

Calculando la gloria: la física detrás de la toma de Zacatecas

Gabriela Ángeles Robles

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Luis Carlos Ortiz Dosal

Universidad Autónoma de Zacatecas

La Revolución Mexicana, un conflicto armado que tuvo lugar entre 1910 y 1920, producto de la desigualdad social, el despojo de la tierra a los campesinos, la creación de latifundios y el ejercicio del poder dictatorial del General Porfirio Díaz, entre otras causas, fue un evento trascendental en la historia de México. Durante este período tumultuoso, diferentes facciones y líderes políticos lucharon por el poder y la justicia social en el país. Una de las figuras clave en este conflicto fue la División del Norte, comandada por el revolucionario Francisco Villa, quien se destacó por su habilidad táctica y el uso estratégico de la artillería por parte del General Felipe Ángeles (figura 1).

La División del Norte fue una fuerza militar formidable compuesta por miles de soldados y guerrilleros revolucionarios. Villa, conocido como “El Centauro del Norte”, fue reconocido por su destreza táctica, su liderazgo carismático y su capacidad para movilizar y organizar a sus tropas. Una de las características distintivas de la División del Norte fue su uso efectivo de la artillería en el campo de batalla. Zacatecas a principios del siglo XX era una plaza importante debido a la minería y era un punto estratégico entre el norte del país y la Ciudad de México. Tomar la ciudad permitiría a la División del Norte avanzar hacia la capital del país. Durante la toma de Zacatecas en junio de 1914, la artillería desempeñó un papel fundamental en el éxito de la División del Norte. Villa comprendía la importancia de contar con una ventaja tecnológica en la guerra y, por

lo tanto, incorporó varios cañones y armas de fuego pesadas a su arsenal. Estas piezas de artillería no solo infundieron miedo en las fuerzas federales, sino que también proporcionaron un apoyo crucial a las tropas de Villa en su avance hacia la ciudad.

FIGURA 1.

Homenaje al general Felipe Ángeles
en el cerro de la Bufa en la ciudad de Zacatecas (Ángeles-Robles, 2022)



El uso estratégico de la artillería permitió que la División del Norte debilitara las defensas de Zacatecas antes de llevar a cabo el asalto final. Ángeles posicionó sus cañones en puntos estratégicos y comenzó un bombardeo intenso y preciso sobre las posiciones enemigas. La superioridad de la artillería revolucionaria obligó a las fuerzas federales a refugiarse y ceder terreno, permitiendo así que la División del Norte avanzara sin obstáculos significativos.

Como describe Federico Cervantes (2019), durante la Toma de Zacatecas la División del Norte se apoderó del Cerro del Grillo desde donde atacó las posiciones federales con fuego de artillería ubicadas en el icónico Cerro de la Bufa, que se ubica aproximadamente a 650 metros de distancia y es donde actualmente se encuentran las estaciones del teleférico. En este contexto, es muy interesante hablar de la ciencia detrás del hecho histórico por medio de la rama de la física clásica conocida como balística, la cual estudia el movimiento de los proyectiles como las balas de cañón y su interacción con el aire, la gravedad, la rotación de la Tierra y otros factores físicos. Entonces haremos un cálculo bastante simplificado, ya que no tomaremos en cuenta la resistencia ni dirección del viento ni la curvatura y rotación de la Tierra, pero ello ayudará al lector a imaginar la dificultad de hacer estos cálculos al calor de la batalla.

Los siguientes cálculos fueron adaptados del método descrito por Serway (2005). Supongamos el movimiento del proyectil, es decir, la bala de cañón, como un movimiento en dos dimensiones que definiremos como avance (x) y altura (y) como lo muestra la figura 2 (Ángeles-Robles, 2022). En este esquema la aceleración en la dirección y es el negativo de la aceleración gravitacional ($-g$) y la aceleración en la dirección x es 0 porque se desprecia la resistencia del aire y podemos descomponer el movimiento parabólico como el avance (movimiento horizontal) y ascenso-descenso (movimiento vertical). Entonces la velocidad con la que es disparado el proyectil dependerá del ángulo del cañón:

$$v_{x0} = v_0 \cos \theta_0 \quad \text{y} \quad v_{y0} = v_0 \sin \theta_0$$

donde θ_0 es conocido como el ángulo de proyección. Comenzaremos por analizar el movimiento horizontal. Como la aceleración en x es cero la velocidad en x es constante:

$$v_x = v_{x0} = v_0 \cos \theta_0 = \text{constante}$$



y para poner la ecuación anterior en función de tiempo (t) sabemos que:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{-\Delta t} = \frac{x_{final} - x_{inicial}}{t_{final} - t_{inicial}}$$

$$\Delta x = v_{x0}t = (v_0 \cos \theta_0)t$$

Estas ecuaciones expresan todo lo que se necesita saber acerca del movimiento en la dirección x . Para considerar el movimiento en y hay que tener en cuenta la aceleración de la gravedad. La definición de aceleración (a) es:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \therefore v = v_0 + at$$

