

# ANÁLISIS DE LA DESVIACIÓN LATERAL DE LA TRAYECTORIA DE UN PROYECTIL EN EXPERIMENTO DE TIRO OBLICUO

Ayelén Sanchez<sup>1</sup>, Amalia Thomas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas – UNICEN, Pinto 399, 7000 Tandil.

e-mail: [aye.com.ar@hotmail.com](mailto:aye.com.ar@hotmail.com), [amaliathomas@hotmail.com](mailto:amaliathomas@hotmail.com)

## RESUMEN

En experimentos de tiro oblicuo se observa que el punto de impacto no del proyectil no se encuentra sobre el plano de disparo. En el presente trabajo se analizaron las posibles causas de dicha desviación y, su influencia sobre el cálculo del valor de la aceleración de la gravedad en experiencias de este tipo.

Luego de sucesivos lanzamientos con el cañón en distintas direcciones se logró determinar que el motivo de la desviación del recorrido del proyectil se debe a una leve inclinación en la mesa de apoyo con respecto a la horizontal. Con este resultado fue posible estimar la repercusión que tal inclinación tiene sobre el ángulo real de lanzamiento del proyectil.

## 1. INTRODUCCIÓN

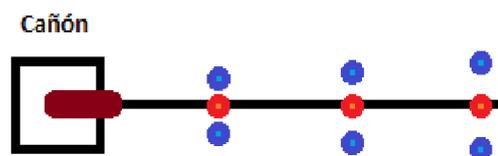
Si se tiene un sistema mecánico que arroja proyectiles formando un ángulo con respecto a la horizontal se puede afirmar, antes de realizar un disparo, que la trayectoria de la bola será una parábola y que tanto su posición inicial como final se encuentran alineados con respecto al cañón. Esta descripción del movimiento es válida si la trayectoria es lo suficientemente corta para despreciar el efecto Coriolis y el rozamiento del aire.

En el presente trabajo se analizan las posibles causas que pueden afectar la alineación entre el cañón y la posición de salida y llegada del proyectil.

Se sabe que si el plano de apoyo no es perfectamente horizontal y/o el cañón tiene fallas mecánicas, la posición final a la que debería llegar el proyectil se encuentra desviada con respecto a la posición horizontal ideal, como se puede ver en la ilustración 1.

En trabajos anteriores <sup>[1]</sup> se encontró una desviación en la trayectoria de los proyectiles lanzados en una experiencia de tiro oblicuo para

el cálculo del valor de la aceleración de la gravedad. En este trabajo se estudia la horizontalidad del plano de apoyo y posibles fallas mecánicas en el cañón marca Pasco utilizados en el mismo. El fin es determinar cuál fue, en ese caso, la causa del desvío y si, de alguna manera, esta desviación puede ser una fuente de error para la determinación del valor de la gravedad.



**Ilustración 1:** Vista desde arriba del cañón. Las nubes de puntos muestran la posición final de los proyectiles para tres velocidades distintas. El color rojo es para el caso ideal, y el color azul para el caso en que exista un error no visible en el arreglo experimental.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El arreglo experimental desarrollado para la realización de este experimento consistió, como puede verse en la ilustración 2, en un sistema mecánico (A) con ángulo de disparo

variable (marca PASCO), un papel liso de color blanco (B) que se extiende sobre la mesa donde cae el proyectil, y un papel carbónico (C) que marca dicha caída.

Una vez ubicados los instrumentos se disparó el cañón diez veces a dos velocidades distintas y en dos direcciones opuestas. El punto donde la esfera impactaba contra el papel (posición final) fue marcado por el papel carbónico.

A través del experimento se mantuvo el dispositivo mecánico unido al papel para no modificar su relación con el eje estativo.

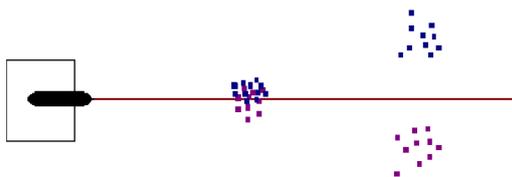


**Ilustración 2:** Arreglo experimental. La recta roja marca el espacio donde deben caer los proyectiles.

### 3. RESULTADOS

Se observó que a medida que el alcance del disparo aumentaba, también aumentaba la desviación con respecto a la recta central.

Por otro lado fue posible distinguir que los disparos se desviaban hacia diferentes lados del eje establecido cuando se disparaba el dispositivo en direcciones opuestas. La disposición de los puntos resultantes sobre el papel blanco fue similar a la representada en la ilustración 3.



**Ilustración 3:** Representación aproximada del resultado de los disparos sobre el papel. El color violeta es para la dirección paralela a la mesa, mientras que el azul es para la dirección antiparalela a la mesa.

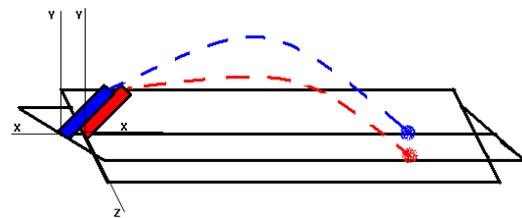
Dado que la distribución de los puntos variaba de un lado al otro del eje según la posición del cañón, deducimos que la causa no es una falla en el cañón (al menos no en la misma medida) sino una leve inclinación de la mesa sobre la que se apoyaba.

### 4. ANÁLISIS

Partiendo del análisis de la descomposición de la velocidad del proyectil, vemos que se puede describir como sus proyecciones en los ejes X e Y. Pero si existe una inclinación ( $\theta$ ) en el plano, tal descomposición necesita además de un eje Z, y por lo tanto la desviación del proyectil ( $d$ ) será

$$d = V_0 \cdot \text{sen} \theta \cdot t$$

Donde  $t$  es el tiempo que tardó el proyectil en caer.



