

# Proyecto Final

## Avance Corte II

Mariana Ramos Osso (0000298157), Daniel Felipe Caicedo (0000226204), Nathaly Sofia Dueñas Duarte (0000296043)

*Universidad de La Sabana*

Chía, Colombia

**Abstract**—Este avance del proyecto final detalla el desarrollo y validación de un sistema de pinball funcional, integrando componentes mecánicos y electrónicos. Desde el punto de vista mecánico, se presentan el diseño y operación del sistema de palancas (flippers) y del actuador de lanzamiento (plunger), ambos contruidos con materiales como madera y piezas impresas en 3D, y optimizados mediante el uso de resortes. En el aspecto electrónico, se integran circuitos como divisores de voltaje, un contador binario con display de 7 segmentos para el puntaje, amplificadores operacionales para procesamiento de audio, y sensores infrarrojos para la detección de eventos durante el juego. La metodología aplicada ha permitido validar prototipos en entornos controlados, generando resultados cuantificables y proponiendo mejoras para futuras etapas. El proyecto demuestra un avance significativo en el cumplimiento de los objetivos técnicos y funcionales, respaldado por una documentación sistemática alojada en un repositorio GitHub.

### I. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al primer avance del proyecto final desarrollado en el marco de un curso universitario orientado al diseño e implementación de sistemas mecatrónicos funcionales. Esta etapa inicial del proyecto tiene como propósito principal evidenciar el progreso alcanzado hasta la fecha, el cual representa aproximadamente el 70% del cumplimiento de los criterios de funcionamiento definidos desde la planificación inicial.

El informe recoge los principales entregables exigidos para esta fase, incluyendo el diseño del sistema propuesto, la descripción técnica de su funcionamiento y un análisis detallado de los componentes mecánicos y electrónicos implementados. Asimismo, se documentan las pruebas realizadas sobre el prototipo físico, enfocadas en evaluar su viabilidad técnica y operativa en condiciones controladas.

Con el fin de asegurar un adecuado seguimiento del desarrollo, se ha incorporado un diagrama de Gantt que permite visualizar de forma estructurada las actividades ejecutadas, así como aquellas que se encuentran pendientes. Además, se ha dispuesto un repositorio digital donde se registra de manera sistemática el avance del diseño, los materiales empleados, el presupuesto estimado y los ajustes efectuados durante el proceso de construcción.

La metodología adoptada busca integrar de manera coherente el diseño mecánico, la electrónica aplicada y el desarrollo funcional de un sistema interactivo, fomentando un enfoque

práctico basado en la solución de problemas reales de ingeniería. Este avance refleja el compromiso del equipo de trabajo con la calidad del desarrollo, el cumplimiento de objetivos técnicos y la implementación de estrategias que favorezcan la trazabilidad y mejora continua del proyecto.

### II. OBJETIVOS

El objetivo principal de este corte es demostrar el progreso alcanzado en la implementación del sistema mecánico, evaluando tanto su funcionalidad como su viabilidad técnica. Este avance refleja el compromiso del equipo por cumplir con los subobjetivos (SO) establecidos y garantizar la calidad en cada etapa del desarrollo de un sistema funcional que cumpla con el 70% de los criterios de funcionamiento establecidos, integrando diseño mecánico, electrónico y pruebas de prototipo, para garantizar su operatividad y viabilidad técnica.

#### A. Objetivo Específico

- Diseñar el sistema mecánico y electrónico que permita cumplir con los subobjetivos SO 5.1, 5.2 y 5.3, documentando el proceso en un repositorio digital.
- Construir y probar un prototipo funcional, verificando su desempeño en entornos controlados para validar los subobjetivos SO 6.1, 6.2 y 6.3.
- Elaborar un informe técnico detallado que incluya los resultados obtenidos, análisis de riesgos y propuestas de mejora.
- Generar un diagrama de Gantt actualizado que refleje las actividades realizadas y pendientes para asegurar el cumplimiento del cronograma.
- Documentar los avances en un repositorio digital, asegurando la trazabilidad del diseño mecánico y electrónico desarrollado hasta la fecha así como presupuesto, materiales usado y a usar .

