

2025

# Universidad Nacional de Lomas de Zamora - Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Lomas de Zamora – Facultad de Ingeniería.

Título: Robot Avícola V2

Tutor:

Ing. LUKASZEWICZ, Cristian

Firma del Docente/Tutor:

\_\_\_\_\_

Alumno:

JARA, Ricardo

## Índice

### Contenido

.....	0
Índice.....	1
Reservado a la Facultad para evaluación .....	2
Lugar de realización de la PPS .....	3
Resumen del trabajo realizado.....	4
Diseño y Mecánica del Brazo Robótico.....	4
Arquitectura Eléctrica y Electrónica.....	5
Desarrollo de Software y Lógica de Control .....	6
Control de Actuadores y Sensores.....	8
Metodología y Entorno de Trabajo .....	8
Conclusión.....	11
Anexo de Planos .....	12

**Reservado a la Facultad para evaluación**

## Lugar de realización de la PPS

La PPS se llevó a cabo en facultad de ingeniería de la UNLZ y, además otro gran porcentaje del trabajo en mi domicilio particular, donde tuve a disposición herramientas y máquinas, un lugar adaptado para trabajar en buenas condiciones.

Durante el período he abordado con gran entusiasmo, rigor en el desarrollo y la optimización de un brazo robótico articular RRR de 3 Grados de Libertad (GDL) para el proyecto "ROBOT AVÍCOLA V2". Este proyecto representó un desafío significativo que me permitió aplicar y expandir mis conocimientos en robótica, automatización y la aplicación de IoT.

### **Entornos de Trabajo y Recursos Aprovechados:**

Las diversas etapas de este proyecto se materializaron en una combinación estratégica de dos entornos de trabajo fundamentales, cada uno aportando recursos y capacidades específicas que fueron cruciales para el éxito del brazo robótico:

**Laboratorio de la Facultad:** En este espacio se consolidó las pruebas de testeo y validación del sistema. En el laboratorio, tuve acceso a instrumentos de medición de alta precisión, como multímetros, que me permitieron verificar minuciosamente el rendimiento eléctrico/electrónico de cada componente, así como el comportamiento global del brazo. La posibilidad de realizar pruebas bajo condiciones controladas fue indispensable para asegurar la funcionalidad.

**Mi Domicilio:** Funcionando como una extensión vital del laboratorio, proporcionó un espacio flexible para la fase de desarrollo inicial, ensamblaje y testeos preliminares. Contaba con fuentes de alimentación reguladas, una extensa gama de insumos electrónicos y eléctricos (protoboard, cableado, microcontroladores, etc.), y mis propias herramientas de medición eléctrica portátiles, como multímetros digitales. Esto me facilitó la realización de las primeras pruebas, la depuración de circuitos de control y los ajustes de software en un ambiente más personal. Trabajar en mi casa permitió una iteración rápida de ideas y soluciones, además de probar, simular antes de llevarlo a la realidad, además de gestionar mis tiempos.

### **Tecnologías y Herramientas Fundamentales Implementadas:**

Para el diseño, construcción y programación del brazo robótico, integré diversas tecnologías y herramientas, abarcando desde la concepción virtual hasta el control físico:

Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Simulación. Simulación de trayectorias antes de cualquier ensamblaje físico. Esto no solo ahorró tiempo y recursos, sino que también garantizó un diseño más eficiente y seguro.

### **Régimen de Dedicación Horaria:**

La constancia fue un pilar en la ejecución de estas PPS. Me dediqué al proyecto de forma ininterrumpida, trabajando cuatro horas diarias durante todos los días de la semana hábil. Este compromiso sostenido me permitió avanzar de manera sistemática, abordar los desafíos conforme surgían y completar el trabajo dentro de los plazos establecidos, asegurando una progresión constante hacia el objetivo final.

