

Reporte Final

Alexia Xiomara Balboa Lara
A00835631

Oscar Kaisei Oki Ono
A00835906

Daniela Cárdenas Oropeza
A01722505

Kleber Andres Molina
A00838725

Abstract—This project presents a methodology to design and build a mechatronic goalkeeper capable of participating in a football tournament. The system integrates interdisciplinary knowledge, combining mechanical design, electronics, and programming for functional implementation. The final prototype features a joystick-controlled lateral movement system, a solenoid mechanism with a button for ball interception, and a goal detection system connected to an LED display scoreboard. Key components include an MDF-based structure fabricated with laser cutting, 3D-printed support elements, and an Arduino-controlled electronic system. The goalkeeper was tested during the tournament, showcasing precise movement, reliable goal detection, and a visually pleasing design, fulfilling the project's initial objectives.

Resumen—Este proyecto presenta la metodología para el diseño y construcción de un portero mecatrónico capaz de competir en un torneo de futbolito. El sistema integra conocimientos interdisciplinarios, combinando diseño mecánico, electrónica y programación para su implementación funcional. El prototipo final cuenta con un sistema de movimiento lateral controlado mediante un joystick, un mecanismo de solenoide con un botón para interceptar balones y un sistema de detección de goles conectado a un marcador LED. Los componentes principales incluyen una estructura de MDF fabricada con corte láser, elementos de soporte impresos en 3D y un sistema electrónico controlado por Arduino. El portero fue probado durante el torneo, y demostró movimientos precisos, detección confiable de goles y un diseño atractivo, cumpliendo con los objetivos iniciales del proyecto.

Palabras clave— Mecatrónica, Portero, Arduino, Solenoide, Prototipo, sensor, futbolito.

I. INTRODUCCIÓN

La mecatrónica es una área interdisciplinaria que involucra y combina distintos campos para hacer la resolución de problemas complejos más efectiva, entre ellos se encuentra la electrónica, la programación digital, el diseño mecánico, entre otros. Por esto mismo, la automatización y la robótica han transformado distintos sectores en la industria. En este reto se demuestra de una manera creativa como los sistemas de control permiten la coordinación de componentes mecánicos a través de señales eléctricas.

Este proyecto consistió en diseñar y construir un portero funcional que pudiera competir contra otros porteros para jugar un torneo de futbolito.

El desarrollo del portero involucró el uso de herramientas avanzadas como SolidWorks para la modelación 3D, fabricación mediante impresión 3D y corte láser, integración de componentes electrónicos con un Arduino UNO, y la implementación de un sistema de control mediante sensores y actuadores.

En términos generales, el prototipo final consta de:

- Control manual: un joystick de dos ejes que permite desplazar el portero lateralmente.
- Solenoide: controlado mediante un botón, diseñado para golpear la pelota.
- Detección y registro de goles: un sensor infrarrojo conectado a un display que contabiliza los goles marcados
- Motor: actuador que permite el movimiento del portero
- Arduino y sistema de control.

La construcción del portero se llevó a cabo respetando todos los lineamientos y dimensiones definidas, garantizando que todos los circuitos y componentes eléctricos estuvieran organizados dentro del ensamblaje mecánico.

II. METODOLOGÍA

1. Diseño del Modelo Virtual

El desarrollo del portero comenzó con el diseño del modelo mediante SolidWorks, un software de modelado 3D. Durante esta etapa inicial, se dedicó tiempo para ajustar las dimensiones y características clave del portero para cumplir con los requerimientos mecánicos.

Para el diseño en solid se empezó con los componentes base para el sistema, empezando por las bases para el perfil, las cuales se buscó la utilización de poco material, y una eficiencia en la relación material usado y capacidad de soporte sin fallas.

