

# Tiro Parabólico en artefacto que lanza proyectiles

**Castro Caballero Guillermo Elias, Bacab Sansores Eduardo Alberto, Vela Haas Angel Emir, Fernandez San Roman Eduardo**

**Universidad Modelo**

## Resumen

En este proyecto se busca diseñar y construir una ballesta con la capacidad de arrojar un objeto y encestarlo en una cesta aplicando los principios estudiados. La investigación se centra en comprender cómo funciona este movimiento, qué variables influyen en la trayectoria y qué materiales y componentes son necesarios para el prototipo. El trabajo se organiza en cuatro etapas: diseño inicial, construcción del prototipo, desarrollo técnico con posibles elementos de automatización y pruebas finales. El objetivo final es alcanzar una precisión del 70% de aciertos, validando la teoría física con la experimentación práctica de ingeniería.

**Palabras Clave:** Tiro Parabólico, Ballesta, Mecatrónica, Prototipo, Cinemática, Precisión.

## I. INTRODUCCIÓN

El movimiento parabólico, también conocido como tiro oblicuo, es un fenómeno fundamental en la cinemática que describe la trayectoria de un objeto que se mueve en dos dimensiones (horizontal y vertical).

Este movimiento es crucial para el entendimiento de diversas aplicaciones de ingeniería, diseño balístico y deportes.

El problema central de este proyecto reside en la necesidad de diseñar, construir y calibrar un artefacto mecánico que sea capaz de simular y controlar este tipo de movimiento con un alto grado de precisión. El desafío técnico consiste en lograr que un proyectil, lanzado a una velocidad y ángulo iniciales específicos, impacte con éxito un objetivo predefinido a una distancia determinada.

La solución propuesta es el desarrollo de una ballesta mecánica que, al almacenar y liberar energía elástica de forma controlada, impulsa un proyectil pequeño. Este prototipo nos servirá como plataforma experimental para:

**Comprobar la Teoría:** Demostrar en la práctica la validez de las ecuaciones del tiro parabólico para predecir el alcance horizontal, el tiempo de vuelo y la altura máxima.

El problema se centra en lograr un tiro parabólico controlado y reproducible. La solución requiere el diseño de un sistema mecánico robusto que pueda

## Tiro parabólico

ser ajustado con precisión. La investigación inicial se enfocó en comprender el funcionamiento de la ballesta como mecanismo de impulso y en la revisión de las ecuaciones de tiro parabólico:

- Alcance Horizontal (R):  $R =$

$$\frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$$

- Tiempo de Vuelo (t):  $t =$

$$\frac{2v_0 \sin(\theta)}{g}$$

- Ecuación de Trayectoria (y):  $y =$

$$x \tan(\theta) - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2(\theta)}$$

La delimitación del proyecto se establece en la construcción del prototipo funcional y la demostración de la precisión del tiro, con el reconocimiento de que la automatización mecatrónica (servomotor y código) se planteará como un desarrollo futuro.

**Análisis de Variables:** Observar la influencia de la velocidad inicial y el ángulo de lanzamiento en la trayectoria.

**Integración Técnica:** Evaluar la implementación de componentes de automatización (servomotores y Arduino) para permitir un ajuste de ángulo y tensión basado en el cálculo de la distancia, migrando de un diseño puramente manual a uno potencialmente asistido.

## **MODELO D+i**

### **II. FASE I : Preparación y planeación**

**Problema que resolver:** Diseñar, construir y poner a prueba un artefacto capaz de lanzar un proyectil y acertar un objetivo ubicado a cierta distancia, aplicando los principios del tiro parabólico.

#### **Investigación previa.**

*Toda la información que necesito saber para la realización del proyecto. ¿Qué es? ¿cómo funciona? ¿para qué sirve? ¿cómo lo hago? ¿qué materiales? Información que atender para su construcción, revisión de la teoría.*

*No te olvides de registrar las fuentes de donde estás obteniendo la información.*

#### **¿Qué es?**

La ballestas: La verdad es que no se sabe realmente cuándo se empezaron a utilizar ballestas. Hay quien asegura

## Tiro parabólico

que en la Babilonia antigua, conocida como Caldea, y en Asiria los ejércitos probablemente contarán con ballesteros. No obstante, no hay pruebas que confirmen este hecho. Hay evidencias de que en el siglo 4º antes de nuestra era China descubrió la forma de aumentar la potencia de disparo. Una ballesta es un arma que permite lanzar diferentes clases de proyectiles gracias a que cuenta con un arco y una cuerda. El concepto también se usa para nombrar a la máquina que, en la antigüedad, se utilizaba con el mismo fin.