## Resumen del trabajo realizado

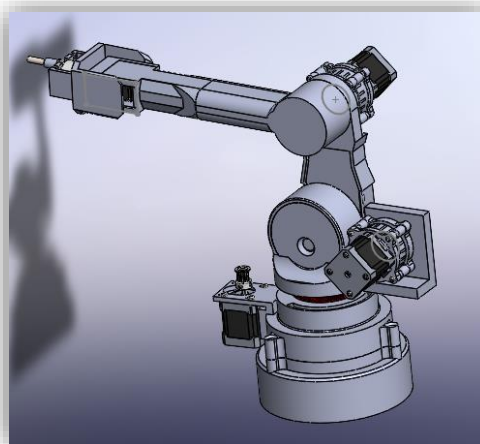
El trabajo realizado en la etapa de la PPS es el diseño, mejora e implementación de un Brazo Robótico Articular RRR de 3 GDL para un Robot Avícola. Durante mis Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS), llevé a cabo una mejora significativa en un robot avícola existente V1. Logré incorporar un sistema robótico completamente nuevo y más robusto. Este proyecto tuvo como objetivo principal optimizar el proceso de recolección de huevos, logrando un mejor control cinemático y una operación más eficiente pasando a una versión Robot Avícola V2.

A continuación, se irán abordando las etapas del trabajo.

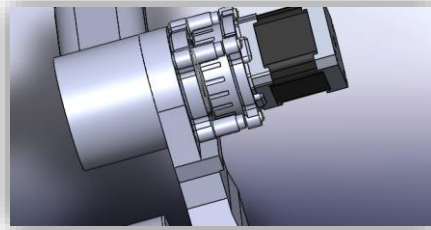
### Diseño y Mecánica del Brazo Robótico

El inicio del proyecto se centró en la fase mecánica y de diseño del brazo robótico. Realicé un diseño propio de la estructura, optando por una configuración articular RRR de 3 Grados de Libertad. Este diseño fue crucial para garantizar la manipulabilidad de los huevos de forma segura y precisa. La selección de materiales y la definición de las dimensiones de cada eslabón se realizaron pensando en la rigidez estructural y en la capacidad de carga. Cada componente fue cuidadosamente modelado para asegurar movimientos precisos y consistentes.

La siguiente imagen extraída de SolidWorks software CAD del Robot RRR de 3GDL. Para la fabricación del robot se llevó a cabo en la empresa de manera particular, el material adoptado fue el PLA con la configuración de mayor resistencia. El reductor para el motor Paso a Paso también se realizó del mismo material, al contar con piezas muy pequeñas se procedió a imprimir con las mismas características de dureza con densidad de relleno (entre 50%-70%).



*Ilustración 1 – Vista en perspectiva*



*Ilustración 2 – vista motor PP y su reductor 5:1*

## Arquitectura Eléctrica y Electrónica

En la parte eléctrica y electrónico, mi trabajo incluyó el diseño detallado de los planos de los circuitos. Estos planos abarcan la interconexión de todos los componentes, desde la alimentación de los motores hasta la comunicación entre los microcontroladores. La arquitectura electrónica fue diseñada para ser modular y escalable, para futuras expansiones y mejoras que se quieran agregar. En cuanto a los microcontroladores, utilicé una combinación estratégica para optimizar las distintas tareas del sistema, fueron adoptadas debido al bajo costo y escalabilidad:



### Componentes principales:

- **ESP32-CAM:** Dado que este driver integra una cámara muy funcional a los requerimientos que se necesitó. Cuenta con capacidades de controlar su captura hasta poder corregir filtros de imagen. El ESP32 se conecta mediante wifi facilitando así tareas de comunicar software/hardware y envío de manera instantánea al programa de ejecución de proceso e identificación de las imágenes para que pueda procesar el modelo de identificación.
- **Arduino Uno:** Utilizado para el control directo de los actuadores electromecánicos debido a su robustez y confiabilidad para manejar señales en tiempo real para los motores controlados por PWM. Se utilizaron en total dos, el otro Arduino fue para el control del Brazo.
- **ESP32:** Utilizado para realizar la lógica del sistema y enlace entre visión artificial, MQTT y, la comunicación UART.
- **Motores Paso a Paso NEMA 17** de torque 2.5 Kg.cm, total 3. Para el Gripper se usó un motor PP también 28Byj de torque 1.5 Kg.cm. Motor de CC de 9V 77rpm de corriente continua, con su respectivo controlador de motores L298N.

