

Diseño y construcción de un prototipo de plataforma móvil funcional para la adecuación de sistemas relacionados al cultivo de tomates en invernadero.

Andrea Katherine Ávila Pérez

Jader Yesid Jiménez Herrera

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

David Alfredo Fuentes Díaz

Doctor en Ingeniería Mecánica.

Codirector

Yennifer Yuliana Ríos Díaz

Ingeniera Mecatrónica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Este proyecto está dedicado a mis padres Ruth y Andrés por su sacrificio, apoyo incondicional y colaboración en los momentos de mayor dificultad. A mis hermanos y amigos por su continuo apoyo y paciencia, gracias a todo esto he podido concluir mi carrera.

A estas personas que han sido una guía y me han brindado consejos que me han servido para formarme como persona y como profesional.

Andrea Ávila Pérez

A mis padres, Rosa y Daniel, por su paciencia, cariño y comprensión y por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

También se la dedico a aquellos que faltan, desde algún sitio, sé que me acompañan y forman parte de la luz que me daba fuerzas para continuar.

A mis hermanos y amigos, por todo su apoyo incondicional, espero les sirva de ejemplo de que todo se puede lograr.

A mi compañera de tesis, quien me hacía reaccionar cuando pensaba que no podía continuar.

Y, finalmente, al ser que me acompañó a las 3 de la mañana cuando me sentía frustrado porque no me daba un ejercicio de estática, te extraño.

*Jader Yesid Jiménez
Herrera*

Agradecimientos

Principalmente, a nuestros padres, por su infinita paciencia y fe en nosotros, a nuestros amigos, que con su cariño y ayuda nos dieron un empujón cada vez que nos quedábamos atascados en el desarrollo del proyecto, a nuestra escuela por brindarnos las bases necesarias para este logro y a nuestros directores de tesis, por brindarnos la oportunidad de desarrollar y completar este objetivo.

Tabla de contenido

| | Pág. |
|---|-----------|
| Introducción | 10 |
| 1. Objetivos | 12 |
| 2.1. Objetivo General | 12 |
| 2.2. Objetivos Específicos..... | 12 |
| 2. Alcance del proyecto..... | 13 |
| 3. Desarrollo del proyecto..... | 14 |
| 3.1 Caracterizar los requerimientos dimensionales y de carga de la plataforma móvil. 14 | |
| 3.2 Diseñar los sistemas estructurales, control, movilidad y comunicación del prototipo funcional de plataforma móvil. | 18 |
| 3.3 Diseño y digitación de la programación de la plataforma móvil | 50 |
| 3.4 Validar el prototipo funcional en un ambiente de laboratorio. | 54 |
| 4.5 Establecer la viabilidad económica del prototipo de plataforma móvil..... | 58 |
| 4. Conclusiones | 66 |
| 5. Recomendaciones | 69 |
| Referencias bibliográficas | 70 |
| Apéndice | 72 |

Lista de Figuras.

| | |
|--|----|
| Figura 1 Estructura de las naves del invernadero. | 15 |
| Figura 2 Invernadero en periodo de siembra. | 15 |
| Figura 3 Invernadero en periodo de crecimiento. | 16 |
| Figura 4 Surcos del cultivo en periodo de producción..... | 16 |
| Figura 5 Diseño de chasis en el CAD SolidWorks | 19 |
| Figura 6 Chasis en PDF para corte en acrílico..... | 20 |
| Figura 7 Diseño de los soportes de motor en el CAD SolidWorks en vista isométrica. . | 21 |
| Figura 8 Diseño de soportes de sensor de ultrasonido en el CAD SolidWorks..... | 22 |
| Figura 9 Diseño de soporte de módulo bluetooth en el CAD SolidWorks..... | 23 |
| Figura 10 Diseño de soporte de servomotor en el CAD SolidWorks..... | 24 |
| Figura 11 Diseño de soporte de servomotor en el CAD SolidWorks..... | 25 |
| Figura 12 Diseño de soporte placa Arduino UNO en el CAD SolidWorks..... | 26 |
| Figura 13 Diseño de soporte motor driver L298N en el CAD SolidWorks..... | 27 |
| Figura 14 Chasis en acrílico..... | 27 |
| Figura 15 Soportes de motor en impresión 3D. | 28 |
| Figura 16 Soportes de sensor ultrasonido con sensor equipado en impresión 3D..... | 28 |
| Figura 17 Soportes placa Arduino UNO y motor driver L298N en impresión 3D con componentes montados..... | 28 |
| Figura 18 Soporte de Modulo bluetooth en impresión 3D..... | 29 |
| Figura 19 Soporte de servomotor en impresión 3D con servomotor montado. | 29 |
| Figura 20 Placa Arduino UNO | 31 |
| Figura 21 Motor Driver L298N Puente H..... | 31 |
| Figura 22 Encoder..... | 35 |
| Figura 23 Motorreductor con caja reductora 1:48 | 35 |
| Figura 24 Motores de un eje y de doble eje con encoder y ruedas. | 36 |
| Figura 25 Sensor ultrasonido HC-SR04..... | 36 |
| Figura 26 Micro servomotor SG90 9G | 37 |
| Figura 27 Sensor infrarrojo FC-51..... | 37 |
| Figura 28 Interfaz de la aplicación All in a Robot..... | 38 |
| Figura 29 Medición de consumo del módulo de motor driver L298N. | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 30 Medición de consumo de encoders..... | 41 |
| Figura 31 Medición de consumo prototipo encendido y en reposo. | 42 |
| Figura 32 Medición de consumo de módulo bluetooth. | 42 |
| Figura 33 Esquema de montaje de la plataforma. | 43 |
| Figura 34 Esquema montaje electrónico de la plataforma, ampliada. | 44 |
| Figura 35 Esquema montaje electrónico de la plataforma, ampliada. | 45 |
| Figura 36 Montaje de soportes de motor y motores sobre la placa..... | 46 |
| Figura 37 Motores ajustados con tornillos a los soportes impresos..... | 46 |
| Figura 38 Placa acrílica con soportes, motores y ruedas montadas. | 47 |
| Figura 39 Montaje de Placa Arduino UNO y Motor driver L298N a soportes impresos.48 | |
| Figura 40 Montaje de soportes con componentes sobre la placa acrílica. | 48 |
| Figura 41 Montaje de los sensores IR, servomotor y ultrasonido..... | 49 |
| Figura 42 Conexiones realizadas | 49 |
| Figura 43 Diagrama de flujo del funcionamiento de la plataforma móvil..... | 50 |
| Figura 44 Diagrama de flujo del modo manual. | 51 |
| Figura 45 Diagrama de flujo del modo evasión de obstáculos. | 52 |
| Figura 46 Diagrama de flujo seguidor de línea..... | 53 |
| Figura 47 Diagrama de flujo de función de manejo por voz. | 54 |
| Figura 48 Prueba de control remoto..... | 55 |
| Figura 49 Prueba de control por voz..... | 56 |
| Figura 50 Prueba de control de ultrasonido. | 56 |
| Figura 51 Prueba de control de seguidor de línea en línea recta..... | 57 |
| Figura 52 Prueba de control de seguidor de línea en pista..... | 57 |
| Figura 53 Plataforma UGV01 | 58 |

Lista de tablas.

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1 Características dimensionales del invernadero. | 14 |
| Tabla 2 Actividades realizadas en las labores del invernadero. | 17 |
| Tabla 3 Consumo de componentes por unidad. | 40 |
| Tabla 4 Consumo por grupos de componentes. | 40 |
| Tabla 5 Inversión trimestral del invernadero durante periodo de producción. | 61 |
| Tabla 6 Inversión en mano de obra del invernadero | 62 |
| Tabla 7 Producción económica del último periodo del año 2023 | 63 |
| Tabla 8 Producción económica del primer periodo del año 2024. | 63 |
| Tabla 9 Producción económica del segundo periodo del año 2024 | 63 |
| Tabla 10 Cálculos de viabilidad económica de los empleados | 64 |

Lista de Apéndices

| | pág. |
|--|-------------|
| Apéndice A Explosionado de prototipo de plataforma móvil..... | 72 |
| Apéndice B Plano de la placa de plataforma..... | 73 |
| Apéndice C Plano de soporte de soporte de motor. | 74 |
| Apéndice D Plano de servomotor..... | 75 |
| Apéndice E Plano de soporte de ultrasonido..... | 76 |
| Apéndice F Plano de soporte de infrarrojos. | 77 |
| Apéndice G Plano de soporte de Arduino..... | 78 |
| Apéndice H Plano de soporte de motor driver L298N..... | 79 |
| Apéndice I Plano de soporte de módulo bluetooth HC-06..... | 80 |
| Apéndice J Plano de ensamblaje global..... | 81 |

Resumen

Título: Diseño y construcción de un prototipo de plataforma móvil funcional para la adecuación de sistemas relacionados al cultivo de tomates en invernadero. *

Autor: Ávila Pérez Andrea Katherine y Jiménez Herrera Jader Yesid.¹

Palabras Clave: Agricultura de precisión, automatización agrícola, cultivo de tomates, invernadero, movilidad y adaptabilidad, plataforma móvil, prototipo y tecnología agrícola.

El Presente trabajo de investigación se centra en el diseño y construcción de un prototipo de plataforma móvil funcional con distintas funciones de movilidad para la adecuación de sistemas relacionados al cultivo de tomates en invernadero. Este proyecto, surge como respuesta a la creciente importancia de la tecnología en los procesos de agricultura moderna en Colombia. La implementación de este prototipo tiene como objetivo principal mejorar la gestión de recursos, facilitar la monitorización del cultivo y automatizar tareas específicas, contribuyendo al progreso sostenible de la agricultura en entornos controlados.

Este estudio no abarca solamente los aspectos entorno a la ingeniería mecánica y electrónica asociados a la movilidad de la plataforma, sino que también busca fomentar la integración de tecnologías avanzadas para la gestión inteligente de un sistema agrícola, en este caso un cultivo de tomates de invernadero. Este proyecto representa un paso significativo hacia la agricultura de precisión y sostenible, destacando la importancia de la innovación tecnológica en la optimización de los procesos agrícolas específicos.

* Diseño y construcción de un prototipo de plataforma móvil funcional para la adecuación de sistemas relacionados al cultivo de tomates en invernadero.

¹Ávila Pérez Andrea Katherine & Jiménez Herrera Jader Yesid

Abstract

Title: Design and construction of a functional prototype of a mobile platform for the adaptation of systems related to tomato cultivation in a greenhouse.*

Author(s): Ávila Pérez Andrea Katherine & Jiménez Herrera Jader Yesid .¹

Key Words: Precision agriculture, agricultural automation, tomato cultivation, greenhouse, mobility and adaptability, mobile platform, prototype, and agricultural technology.

The present research focuses on the design and construction of a functional mobile platform prototype with diverse mobility functions for the adaptation of systems related to greenhouse tomato cultivation. This project emerges in response to the increasing importance of technology in modern agriculture processes in Colombia. The primary objective of implementing this prototype is to enhance resource management, facilitate crop monitoring, and automate specific tasks, thereby contributing to the sustainable progress of agriculture in controlled environments.

This study not only encompasses aspects related to mechanical and electronic engineering associated with the platform's mobility but also seeks to promote the integration of advanced technologies for the intelligent management of an agricultural system, specifically, a greenhouse tomato cultivation. This project represents a significant step towards precision and sustainable agriculture, emphasizing the crucial role of technological innovation in optimizing specific agricultural processes.

* Design and construction of a functional prototype of a mobile platform for the adaptation of systems related to tomato cultivation in a greenhous

¹Ávila Pérez Andrea Katherine & Jiménez Herrera Jader Yesid

Introducción

El cultivo de tomate es uno de los fuertes de la industria agrícola colombiana, con una demanda creciente debido a su amplio uso en la alimentación humana y la industria alimentaria. Sin embargo, el cuidado y mantenimiento de los cultivos de tomate requiere una atención constante y precisa, lo que conlleva a un uso intensivo de recursos humanos y materiales. (Andrade, 2019). En este sentido, la implementación de tecnologías robóticas y sistemas automatizados se ha convertido en una alternativa prometedora para optimizar la producción agrícola (Martínez, 2020).

Este estudio se encuentra enfocado en el cultivo de tomates de un invernadero en el municipio de Chiquinquirá en el cual se identifican las siguientes necesidades relacionadas al cultivo: La actualización de los procesos de cultivo que incluye la aspersión de nutrientes y plaguicidas, cuidado de suelos, siembra, control del cultivo que impactaría en la salud de los trabajadores, salud de las plantas en los cultivos, productividad de los suelos, calidad y cantidad en la producción. La solución a estas necesidades podría incluir el desarrollo de tecnologías para la aspersión de plaguicidas, control y monitoreo del desarrollo de la planta, preparación de los nutrientes de los suelos, entre otros.

La presente tesis de grado tiene como objetivo el diseño y construcción de un prototipo de plataforma móvil desarrollada en el entorno de Arduino para el cuidado automatizado de cultivos de tomate. El uso de Arduino como plataforma de desarrollo, ofrece ventajas en términos de accesibilidad, flexibilidad y costos, lo que lo hace adecuado para su implementación en entornos agrícolas de invernadero (Alcántara, 2018).

El sistema propuesto busca brindar una plataforma móvil para la adecuación de módulos utilizando la plataforma Arduino y materiales de seleccionados bajo el principio “equivocarse barato y rápido”, procurando así la versatilidad, facilidad de diseño y ensamble del sistema evitando sobrecostos y facilitando la operación y mantenimiento del prototipo.

La plataforma móvil se programó bajo especificaciones de bloque abierto permitiendo así, al momento de implementar y desarrollar los módulos, vincular su programación a la programación básica de la plataforma evitando así, la generación de interferencias entre los comandos de control del módulo y los comandos de la plataforma móvil. Esto permite versatilidad

y adaptabilidad a componentes externos que serán agregados en el futuro y a modificaciones que se realicen, también permite retirar líneas de código sin presentar mayor interferencia en el programa total generando así, la posibilidad de mejoramiento del código.

A través de este estudio, se pretende contribuir al avance de la agricultura 4.0, promoviendo la sustentabilidad, eficiencia y rentabilidad de los sistemas de producción de tomate. Además, se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la robótica aplicada a la agricultura colombiana.

1. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de plataforma móvil funcional para la adecuación de sistemas relacionados al cultivo de tomates en invernadero.

2.2. Objetivos Específicos

Caracterizar los requerimientos dimensionales y de carga de la plataforma móvil.

Diseñar los sistemas estructurales, control, movilidad y comunicación del prototipo funcional de plataforma móvil.

Construir el prototipo funcional.

Validar el prototipo funcional de plataforma en un ambiente de laboratorio.

Establecer la viabilidad económica del proyecto

2. Alcance del proyecto.

Debido a la extensión del proyecto, se dividió el alcance total en diferentes fases. La fase para tratar en la presente investigación es la movilidad de la plataforma y modo de comunicación con el usuario que lo maneje, se espera que este proyecto sea el inicio de una serie de investigaciones que logren implementar módulos y realizar tareas de siembra, recolección, aspersión, entre otros.

3. Desarrollo del proyecto

El siguiente plan se ha diseñado atendiendo las principales actividades a desarrollar durante el transcurso del trabajo según los objetivos planteados. Conforme a ello, se plantean las siguientes actividades:

3.1 Caracterizar los requerimientos dimensionales y de carga de la plataforma móvil.

Se busca definir los requerimientos de la plataforma mediante una recopilación de información que abarca una búsqueda bibliográfica en bases de datos de la universidad e internet, y una recopilación de información de campo basada en una visita al invernadero de tomates ubicado en la vereda el Resguardo, finca el Porvenir del municipio de Chiquinquirá Boyacá. Dicha información será analizada para generar un modelo inicial teniendo en cuenta los datos otorgados después de la investigación.

La información proporcionada por el invernadero permite definir las dimensiones y algunas capacidades necesarias en el prototipo para poder adaptarse a las funciones requeridas.

3.1.1 *Visita al invernadero ubicado en la vereda el Resguardo, finca el Porvenir del municipio de Chiquinquirá Boyacá.*

En la visita realizada al invernadero de tomates ubicado en el municipio de Chiquinquirá Boyacá, vereda el Resguardo, finca el Porvenir del Señor Julián Rodríguez, se determinaron las siguientes características:

Tabla 1 Características dimensionales del invernadero.

| N° | CARACTERÍSTICA | CANTIDAD | UNIDAD |
|----|--|----------|--------|
| 1 | Número de naves | 8 | Unidad |
| 2 | Extensión del terreno en las naves totales | 48 | m |
| 3 | Ancho total del invernadero | 13.6 | m |
| 4 | Número de plantas totales | 14000 | Unidad |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1, se muestran algunas características dimensionales del invernadero y el número de plantas que se cultivan. En cada periodo de producción se recogen alrededor de 15 Ton de

tomates los cuales serán clasificados y seleccionados según su tamaño y se dividirán en tomate de canastilla extra, canastilla de segunda, canastilla de tercera y canastilla de cuarta.

3.1.1.1 Proceso de producción del invernadero

La cosecha se presenta dos periodos de preparación, el primer periodo es el periodo de crecimiento y preparación de la planta, que tiene una duración de 3 meses, posterior a esto empieza el periodo de producción y recolección que también tiene una duración de 3 meses.