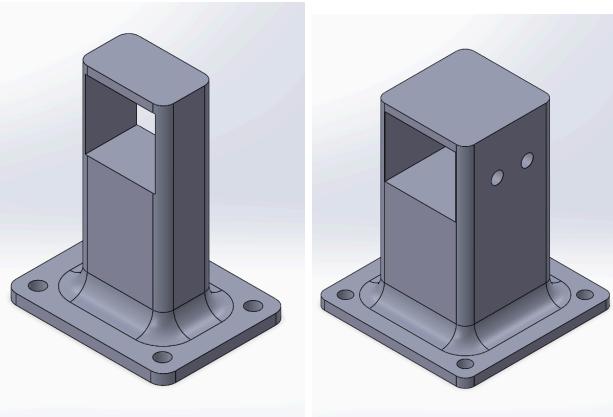


Figura 1. Soportes para perfil [1]

Para la siguiente etapa con la ayuda de un tutorial de solidworks sobre “Herringbone Gears”, referenciado al final del documento se realizó el sistema de engranes y base para engranaje y motor.

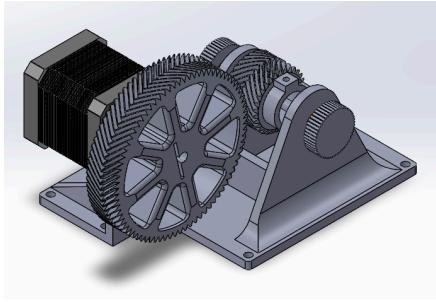


Figura 2. Sistema de Engranes [2]

Como siguiente paso se realizó el sistema de base para el carrito que se deslizaba por el perfil, y se buscó que el sistema sea ajustable, tanto la altura como la distancia a la mesa, esto con el fin que a futuro poder diseñar un sistema de recolección de boles y goles.

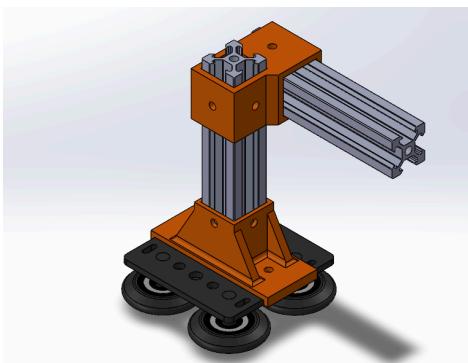


Figura 3. Sistema ajustable de posición del golpeador [3]

Como punto final se diseñó la parte del golpeador, utilizando dos solenoides y una tapa con diseño personalizado.

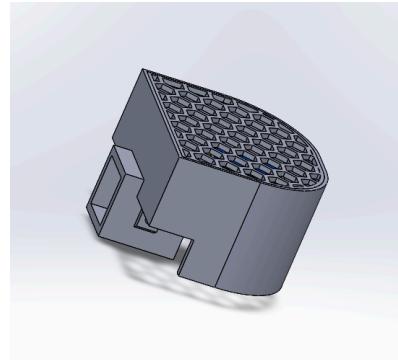


Figura 4 .Golpeador [4]

El equipo realizó revisiones periódicas cada dos semanas para verificar la viabilidad del diseño y optimizarlo de acuerdo a la retroalimentación recibida. Estas revisiones incluían el análisis del ensamble mecánico y ajustes en el diseño de cada componente, con la finalidad de minimizar errores futuros en la etapa de construcción.

Una vez finalizado el diseño, se generó una lista preliminar de materiales (BOM), detallando cada componente necesario para la construcción, con su cantidad específica y su respectivo precio.

1. Perfil de aluminio de 60 cm.
2. Tensor de enderezamiento de estiramiento de correa
3. Placa con ruedas
4. Polea
5. Banda
6. Motor paso a paso Nema
7. Controlador de motor paso a paso (driver)
8. Arduino UNO
9. Joystick
10. Solenoide de 12V
11. MDF de 6mm
12. Filamento PLA para impresión 3D
13. Tornillos M3 y M4
14. Kit de electrónica para principiantes

2. Construcción del Prototipo Mecánico

La construcción del prototipo fue una etapa crítica que se dividió en varias fases para garantizar un proceso más organizado.