### III. METODOLOGIA

#### A. Diagrama de Gantt

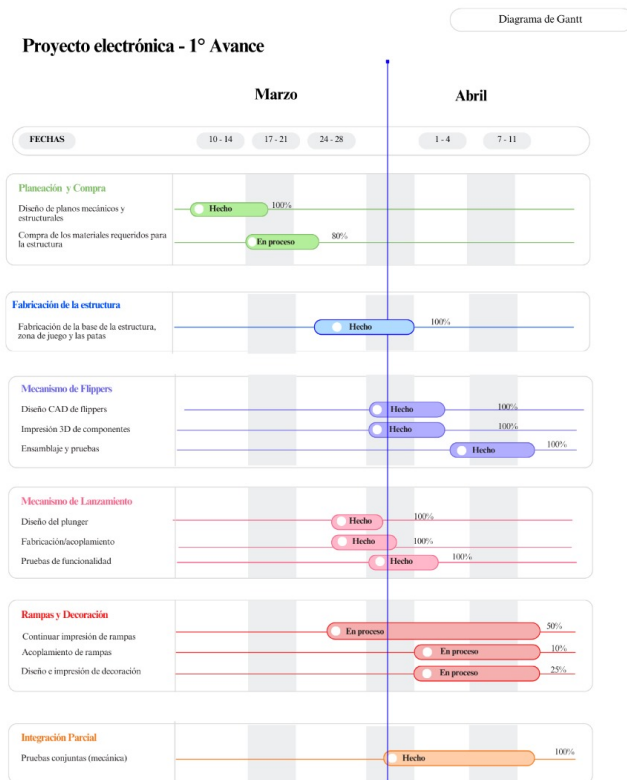


Fig. 1. Diagrama de Gantt

#### B. Diseño mecánico

##### • Diseño



Fig. 2. Diseño renderizado del Pinball

##### • Funcionamiento del sistema de palancas

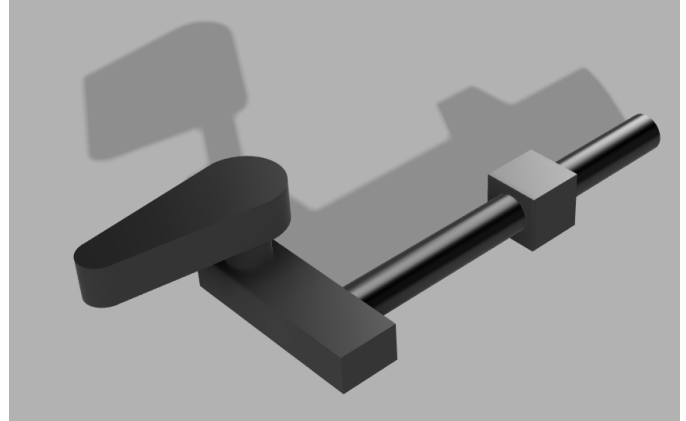


Fig. 3. Renderizado sistema de funcionamiento de palancas

El sistema de activación del flipper, ubicado en la parte inferior de la estructura de juego, fue diseñado para transformar un impulso manual en un movimiento rotativo ágil y controlado. El eje principal, elaborado en madera y pintado de color naranja, funciona como pivote del flipper, alojado en un soporte fijo que guía y restringe su desplazamiento. La rotación del eje está asistida por un resorte de tracción, cuya función es asegurar el retorno automático del flipper a su posición original una vez que se deja de aplicar fuerza. Para complementar este funcionamiento, se incorporó un segundo resorte que conecta la base del flipper con la estructura del pinball. Esta disposición garantiza la tensión necesaria para mantener la estabilidad del mecanismo y asegurar su correcto desempeño durante el juego.

##### • Funcionamiento plunger

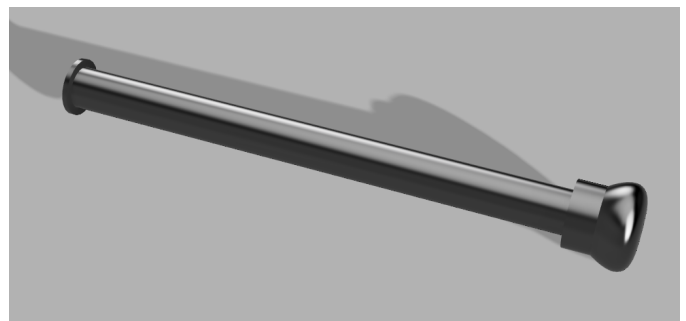


Fig. 4. Renderizado sistema actuador

El mecanismo del plunger se compone de una varilla fabricada mediante impresión 3D en PLA, la cual se desliza de manera rectilínea en una ranura mecanizada en la estructura de madera. Alrededor de dicha varilla se coloca un resorte helicoidal cuyos extremos quedan fijados mecánicamente mediante tornillos: uno al pomo exterior y otro a un bloque interior de madera que, además de servir de punto de anclaje, actúa como tope de recorrido. Al retraer el pomo, la varilla comprime el resorte contra el bloque interior, acumulando

energía elástica; al liberarlo, el resorte recupera su longitud, impulsa la varilla hacia adelante y transmite el impulso a la bola para su lanzamiento.