Figura 1 Estructura de las naves del invernadero.



Fuente: Foto tomada por Julián Rodríguez en el invernadero ubicado en la vereda el Resguardo, finca el Porvenir del municipio de Chiquinquirá Boyacá.

Figura 2 Invernadero en periodo de siembra.



Fuente: Foto tomada por Julián Rodríguez en el invernadero ubicado en la vereda el Resguardo, finca el Porvenir del municipio de Chiquinquirá Boyacá.

Figura 3 Invernadero en periodo de crecimiento.



Fuente: Foto tomada por Julián Rodríguez en el invernadero ubicado en la vereda el Resguardo, finca el Porvenir del municipio de Chiquinquirá Boyacá.

Figura 4 Surcos del cultivo en periodo de producción.



Fuente: Foto tomada por Julián Rodríguez en el invernadero ubicado en la vereda el Resguardo, finca el Porvenir del municipio de Chiquinquirá Boyacá.

Las dimensiones del surco central (el camino principal que va de extremo a extremo en el invernadero), tiene un ancho de 1.2 m y su longitud es de 48 m. Las dimensiones de cada surco donde se encuentra el cultivo son de 90 cm de ancho y 6.2 m de longitud. La tierra es compacta en los surcos ya que es apisonada y presenta montículos alineados en donde se siembran las plantas, estos surcos poseen una inclinación máxima de 30°, la tierra es ideal para la movilización del prototipo, además, se presentan pilares de madera en algunos de los surcos los cuales representan obstáculos a esquivar por el prototipo.

Luego de obtener los datos del terreno y el modo de producción, se procede a definir los datos de las actividades realizadas durante los periodos de preparación de las plantas en la siguiente tabla:

Tabla 2 Actividades realizadas en las labores del invernadero.

| N° | ACTIVIDAD A REALIZAR | PERSONAS ASIGNADAS | TIEMPO DE OPERACIÓN DE LA ACTIVIDAD |
|----|------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| 1 | Administración | 1 | Permanente |
| 2 | Siembra | 4 | 7 días |
| 3 | Colgado y amarrado | 4 | 14 días |
| 4 | Deschupado y deshojado | 3 | 90 días |
| 5 | Recolección | 3 | 90 días |
| 6 | Selección | 3 | 2 días |
| 7 | Retiro de malezas | 3 | 2 días |

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 2, es importante aclarar que las personas que realizan las actividades de deschupado y deshojado, son las mismas personas que retiran las malezas en el cultivo de manera manual.

Estos datos se obtienen y se mencionan con el propósito de establecer las necesidades operacionales del prototipo.

3.2 Diseñar los sistemas estructurales, control, movilidad y comunicación del prototipo funcional de plataforma móvil.

Luego de definidos los requerimientos, se plantean los diseños de los distintos sistemas que componen la plataforma, para esto, se planea dividir en subsistemas para facilitar la fase de diseño, dichos subsistemas son: Estructural, control, movilidad y comunicación.

Se definirán los materiales a utilizar durante el ensamblaje y se hará la compra de éstos. Los diseños serán desarrollados en la plataforma CAD Solidworks, con el fin de facilitar la creación de los distintos planos pertinentes a cada subsistema. También se realizará el diseño de la programación necesaria para operar el sistema.

Teniendo en cuenta que el resultado final a obtener es un prototipo, se deben buscar componentes que sean económicos y prácticos de usar, para ello, se decide usar la plataforma de Arduino que aunque es limitada en funciones avanzadas, permite satisfacer los requerimientos necesarios para cumplir con las soluciones mencionadas, además la plataforma Arduino posee facilidades para el diseño de robots disponiendo de distintas librerías de programación que simplifican el desarrollo y cumplimiento de los objetivos establecidos.

3.2.1 Sistema estructural

Teniendo en cuenta que lo que se busca desarrollar es un prototipo, se debe tener en cuenta que debe ser económico y fácil de sustituir para que permita realizar las pruebas necesarias sin comprometer ni el tiempo ni la economía del proyecto principal.

En búsqueda del cumplimiento del propósito establecido, se diseñaron piezas buscando materiales económicos y funcionales a las condiciones de trabajo, se escogió como material principal para el diseño del chasis el acrílico de 2mm de espesor. Las bases y soportes se imprimieron en impresora 3D.

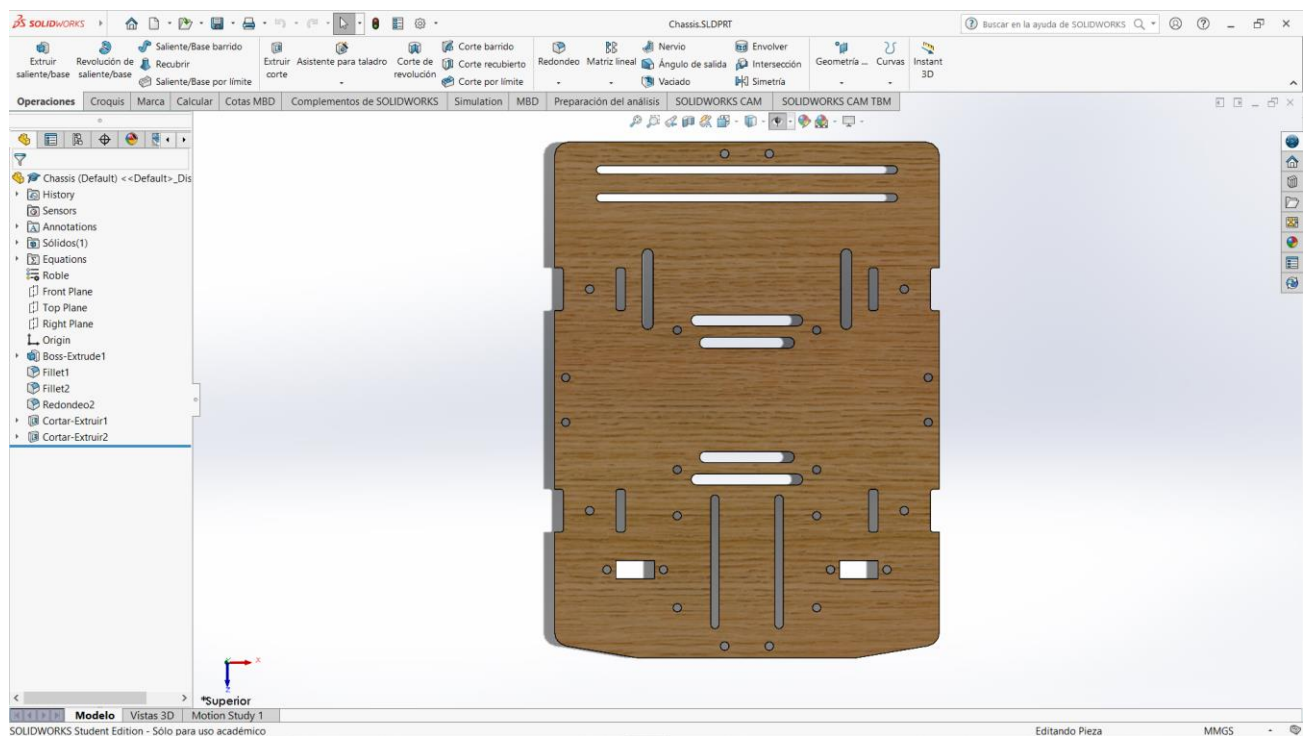
Con los materiales definidos, se procede a diseñar los distintos componentes de la plataforma móvil.

3.2.1.1 Chasis

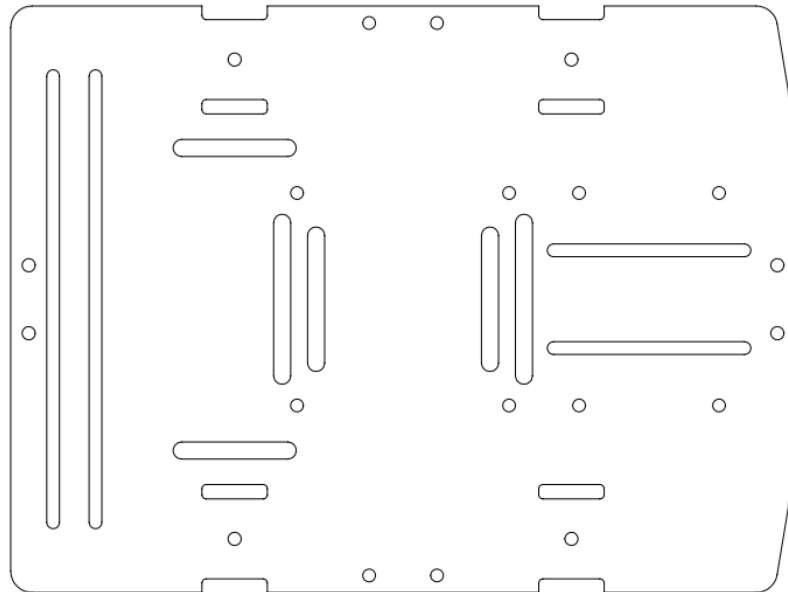
Durante la elección de la fabricación del chasis, se decidió el uso del acrílico para la plataforma móvil, esta decisión se basa en consideraciones técnicas y prácticas que buscan maximizar la eficiencia y adaptabilidad del dispositivo al entorno del invernadero. Los surcos estrechos en el invernadero demandan un chasis compacto y ágil, capaz de moverse con precisión entre las filas de plantas. La utilización de un chasis pequeño garantiza una mayor maniobrabilidad, permitiendo que la plataforma pueda acceder fácilmente a áreas de difícil alcance y minimizando la posibilidad de afectar las plantas circundantes.

Adicional a esta decisión, se determinó que la placa tendría un grosor de no mayor a 2mm, esto es debido que los tornillos aptos para los componentes electrónicos son de al menos 7mm de longitud, por lo que, si la placa superaba los 2mm de grosor, no se podrían atornillar las respectivas tuercas que ajustan las piezas y componentes que se adaptan al montaje sobre la placa.

Figura 5 Diseño de chasis en el CAD SolidWorks



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Chasis en PDF para corte en acrílico.

Fuente: Elaboración propia.

La elección del acrílico como material para el chasis se justifica por sus propiedades inherentes de ligereza, durabilidad y facilidad de montaje. Dada la especificación de los surcos angostos, se requiere un material que sea lo suficientemente robusto para soportar las condiciones del terreno del invernadero, al tiempo que sea sencillo de manipular y cortar con precisión para adaptarse a los requerimientos de diseño. El acrílico satisface estos criterios al ofrecer resistencia estructural adecuada sin comprometer la movilidad de la plataforma ni aumentar en sobremanera el peso de esta, al tiempo que facilita la fabricación eficiente y económica a través de procesos de corte láser. Esta elección estratégica del material y tamaño del chasis asegura que la plataforma móvil cumpla con los objetivos de este proyecto, equilibrando la funcionalidad, practicidad y eficiencia en el despliegue en el entorno del invernadero.

3.2.1.2 Soportes de sensor de ultrasonido, motores, modulo bluetooth, servomotor, sensores infrarrojos y bases de placa Arduino y motor driver L298N:

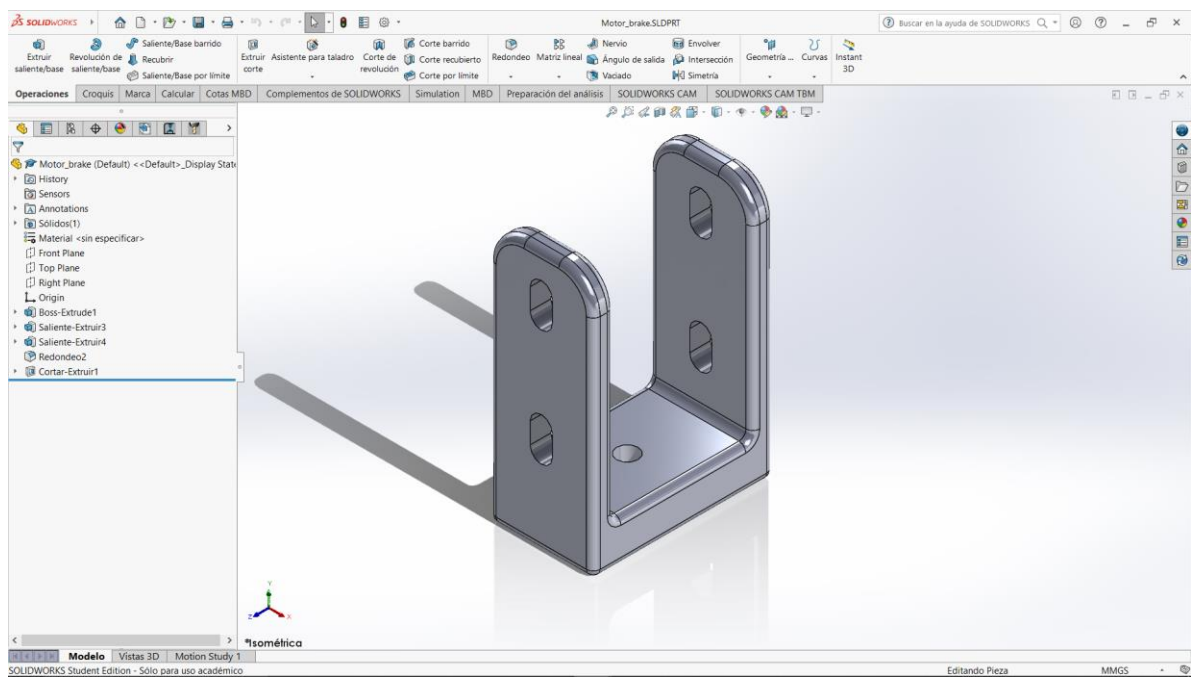
Para los soportes del ultrasonido, soportes de motor y bases de placa Arduino y motor driver L298N se utilizó impresión 3D con filamento de PLA ya que facilita la precisión a la hora de la fabricación de las piezas, a su vez las características del filamento permiten proporcionar la solidez necesaria a las piezas sin presentar una ganancia notoria de peso en la plataforma.

Soportes de motor.

La parte superior del diseño, con un espesor de 4mm tiene un orificio cuyo fin es ajustar un tornillo y tuerca que permiten mantener la pieza fija a la placa acrílica. El ancho del espacio en la pieza corresponde al ancho que posee el motor, esta pieza se diseñó en base a las medidas tomadas de un motor con ayuda de un pie de rey para tener las medidas lo más precisas posibles. También esta distancia se ve reflejada en las ranuras laterales de la placa acrílica en donde se van a ajustar estos soportes.

Se puede observar en los laterales de la pieza hay unos orificios, estos orificios tienen como fin, proporcionar el espacio por donde se atravesará un tornillo de lado a lado que atraviesa el motor para ajustar cada motor al soporte y evitar que este se caiga, se suelte o tenga algún movimiento. Esta parte de la pieza tiene un espesor de 3mm.

Figura 7 Diseño de los soportes de motor en el CAD SolidWorks en vista isométrica.



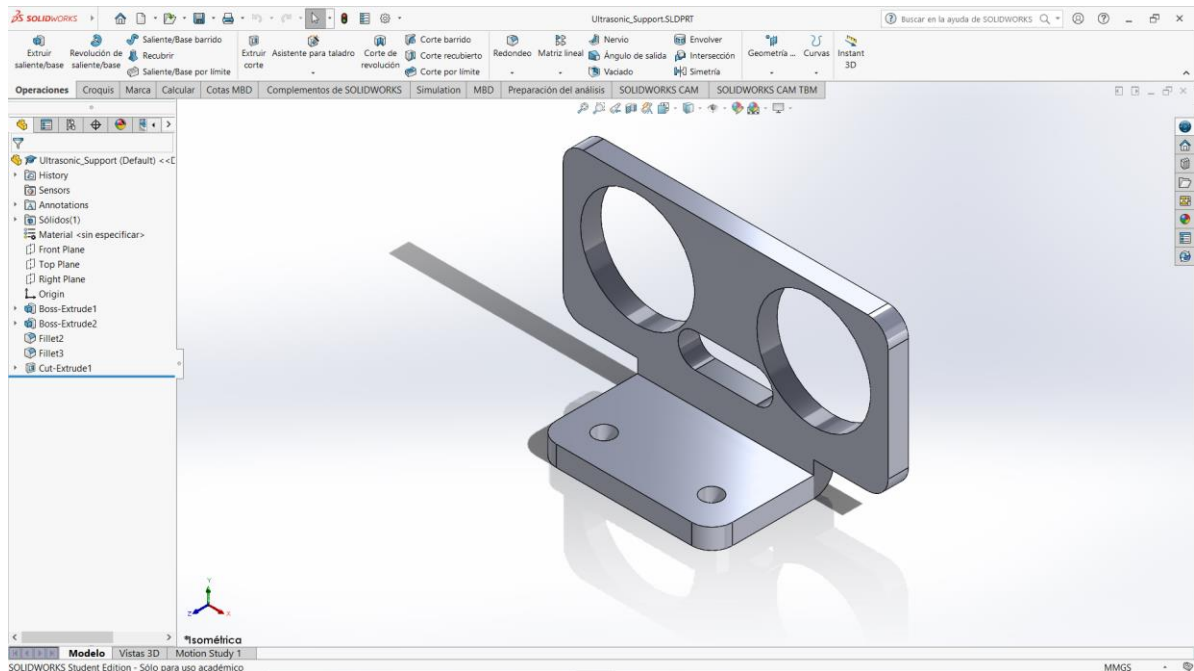
Fuente: Elaboración propia.