2.1. Impresión 3D

Una parte importante del portero fue fabricada utilizando la manufactura aditiva, con tecnología de impresión 3D, con filamento PLA. La impresión de piezas específicas, como soportes del perfil, soporte del motor, y base del solenoide, enfrentan varios desafíos:

- **Fallos en la impresora:** Muchas veces las impresiones no resultaban como se esperaba, arrastrando errores, por lo que era necesario reiniciar el proceso para varias piezas.
- **Ajustes de tolerancia:** Algunas piezas inicialmente no encajaban correctamente debido a tolerancias mal calculadas en el diseño virtual, lo que requirió modificaciones y reimpresiones.

Estas dificultades se solucionaron mediante iteraciones constantes, ajustando los parámetros del modelo digital, y afinando los parámetros de la impresión. Esto aseguró que las piezas finales cumplieran con los estándares necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del portero.

2.2. Corte y ensamblaje de MDF

La estructura principal del portero fue construida con paneles de MDF de 6mm, cortados con una máquina de corte láser. El diseño de los paneles incluía pestañas para el ensamblaje y perforaciones para tornillos, lo que facilitó el montaje inicial. Sin embargo, errores en el corte o ajustes adicionales en las perforaciones o dimensiones de los paneles requerían cortar material adicional, añadiendo una capa de mayor cuidado al proceso.

El ensamblaje final de la estructura incluyó:

- La instalación del perfil de aluminio de 60 cm como soporte estructural del carrito
- La fijación de poleas y correas para la banda
- El montaje de la base móvil (carrito)

2.3 Cambios en el modelo

A pesar de concluir el segundo periodo del curso con un prototipo aprobado, durante las pruebas de integración del sistema electrónico se identificaron oportunidades de mejora para el desplazamiento del portero. Para ello, se diseñaron e instalaron engranajes adicionales al motor que aumentaron la eficiencia del movimiento, permitiendo un control más eficiente y rápido del portero. Este cambio también implicó la reimpresión de piezas clave, como el soporte del motor, adaptado al nuevo diseño.

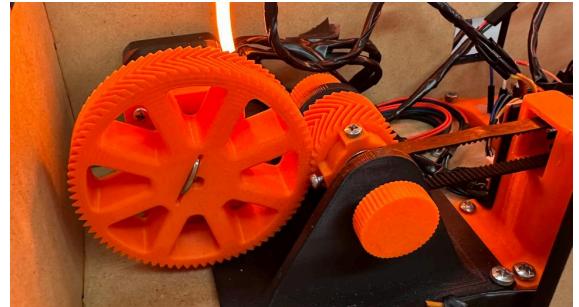


Figura 5. Sistema de engranajes del motor [5]

Asimismo, se incorporó un plano inclinado entre las paredes del perfil y la cancha para guiar la pelota al sensor contador de goles.

3. Electrónica y Programación

La integración de la electrónica en el sistema mecánico representó una fase esencial para darle funcionamiento al portero.

3.1. Pruebas iniciales

Antes de ensamblar los componentes electrónicos, se realizaron pruebas individuales para garantizar su correcto funcionamiento. Con el apoyo del profesor del módulo, en clase se realizan pruebas con distintos códigos para controlar tanto el motor como el solenoide. Estas pruebas iniciales ayudaron a identificar áreas de mejora en la programación antes de la integración, para evitar el desperdicio de componentes electrónicos importantes del sistema.