**Ilustración 4:** Relación entre  $d$  y la inclinación del plano.

Aplicando esto al experimento anterior <sup>[1]</sup> es posible calcular la inclinación del plano

$$\theta = \text{sen}^{-1}(d/t \cdot V_0)$$

Reemplazando  $d$  y  $t$  por los datos promedios ya obtenidos anteriormente ( $t = 0,5989$  s,  $d = 2,2$  cm y  $V_0 = 337$  cm/s) se obtiene que

$$\theta = 0^\circ 37' 25.39'' \pm 1' 59.71''$$

Es posible, entonces, que los resultados de experiencias anteriores donde el dispositivo fue utilizado se hayan visto afectados por dicha desviación, ya que como la altura de la boca del cañón será menor que la del modelo ideal, el ángulo entre el dispositivo y el plano será menor que el ángulo nominal de disparo de  $75^\circ$ .

Las figuras 5 y 6 representan la desviación del vector velocidad inicial en los casos real e ideal.

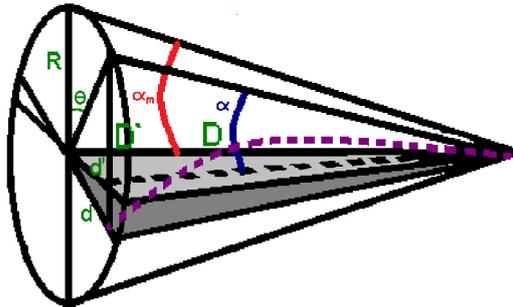


Ilustración 5: Planteo tridimensional del movimiento del proyectil.

donde  $\alpha_m$  es el ángulo medido ( $75^\circ$ ) y  $\alpha$  el ángulo real.

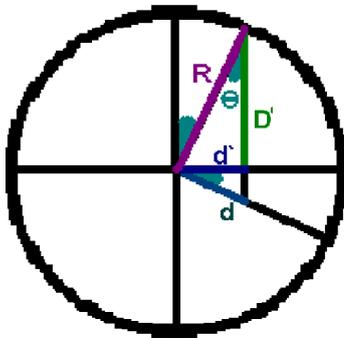


Ilustración 6: Sección transversal de la ilustración 5.

A partir de consideraciones trigonométricas, puede decirse que, por un lado

$$R = D \operatorname{tg}(\alpha_m) \quad (1)$$

y

$$D' = R \cos\theta = D \operatorname{tg}(\alpha_m) \cos\theta \quad (2)$$

y por el otro

$$D' = D \operatorname{tg}(\alpha) \quad (3)$$

por lo que sabiendo  $\alpha_m$  y  $\theta$ , el ángulo real entre el cañón y el plano ( $\alpha$ ) puede ser calculado

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1}(\operatorname{tg}(\alpha_m) \cos\theta) \quad (4)$$

Utilizando el valor de  $\theta$  encontrado anteriormente, y el valor de  $\alpha$  medido por el dispositivo mecánico, se obtiene que

$$\alpha = 74^\circ 59' 56.94'' \pm$$

La ecuación (4) permite obtener una relación general entre los ángulos  $\theta$  y  $\alpha$ .

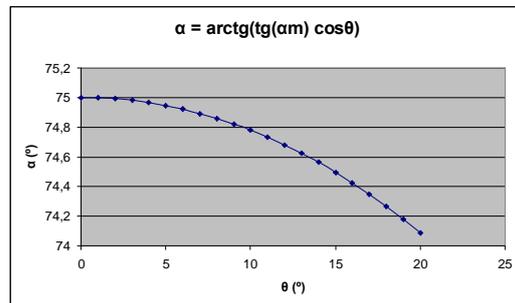


Ilustración 7: Relación entre los ángulos  $\theta$  y  $\alpha$ .

Resulta notable que el error introducido por la inclinación de la mesa en cuestión es considerablemente menor a la incertidumbre del dispositivo que mide el ángulo que hace el cañón con el plano. Por ende en este caso la inclinación de la mesa no causa error significativo.

Sin embargo, si se tomara como  $\theta_{lim}$  al ángulo de inclinación de la mesa en el cual el error relativo en la medición del ángulo marcado por el dispositivo sea mayor al 2%, se obtiene, modificando la ecuación (4), que

$$\alpha_{lim} = \operatorname{tg}^{-1}(\operatorname{tg}(75) - \operatorname{tg}(75) \cdot 0,02)$$

$$\alpha_{lim} = 74^\circ 42' 29.07''$$

$$\text{y por ende } \theta_{lim} = 11^\circ 28' 42.03''$$

## 5. CONCLUSIÓN

En conclusión la incertidumbre introducida por la inclinación de la mesa en el experimento anterior es demasiado pequeña con respecto al error instrumental al medir el ángulo de disparo, por lo que se puede despreciar. Tal inclinación solo afectará a los resultados relevantemente si excede los  $11^\circ$ .

Este trabajo proporciona, además, un método de corrección de ángulos para experimentos de tiro oblicuo en los que exista una inclinación en el plano.

Como alternativa, puede asegurarse la horizontalidad del plano, por ejemplo, si se establece el arreglo experimental sobre una plataforma que se encuentra en un recipiente con una cierta cantidad de líquido.

## **5. REFERENCIAS**

---

[1] Sánchez, A. N. y Thomas A. L.: 2010, *determinación de la aceleración de la gravedad mediante experiencias de tiro oblicuo*, Física Experimental I, UNICEN.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

---

Este trabajo fue realizado con la supervisión y aporte teórico de los investigadores Martín Santiago, Leonel Silva y María Luján Castro, y con la contribución técnica de Ricardo Giovachini en el laboratorio.