### C. Diseño electrónico

- Divisor de voltaje.

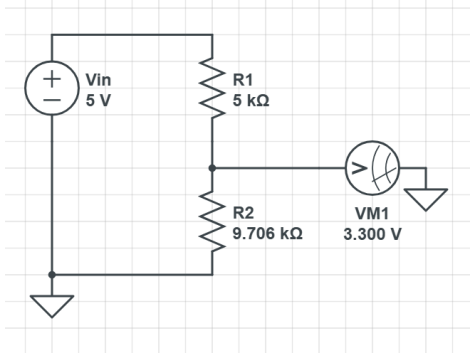


Fig. 5. Simulación divisor de corriente conectado al microcontrolador

El circuito mostrado es un divisor de voltaje diseñado para reducir una señal de 5V a 3.3V, ideal para proteger las entradas del ESP32, ya que este microcontrolador no es tolerante a niveles lógicos de 5V. Se utiliza dos resistencias, R1 de 5k ohmios y R2 de 9.706k ohmios, conectadas en serie entre la fuente de 5V y tierra. La salida se toma del punto medio entre ambas resistencias, entregando un voltaje de aproximadamente 3.3V según la fórmula:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R2}{R1+R2}.$$

- Contador binario para puntaje.

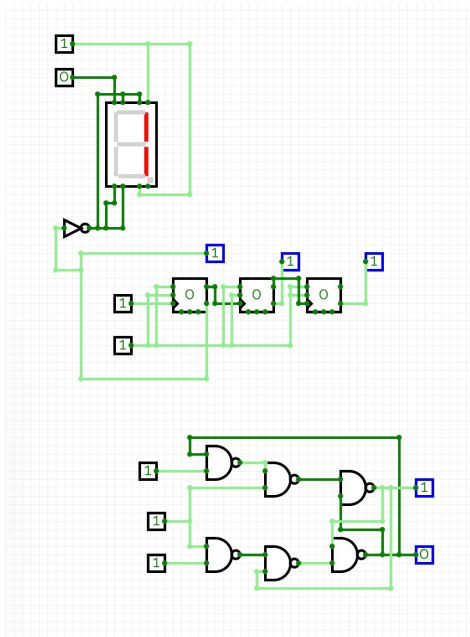


Fig. 6. Simulación contador binario con display de 7 segmentos

El circuito mostrado implementa un contador binario con un display de 7 segmentos para mostrar el puntaje acumulado cada vez que se recibe una señal de entrada, simulando el comportamiento de un sistema de puntuación en la máquina de pinball. En la parte superior del esquema, se puede observar un contador de 3 bits (el cual se puede variar) construido con flip-flops tipo T o JK conectados en cascada, el cual incrementa su valor en binario con cada pulso de reloj. Este diseño permite llevar un registro visual y automático del puntaje acumulado, incrementándose cada vez que el sistema detecta una acción en el juego, como por ejemplo que la bola active un sensor.

- Etapa de amplificadores estilo 8 bits.

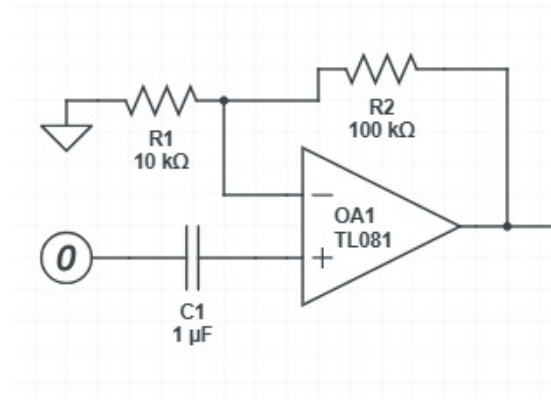


Fig. 7. Amplificador No inversor

La etapa 1 es un amplificador no inversor construido con un amplificador operacional, como el LM358, este se encarga de aumentar la amplitud de la señal de audio generada por el DAC de la ESP32 sin invertir su fase. La señal entra por la entrada no inversora del op-amp (terminal +), mientras que la entrada inversora (-) está conectada a un divisor resistivo formado por dos resistencias:  $R_i$  (a tierra) y  $R_f$  (desde la salida del op-amp). Esta configuración establece una ganancia de voltaje definida por la fórmula  $A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i}$ , permitiendo ajustar cuánto se amplifica la señal. Gracias a su alta impedancia de entrada, esta etapa no carga al DAC de la ESP32, y prepara la señal con mayor fuerza para las siguientes etapas sin dañarla.