3.2. Diseño del programa de control

Para desarrollar el código encargado del control del programa, fue necesario realizar varias iteraciones, implementando diferentes modificaciones según las necesidades del proyecto. Inicialmente, se comenzó con el control del motor utilizando digitalWrite para su funcionamiento básico. Posteriormente, se avanzó hacia un sistema basado en PWM (modulación por ancho de pulso), con la posibilidad de ajustar la frecuencia mediante la modificación de los registros del Arduino, optimizando así el control del motor.

```
#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

VL53L0X sensor;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

//Sensor
const int distanciaDeteccion = 100;
const long tiempoEspera = 5000;
long ultimaDeteccion = 0;
int contadorGoles = 0;

//Selenoide
```

```

#define inputSelenoide 5
#define outputSelenoide 4
bool estadoBotonSelenoide = 0;

//LimitSwitches
#define limitSwitchDerecha 11
#define limitSwitchIzquierda 12
bool topeDerecha = 1;
bool topeIzquierda = 1;

//Motor - Driver
#define dirPin 2
#define stepPin 9
#define enablePin 3
int motorMoviendo = 0;

//Joystick
#define joystickPin A0
int lecturaJoystick = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();

  //Sensor
  sensor.setTimeout(500);
  if (!sensor.init())
  {
    Serial.println("Failed to detect and initialize sensor!");
    while (1) {}
  }

  //LCD
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Futbolito Grupo 5");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Goles: ");

  //Selenoide
  pinMode(outputSelenoide, OUTPUT);
  digitalWrite(outputSelenoide, LOW);
  pinMode(inputSelenoide, INPUT_PULLUP);

  //LimitSwitches
  pinMode(limitSwitchDerecha, INPUT_PULLUP);
  pinMode(limitSwitchIzquierda, INPUT_PULLUP);

  //Motores - Drivers
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
  pinMode(enablePin, OUTPUT);
  digitalWrite(enablePin, HIGH);

  //Modificamos los registros.
  TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 2;
  TCNT1 = 65000;
  delay(1000);
}

//Funcion que se encarga de golpear el selenoide
void GolpearSelenoide(){
  digitalWrite(outputSelenoide, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(outputSelenoide, LOW);
}

void loop(){
  topeDerecha = digitalRead(limitSwitchDerecha);
  topeIzquierda = digitalRead(limitSwitchIzquierda);
  lecturaJoystick = analogRead(joystickPin);
  estadoBotonSelenoide = digitalRead(inputSelenoide);

  //Imprimimos todas las variables para poder debugear.
  Serial.print("Joystick: ");
  Serial.print(lecturaJoystick);
  Serial.print(" | ");
  Serial.print("Limite Derecha: ");
  Serial.print(topeDerecha);
  Serial.println(" | ");
  Serial.print("Limite Izquierda: ");
  Serial.print(topeIzquierda);
  Serial.print(" | ");
  Serial.print("Selenoide :");
  Serial.println(inputSelenoide);
  Serial.print(" | ");
  Serial.print("Goles:");
  Serial.println(contadorGoles);

  //Sensor
  int distancia = sensor.readRangeSingleMillimeters();
  if (!sensor.timeOutOccurred()) {
    if (distancia < distanciaDeteccion) {
      if (millis() - ultimaDeteccion > tiempoEspera) {
        contadorGoles++;
        ultimaDeteccion = millis();
        Serial.print("; Gol detectado! Total: ");
        Serial.println(contadorGoles);

        //Display de los Goles.
        lcd.setCursor(7, 1);
        lcd.print(contadorGoles);
        delay(10);
      }
    } else {
      Serial.println("TIEMPO DE ESPERA EXCEDIDO");
    }
  }

  //Checar el Selenoide
  if (estadoBotonSelenoide == 0){
    GolpearSelenoide();
  }

  if (topeDerecha == 0){
    digitalWrite(enablePin, HIGH);
    analogWrite(stepPin, 0);
    Serial.println("Maximo valor a la derecha! ");
    digitalWrite(dirPin, LOW);
    motorMoviendo = 0;
    if (lecturaJoystick < 480) {
      digitalWrite(enablePin, LOW);
      motorMoviendo = 1;
      analogWrite(stepPin, 128);
    }
  }

  //Cuando el LS izquierdo esta presionado
  else if (topeIzquierda == 0){
    digitalWrite(enablePin, HIGH);
    analogWrite(stepPin, 0);
  }
}