Para este caso:

$$v_y = v_{y0} - gt$$

$$\Delta y = v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g\Delta y$$

recordando que $v_{y0} = v_0 \sin \theta_0$. La rapidez (v) del proyectil en cualquier instante se puede calcular utilizando el teorema de Pitágoras con las componentes de la velocidad en ese instante como:

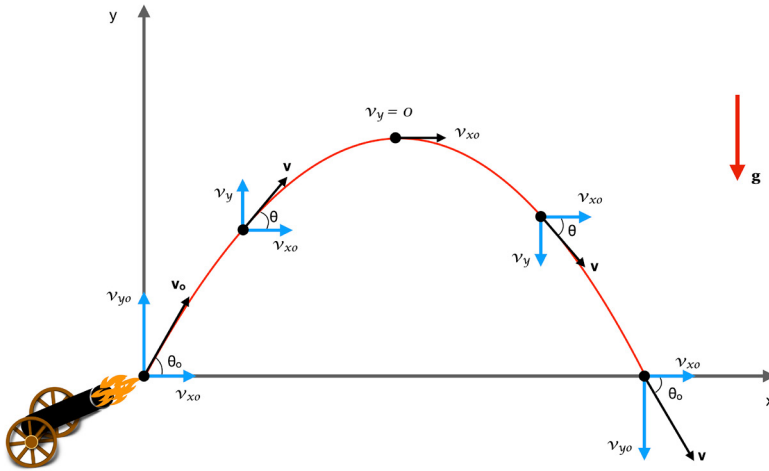
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

El ángulo θ que forma con el eje del movimiento horizontal esta dado por:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x}$$

FIGURA 2.

Movimiento en dos direcciones donde se desprecian factores como la resistencia del aire, la curvatura y rotación de la Tierra. El ángulo θ es el ángulo de proyección. La velocidad v^{x0} en la dirección x es constante ya que se desprecia la resistencia de aire y la velocidad en la dirección y se toma como movimiento en caída libre (Ángeles-Robles, 2022).



Entonces, imagine el combate: se encuentran disparando a su posición y se debe calcular el ángulo de inclinación del cañón para que alcance el objetivo a 650 metros de distancia. Consideremos la velocidad de salida de un cañón de la época, el cañón Krupp de 13.5 cm cuya velocidad de salida es de 695 m/s. La pregunta clave es ¿cuánto tenemos que inclinar el cañón para acertar el objetivo? Con estos datos podemos resolver el problema como sigue:

$$\sin 2\theta = \frac{g x}{v_0^2}$$

A continuación, despejaremos θ y sustituiremos con el valor de g , que es la aceleración de la gravedad $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ con la velocidad inicial $v_0 = 695 \text{ m/s}$ y con el rango $x = 650 \text{ m}$.

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



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

Es importante recordar que el seno inverso solo tiene sentido para valores entre 0 y 1. Si se obtuviera que el producto de la gravedad por el rango entre el cuadrado de la velocidad inicial no es un número entre 0 y 1 significa que no se alcanzará el objetivo con ese cañón sin importar cuánto se incline y es necesario un cañón que proporcione una mayor velocidad inicial.

$$\theta = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{9.8 \frac{m}{s^2} \cdot 650 m}{483025 m/s} \right),$$

$\theta = 0.37^\circ$ Es decir, el cañón será inclinado 0.37 grados, casi en posición horizontal.

Ahora supongamos que la siguiente posición de artillería federal se encuentra a 175 m. Si el rango (x) es de 650 metros y la altura relativa al cañón es de 175 metros (y) entonces utilizando el teorema de Pitágoras:

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

$$\tan \theta = \frac{175 m}{650 m}$$

$$\theta = \tan^{-1}(0.269)$$

$$\theta = 15.06^\circ$$

Es decir, el cañón tiene que inclinarse 15.06° con respecto del horizonte o 14.69° tomando en cuenta que se disparó al primer objetivo con una inclinación de 0.37° .

Para las fuerzas revolucionarias, sin el uso eficiente de la artillería, no habría sido posible tomar una plaza considerada inexpugnable como lo era Zacatecas que marcó, junto con el triunfo en el mismo año de Emiliano Zapata en Chilpancingo, la derrota total del Ejercito Huertista.

Sin la artillería del General Ángeles quizá la República Mexicana no sería lo que hoy conocemos. Así, se pide al lector imaginar la realización de estos cálculos en medio de una batalla, recibiendo fuego enemigo y sabiendo que cada segundo desperdiciado implica posiblemente la muerte de los compañeros de infantería. Ahora podemos dimensionar la eficiencia, valor y genialidad del General Felipe Ángeles Ramírez y de los oficiales y artilleros que formaron parte de la legendaria División del Norte.

FUENTES CONSULTADAS

Bibliográficas

SERWAY, A. R. y Faughn J. S., *Física*, 6a. ed., México, Thomson, 2005.

CERVANTES, F., *Felipe Ángeles en la Revolución. Biografía (1869-1919)*, México, INEHRM, 2019.

ÁNGELES-ROBLES, G. Ortiz-Dosal, L. C., “Felipe Ángeles y balística”, México, UASLP, Universitarios Potosinos, vol. 18, núm. 268, 2022, pp. 26-29..