### Desarrollo de Software y Lógica de Control

El desarrollo de software fue una de las etapas más complejas y gratificantes del proyecto, a incluir desde el control de bajo nivel hasta la visión artificial y la comunicación Inter dispositivos, se utilizó diferentes librerías para visión artificial, modelo de detección de huevos en tiempo real, he aplicado, una api para detección de objetos de la página RoboFlow, la página ofrece hacerlo desde la plataforma y en cuestión de segundos obtener el resultado de la detección para luego usarlo en nuestro sistema.

El proceso se basa en:

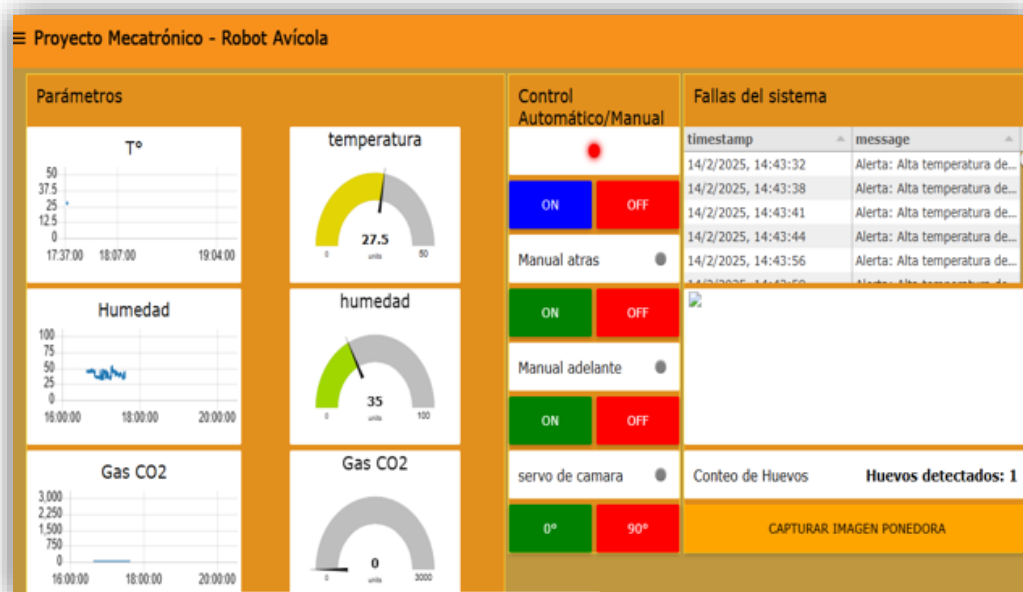
- Programación en Python implementando el modelo preentrenado de detección.
- Uso de la Librería de CV2 para calcular la posición exacta del objeto en los ejes coordenados.
- Procesamiento de imágenes en tiempo real, captura y, llamada a la api para hallar la inferencia y porcentaje de confiabilidad del modelo de escala 0 a 1.
- Uso del protocolo de publicación y suscripción de mensajería MQTT para enviar las coordenadas articulares para mover el robot.

- Cálculo de la cinemática inversa a partir del modelo matemático de la cinemática directa para un robot de 3 grados de libertad, para hallar los ángulos de las articulaciones.

En la siguiente imagen se observa a modo ilustración las diferentes tecnologías utilizadas.



Diseño de un Dashboard para secuencia de funcionamiento en automático/Manual, se implementó con el objetivo de maniobrar desde aquí de manera visual e intuitiva, se observa el control de temperatura, humedad, gas CO2, esto es visualizada en tiempo real para que el operador que este a su cargo pueda tener en todo momento las condiciones de habitat de las ponedoras.





## Control de Actuadores y Sensores

Para el control de los actuadores y sensores, programé el Arduino Uno utilizando lenguaje C (entorno Arduino IDE). Aquí implementado:

La lógica para el control a lazo abierto de los motores paso a paso NEMA 17. Desarrollé algoritmos para generar los pulsos y la secuencia de pasos necesarios para mover cada una de las tres articulaciones del brazo de forma precisa. Esto incluyó la implementación de perfiles de velocidad y aceleración para lograr movimientos suaves.