```

```

        Serial.println("Maximo valor a la Izquierda!
");
        digitalWrite(dirPin, HIGH);
motorMoviendo = 0;
if (lecturaJoystick > 540) {
    digitalWrite(enablePin, LOW);
    motorMoviendo = 2;
    analogWrite(stepPin, 128);
}
}

//Cuando ningun LS este presionado
else {
    //Primera condicion, si el joystick esta
    centrado y se estaba moviendo, (Funcion para
    detenerlo).
    if (lecturaJoystick > 480 && lecturaJoystick <
540 && (motorMoviendo == 1 || motorMoviendo ==
2)){
        digitalWrite(enablePin, HIGH);
        analogWrite(stepPin, 0);
        delay(10);
        motorMoviendo = 0;
    }
    //Segunda funcion el joystick esta a la
    izquierda, y esta parado o moviendose a la
    derecha.
    if (lecturaJoystick < 480 && (motorMoviendo ==
0 || motorMoviendo == 2)){
        digitalWrite(enablePin, LOW);
        digitalWrite(dirPin, LOW);
        analogWrite(stepPin, 128);
        delay(10);
        motorMoviendo = 1;
    }
    //Tercera funcion el joystick esta a la
    derecha y esta moviendose a la izquierda o quieto.
    if (lecturaJoystick > 540 && (motorMoviendo ==
0 || motorMoviendo == 1)) {
        digitalWrite(enablePin, LOW);
        digitalWrite(dirPin, HIGH);
        analogWrite(stepPin, 128);
        delay(10);
        motorMoviendo = 2;
    }
}
}

```

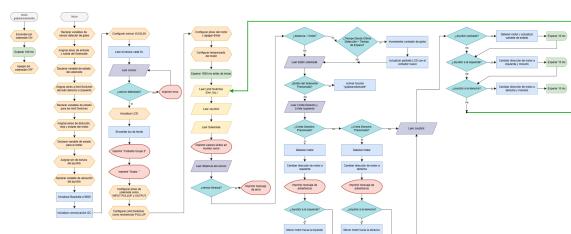


Figura 6. Diagrama de flujo del programa [6]

3.3. Circuito del sistema electrónico

Para el circuito encargado del funcionamiento general del sistema se utilizaron los siguientes componentes:

- Driver TCM2209, Se utilizó por su nivel de ruido bajo.
- 2 Solenoide JF-0530B, de 5N, 12 V y 300mAh, se utilizaron dos porque buscábamos más fuerza de golpeo.
- NEMA 17, 2A Stepper Motor.

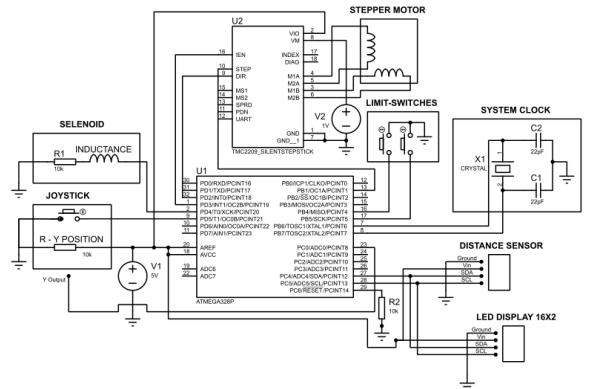


Figura 7. Esquemático del circuito de control [7]



Figura 8. Circuito de control construido [8]

3.4. Fuente de poder

Como parte de una actividad de puntos extra, el equipo diseñó una fuente de alimentación adaptada al sistema electrónico del portero. Este subproyecto involucró la investigación acerca del funcionamiento de transistores, las etapas de conversión de un Vac a Vdc, la investigación sobre componentes necesarios para el circuito y pruebas para ajustar la salida.

Se diseñó una fuente de poder regulada capaz de proporcionar un voltaje de salida de 12V DC. Este dispositivo utiliza un transformador para reducir el voltaje de entrada de la red eléctrica, seguido de un circuito rectificador con un puente rectificador y capacitores, y un regulador para obtener una señal estable y adecuada para alimentar el sistema electrónico del portero.

La lista de materiales es la siguiente:

4. Un módulo regulador de voltaje XL4016 con stepdown
5. Un transformador de corriente con derivación central 24V AC y 3A
6. Diodos Schottky Sb5200
7. Capacitores de 2200uF y 50V
8. Terminales de tornillo y cables para conexión
9. Protoboard

Procedimiento de construcción

1. Se utilizó un transformador de 24V AC con una corriente nominal de 3A. Las terminales de entrada se conectaron a la red eléctrica.
2. Se ensambló un puente rectificador con cuatro diodos Schottky SB5200, y se conectaron a las salidas del transformador. Posteriormente, las salidas del puente se conectaron a los capacitores.
3. Se conectaron tres capacitores electrolíticos de 2200uF, 50V en paralelo a la salida del puente rectificador para reducir el rizado.
4. Se integró, finalmente, un regulador XL4016 para estabilizar la salida en 12V DC.
5. Se midieron los voltajes en diferentes etapas para asegurar conexiones correctas.
6. Se ajustó el stepdown, con potenciómetros para entregar un voltaje estable de 12V y corriente de 2A.