- Seguidor de voltaje, Etapa 2 salida de altavoces.

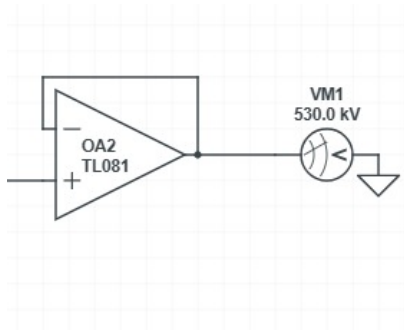


Fig. 8. Seguidor de voltaje

La etapa 2 es un seguidor de voltaje, también conocido como buffer, construido con otro amplificador operacional (como el segundo canal del LM358). Su función principal no es amplificar el voltaje, sino aislar la etapa anterior y mejorar la capacidad de entrega de corriente hacia la carga (por ejemplo, un altavoz). En esta configuración, la salida del op-amp se conecta directamente a su entrada inversora (-), y la señal que viene de la etapa 1 entra por la entrada no inversora (+). Esto hace que el op-amp produzca una salida exactamente igual al voltaje de entrada, pero con baja impedancia, lo que significa que puede manejar cargas más exigentes sin distorsionar la señal.

El circuito está compuesto por dos etapas con amplificadores operacionales para procesar y preparar la señal de audio de 8 bits generada por el DAC de la ESP32. En conjunto, ambas etapas permiten amplificar y estabilizar la señal de audio de la ESP32 de forma eficiente con sonido.

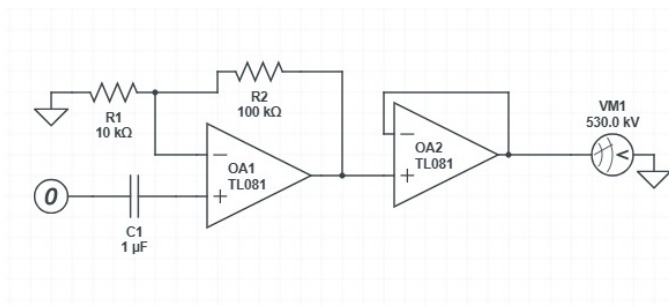


Fig. 9. Etapa de amplificadores

- Sensores de caída infrarrojo

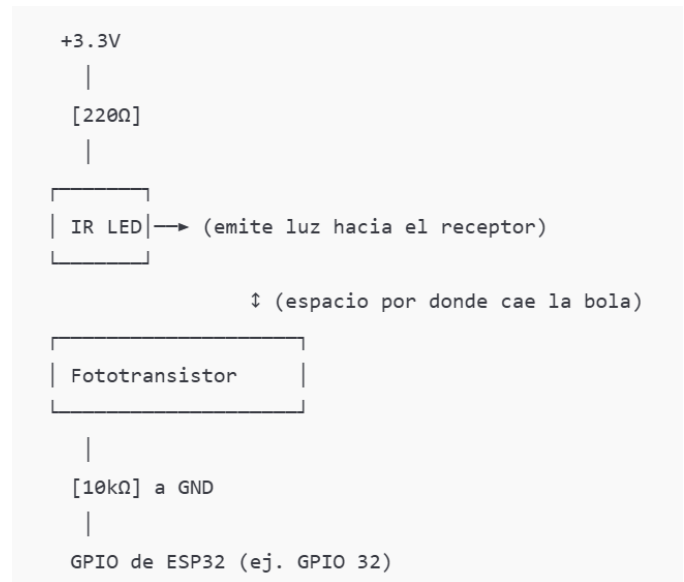


Fig. 10. Sensor optico tipo barrera

Se usará un sensor de caída para detectar la bola del pinball usando un sistema de barrera infrarroja, compuesto por un LED infrarrojo que emite luz y un fototransistor que la recibe. Ambos se colocan enfrentados, dejando un espacio por donde pasará la bola. Cuando la bola metálica cae y atraviesa ese espacio, bloquea el haz de luz, provocando que el fototransistor deje de conducir. Este cambio se detecta en un pin digital de la ESP32, indicando la presencia de la bola enviando una señal al contador.