El tiro parabólico es el movimiento que realiza un cuerpo siguiendo la trayectoria de una parábola. Resulta de la unión de dos movimientos: El movimiento rectilíneo uniforme (componentes horizontal) y el movimiento vertical (componente vertical) que se efectúa por la gravedad y el resultado de este movimiento es una parábola. Este tipo de movimiento se da cuando el objeto solamente es acelerado por la gravedad ( $g$ ). Un objeto que se mueve a lo largo de la parábola, tanto su altura como su desplazamiento horizontal va cambiando, por lo tanto este movimiento se realiza en 2 ejes coordinados.

**Tiro parabólico**  
Es la resultante de la suma vectorial de un movimiento horizontal uniforme y de un movimiento vertical rectilíneo uniformemente variado.

### ¿Cómo funciona?

Se puede describir en dos movimientos:

1. **Tiro horizontal:** es la trayectoria en la proyección del eje de las x (el eje que va paralelo al suelo) describe un movimiento rectilíneo uniforme.

El camino seguido es curvo; esta curva es el resultado de dos movimientos horizontales con velocidad constante y un movimiento vertical iniciado con una velocidad cero y va aumentando su velocidad en la misma proporción.

2. **Tiro oblicuo:** es la trayectoria de la partícula al elevarse o caer verticalmente (en proyección sobre el eje de las y) describe un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, donde la aceleración es la gravedad.

### ¿Para qué sirve?

#### - Comprobar la teoría del movimiento parabólico

Permite observar en la práctica cómo un proyectil sigue una trayectoria curva determinada por la velocidad inicial, el ángulo de lanzamiento y la gravedad.

#### - Aplicar fórmulas de la cinemática

Facilita el cálculo de parámetros como el alcance horizontal, el tiempo de vuelo y

## Tiro parabólico

la altura máxima, y su comparación con los valores teóricos.

- **Analizar la influencia de variables**

Cambiando el ángulo o la tensión del sistema se puede comprobar cómo varía la distancia recorrida.

- **Relacionar teoría y práctica**

No se queda solo en lo matemático, sino que permite medir, registrar y contrastar datos reales, desarrollando habilidades de observación y análisis experimental.

- **Dar contexto a aplicaciones reales**

Aunque se use de manera segura en el aula, ayuda a entender fenómenos presentes en deportes (balones, lanzamientos), ingeniería o incluso en el diseño de trayectorias.

## ¿Cómo lo hago?

Las ballestas disponen de una base recta, sobre la cual se instala un arco. Este arco tiene una cuerda que permite impulsar los proyectiles, que pueden ser flechas, piedras, etc. Mientras que tiempo atrás la ballesta era un arma importante en las guerras, actualmente se emplea de modo recreativo para cazar o para practicar tiro al blanco.

## ¿Qué materiales?

Las palas (arco frontal) son parte integral de la ballesta; originalmente estaban hechas de madera, generalmente de roble o ébano. Se envolvían parcial o totalmente en corteza de abedul o cuero para fortalecerlas y evitar lesiones en caso de rotura.

Posteriormente, se popularizaron las extremidades compuestas, con la parte interior hecha de tendones y la exterior de placas de hueso. A partir del siglo XV, las extremidades de madera fueron sustituidas por las de acero.

La cuerda, a veces hecha de lino o seda, se sujetaba a las extremidades y a la culata de madera.

Las primeras ballestas no contaban con mecanismo de tensado, por lo que el tirador debía apoyar el arma contra su estómago o sujetar las extremidades con los pies para tensar la cuerda, utilizando únicamente su propia fuerza. A finales de los siglos XII y XIII, se añadió un estribo de amartillado a la parte delantera de la ballesta, que permitía al tirador introducir el pie en él y tensar la cuerda mediante un gancho especial para el cinturón.