Soporte de sensores de ultrasonido.

Para el diseño de los soportes de ultrasonido, toda la pieza tiene un espesor de 3mm y al igual que los soportes de motor, se tomaron las medidas dimensionales de un sensor de ultrasonido

para el diseño del soporte. El diseño se hizo para ajustar el receptor y el transmisor en los orificios redondos y de tal manera que la pieza quedara precisa, también el soporte tiene dos orificios adicionales que serán atornillados a la base de chasis acrílica para mantener fija la pieza.

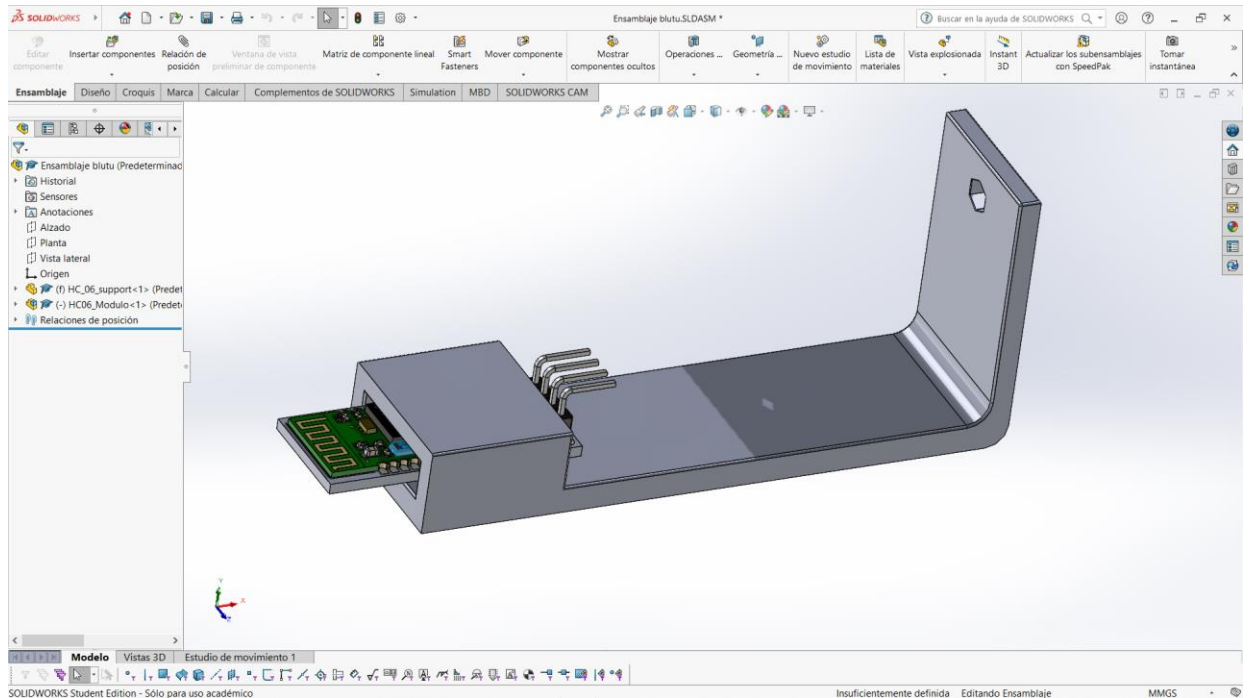
Figura 8 Diseño de soportes de sensor de ultrasonido en el CAD SolidWorks.



Fuente: Elaboración propia.

Soporte de modulo bluetooth.

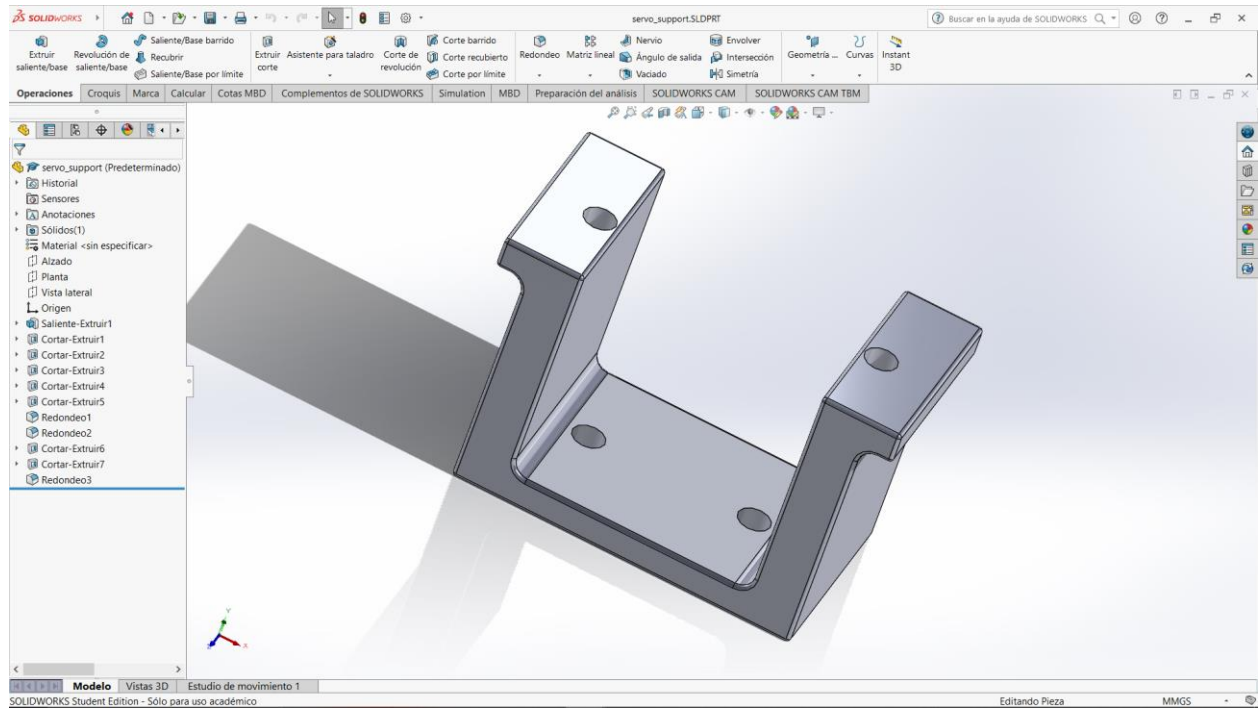
El diseño del soporte de modulo bluetooth, tiene como objetivo darle altura al componente, mejorando la señal emitida por el emisor (módulo bluetooth) hacia el receptor (dispositivo móvil). Tambien, tiene un pequeño orificio que se encuentra diseñado para encajar en el separador y ubicarlo cerca al Arduino, la abertura de forma rectangular es el espacio en donde se acopla el módulo, con los pines para la conexión de cables en dirección al Arduino, a continuación, se muestra la pieza ilustrada en el programa de diseño CAD SolidWorks, con una pieza de módulo bluetooth ensamblada.

Figura 9 Diseño de soporte de módulo bluetooth en el CAD SolidWorks.

Fuente: Autores.

Soporte de servomotor.

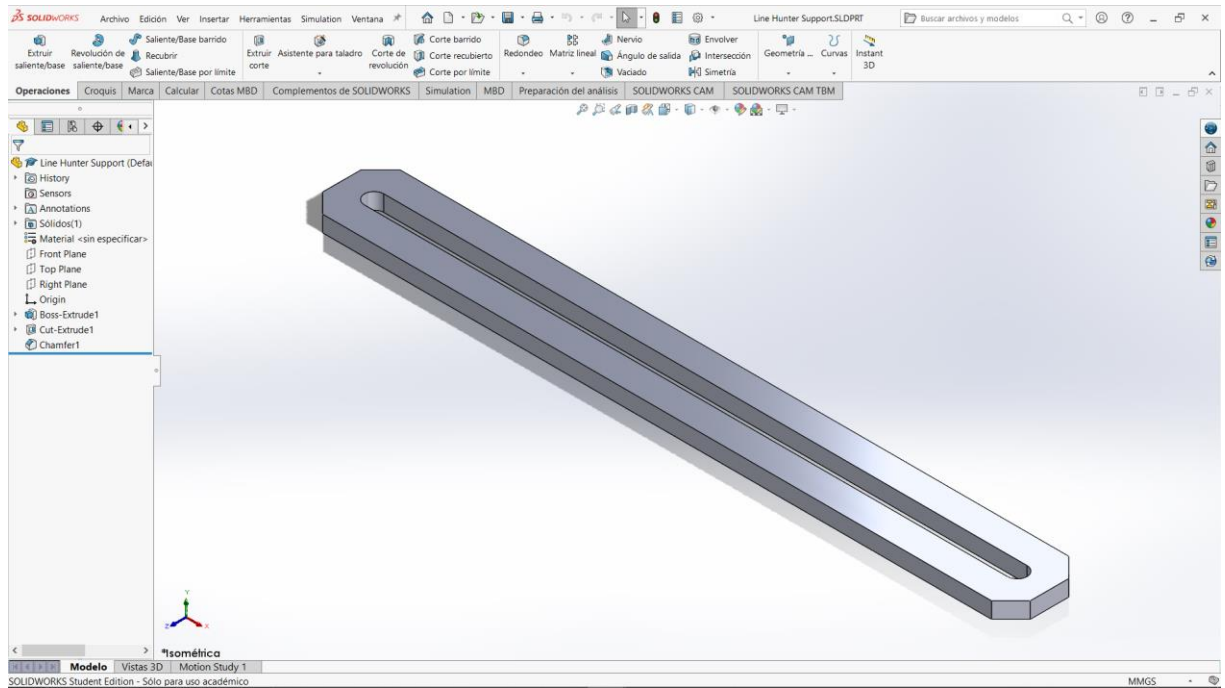
El soporte de servomotor, tiene en su diseño un espacio preciso para que el servomotor pueda encajar, también tiene 4 orificios para tornillos, en donde los orificios de la parte inferior son utilizados para atornillarlos a la placa acrílica y ajustado con tuercas, a diferencia de los tornillos que ajustan el servomotor. Ya que los orificios para atornillar y ajustar el servomotor se encuentran tan cerca a la pared interna, este es un orificio interno que ajusta sin necesidad de usar tuercas.

Figura 10 Diseño de soporte de servomotor en el CAD SolidWorks.

Fuente: Autores.

Soporte de sensores infrarrojos.

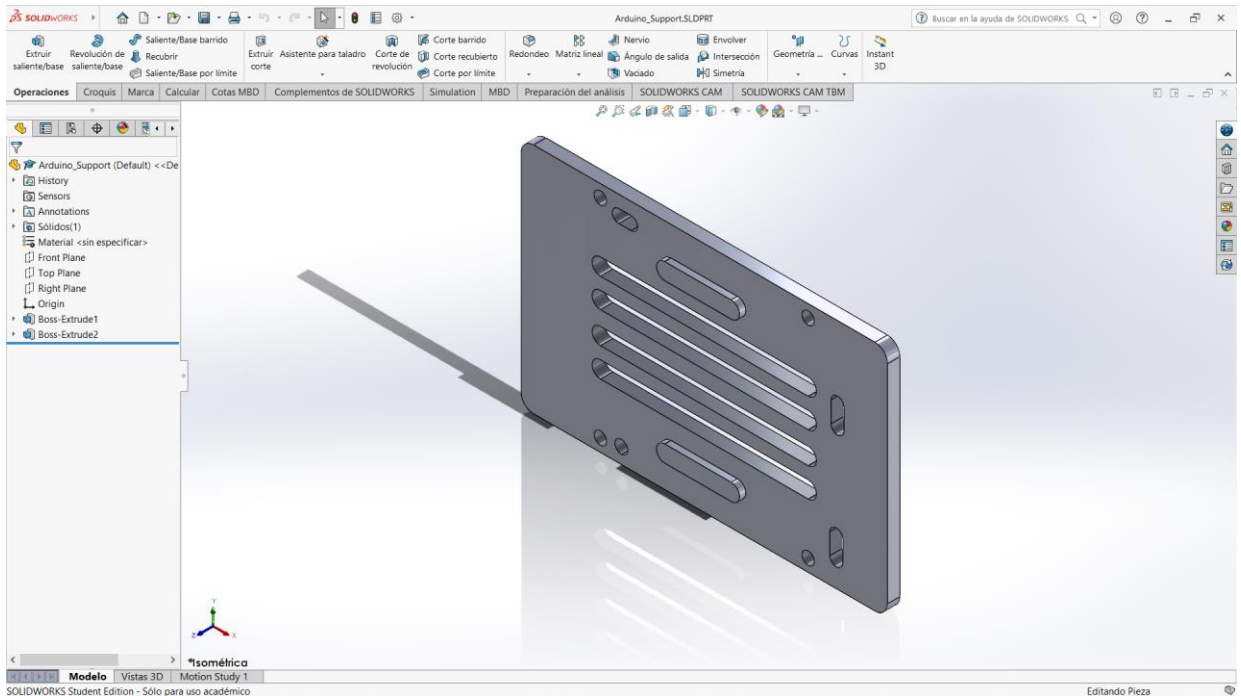
El soporte de los sensores infrarrojos tiene un diseño muy sencillo y práctico, es un rectángulo con 4 cortes en las esquinas, dicha pieza posee un corte en su interior que va de lado a lado. En este orificio rectangular con puntas semicirculares, se ajustarán unos separadores de 10mm de longitud en los extremos y, en la parte central, se atornillan los sensores infrarrojos con tornillos de 3mm y se ajustan unas tuercas para evitar que los sensores se caigan.

Figura 11 Diseño de soporte de servomotor en el CAD SolidWorks.

Fuente: Autores.

Soporte de placa Arduino.

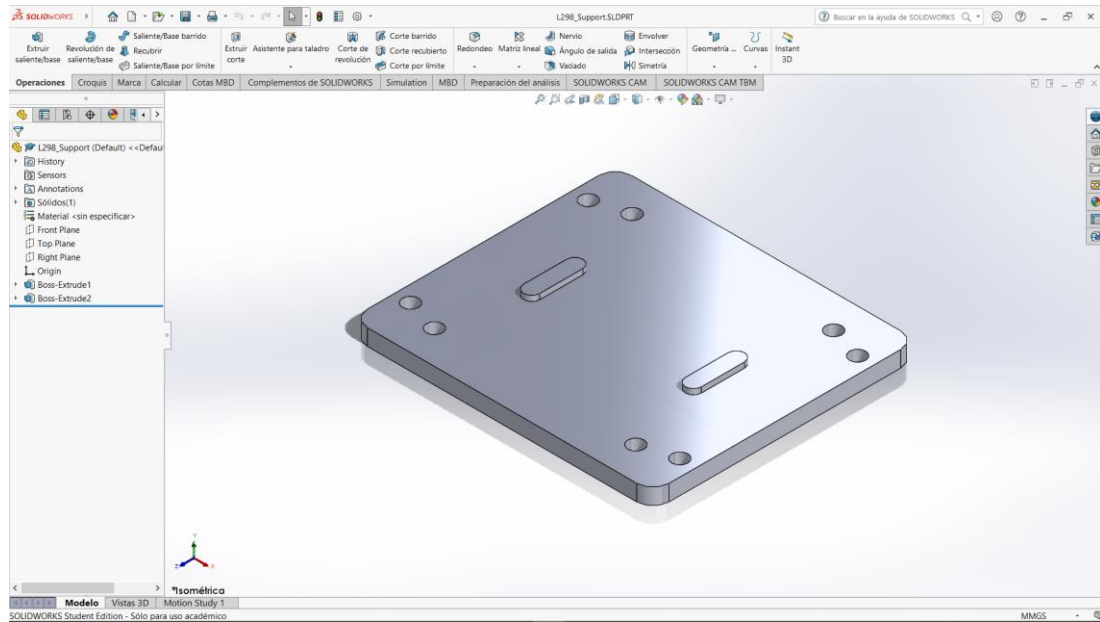
La placa de soporte de Arduino tiene un espesor de 3mm y se diseñó teniendo en cuenta las dimensiones del Arduino, tiene 4 orificios para atornillar y ajustar el Arduino al soporte y 4 orificios a los cuales van atornillados 4 separadores para darle altura al Arduino por encima del motor driver. También, las dos superficies cilíndricas con bordes semicirculares que sobresalen del soporte.

Figura 12 Diseño de soporte placa Arduino UNO en el CAD SolidWorks.

Fuente: Elaboración propia.