Esquemático del circuito

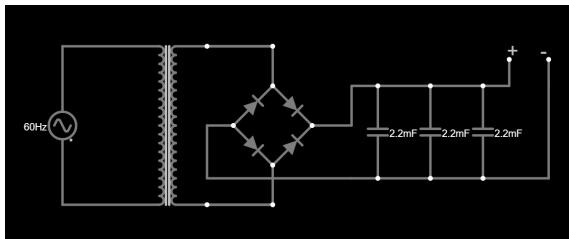


Figura 9. Circuito previo al regulador de voltaje [9]

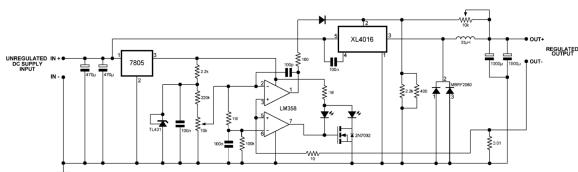


Figura 10. Circuito del módulo regulador XL4016 [10]

Fuente de poder construido

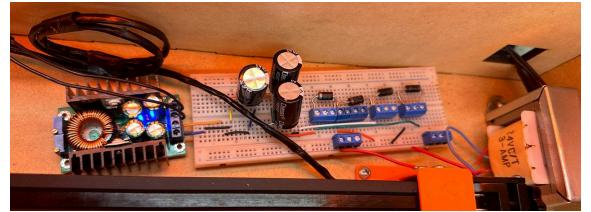


Figura 11. Fuente de poder construido [11]

4. Integración del Sistema

Con las partes mecánicas y electrónicas listas, el siguiente paso fue ensamblar el sistema completo y realizar pruebas funcionales. Esto incluyó:

- Conectar la fuente de alimentación con el circuito de control de Arduino
- Montaje final del portero, pegando las placas de MDF

Además, se añadió una tira LED decorativa de color naranja en el interior del portero para mejorar la estética general.

Posteriormente, el prototipo fue sometido a pruebas en la cancha de juego. Durante estas pruebas se evaluó la capacidad del portero para registrar goles y realizar movimientos rápidos para interceptar goles.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el proceso de construcción, se logró ensamblar todos los elementos mecánicos cumpliendo con las dimensiones y especificaciones establecidas en el diseño CAD. Los componentes principales, fabricados en MDF mediante corte láser, proporcionaron una base sólida y estable para soportar el resto de las piezas y los elementos electrónicos del portero. Asimismo, se utilizaron piezas manufacturadas mediante impresión 3D para soportes y elementos del sistema de engranajes, lo cual facilitó el ensamblaje y mejoró la integración del diseño.

Por otra parte, el sistema electrónico funcionó adecuadamente, ya que todos los componentes respondieron de manera precisa a los comandos programados. La fuente de alimentación diseñada suministró un voltaje constante de 12V, garantizando un desempeño estable y continuo sin interrupciones durante las pruebas y el torneo. Asimismo, el sensor de goles funcionó correctamente, registrando de manera precisa todos los goles que sobrepasaron al portero y cayeron en la rampa diseñada para facilitar la detección, visualizado en tiempo real mediante un marcador LED.

El prototipo final cumplió con los objetivos planteados: desplazarse lateralmente con precisión, bloquear balones, registrar goles y mantener una estética funcional.

Durante el torneo de futbolito, el portero demostró un rendimiento confiable. En la primera ronda, el equipo logró anotar dos goles, asegurando un pase a la semifinal. En esta etapa, aunque se recibieron dos goles, el portero del equipo nuevamente fue decisivo para clasificar al partido de repechaje, donde se consiguieron otros dos goles que otorgaron el pase a la final. A pesar de no anotar en la última partida y no quedar en el podio, el proyecto destacó por su desempeño técnico y visual, y la experiencia enriquecedora que proporcionó al equipo.