Los carcajes de ballesta se usaban para transportar viroles. Solían estar hechos de madera y forrados de cuero, a veces decorados con piel.

## Objetivos

**Objetivo general:** crear una ballesta capaz de realizar un tiro parabólico específico.

**Objetivo específico:** Diseñar, construir y calibrar una ballesta mecánica que permita lanzar pelotitas siguiendo una trayectoria parabólica prevista y calculada, con la finalidad de que al menos el 70% de los disparos logren encestararse en una cesta ubicada a una distancia determinada.

## Organización del equipo

**Angel Emir:** diseñador de la ballesta, es el encargado de realizar la ballesta como modelo físico.

**Eduardo Bacab:** Encargado de investigar como hacer una ballesta y un tiro parabólico

**Guillermo Castro:** Encargado del armado y obtención de materiales. Redacción de otros apartados del documento.

**Eduardo Fernández:** Redacción de ciertos apartados del documento y revisión de la información.

## Etapas

Dividir el proyecto en Etapas, analizar y describir la funcionalidad de cada una y las fechas planteadas para su ejecución

**Etapa 1.** Esta etapa será para definir y concretar una idea general de cómo vamos a hacer la ballesta: en este caso discutimos entre hacerla de la

manera convencional o hacer que simplemente con poner el dato de la distancia a donde queremos que llegue la pelota la ballesta se calibre automáticamente, así como para definir un diseño del prototipo.

**Etapa 2.** En esta etapa se concretará la idea de cómo haremos la ballesta para pasar de tenerla en virtual (meramente conceptual) a en físico, es decir, poder tener un prototipo funcional de la ballesta en físico para poder implementar ciertos ajustes que el proyecto requiera.

**Etapa 3.** Iniciar y completar las partes técnicas de la ballesta, como lo pueden ser los materiales finales o la programación del código (si es que se llega a hacer una ballesta automática).

**Etapa 4.** Pruebas finales para poder afinar detalles de cálculos, así como un ensamblado de la ballesta final.

**Etapa 5.** Exposición y demostración de los resultados con base a las pruebas y correcciones realizadas con anterioridad.

## Características

Describir los componentes que se emplearán en el desarrollo del prototipo. Incluir sus características principales que se emplearán para su desarrollo.

Tendremos en este caso un trípode para poner la ballesta y poder ajustar el ángulo en el que esta disparará y distancias a nuestro antojo, esta

## Tiro parabólico

tendrá unas primeras pruebas impresa en 3D, específicamente PLA, la banda o goma que usaremos para disparar la pelota, servomotores, un arduino uno o nano, botones o pad numérico para ingresar datos importantes como la distancia y por último, una protoboard.

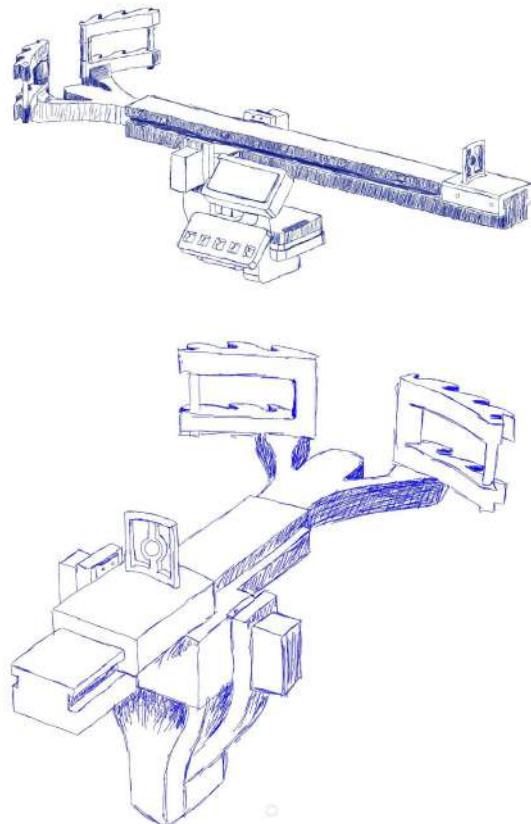
### Delimitaciones

Analizar y definir las delimitaciones del proyecto.