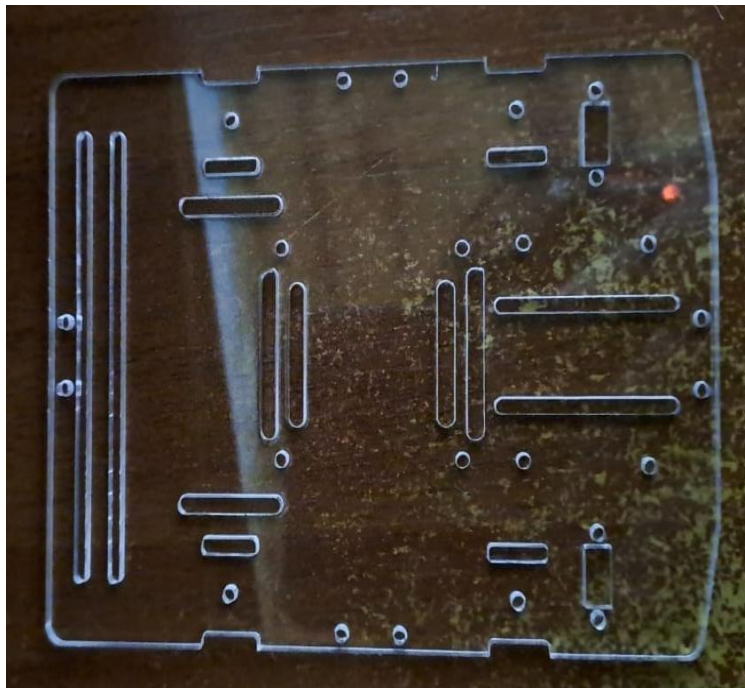
Soporte de motor driver L298N.

El soporte del motor driver al igual que el soporte de Arduino tiene un espesor de 3mm y unas superficies que sobresalen para dar una separación al módulo del soporte debido a los puntos de soldadura que posee el módulo, también tiene 4 orificios que permiten atornillar el módulo y ajustarlo y 4 orificios que serán atornillados a separadores de menor longitud.

Figura 13 Diseño de soporte motor driver L298N en el CAD SolidWorks.

Fuente: Elaboración propia.

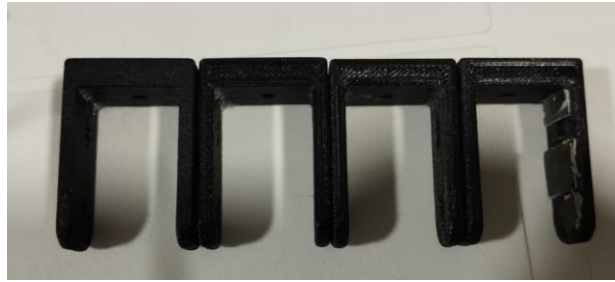
Luego de diseñadas las piezas, se procedió con su elaboración.

Figura 14 Chasis en acrílico.

Fuente: Autores.

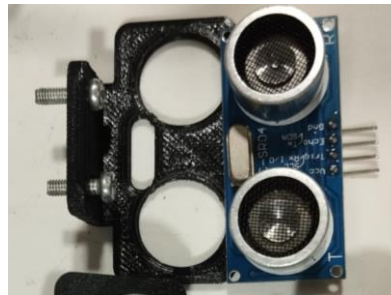
Todos los soportes de ultrasonido, motores y bases de las placas Arduino y motor driver, se imprimieron en filamento de PLA en impresora 3D, para los soportes de los motores fue necesario imprimir los filamentos en sentido vertical para disminuir esfuerzos y evitar que las piezas cedieran.

Figura 15 Soportes de motor en impresión 3D.



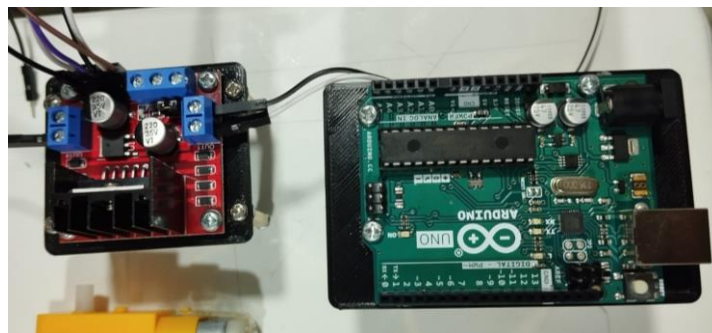
Fuente: Autores.

Figura 16 Soportes de sensor ultrasonido con sensor equipado en impresión 3D.



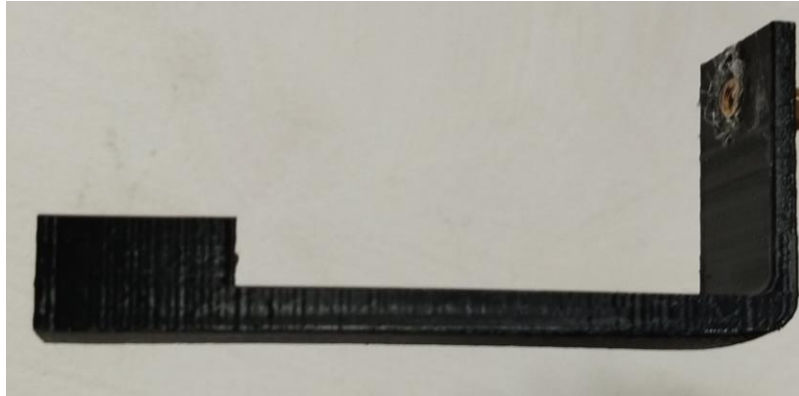
Fuente: Autores.

Figura 17 Soportes placa Arduino UNO y motor driver L298N en impresión 3D con componentes montados.



Fuente: Autores.

Figura 18 Soporte de Modulo bluetooth en impresión 3D.



Fuente: Autores.

b Soporte de sensores infrarrojos en impresión 3D.



Fuente: Autores.

Figura 19 Soporte de servomotor en impresión 3D con servomotor montado.



Fuente: Autores.

Estos componentes fueron diseñados buscando la practicidad en el ensamblaje, permitiendo así reducir el tiempo de armado y facilitando el posicionamiento de las piezas agregadas a la placa Arduino y al motor driver para su cambio o mantenimiento.

3.2.2 Sistema de control:

Para definir los sistemas de control, es necesario conocer inicialmente las condiciones de trabajo proporcionadas por el invernadero, ya que éstas permiten la definición de los componentes necesarios para el ensamblaje del prototipo, también, se agregan las funciones solicitadas por dueños del invernadero, las cuales fueron, seguidor de línea y funcionamiento por bluetooth.

3.2.2.1 Condiciones de trabajo:

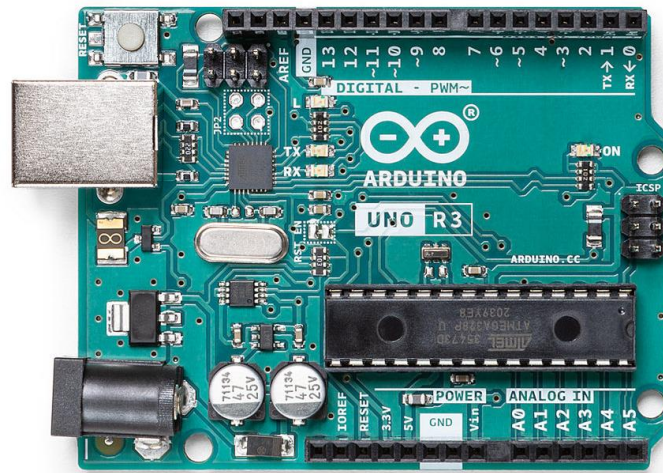
Durante la visita, se recolectaron datos de las posibles condiciones de trabajo que posee la plataforma, estas condiciones, se verán enumeradas en la siguiente lista:

1. Se pudo observar que los surcos del invernadero no son planos en totalidad, presentan una ligera curvatura en la cercanía a las plantas, esta curvatura no es despreciable y podría afectar la movilidad de la plataforma.
2. Presencia de obstáculos en las posibles rutas de la plataforma.
3. Inexistencia de una ruta específica para la plataforma ya que los surcos pueden cambiar con cada cosecha.
4. Facilidad de enseñanza- aprendizaje para el operador del prototipo.
5. No se presentan inconsistencias en la firmeza del terreno ya que es tratado para que sea compacto.

Con las condiciones establecidas, se pueden plantear varias soluciones:

1. Agregar la función de evasión de obstáculos.
2. Agregar la función de seguimiento de línea para el establecimiento de nuevas rutas.
3. Agregar función de guía por voz para facilitar el uso.
4. Aplicación de comunicación bluetooth para el control manual de la plataforma.

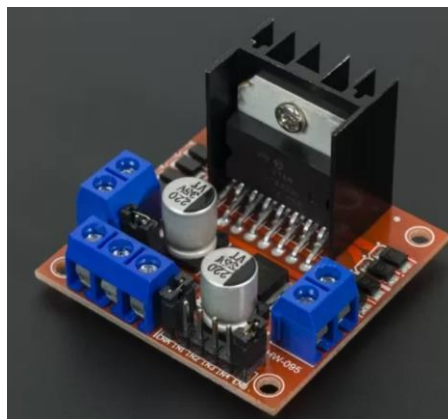
Ya definidas las soluciones, se deciden los componentes necesarios para las funciones deseadas, dichos componentes son ofrecidos por la plataforma Arduino en la cual se basará todo el desarrollo de la plataforma usando como tarjeta principal una placa Arduino UNO.

Figura 20 Placa Arduino UNO

Fuente: Arduino Store (<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>)

Esta placa funciona como controlador de las funciones del prototipo ya que posee un sistema de almacenamiento y distribución de funciones los cuales permiten la ejecución de la programación además de facilitar las conexiones y el control de los distintos componentes empleados en el sistema.

Otra placa utilizada con el propósito de controlar los motores seleccionados es la placa motor driver L-298N la cual permite controlar motores de entre 5 a 12 V ofreciendo también la posibilidad de controlar la velocidad de los estos.

Figura 21 Motor Driver L298N Puente H.

Fuente: Tienda Vistrónica virtual de electrónica (<https://www.vistronica.com/robotica/modulo-l298n-para-control-de-motores-puente-h-detail.html>)

Esta placa permite la regulación del voltaje transmitido a los motores pudiendo así tener un mayor control sobre estos ya que se puede controlar la velocidad de giro y la potencia.

3.2.3 Sistema de movilidad:

Para el diseño de los sistemas de movilidad de la plataforma móvil, se realizó el cálculo para determinar los motores que van a impulsar el vehículo a través de los surcos del invernadero.

3.2.3.1 Cálculos preliminares:

Inicialmente, se necesita realizar estimaciones de la capacidad de los motores para seleccionarlos, debido a que si se realiza la selección se podría incurrir en sobredimensionamiento o su dimensionamiento lo cuál podría perjudicar el diseño de la plataforma. Para el cálculo se precisaron los siguientes valores:

- 14000 plantas
- 8 naves de 13,6 m de ancho y 48 m de largo en distancia total.
- Tiempo de operación entre plantas: 5 s
- Peso: 5kg de carga total
- Radio de las ruedas: 0,07 m
- Inclinación de los surcos: 30°
- Tiempo de operación 240 s
- Tiempo por planta 5 s
- Radio de las ruedas $R = 0.07$ m
- Gravedad (G) $9.81 \frac{m}{s^2}$

Teniendo en cuenta los valores seleccionados para el cálculo, se realizaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1 Número de plantas por nave

$$\text{Número de plantas por nave} = \frac{\text{Número de plantas}}{\text{Número de naves}}$$

Esta ecuación se usó para determinar el número de plantas por nave y así, a su vez, determinar el tiempo de operación por nave y el tiempo de operación total de las naves en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 2 Tiempo de operación por nave

$$\text{Tiempo de operación por nave} = \frac{(\text{Numero de plantas por nave} * T \text{ por planta})}{3600}$$

Ecuación 3 Tiempo de operación total

$$\text{Tiempo de operación total} = \text{Tiempo de operación por nave} * \text{Número de naves}$$

La influencia de estas ecuaciones determina el tiempo de operación de la plataforma en el invernadero, el cual sería el tiempo de trabajo.

A continuación, se hace necesario determinar el torque de los motores teniendo en cuenta la pendiente máxima de los surcos.

Ecuación 4 Torque

$$\text{Torque} = P * G * \left(\frac{R}{100} \right) * \text{Tan}(\text{theta})$$

Otro factor determinante de los motores es la velocidad de operación la cual se determina siguiendo la siguiente ecuación:

Ecuación 5 Velocidad de operación

$$\text{Velocidad de operación} = \frac{\text{Largo de nave} + \text{Ancho de nave}}{\text{Tiempo de operación}}$$

Se decide que el tiempo de operación de la plataforma es de 240 s.

También se hace necesario determinar las RPM necesarias de los motores para cumplir la operación, se determinan mediante la ecuación:

Ecuación 6 RPM del motor

$$\text{RPM} = \frac{\text{Velocidad de operación}}{\text{Radio}} * \frac{30}{\pi}$$

Luego de determinadas las condiciones y las ecuaciones, se procede a realizar los respectivos cálculos.

Utilizando la *Ecuación 1*, se calcula:

$$\text{Número de plantas por nave} = \frac{14000}{8}$$

$$\text{Número de plantas por nave} = 1750 \text{ plantas}$$

Con la *Ecuación 2*, calculamos el tiempo de operación por nave.

$$\text{T tiempo de operación por nave} = \frac{(1750 * 5)}{3600} [h]$$

$$\text{T tiempo de operación por nave} = 2,43 [h]$$

El tiempo de operación se calcula usando tiempo de operación por nave, utilizando la *Ecuación 3*:

$$\text{T tiempo de operación total} = 2.43[h] * 8$$

$$\text{T tiempo de operación total} = 19.4 [h]$$

Para el cálculo del torque, se utiliza la *Ecuación 4*:

$$\text{Torque} = 5 * 9.81 * \left(\frac{0.07m}{100} \right) * \text{Tan}(30)$$

$$\text{Torque} = 0.01982 [N * cm]$$

Con la *Ecuación 5*, se calcula la velocidad de operación.

$$\text{Velocidad de operación} = \frac{13.6 + 48 [m]}{240s}$$

$$\text{Velocidad de operación} = 0.26 \left[\frac{m}{s} \right]$$

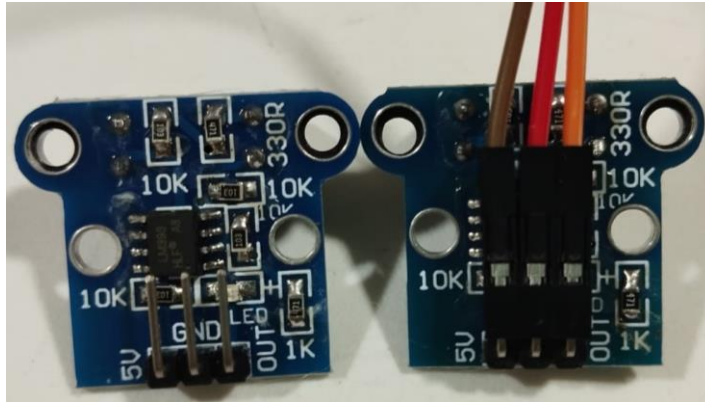
Finalmente, para determinar el valor de las RPM necesarias por los motores se utiliza la *Ecuación 6*:

$$RPM = \frac{0.26 \left[\frac{m}{s} \right]}{0.07 m} * \frac{30}{\pi}$$

$$RPM = 35.01 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

Ya obtenidos estos datos, se pueden escoger motores de acuerdo con las condiciones otorgadas en el cálculo. Los motores escogidos son los motorreductores con caja reductora, ya que trabajan a un torque de 4,9 N*cm a unas RPM de 220, estos se encontrarán distribuidos a la conexión del motor driver y tendrán acoplados dos encoders para el control de la velocidad, además, se utilizarán ruedas de 7cm de radio.

Figura 22 Encoder.



Fuente: Autores.

Figura 23 Motorreductor con caja reductora 1:48



Fuente: Tienda virtual de electrónica Vistrónica
(<https://www.vistronica.com/robotica/motores/motorreductores/motorreductor-con-caja-reductora-6v-0-5kgcm-220rpm-1-48-detail.html>)

Figura 24 Motores de un eje y de doble eje con encoder y ruedas.



Fuente: Autores.

3.2.4 Sistema de comunicación.

Para el diseño de los sistemas de comunicación se debe tener en cuenta como principales aspectos los requerimientos funcionales declarados en las soluciones propuestas para definir las piezas necesarias para la plataforma móvil.

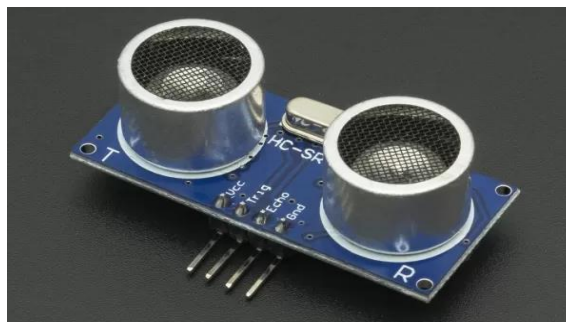
Los sistemas de comunicación se detallarán en el orden establecido en las soluciones propuestas:

3.2.4.1 Evasión de obstáculos:

Para el sistema de evasión de obstáculos se plantea el uso de sensores ultrasonido ubicados en los extremos de la plataforma, éstos funcionarán durante el uso de las demás funciones y cuando se usa exclusivamente la función de evasión de obstáculos se utilizará únicamente el sensor de ultrasonido frontal posicionado sobre un servomotor, esto se hace con el fin de ahorrar consumo energético ya que mantener los 4 sensores funcionando la totalidad del tiempo representa una elevación en el consumo energético.