La lectura y procesamiento de los sensores de fin de carrera utilizados para el homing (referenciado inicial) del brazo.

Sensores utilizados fueron:

- Sensores de Humedad y temperatura DHT11
- Sensor de Gas co2 MQ135
- Sensor de proximidad infrarrojo para seguidor de línea y FC1 robot.

## Metodología y Entorno de Trabajo

El desarrollo de este proyecto siguió una metodología estructurada. Las pruebas de testeo exhaustivas se realizaron donde tuve acceso a instrumentos de medición de precisión que me permitieron validar cada aspecto del diseño eléctrico, así como la exactitud de los movimientos del brazo.

Además, para las fases de diseño, realicé simulaciones de los movimientos utilizando herramientas de diseño CAD. Esto me permitió validar la cinemática y la viabilidad del diseño antes de la construcción física, minimizando errores.

El horario de dedicación fue constante: trabajé cuatro horas diarias durante los días de la semana, lo que me permitió avanzar de forma sostenida hasta la culminación del proyecto.

La cinemática inversa es una herramienta fundamental en robótica para determinar los valores articulares que debe adoptar un manipulador para alcanzar una posición y orientación deseada en el espacio de trabajo. En este proyecto, se implementó un modelo de cinemática inversa para un robot antropomórfico con tres grados de libertad (3GDL), del tipo RRR (Revoluta-Revoluta-Revoluta), conformado por tres articulaciones rotacionales y tres eslabones.

La problemática a solucionar era que el efector final del brazo pueda llegar al objeto de manera eficiente, las coordenadas cartesianas que se obtuvieron fueron tomadas por la cámara en lo que respecta el eje x e y, se fue calibrando teniendo en cuenta la perspectiva perpendicular, aplicando una toma hacia abajo, además de lograr corroborar con medición de cinta métrica para ir calibrando y ajustando el error de medición que se tenía.

Se tuvieron en cuenta todos los datos del robot.

- Base de altura  $b$ , desde el plano base hasta la primera articulación rotacional.
- Eslabón  $l_1$  correspondiente al brazo.
- Eslabón  $l_2$  correspondiente al antebrazo.

El objetivo fue hallar las coordenadas articulares  $\theta_1 \theta_2 \theta_3$  que permitan posicionar de forma correcta el extremo del robot.

### Calculo de los Ángulos articulares.

- Articulación de la base  $\theta_1$   
Este ángulo se calcula directamente a partir de la proyección del punto de acción sobre el eje XY. Cabe aclarar que las rotaciones son en sentido del eje Z.

$$\theta_1 = \tan^{-1}(p_y/p_x)$$

Este valor determina cuanto debemos rotar el eslabón de la base, lo cual orienta un eje a la posición final del objetivo.

- Articulación del codo  $\theta_3$   
Se ajusta la coordenada en el plano vertical de la base, eso se hace por software debido al punto de acción entre el gripper y el extremo del codo.

$$p'_z = p_z - b$$

Luego aplicar algoritmo matemático para hallar las proyecciones, considerando la distancia al punto objetivo.

$$D^2 = p_z^2 + p_y^2 + (p'_z)^2$$

$$\cos(\theta_3) = \frac{D^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} 2(\sqrt{1 - \cos^2(\theta_3)} / \cos(\theta_3))$$

En este caso se dejó la configuración de codo arriba.

- Articulación del codo  $\theta_2$   
Conocido el ángulo de la articulación tres del codo, se procede a calcular la del brazo.

$$A_1 = l_1 + l_2 \cos(\theta_3), A_2 = l_2 \sin(\theta_3)$$

Podemos hallar la distancia proyectada sobre el plano XY:

$$d_p = p_x \cos(\theta_1) + p_y \sin(\theta_1)$$

Resolvemos y obtenemos las relaciones:

$$\sin(\theta_2) = \frac{p'_z A_1 - d_p A_2}{A_1^2 + A_2^2}$$

$$\cos(\theta_2) = \frac{d_p A_1 - p'_z A_2}{A_1^2 + A_2^2}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} 2(\sin \theta_2 / \cos(\theta_2))$$

La segunda parte se basó en convertir a pasos los ángulos las articulaciones.