Es importante mencionar que, para optimizar el diseño final, se excluyeron algunos componentes como el Arduino y otros elementos considerados innecesarios o demasiado pesados para el sistema. Esta decisión permitió simplificar la estructura sin comprometer su funcionalidad.

En general, el modelo final cumplió con todas las expectativas y mediciones diseñadas. El torneo de futbolito fue una experiencia valiosa, ya que permitió ver en acción diversos proyectos similares.



Figura 12. Ensamble Físico Final [12]

IV. CONCLUSIÓN

La creación del prototipo del portero automatizado dejó una experiencia enriquecedora en el equipo, permitiendo aplicar los distintos conocimientos de mecánica, electrónica y programación en Arduino, en un mismo proyecto integral. El portero cumplió con el funcionamiento adecuado y eficiente en términos de movimiento lineal, activación precisa del solenoide para golpear la pelota, y contador de goles con la visualización de un marcador digital.

Durante la elaboración del proyecto hubo algunos retos a enfrentar, entre ellos cuestiones de tolerancia mecánica en las piezas de impresión 3D y la calibración del sensor de gol. Estos retos se superaron a través de la reimpresión de

partes mecánicas, modificaciones en el diseño CAD, así como avances y modificaciones al código de programación.

El prototipo además de cumplir con su funcionamiento principal, durante todo el torneo de futbolito tuvo un rendimiento perfecto. No obstante, se detectaron algunas áreas de oportunidad, como la optimización del sistema de engranajes, así como la utilización de componentes más livianos para hacer que el sistema tenga una respuesta aún más rápida.

ANEXOS

- [1] Figura 1. Soportes para perfil
https://drive.google.com/file/d/1Ah5tE4Z86zm5l-e_Y2FOz4cJT6OAvna5/view?usp=drive_link
- [2] Figura 2. Sistema de Engranajes
https://drive.google.com/file/d/1rEy8ysgGVj59GiXU9IMt3sGoZHa_IIDn/view?usp=sharing
- [3] Figura 3. Sistema ajustable de posición del golpeador
https://drive.google.com/file/d/1HJRjKKWdhYBM1VLBoi6jTGIGF1K0bN-K/view?usp=drive_link
- [4] Figura 4. Golpeador
https://drive.google.com/file/d/1LEmM7OUiPfPrc0nyPjm7VnCO8myK10/view?usp=drive_link
- [5] Figura 5. Sistema de engranajes del motor
https://drive.google.com/file/d/1v2634xdOLMt2AdHvdFUzAAq6pv43pVZ1/view?usp=drive_link
- [6] Figura 6. Diagrama de flujo del programa
https://drive.google.com/file/d/1fGE9zQchT1UFJCg6b-6sTlwCXb0VK5eW/view?usp=drive_link
- [7] Figura 7. Esquemático del circuito de control
https://drive.google.com/file/d/1mOjve6wvarJ86ippy4EvR17Q0hoeIK7/view?usp=drive_link
- [8] Figura 8. Circuito de control construido
https://drive.google.com/file/d/1qC2fxJFvtT6LZPsCQ102NJNB0EAyFBDT/view?usp=drive_link
- [9] Figura 9. Circuito previo al regulador de voltaje
https://drive.google.com/file/d/1CaAZp-UnsqjCURg0baOoexrwvqwA66pc/view?usp=drive_link
- [10] Figura 10. Circuito del módulo regulador XI4016
https://drive.google.com/file/d/1i-H5oZ7cWrIp146bj-kF3FflsnR_XT8/view?usp=drive_link
- [11] Figura 11. Fuente de poder construido
https://drive.google.com/file/d/1Hk4t4ZylDOcz9wh-dYgxeYYzqgFEUDm2/view?usp=drive_link
- [12] Figura 12. Ensamble Físico Final
<https://drive.google.com/file/d/1oSPeX0XrZR5qOv8eImOPfHarl-uKhaFV/view?usp=sharing>