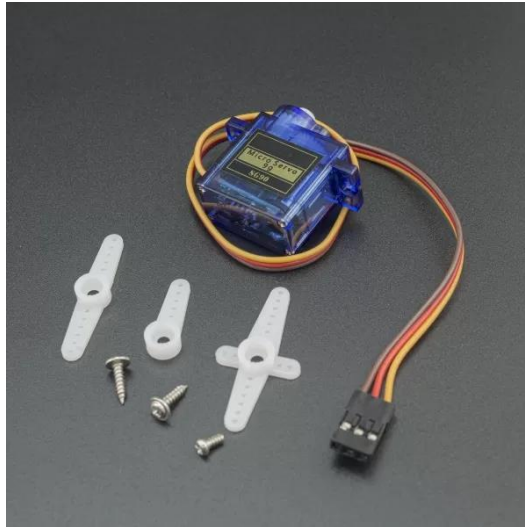
El modelo de los sensores escogidos es el HC-SR04.

Figura 25 Sensor ultrasonido HC-SR04.



Fuente: Tienda virtual de electrónica Vistrónica
(<https://www.vistronica.com/sensores/proximidad-y-distancia/sensor-de-ultrasonido-hc-sr04-arduino-detail.html>)

Figura 26 Micro servomotor SG90 9G



Fuente: Tienda virtual de electrónica Vistrónica
(<https://www.vistronica.com/robotica/motores/servomotores/micro-servomotor-sg90-9g-detail.html>)

3.2.4.2 Seguimiento de línea:

Para la función de seguimiento de línea se escogieron los sensores infrarrojos FC-51, un total de 2 los cuales funcionarán en paralelo con los sensores ultrasonido para evitar obstáculos mientras se sigue la línea.

Figura 27 Sensor infrarrojo FC-51

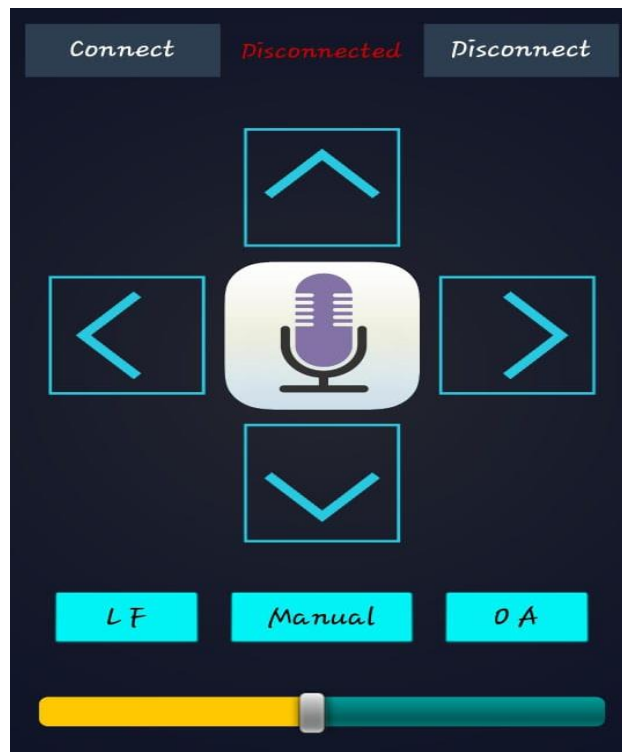


Fuente: Autores.

3.2.4.3 Guía por voz y comando por Bluetooth:

La función de guía por voz será y mando Bluetooth se desarrollan mediante la conexión Bluetooth entre la plataforma y la app de celular ALL IN A ROBOT la cuál posee la funcionalidad de actuación por voz.

Figura 28 Interfaz de la aplicación All in a Robot.



Fuente: MIT app inventor (<https://appinventor.mit.edu>)

Nota de autor: "Este trabajo está licenciado bajo la Licencia Internacional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0."

De la aplicación, se pueden describir las siguientes funciones:

Connect: Es la opción designada para conectar el teléfono al módulo bluetooth.

Disconnect: Función para desemparejar el teléfono al módulo bluetooth.

Microfono: Al presionar este botón, se activa el modo por voz, en donde los comandos son turn left (girar a la izquierda), turn right (girar a la derecha), go back (ir hacia atrás), go forward (ir hacia adelante) y break (frenar).

Flechas: Las flechas en las direcciones arriba, abajo, derecha e izquierda, funcionan para dirigir el prototipo de manera manual a control remoto.

LF: Esta opción desactiva los demás controles y permite que el prototipo se pueda mover en el comando de seguidor de línea

Manual: Este comando permite desactivar cualquier función en operación y volver al modo de control remoto.

OA: En este comando se desactivan las demás funciones y el prototipo se empieza a mover por cuenta propia, evadiendo obstáculos según los lea el ultrasonido y comande las paradas al encontrar objetos en el camino.

Luego de haber definido y diseñado todos los sistemas con sus respectivas piezas, se procede a diseñar la batería necesaria para alimentar el prototipo.

3.2.4.4 Modelamiento de la batería:

Para la determinación de la capacidad de la batería se hace necesario conocer el voltaje y la corriente necesaria para el funcionamiento de la plataforma, el cual se determina realizando la suma de las corrientes consumidas por cada pieza ya que el modelo de ensamblaje escogido para el circuito es en serie, el voltaje y la corriente consumida por cada componente es:

- 2 sensores de ultrasonido: 5V y 30mA
- 2 sensores IR: 5 V y 30mA
- Motor driver L-298n: 5V y 35mA
- Modulo Bluetooth HC-06: 3,3V a 5mA
- Placa Arduino: 12V
- 2 Encoders: 10V a 30 mA
- 4 motores DC: 12V y 1000 mA
- 1 servomotor: 5V y 40 mA

Consumo:

Para determinar el consumo de la batería, se realizaron medidas haciendo uso de un multímetro, dichas medidas están orientadas a determinar el consumo general del sistema y los

consumos específicos, a su vez, este proceso se realizó para comprobar el correcto funcionamiento de las piezas tanto individual como grupalmente.

Para la capacidad de la batería, se tomaron medidas de corriente con el multímetro, primero de forma individual de cada componente, cada componente conectado al Arduino individualmente y luego todo el sistema en conjunto. Estas medidas se hicieron con el fin de determinar el consumo en mA (miliamperios) del sistema el cual permitirá definir el tipo de batería a usar.

En las siguientes tablas se registran los resultados promediados de las medidas de corriente en las pruebas mencionadas anteriormente:

Tabla 3 Consumo de componentes por unidad.

| N° DE PRUEBA | Arduino UNO | Motor Driver L298N | Ultrasonido HC-SR04 | Bluetooth HC-06 | Encoder HC-020k | Motores (4 funcionando) | Infrarrojos (2) | Servomotor SG90s | CONSUMO [mA] |
|-----------------------|-------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------|
| 1 | X | | | | | | | | 45 |
| 2 | | | | | | X | | | 1000 |
| 3 | | X | | | | | | | 64 |
| 4 | | | X | | | | | | 41 |
| 5 | | | | | | | X | | 92 |
| 6 | | | | X | | | | | 28 |
| 7 | | | | | X | | | | 26 |
| 8 | | | | | | | | X | 41 |
| CONSUMO TOTAL: | | | | | | | | | 1337 |

Fuente: Autores.

En la tabla 3 se evidencia la sumatoria de consumo de los componentes individuales, esta prueba se realiza con el fin de determinar los consumos reales de los componentes.

Tabla 4 Consumo por grupos de componentes.

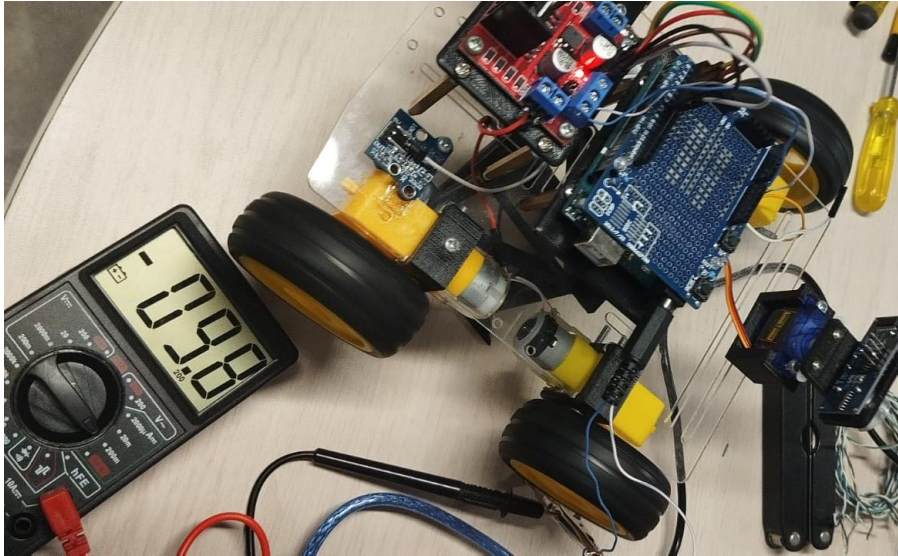
| N° DE PRUEBA | Motor Driver L298N | Ultrasonido HC-SR04 | Bluetooth HC-06 | Encoder HC-020k (2) | Motores (4 funcionando) | Infrarrojos (2) | Servomotor SG90s | CONSUMO [mA] |
|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------|
| 1 | X | | | | X | | | 1230 |
| 2 | | | X | | | | | 90 |
| 3 | | | | X | | | | 80 |
| 4 | | X | | | | | X | 80 |
| 5 | | | | | | X | | 155 |
| CONSUMO TOTAL: | | | | | | | | 1635 |

Fuente: Autores.

En la Tabla 4, la prueba fue realizada conectando cada componente a la placa Arduino, esto se realiza para determinar los consumos y el correcto funcionamiento de cada componente. Cada número de prueba indica con cuál componente se midió el consumo junto a la placa Arduino.

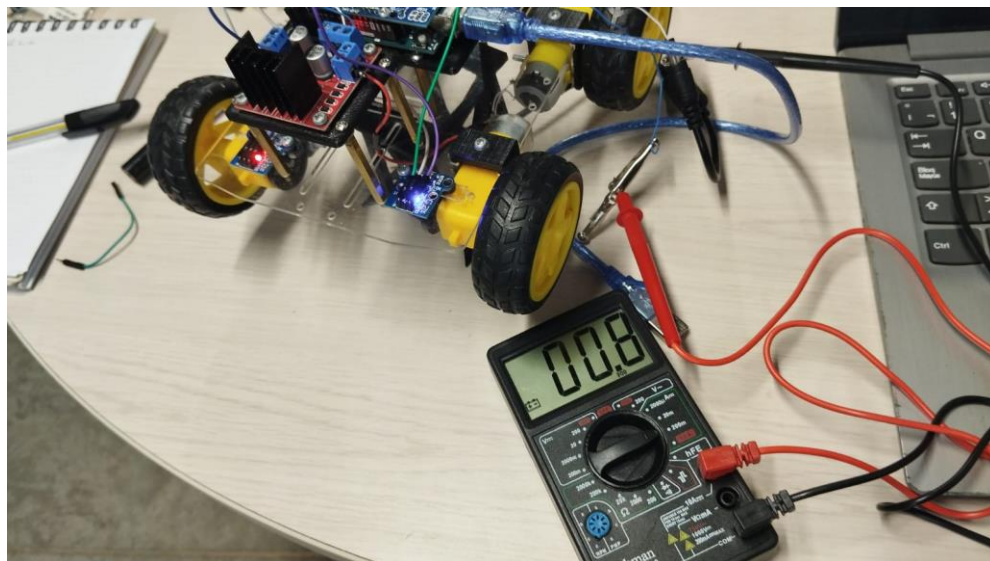
A continuación, se verán algunas mediciones realizadas de los componentes:

Figura 29 Medición de consumo del módulo de motor driver L298N.



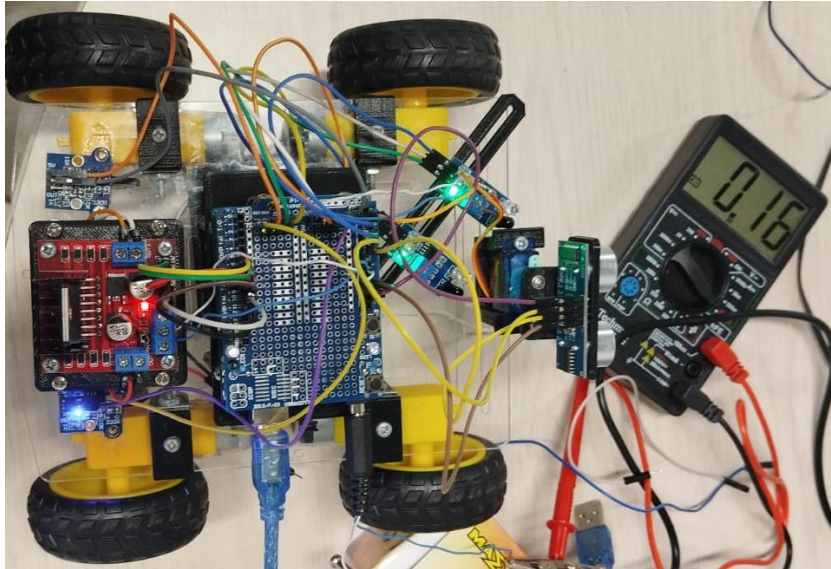
Fuente: Autores.

Figura 30 Medición de consumo de encoders.



Fuente: Autores.

Figura 31 Medición de consumo prototipo encendido y en reposo.



Fuente: Autores.

Figura 32 Medición de consumo de módulo bluetooth.



Fuente: Autores.

Posterior a estas mediciones, se realizaron dos mediciones de prueba más las cuales fueron:

Prueba 1: En esta prueba se realizó la lectura de consumo del prototipo conectado a la fuente durante la fase de encendido sin desarrollar ninguna función, esto quiere decir que todos los componentes se encuentran en estado de reposo. Se obtuvo una lectura que oscila entre 1600-1700 mA.

Prueba 2: En este momento, se realizaron las medidas de consumo del sistema desarrollando cada una de las funciones programadas en el prototipo, esto se realiza con el fin de determinar el consumo real del sistema en funcionamiento, para esto, se programó el sistema a la velocidad máxima de los motores ya que son las piezas que mayor variación de consumo poseen debido a que su consumo es proporcional a la velocidad, luego de realizada la prueba, se obtuvieron los siguientes resultados:

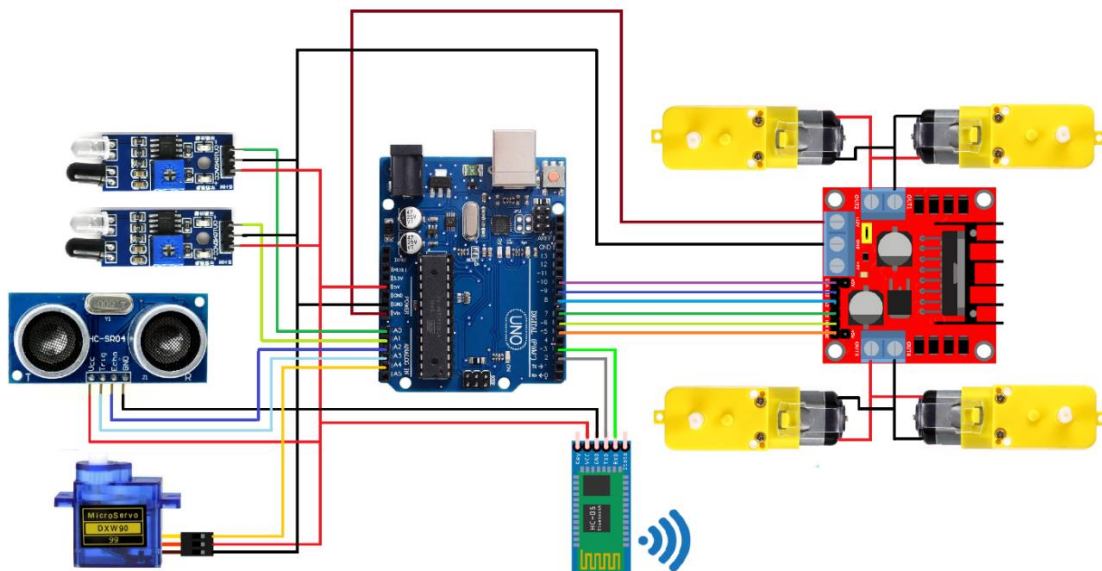
- Modo manual 1800 mA
- Modo de comando por voz 1800 mA
- Modo de seguidor de línea 2100mA
- Modo de evasión de obstáculos 2300mA

Se evidenció que, en el modo de evasión de obstáculos, se registró el mayor consumo, esto es debido a que todos los componentes se encuentran activos incluyendo el módulo de ultrasonido y el servomotor que no se encontraba en uso en las otras funciones.