Una vez obtenidos los valores articulares en grados, se convierten a pasos para ser enviados a los motores PP. Esta conversión se realiza en función de la resolución del motor a los pasos por vuelta y del mecanismo de transmisión.

$$Pasos = \frac{\theta_i \cdot Pasos \text{ por vuelta}}{360^\circ}$$

Tener en cuenta el reductor del brazo y codo 5:1, esto se traduce en multiplicar los pasos obtenidos por cinco. Para la base se usó direct drive debido a la menor fuerza que puede ejercer.

Este proceso permite controlar el actuador con precisión, asegurando que el efector final se desplace al punto deseado dentro del espacio de trabajo del robot.

Luego de obtener las coordenadas articulares estos son enviados por MQTT al ESP32 y, de este último por comunicación UART serial al Arduino uno Shield 3D CNC que controla los motores PP de las articulaciones.

## Conclusión

De cara al futuro, la experiencia con este brazo robótico me ha abierto un sinfín de posibilidades. La capacidad de integrar sistemas de visión por computadora, control cinemático y comunicación entre diferentes microcontroladores, me demuestra que estos conocimientos son altamente transferibles. Podríamos implementar estos sistemas no sólo en la industria avícola, sino también en lo que es la automatización en general, dónde la robótica precisa y autónoma es indispensable. Esto nos permite expandir nuestros conocimientos y aplicar soluciones de ingeniería a problemas complejos en diversos sectores.

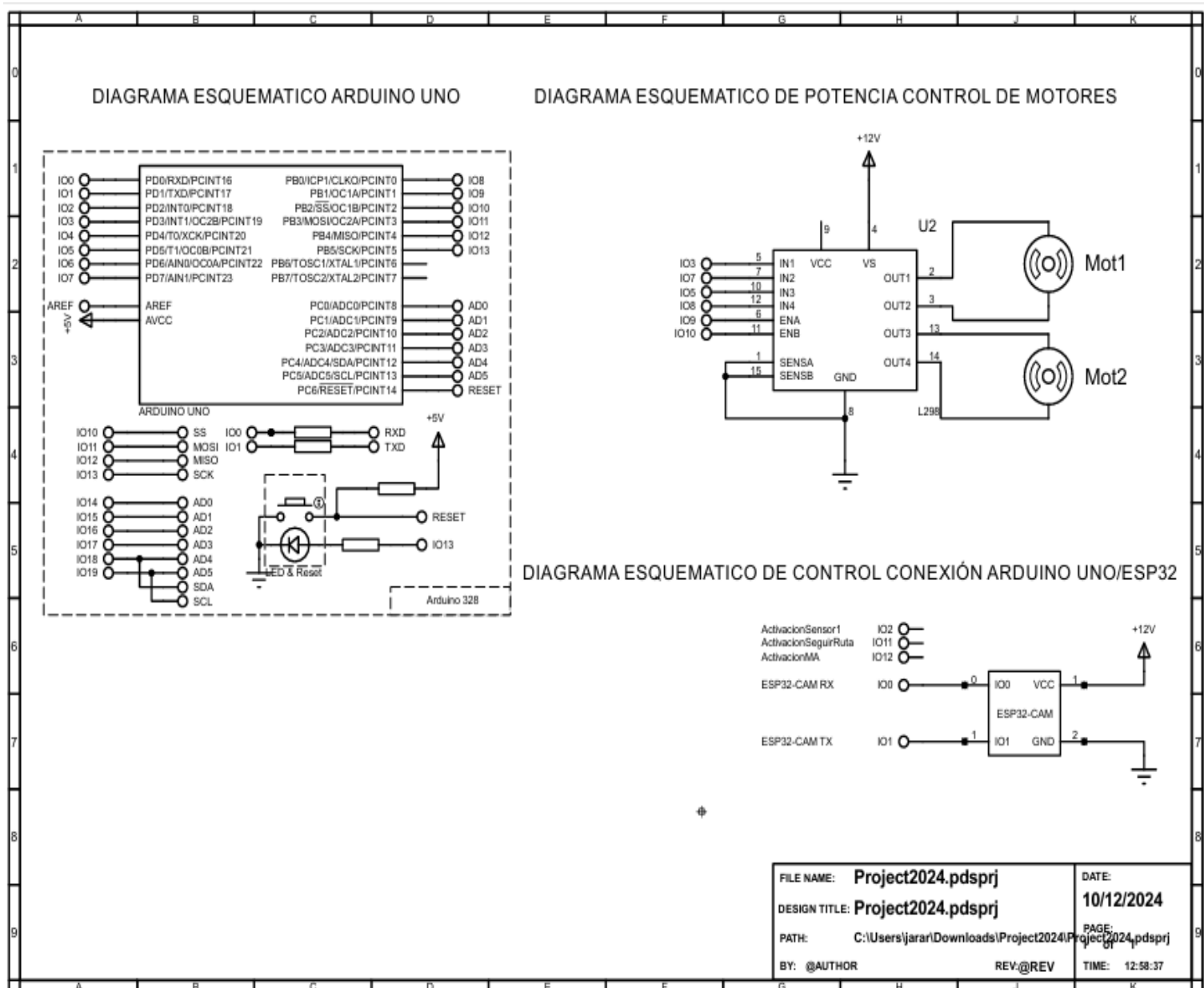
La realización de este proyecto en el marco de mis Prácticas Profesionales Supervisadas ha marcado en mi desarrollo, tanto personal como profesional. Me ha permitido consolidar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y, lo que es más importante, me ha preparado para los desafíos que el futuro me depara en el ámbito de la ingeniería.