Posiblemente las únicas delimitaciones serían la dificultad de reunirnos fuera de la escuela para ir avanzando en el proyecto, así como también la construcción del prototipo y el código en caso de ser utilizado.

Describir el proceso de diseño del proyecto. Incluir las memorias de cálculo realizadas.

### Bocetos (ideas e inspiraciones previas)



## **MODELO D+i**

### **III. FASE II : Diseño e implementación**

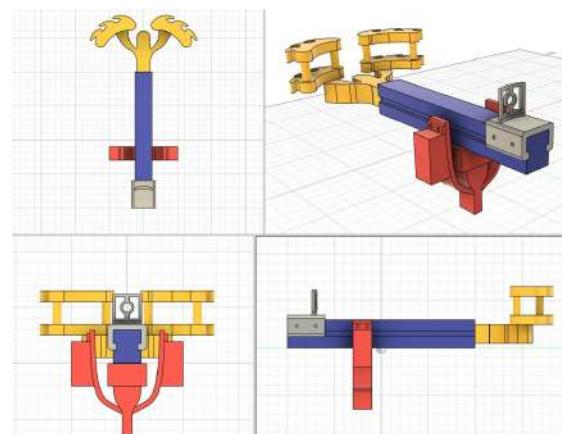
#### Idea del proyecto:

Realizar una ballesta con la capacidad de ajustarse para lanzar una pelota pequeña y que ésta se enceste en un bote de ropa. Tenemos que tener los cálculos del tiro parabólico dependiendo a la distancia que esté el cesto de ropa.

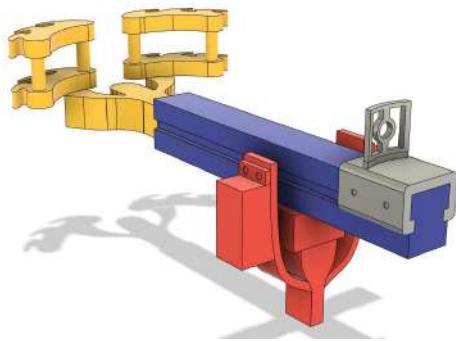
#### Objetivo:

Encestar la pelota por impulso de la ballesta mediante cálculos del tiro parabólico

### MODELADO 3D

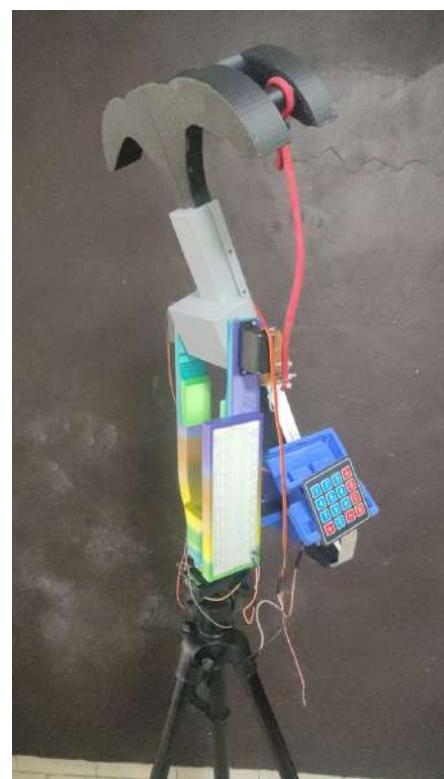
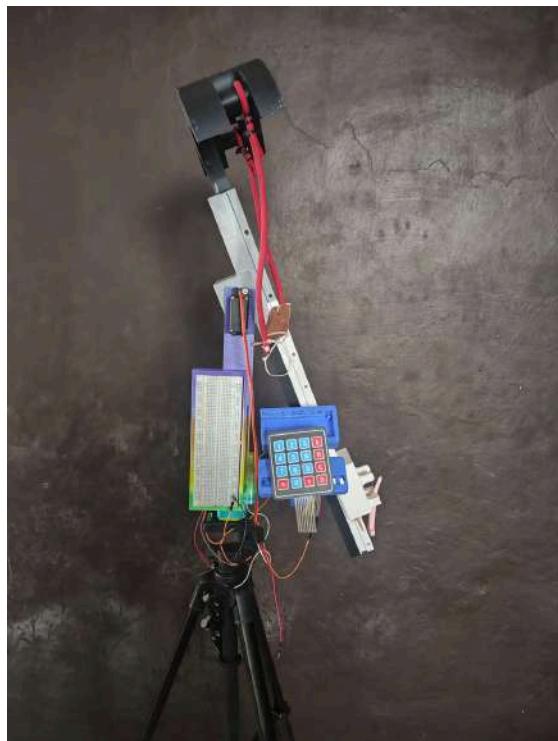