3.2.5 Construcción del prototipo

Luego de definidas y adquiridas las piezas del sistema, se procede a realizar el ensamblaje de la plataforma móvil siguiendo el siguiente esquema de ensamblaje:

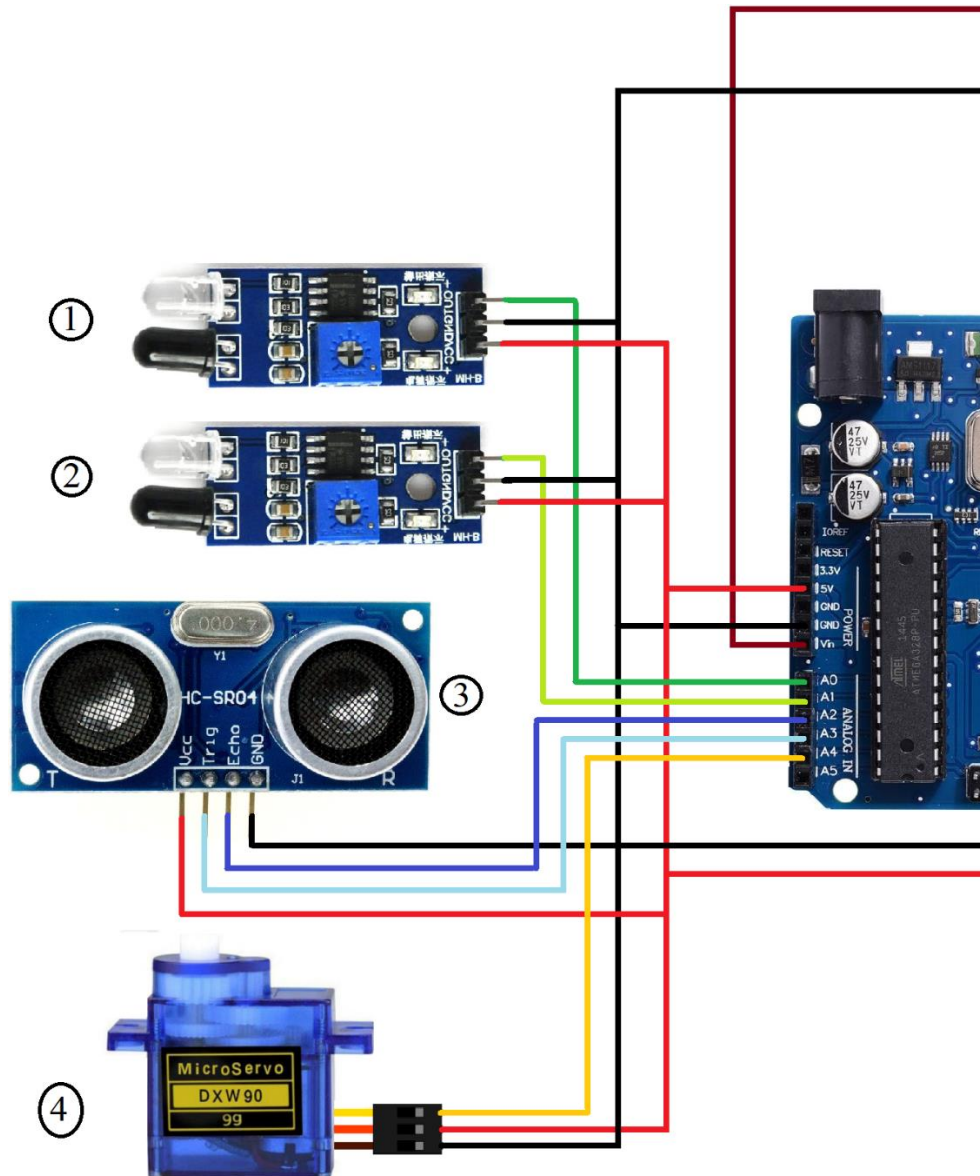
Figura 33 Esquema de montaje de la plataforma.



Fuente: Autores.

Todas las conexiones de GND (cable negro) y VCC (cable rojo), se encuentran soldadas a una misma conexión de cable que va a la placa Arduino, ya que todas estas conexiones comparten el mismo puerto y VCC en todos los componentes es el pin de 5V.

Figura 34 Esquema montaje electrónico de la plataforma, ampliada.



Fuente: Autores.

El esquema presentado muestra las conexiones básicas del sistema para su ensamblaje. También, en la Figura 25, se pueden ver las conexiones de los sensores infrarrojos (1 y 2), ultrasonido (3) y servomotor (4).

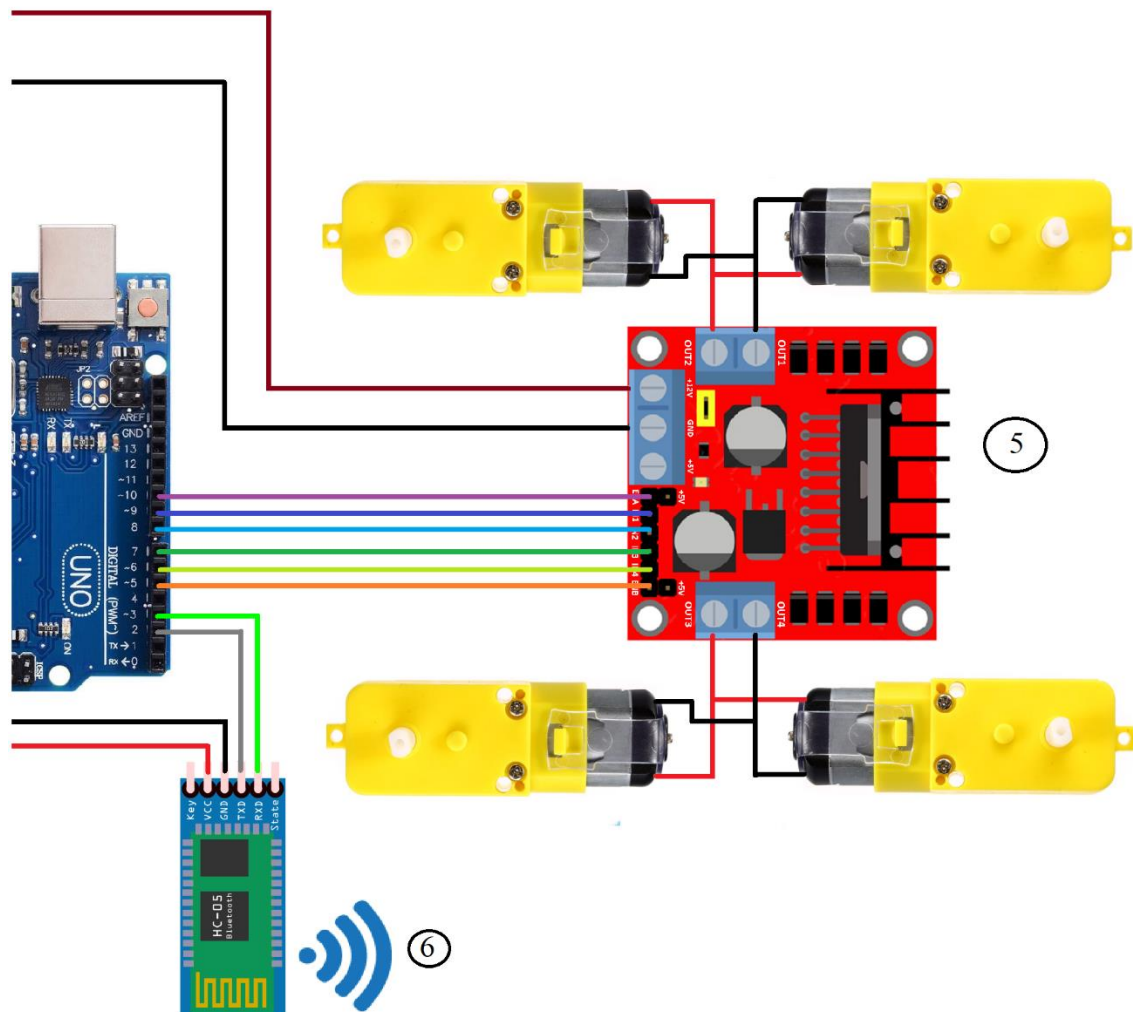
Sensor infrarrojo (1): El sensor infrarrojo tiene tres salidas de cables, OUT, GND y VCC, en donde OUT va al pin A0, GND va a tierra en el Arduino y VCC al pin de 5V.

Sensor infrarrojo (2): Al igual que el sensor (1) tiene 3 puertos donde GND y VCC comparten el mismo equivalente de pin, pero en este caso OUT va al pin A1.

Sensor de ultrasonido (3): El ultrasonido tiene 4 pines, VCC a 5V en el Arduino, GND a tierra o GND en el Arduino, Trig al pin A3 y Echo al pin A2.

Servomotor (4): Al igual que los demás componentes, el servomotor posee una conexión para tierra en GND y VCC en 5V y tiene una salida que va al pin A4.

Figura 35 Esquema montaje electrónico de la plataforma, ampliada.

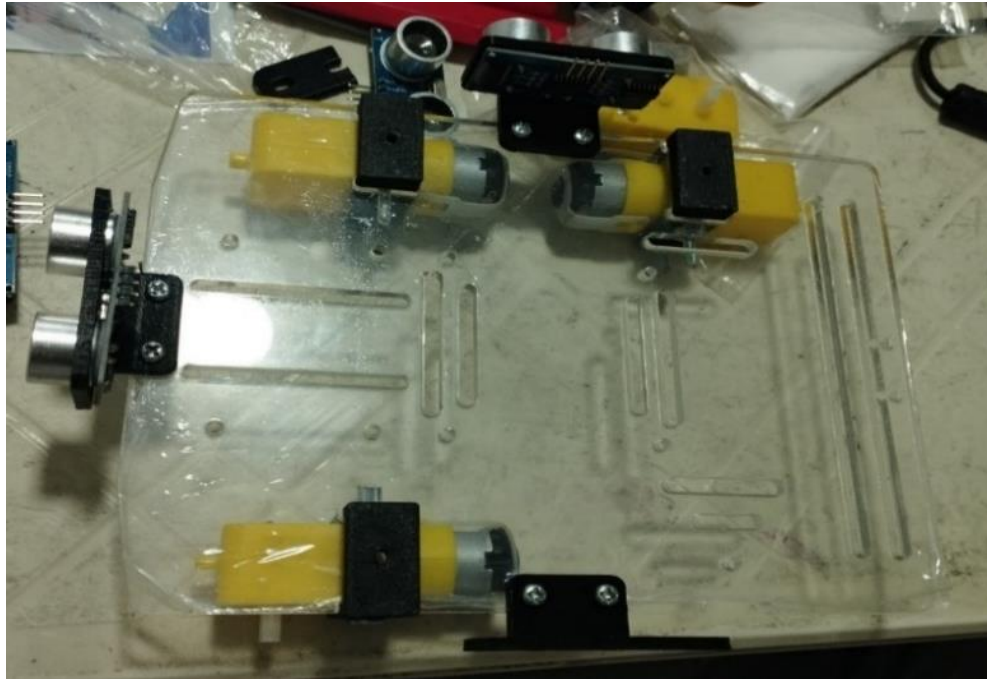


Fuente: Autores.

3.2.6 Paso 1: Montaje de motores y ruedas en plataforma

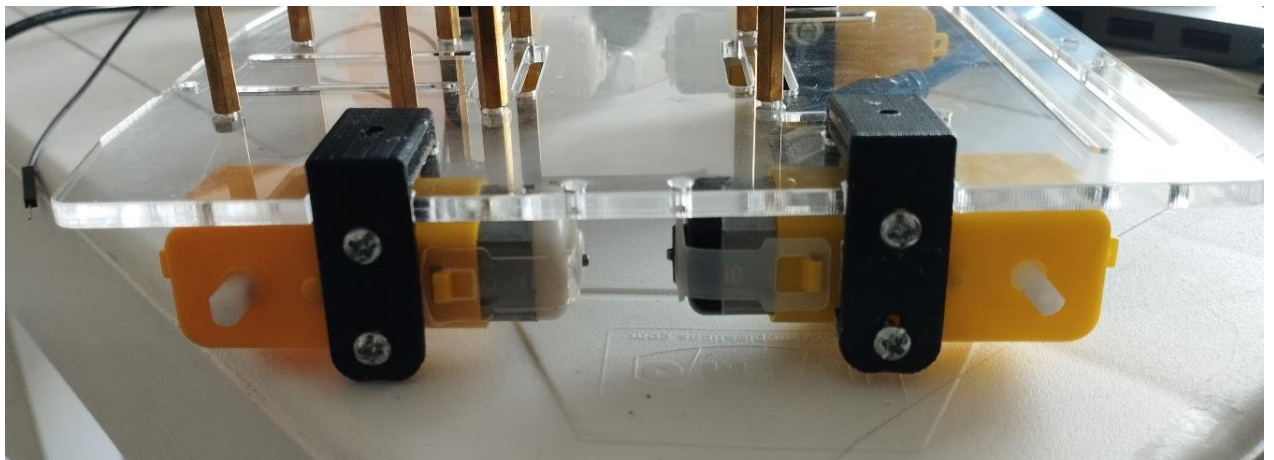
Inicialmente se montaron los soportes de motor sobre la placa de acrílico, posterior a esto, se posicionan los motores en los soportes y se ajustan con tornillos y tuercas para que estos permanezcan fijos, luego, se montan las llantas sobre los ejes de motor.

Figura 36 Montaje de soportes de motor y motores sobre la placa.



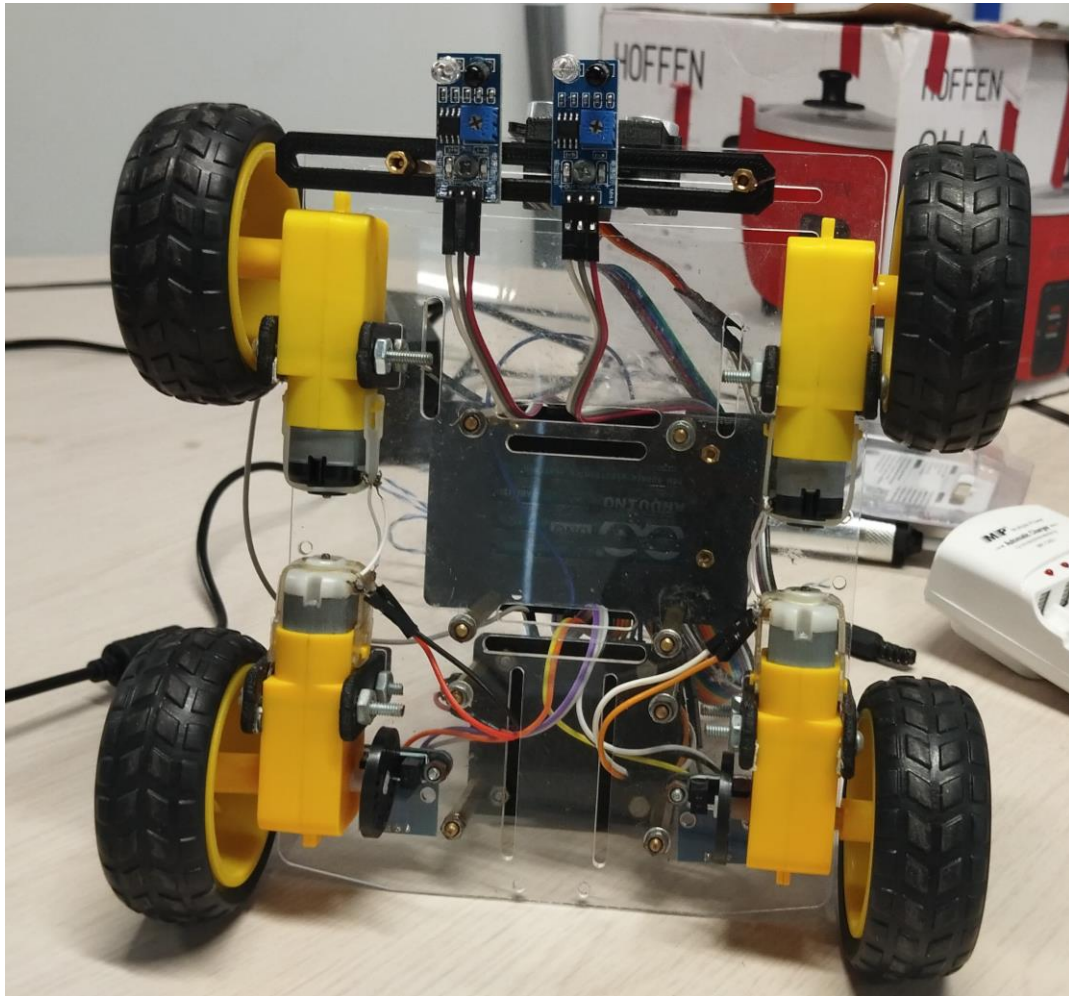
Fuente: Autores.

Figura 37 Motores ajustados con tornillos a los soportes impresos.



Fuente: Autores.

Figura 38 Placa acrílica con soportes, motores y ruedas montadas.



Fuente: Autores.

3.2.7 Paso 2: Montaje de componentes electrónicos sobre la placa acrílica.

Después de montados los motores y las ruedas, se procede a realizar el montaje de placa Arduino UNO y el motor drive L298N, cada elemento se ajusta con tornillos de 3mm y tuercas a sus respectivos soportes.

