimentales. Por el contrario, los ángulos menores y mayores tienden a generar discrepancias más grandes, posiblemente debido a factores como la resistencia del aire y la precisión en la medición del tiempo de vuelo y del alcance.

8. CUESTIONARIO

8.1 Movimiento Parabólico

1. ¿Cuáles son los factores que influyen en el movimiento parabólico?

El movimiento parabólico está originado por la velocidad inicial que determina la distancia y altura, el ángulo de lanzamiento que idealmente es de 45 grados para máxima distancia, la gravedad que atrae al objeto hacia el suelo y la resistencia del aire que puede frenar el objeto. También importa la altura desde la que se lanza, en nuestro caso solo se modificó los ángulos lanzados mas no la altura.



2. ¿Qué fuentes de error se presenta en el experimento?

Que la abrazadera y el lanzador presentaban algunos problemas por la falta de resortera elástica y a la falta de un perno en el lanzador el cual no permitía que este se lance bien o caiga de buena manera para registrar los datos para obtener una cantidad mínima de error en el cálculo de datos.

3. Describe cómo cambiaron la velocidad en la dirección "X" y la velocidad en la dirección "Y" del proyectil durante su vuelo. Dibuje un diagrama.

Durante el vuelo de un proyectil, la velocidad en dirección "X" se mantiene constante, ya que no hay fuerzas horizontales que la afecten. En dirección "Y", la velocidad disminuye al subir, se vuelve cero en el punto máximo, y luego aumenta en magnitud al caer debido a la gravedad. Esto crea una trayectoria en forma de parábola.

4. Compare los resultados obtenidos en la tabla 1 del tiempo de vuelo experimental con el tiempo de vuelo calculado teóricamente y determine el error porcentual correspondiente.

El error porcentual entre el tiempo de vuelo experimental y teórico varía entre 0.46% y 9.03%, siendo más preciso a ángulos mayores.

5. Sin tener en cuenta la resistencia del aire, ¿en qué dirección actuaba la fuerza sobre el proyectil durante el vuelo? ¿En qué dirección se aceleraba el proyectil durante el vuelo?

La única fuerza que actúa sobre el proyectil durante su vuelo es la gravedad, que siempre actúa hacia abajo, en dirección vertical. Esta fuerza provoca que el proyectil se acelere también hacia abajo, con una aceleración constante de aproximadamente 9.81 m/s^2 . Independientemente de si el proyectil está subiendo o bajando, la aceleración debida a la gravedad permanece constante y negativa en términos de la dirección del movimiento vertical, lo que significa que la velocidad vertical del proyectil disminuye al subir hasta llegar a un punto máximo, y luego aumenta al descender. Por lo tanto, en todo momento, la dirección de la fuerza y la aceleración del proyectil es hacia abajo. ¿Qué ángulo θ lanzó el proyectil más lejos? Explica conceptualmente por qué crees que este ángulo proporciona el máximo alcance.

El ángulo de 45° proporciona el mayor alcance, ya que equilibra la magnitud de las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial, haciendo que su trayectoria sea mayor.

6. ¿Qué ángulo lanzó el proyectil más lejos? Explica conceptualmente por qué crees que este ángulo proporciona el máximo alcance.

El proyectil lanzó más lejos fue en el ángulo de 45° grados, esto se debe al $^\circ$ grado de inclinación que se encuentra es decir es pendiente esto en la mayoría de casos origina que vaya más lejos por la inclinación que presenta algo curiosos también es que este ángulo tiene una aceleración y punto de llegue más rápido que algunos debido a que conforma la familia de ángulos de 45° , 90° y 135° las



cuales son algo más compactas que los demás por sus características que las denominan un poco más estrictas.

7. ¿El alcance máximo horizontal puede llegar a ser igual a la máxima altura del proyectil? Si es así, encontrar el ángulo de disparo para el cual se cumple.

El proyectil lanzó más lejos fue en el ángulo de 45° grados, esto se debe al ° grado de inclinación que se encuentra es decir es pendiente esto en la mayoría de casos origina que vaya más lejos por la inclinación que presenta algo curiosos también es que este ángulo tiene una aceleración y punto de llegue más rápido que algunos debido a que conforma la familia de ángulos de 45°, 90° y 135° las cuales son algo más compactas que los demás por sus características que las denominan un poco más estrictas.