Este trabajo representó la oportunidad perfecta para comprender que la facultad me ha brindado las herramientas básicas para poder construir hacia adelante. Demostramos que la teoría es la base, pero la verdadera formación ocurre al enfrentar problemas reales. El desarrollo del brazo robótico avícola no solo puso a prueba mis habilidades técnicas, sino que también me exigió una serie de competencias blandas esenciales.

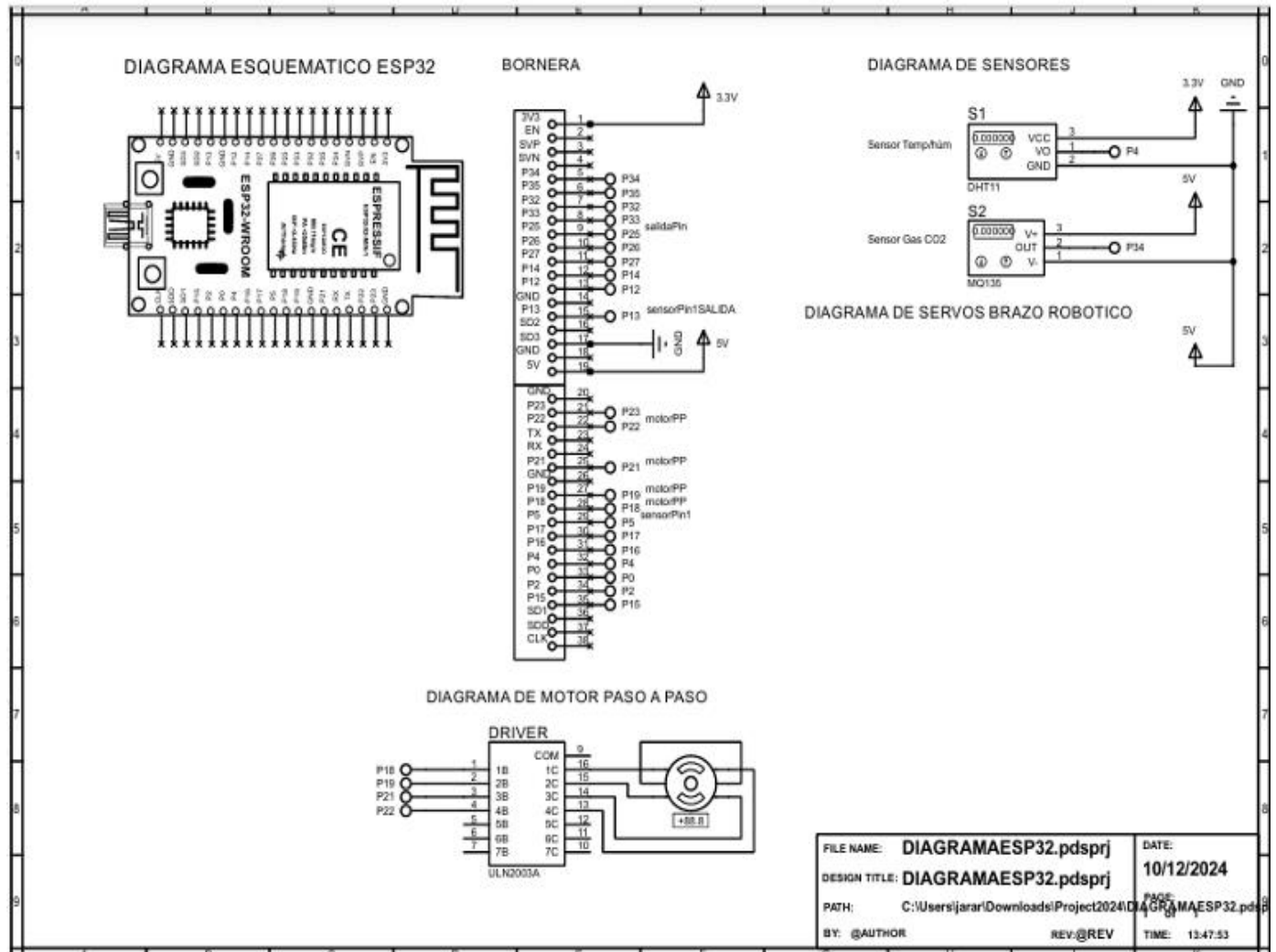
He aprendido la vital importancia de la constancia y la disciplina para alcanzar los objetivos propuestos. Hubo momentos de frustración y complejidad, pero la persistencia diaria, trabajando metódicamente y lo más organizado posible, fue lo que me permitió superar cada obstáculo. De cada error, extraje una valiosa lección; aprenderé a identificarlos, analizarlos y salir adelante, transformando cada tropiezo en una oportunidad de mejora y aprendizaje.