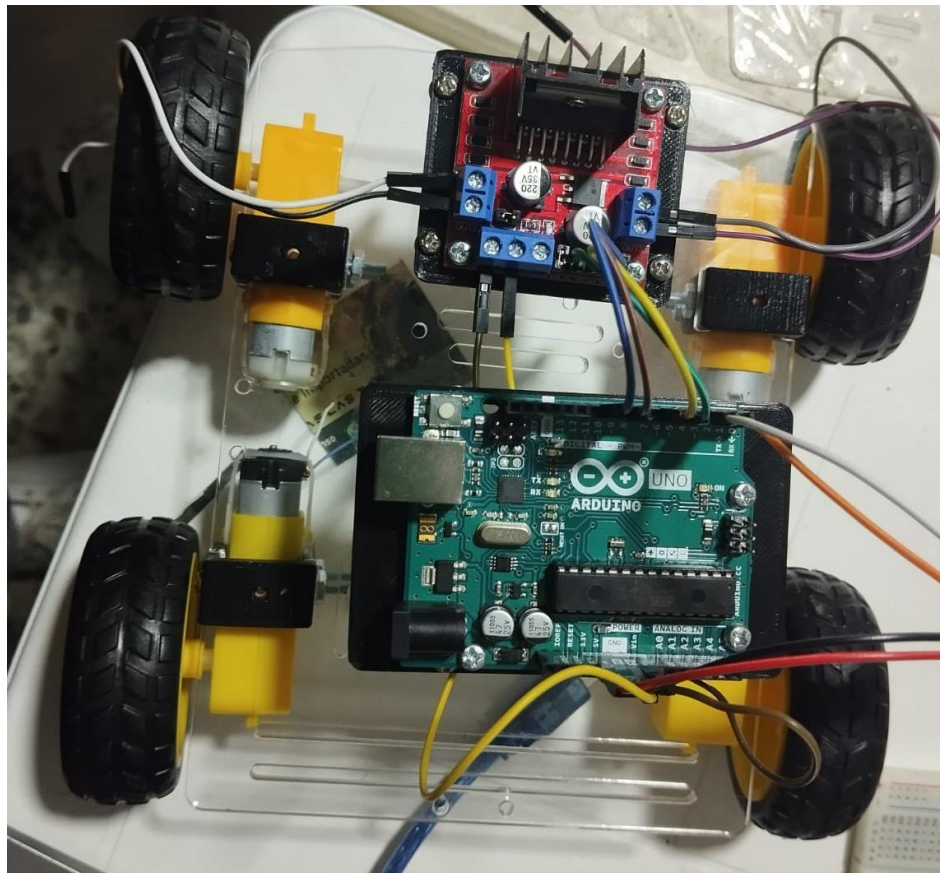
Los soportes se atornillan a la placa acrílica utilizando tornillos con sus respectivas arandelas, tuercas y separadores de tornillo. Los soportes van ensamblados con separadores de tornillos de electrónica de 30mm para la placa Arduino y de 25 mm para el motor driver L298N. Esto se realiza con el fin de disponer de espacio para la ubicación de las baterías y de nuevas piezas que se deseen agregar en el futuro.

Figura 39 Montaje de Placa Arduino UNO y Motor driver L298N a soportes impresos.



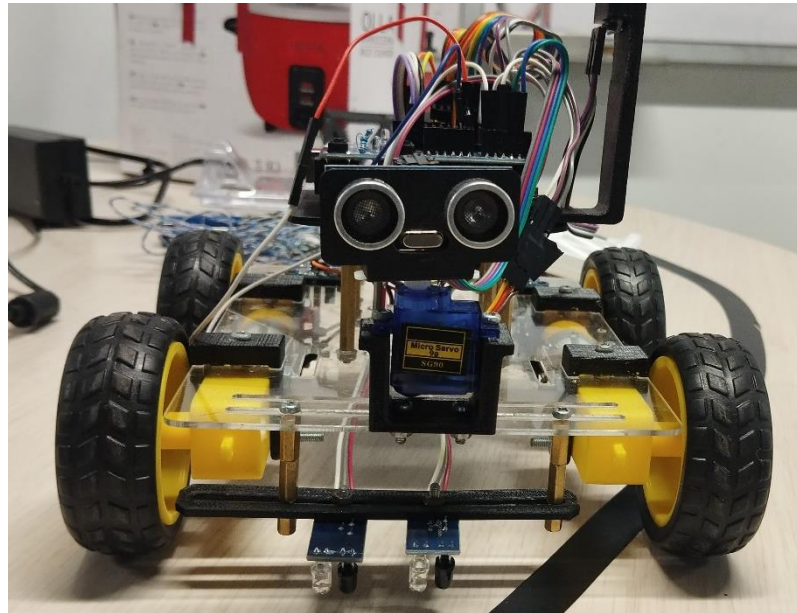
Fuente: Autores.

Figura 40 Montaje de soportes con componentes sobre la placa acrílica.



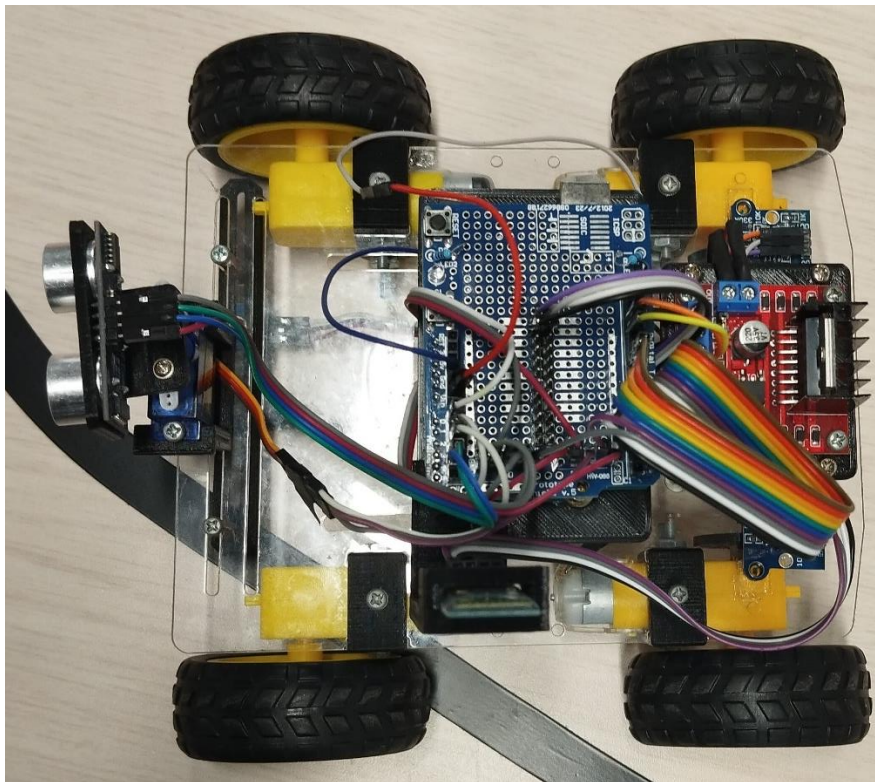
Fuente: Autores.

Figura 41 Montaje de los sensores IR, servomotor y ultrasonido.



Fuente: Autores.

Figura 42 Conexiones realizadas

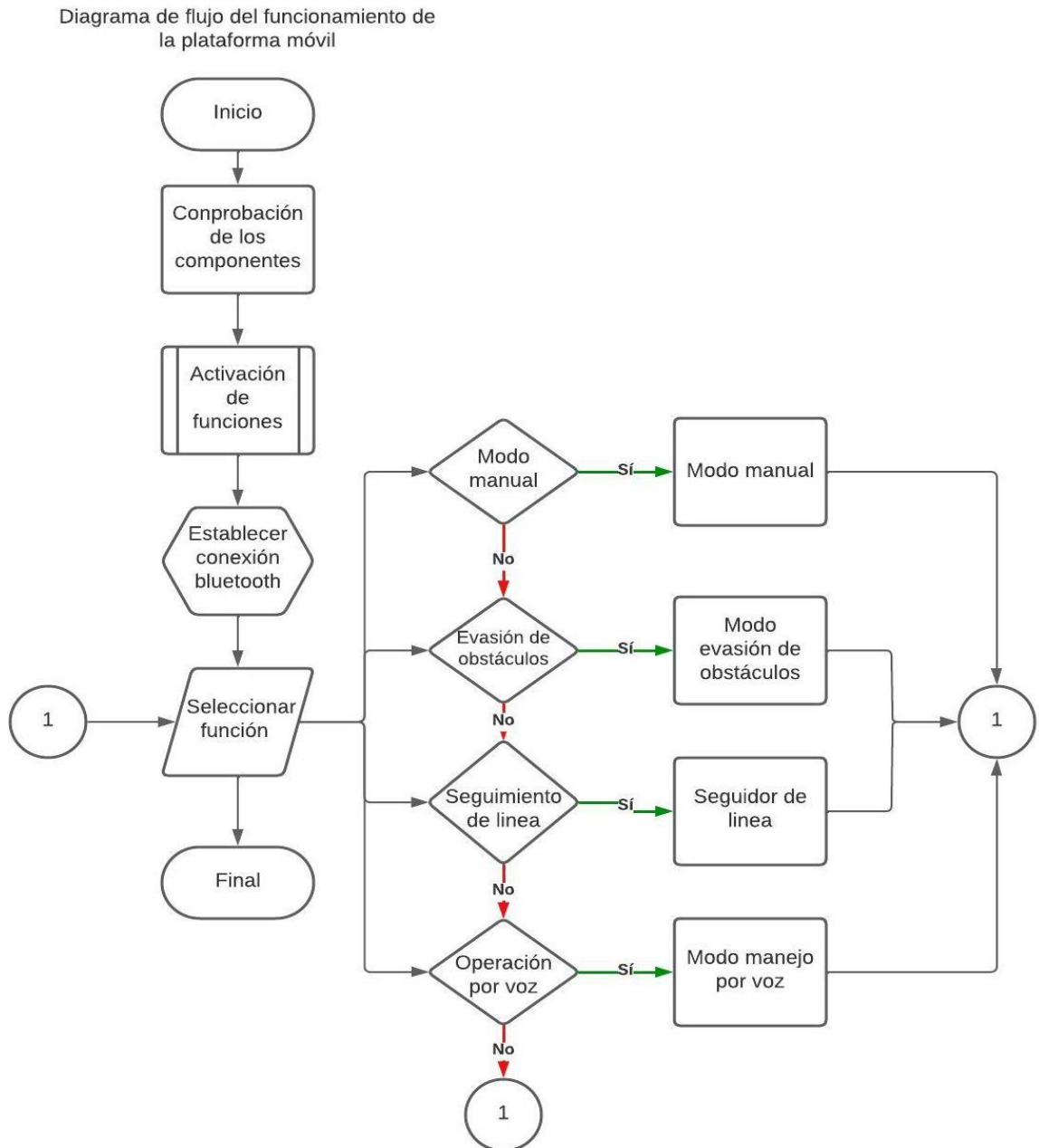


Fuente: Autores.

3.3 Diseño y digitación de la programación de la plataforma móvil

La programación de la plataforma al desarrollarse en el ambiente de Arduino permitió la creación de programas para probar el funcionamiento de las distintas piezas, aunque, teniendo en cuenta las distintas funciones requeridas en la plataforma, inicialmente se hace necesario la creación de diagramas de flujo que permitan entender y facilitar la programación:

Figura 43 Diagrama de flujo del funcionamiento de la plataforma móvil.



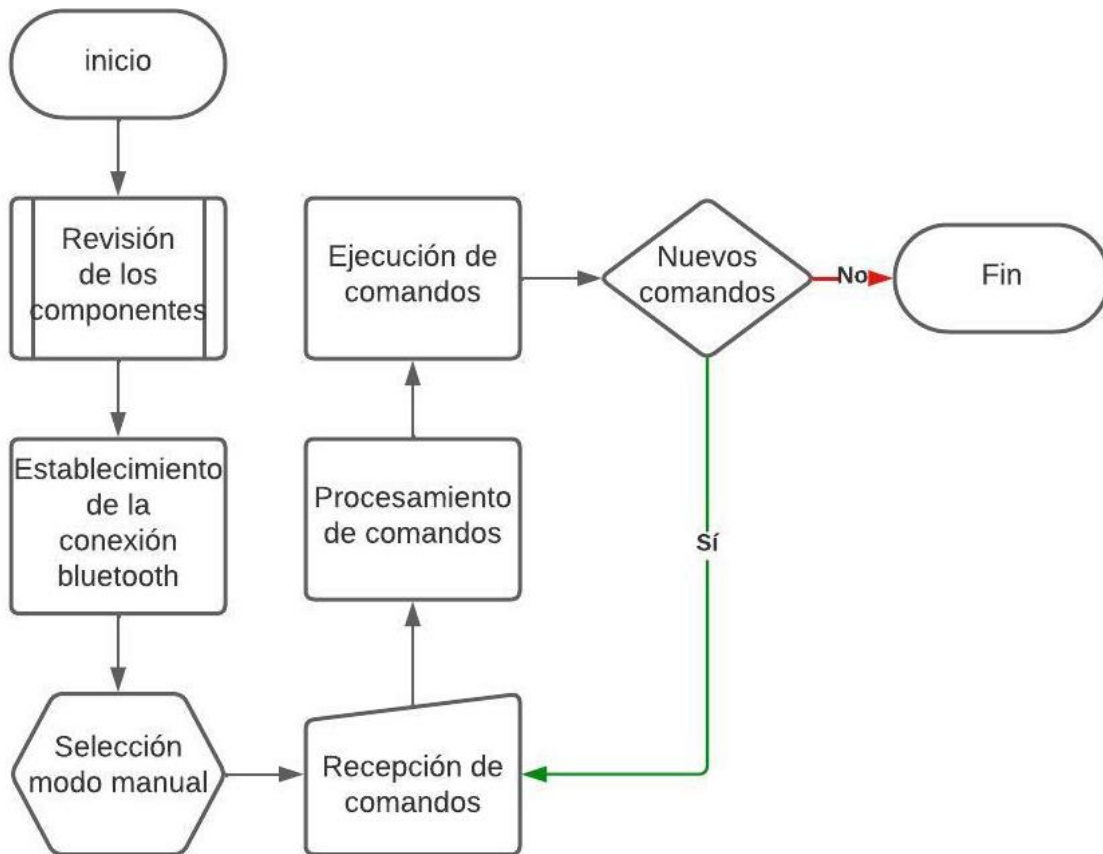
Fuente: Autores.

En el pseudocódigo se muestra el proceso desarrollado por la programación principal para ejecutar cada función, al iniciar el sistema, este realiza un monitoreo inicial de los componentes y luego procede a activar las funciones de los mismos lo cual deja a la plataforma en estado de espera hasta que se establezca conexión con un dispositivo bluetooth que posea la aplicación de control, cuando se establece la conexión, se requiere que el usuario seleccione una función y dependiendo de la función seleccionada, se ejecutará siguiendo los siguientes procesos:

3.3.1 Modo manual:

Cuando se selecciona el modo manual, el sistema corrobora el funcionamiento de los componentes y la conexión bluetooth, luego se requiere que el usuario digite los comandos necesarios para que el robot los ejecute hasta que el usuario decida detener los comandos y pasar a otro modo de funcionamiento.

Figura 44 Diagrama de flujo del modo manual.

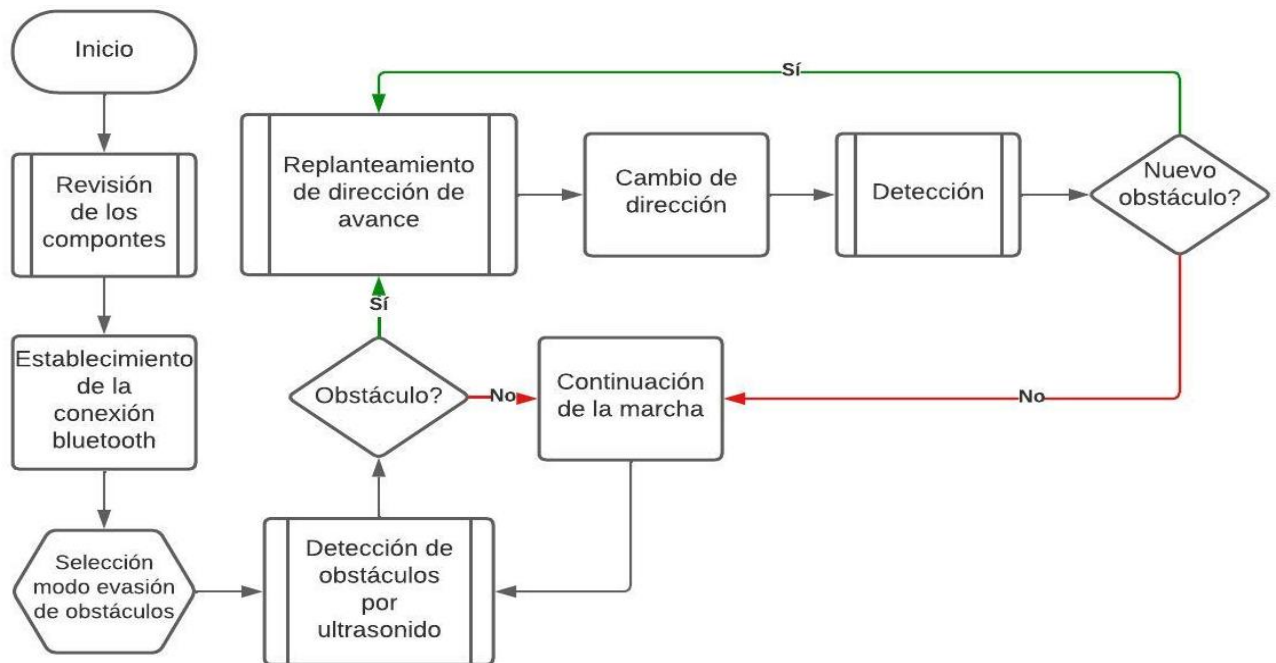


Fuente: Autores.