#### IV. CONCLUSIONES Y MEJORAS

Este proyecto de pinball presentado logró integrar satisfactoriamente los sistemas mecánicos y electrónicos propuestos en la fase inicial, cumpliendo con el 70% de los criterios de funcionamiento establecidos según el cronograma reflejado en el diagrama de Gantt. En cuanto al diseño mecánico, se implementó un sistema de palancas robusto y confiable, donde el uso de resortes garantizó el retorno automático y controlado. El sistema del plunger, fabricado mediante impresión 3D, demostró un funcionamiento eficiente al transmitir la energía acumulada para lanzar la bola con precisión, cumpliendo con los subobjetivos SO 5.1 y 5.2 relacionados con funcionalidad mecánica.

Desde el enfoque electrónico, se cumplieron los subobjetivos SO 5.3 y SO 6.1 al implementar y diseñar con éxito un divisor de voltaje que protege los pines del microcontrolador ESP32, permitiendo la conexión segura de señales de 5V. También se integró un contador binario con visualización en display de 7 segmentos, el cual incrementa el puntaje cada vez que se activa un sensor, logrando una interacción efectiva entre la mecánica del juego y la lógica digital del sistema (SO 6.2).

Una de las integraciones más destacadas fue la etapa de audio estilo 8 bits, desarrollada en dos fases. La **etapa 1** consiste en un amplificador no inversor con ganancia configurable mediante resistencias  $R_f$  y  $R_i$ , utilizando un op-amp LM358. Esta etapa permite aumentar la señal generada por el DAC de la ESP32 sin cargarla ni distorsionarla. La **etapa 2**, un seguidor de voltaje, actúa como buffer con baja impedancia de salida, aislando la etapa anterior y permitiendo la conexión a cargas como altavoces o etapas de potencia. Esta arquitectura permitió generar sonidos básicos tipo arcade que mejoran la experiencia del jugador (SO 6.3).

Además, se implementó un sensor óptico de caída basado en infrarrojo, el cual detecta el paso de la bola metálica cuando interrumpe el haz de luz entre el emisor y el receptor. Esta señal es enviada directamente a la ESP32, permitiendo sumar puntos en tiempo real. Este sistema demostró ser confiable, no invasivo y con buena velocidad de respuesta, siendo una solución efectiva y económica para el control del juego.

#### *Propuestas de mejora*

- **Optimización del sistema de audio:** reemplazar el LM358 por un amplificador operacional de mayor fidelidad como el *NE5532* o el *OPA2134*, o bien integrar un amplificador clase D como el *PAM8403* para obtener un sonido más limpio, mayor volumen y menor distorsión.
- **Reproducción de sonidos avanzados:** utilizar la funcionalidad del DAC de la ESP32 para reproducir archivos *.wav* desde SPIFFS o una tarjeta microSD, mejorando así la calidad y variedad de los efectos de sonido.
- **Mejora de sensores:** integrar sensores ópticos más precisos (como módulos *TCRT5000*) o combinarlos con sensores magnéticos tipo *reed switch* para mejorar la detección de la bola en condiciones de luz variable o interferencia mecánica.
- **Retroalimentación visual dinámica:** añadir tiras de *LEDs direccionables* (WS2812 o similares) para generar efectos visuales dinámicos según eventos del juego, como puntos, fallos o bonificaciones.
- **Interfaz de usuario más rica:** incorporar una pantalla OLED o LCD que muestre el estado del juego, el puntaje, menús de configuración y mensajes animados, aumentando la interacción del usuario.
- **Mejora acústica del sistema:** diseñar una caja acústica o mini-baffle para el altavoz que mejore la calidad del sonido emitido, a la vez que protege el componente físico.

Estas propuestas no solo fortalecerían el rendimiento y la experiencia de usuario del pinball, sino que también permitirían alcanzar el 100% de los criterios establecidos, dejando la puerta abierta a la mejora hacia un sistema completamente interactivo, escalable y replicable.

#### V. REPOSITORIO

**Repositorio GitHub:** <https://github.com/Dcaic3do/Proyecto-Electronica.git>