### Diseño del proyecto



### Simulación

Realizar la simulación de la solución para evaluar su eficacia. Incluir los resultados de la simulación (si aplica)



### Características

Describir los componentes definitivos que se emplearon en el desarrollo del proyecto, como resultado de los resultados de simulación o pruebas previas. Incluir los costos de fabricación del prototipo.

La ballesta fue impresa en 3D por material es como PLA que es lo que está de color amarillo y gris, y de fibra de carbono que es la parte de color negro de la ballesta, la pegamos a trípode como base, para sujetarlo usamos cinchos de nailon para poder hacer la sujeción de la ballesta, y usamos goma de caucho como elástico.

*Costo total estimado de fabricación:*  
800 - 1900 pesos.

## Pruebas

<https://drive.google.com/drive/folders/16lso1hdmTd3DBjRw2pObcaZ30Do1YunR?usp=sharing>

- *Relación Tensión-Control (Hallazgo Principal):* Antes de la implementación del mecanismo de retención (gatillo), se observó una correlación inversa crítica entre la tensión de la goma elástica y la precisión. Al tensar la liga en su máximo rango de tensión, la liberación de energía era muy inconsistente, generando vibración en el prototipo y una pérdida significativa de control sobre la trayectoria del proyectil, resultando en dispersión. Por el contrario, al reducir la tensión de la liga (lanzamientos de menor alcance), se obtenía un mayor control y una trayectoria más consistente, lo que confirmó que la precisión en el acierto se ve beneficiada por una liberación de energía más suave, aunque a costa de la velocidad inicial.
- *Limitación del Ajuste Manual:* La calibración manual del ángulo con el trípode demostró ser adecuada para pruebas iniciales, pero carece de la precisión milimétrica necesaria para alcanzar la meta del 70% de aciertos. Esto validó la necesidad de la próxima fase de desarrollo para integrar el servomotor, el cual permitirá

ajustes incrementales basados en el cálculo matemático.

- *Impacto de la Impresión 3D:* El prototipo fabricado con PLA y fibra de carbono demostró la rigidez estructural necesaria para resistir las fuerzas de tensión, cumpliendo el objetivo de materialización.

## IV. CONCLUSIONES

La ejecución de la Fase I y II del proyecto ha culminado con la construcción exitosa del prototipo físico de la ballesta, fabricado con componentes impresos en 3D y montado sobre una base de trípode, cumpliendo con la etapa de materialización del diseño. A nivel de fundamentos teóricos, se ha completado el desarrollo y la validación de los cálculos necesarios para predecir los ángulos de lanzamiento requeridos en función de la distancia objetivo, estableciendo el vínculo esencial entre la física y la ingeniería del proyecto.

El principal hallazgo de esta fase es la confirmación de la viabilidad de la solución, sentando una base sólida para el cumplimiento del objetivo de precisión del 70%. Sin embargo, la transición de un sistema de ajuste manual a uno de precisión requiere la siguiente fase de desarrollo.

El trabajo futuro se enfoca en la integración mecatrónica del sistema. A pesar de contar con los cálculos de

## Tiro parabólico

trayectoria, la precisión final del disparo depende de la exactitud en el ángulo de elevación. Por lo tanto, el reto inmediato es la implementación del servomotor y el desarrollo del código de programación. Este código deberá traducir las distancias de entrada en comandos que posicen el servomotor para ajustar el ángulo de la ballesta automáticamente, permitiendo así la calibración fina del artefacto y la validación final de la precisión teórica en condiciones reales.