## Anexo de Planos

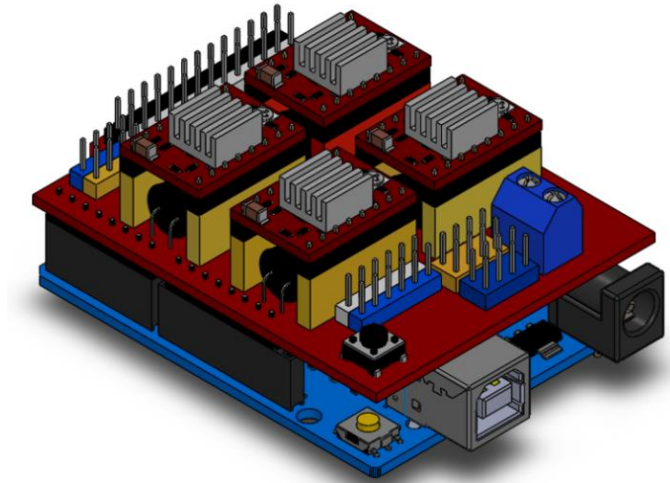
## Plano electrónico/Eléctrico



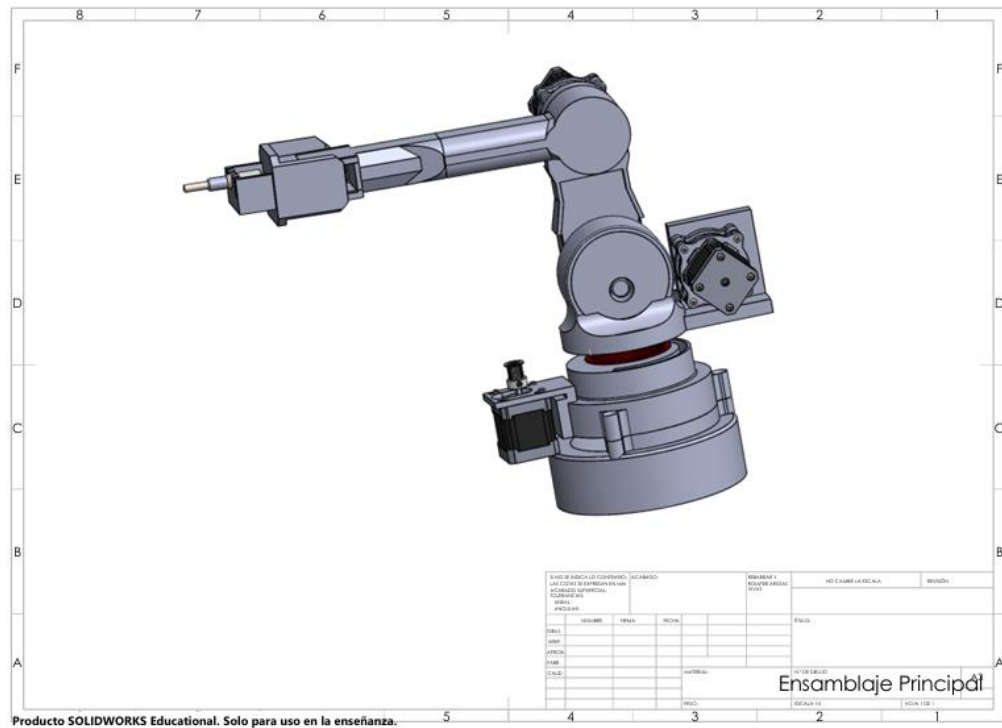
## Plano Eléctrico/Electrónico

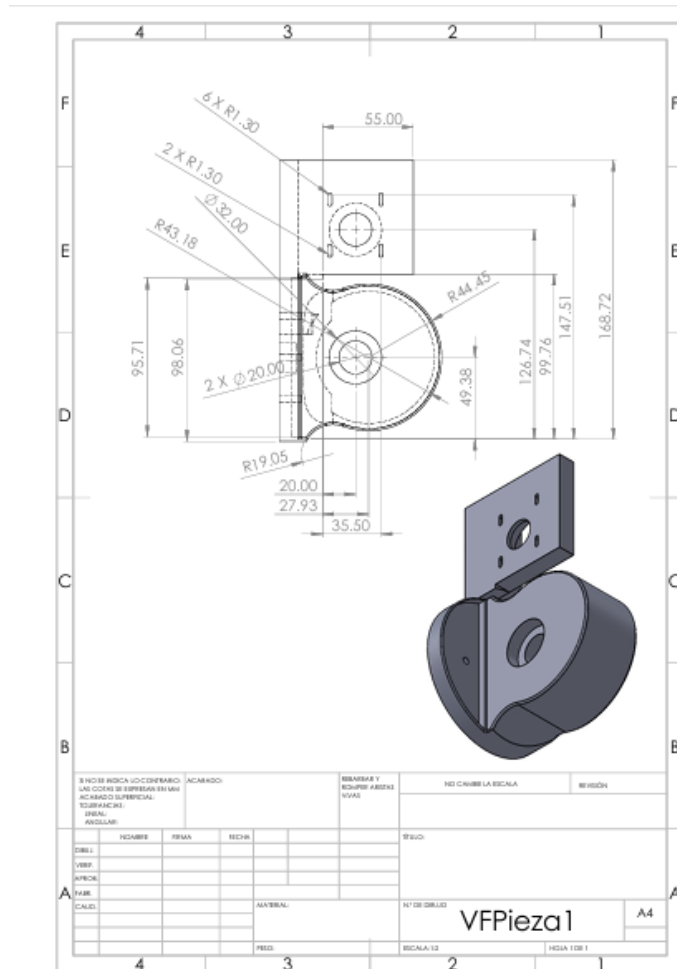


Se anexa el plano 3D, driver para el control de motores paso a paso de las articulaciones del robot.



Plano Mecánico en perspectiva del Robot RRR 3GDL.





Adjunto planos. El completo está en el GIT del proyecto.