8. ¿Qué ángulo se ha empleado para obtener una máxima altura en este experimento? Demostrar.

El máximo ángulo usado (60°), da una mayor velocidad vertical, lo que dará una mayor altura.

Por ejemplo:

$$h_{max} = \frac{v_0^2 \text{sen}^2 \theta_0}{2g}$$
$$\text{En } 60^\circ \rightarrow h_{max} = \frac{(3.21)^2 \text{sen}^2 60^\circ}{2(9.74)} = 0.39m$$
$$\text{En } 50^\circ \rightarrow h_{max} = \frac{(3.16)^2 \text{sen}^2 50^\circ}{2(9.74)} = 0.30m$$

9. Proporciona una explicación conceptual que explique por qué el alcance fue aproximadamente el mismo cuando el ángulo es = 30° y otro ángulo = 60°.

El alcance de un proyectil lanzado a ángulos de 30° y 60° puede ser similar debido a la descomposición de la velocidad inicial en componentes horizontales y verticales. Aunque estos componentes son diferentes para cada ángulo, el tiempo total de vuelo y la distancia horizontal pueden equilibrarse gracias a la simetría de las trayectorias de los ángulos complementarios. Además, la gravedad actúa de la misma manera en ambos casos, lo que contribuye a que ambos proyectiles alcancen el suelo en tiempos que permiten alcances similares.

10. ¿Cuál es el ángulo que maximiza el alcance del proyectil? ¿Por qué?

El ángulo que maximiza el alcance de un proyectil en un lanzamiento ideal es de 45 grados, ya que a este ángulo las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial son iguales. Esto permite que el proyectil alcance una buena altura, maximizando el tiempo en el aire y, a su vez, la distancia horizontal recorrida. Además, la trayectoria es simétrica, lo que significa que el tiempo de subida es igual al de bajada, contribuyendo así a un mayor alcance total. Por estas razones, lanzar un proyectil a 45 grados es óptimo para maximizar su distancia.



11. ¿Cuál es la aceleración de un proyectil disparado verticalmente hacia arriba? ¿Cuál es la aceleración del proyectil hacia abajo? ¿Es positiva o es negativa? Explica tus razones.

La aceleración de un proyectil disparado verticalmente hacia arriba es constante y tiene un valor de aproximadamente -9.81 m/s^2 , debido a la gravedad. Esta aceleración es negativa porque se considera que la dirección positiva es hacia arriba, y la gravedad actúa en sentido opuesto, es decir, hacia abajo. Cuando el proyectil alcanza su punto máximo y comienza a descender, la aceleración sigue siendo -9.81 m/s^2 . Esto significa que, independientemente de si el proyectil está subiendo o bajando, la gravedad siempre actúa hacia abajo con la misma magnitud, causando que la velocidad del proyectil aumente en dirección descendente. Por lo tanto, la aceleración es negativa en ambos casos, reflejando que siempre está actuando en la dirección opuesta al movimiento hacia arriba.

9. CONCLUSIONES

En conclusión, el experimento permitió verificar las ecuaciones del movimiento parabólico de un proyectil, obteniendo resultados experimentales cercanos a los valores teóricos, aunque con ciertos márgenes de error. Los ángulos de 40° y 45° mostraron la mayor precisión en la comparación entre los datos experimentales y teóricos, confirmando que estos ángulos optimizan tanto el tiempo de vuelo como el alcance máximo. Las principales fuentes de error fueron las mediciones experimentales y la posible influencia de factores no considerados, como la resistencia del aire. En síntesis, el ángulo óptimo para maximizar el alcance fue de 45° , tal como se predice teóricamente.

10. REFERENCIAS

¿Qué es el movimiento parabólico? (s. f.-a). Resueltoos.com.

<https://www.resueltoos.com/blog/fisica-y-quimica/movimiento-parabolico>

Cabrejos, M. (2021, 5 noviembre). Movimiento parabólico.

<https://matemathweb.com/fisica/movimiento-parabolico/>

Fernández, J. L. (s. f.). Movimiento parabólico. Fisicalab.

<https://www.fisicalab.com/apartado/movimiento-parabolico>

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2021). Fundamentals of Physics (11th ed.). Wiley. Serway, R.

A., & Jewett, J. W. (2018). Physics for Scientists and Engineers (10th ed.). Cengage

Learning.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2019). Physics for Scientists and Engineers (7th ed.). W. H. Freeman and

Company.