## Referencias:

Admin. (2020, 21 enero). *Historia de la ballesta: origen y curiosidades | Archery Tag. Archery Tag*. Barcelona.

<https://www.archerytagbarcelona.com/blog/historia-ballesta/>

Porto, J. P., & Gardey, A. (2016, febrero 25). *Ballesta. Definición.de; Definicion.de.*

<https://definicion.de/ballesta/>

Universidad de Guanajuato. (2022, marzo 1). *Clase digital 15. Tiro parabólico. Recursos Educativos Abiertos; Sistema Universitario de Multimodalidad Educativo (SUME) - Universidad de Guanajuato.*

<https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-15-tiro-parabolico/>  
<https://www.uaeh.edu.mx/docencia/Presentaciones/prepa4/fisica/Tiro%20Parabolico.pdf>

Domínguez, I. L. (2019, 21 junio).

Ismael López Domínguez.

<https://archivoshistoria.com/la-ballesta-historia-de-un-arma/>

SRO, R. (s. f.). *Historical Crossbow and How Is It Made*. Outfit4Events.

<https://www.outfit4events.com/eur/articles/archery-and-crossbows/crossbows/>

<https://share.google/7LMdnfqS224rwb08d>

AreaCiencias. (2023, 12 diciembre).

*Tiro parabólico y fórmulas.*

Areaciencias.

<https://www.areaciencias.com/fisica/tiro-parabolico-formulas/>

## Anexos

## Tiro parabólico



4 (10-oct)	Desarrollo Técnico y Automatización	Integración de electrónica y materiales finales	1. Finalizar la selección de proveedores y proveerlos. 2. Diseñar y probar la programación del código (si aplica). 3. Integrar servomecánica y Arduino.
5 (20-oct)	Pruebas, Calibración y Ajustes	Validación de la precisión y exactitud	1. Realizar pruebas iniciales de bronceamiento. 2. Afilar los dientes de la cuchilla de tiro parabólico. 3. Esensurando la bronceada final calibrada.
6 (indefinido)	Exposición y Documentación	Presentación de resultados	1. Documentar los hallazgos y conclusiones. 2. Preparar la exposición final y demostrar el prototipo.

## CUADRO COMPARATIVO

cuadro comparativo		
diseño 1	diseño 2	diseño definitivo
difícil de apuntar	diseño bastante sencillo	Este es bastante resistente
complejidad a la hora de replicar	dificultad a la hora de replicar	al ser el diseño clásico, es bastante preciso
probablemente el diseño más preciso	probablemente el diseño con más fuerza	el diseño asegura fuerza de disparo
	precision eudosa	complejidad nula para su replicacion



Gravedad (g)	9.81	9.81	9.81	9.81
Altura Ballesta (ε)	1.2	1.2	1.2	1.2
Altura Blanco (b)	1	1	1	1
Velocidad ( $v_0$ )	15	15	15	15
Distancia (d)	5.22	10.22	15.22	20.22

RESULTADOS				
Ángulo Alto ( $\alpha_1$ )	83.45164415	76.83432815	69.33788696	59.39069513
Ángulo Bajo ( $\alpha_2$ )	4.354188497	12.04456682	19.90927519	30.04259952

## Cronograma

Fase	Etapa	Enfoque Principal	Tareas Clave
1 (5-sep)	Preparación y Planificación	Diseño Conceptual	1. Investigar Tiro Parabólico y leyes. 2. Definir el diseño conceptual (manual vs. automático). 3. Seleccionar materiales y componentes iniciales.
2 (10-sep)	Diseño Conceptual y Definición	Consolidar la idea y el diseño	1. Concretar la idea mediante ejercicios matemáticos. 2. Definir el diseño del prototipo (Modelado 3D).
3 (20-sep)	Construcción del Prototipo Físico	Transición del concepto a la realidad	1. Obtener y preparar los materiales. 2. Construir el prototipo funcional.