3.3.2 Modo evasión de obstáculos:

Para el modo de evasión de obstáculos, el robot realiza el respectivo monitoreo de todos los componentes pero, especialmente, los sensores de ultrasonido y la conexión bluetooth, luego el sistema verifica la conexión bluetooth y la selección del modo, al iniciar el modo, el sistema hace un escaneo inicial en búsqueda de obstáculos, si los detecta, plantea una ruta para evadirlos, si no, el prototipo avanza en la dirección frontal, el sistema realiza escaneos durante el avance y esto permite que al topar otro obstáculo, se replantee la ruta hasta que se seleccione otra función en la aplicación.

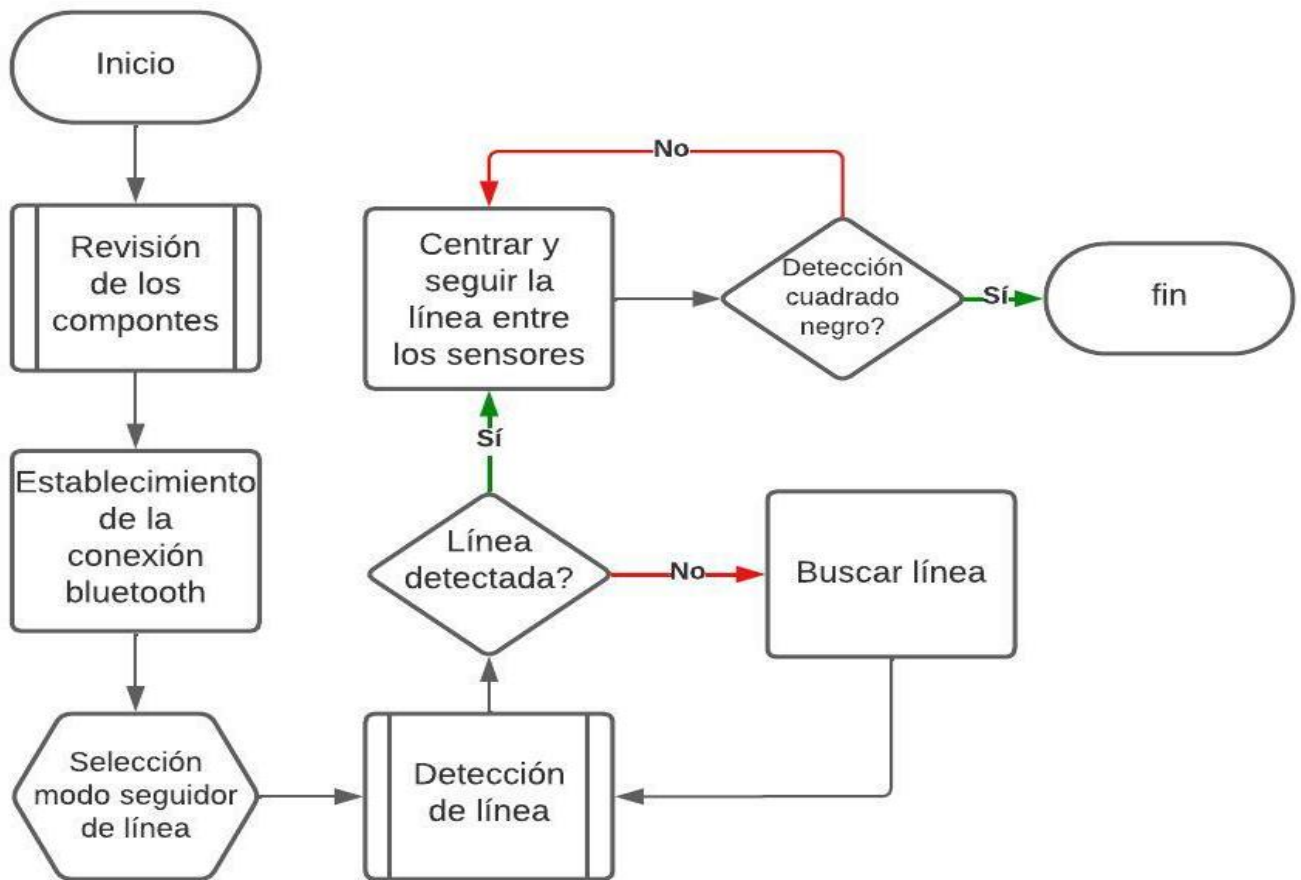
Figura 45 Diagrama de flujo del modo evasión de obstáculos.



Fuente: Autor

3.3.3 Seguidor de línea:

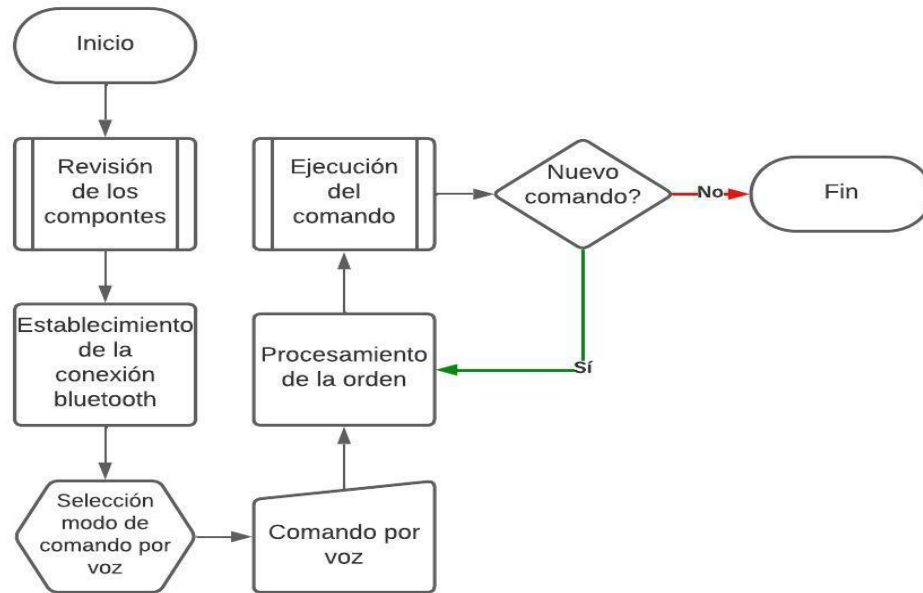
Para el modo de seguidor de línea, el sistema realiza el proceso de revisión de componentes teniendo prioridad los sensores IR y el establecimiento de la conexión, luego de seleccionada la función, el sistema iniciará la detección de línea el cuál buscará la línea inicialmente, al encontrarla, la plataforma centrará la línea entre los sensores IR y la seguirá hasta encontrar un cuadrado negro al final de la ruta, la línea debe ser de color negro ya que los sensores detectan la ausencia de señal entre más oscuro sea el color de la línea.

Figura 46 Diagrama de flujo seguidor de línea

Fuente: Autor

3.3.4 Modo de manejo por voz:

Para el modo de manejo por voz, el sistema no requiere del uso de los sensores externos así que las revisiones solo se realizan a los motores, el motor driver y la placa Arduino, se prioriza el estado de la conexión bluetooth ya que las ordenes serán recibidas directamente por la app, las órdenes emitas deben ser secuenciales y se ejecutarán en orden de llegada hasta que se dejen de emitir ordenes, cabe aclarar que el idioma de entrada de las ordenes es inglés.

Figura 47 Diagrama de flujo de función de manejo por voz.

Fuente: Autores.

Luego de definidos los procesos, se facilita el trasladarlos al lenguaje de programación de Arduino en el cual el método de programación escogido fue por bloques ya que facilita segmentar los procesos y ordenarlos según se encuentran en el diagrama de flujo además de que permite dejar la programación abierta para nuevas líneas de código futuras que incluyan la programación de los módulos.

3.4 Validar el prototipo funcional en un ambiente de laboratorio.

Durante la fase de validación del prototipo, se propuso realizar pruebas para comprobar la funcionalidad de las piezas y la programación, las evidencias de las pruebas se muestran a continuación:

1. Pruebas de control remoto
2. Pruebas de control por voz
3. Pruebas de control de ultrasonido
4. Pruebas de seguidor de línea

3.4.1 Prueba a control remoto.

Bajo el control remoto, el carrito demostró una respuesta ágil y precisa a las órdenes enviadas, evidenciando una comunicación efectiva con el sistema receptor.

Figura 48 Prueba de control remoto.



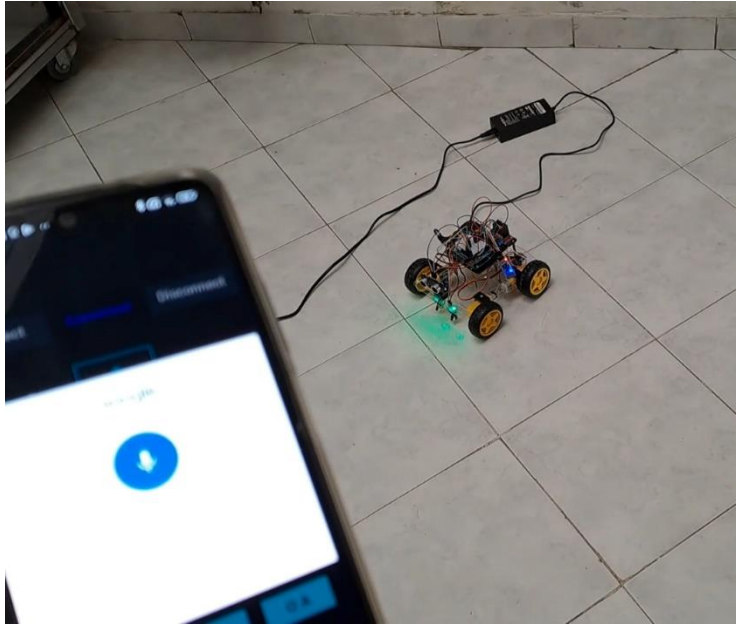
Fuente: Autores.

3.4.2 Prueba de control por voz.

La funcionalidad de control por voz se reveló como una característica robusta, permitiendo la interacción intuitiva mediante comandos de voz predefinidos, los cuales son:

- Turn left (girar a la izquierda)
- Turn right (girar a la derecha)
- Go forward (ir hacia adelante)
- Go back (retroceder)
- Break o stop (frenar o detenerse)

Figura 49 Prueba de control por voz.

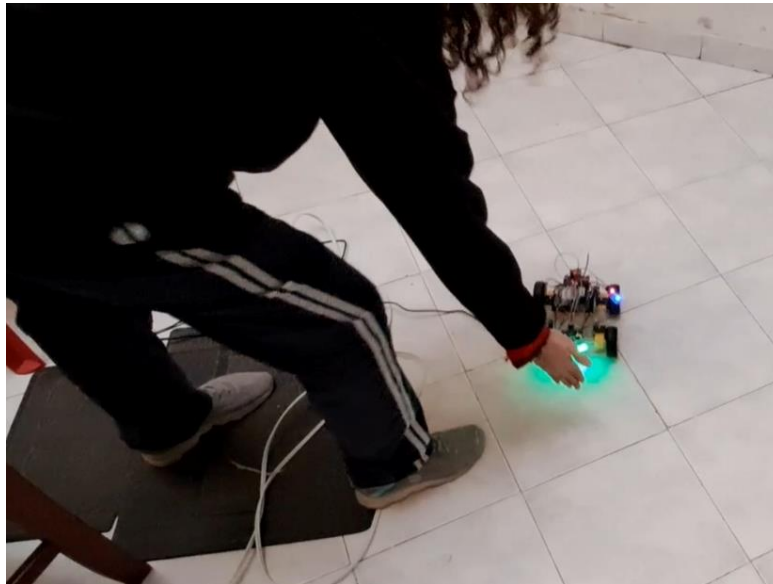


Fuente: Autores.

3.4.3 Prueba de control de ultrasonido.

En cuanto al sistema de ultrasonido, se observó un rendimiento destacado en la detección y evasión de obstáculos, validando la efectividad de esta tecnología en entornos controlados.

Figura 50 Prueba de control de ultrasonido.

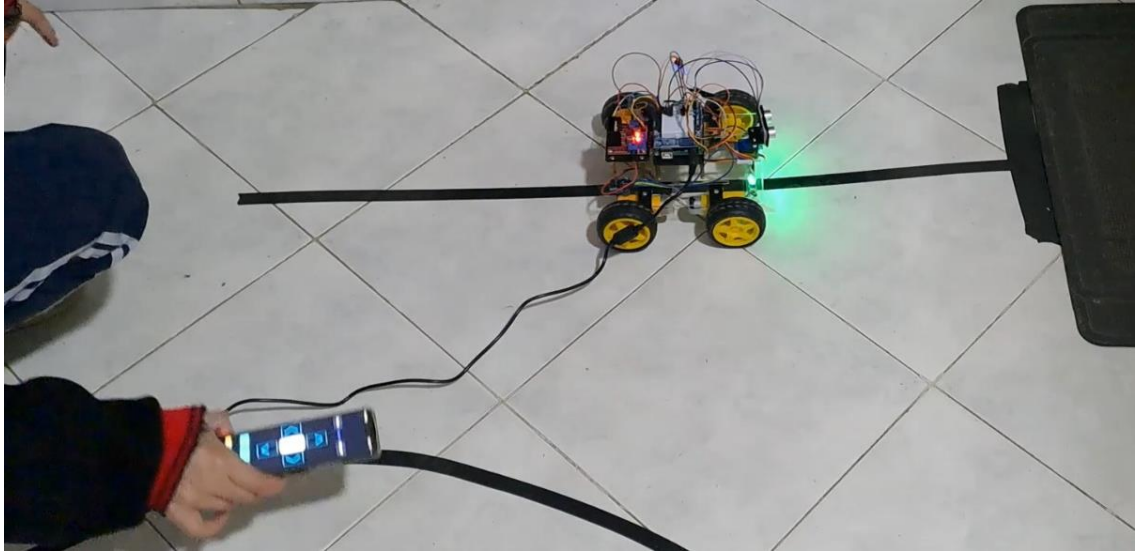


Fuente: Autores.

3.4.4 Prueba de seguidor de línea.

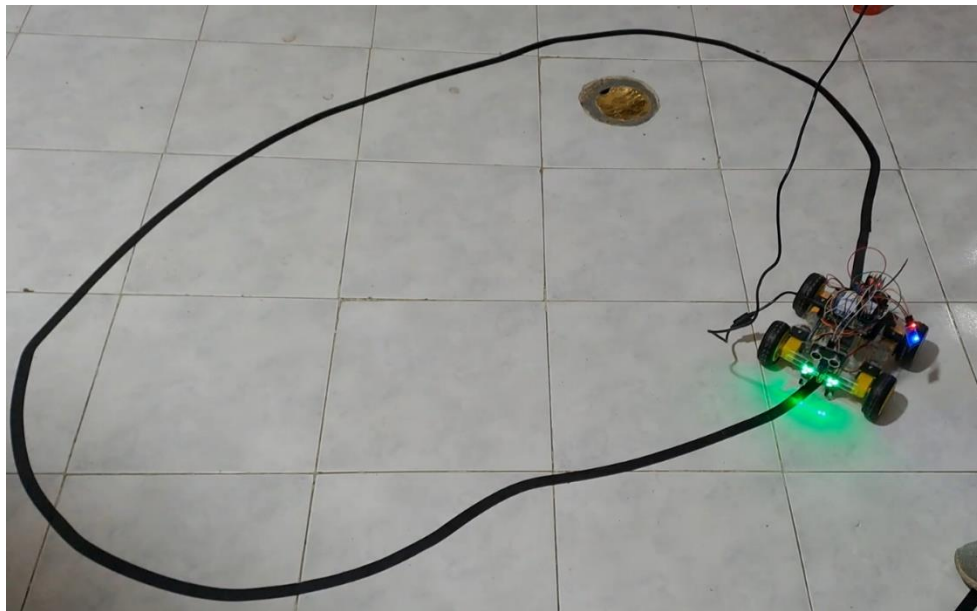
El seguidor de línea mostró una capacidad confiable para mantener la trayectoria establecida, lo que es fundamental para la navegación precisa de la plataforma.

Figura 51 Prueba de control de seguidor de línea en línea recta.



Fuente: Autores.

Figura 52 Prueba de control de seguidor de línea en pista.



Fuente: Autores.

4.5 Establecer la viabilidad económica del prototipo de plataforma móvil

En esta fase, se realizan las proyecciones económicas del prototipo en caso de fabricarse un modelo real, dichas proyecciones se realizarán teniendo en cuenta la inversión necesaria para el modelo de la plataforma real el cuál será detallado basándose en un modelo existente en el mercado, la plataforma todo terreno UGV01 desarrollada por la empresa Waveshare la cuál posee capacidades parecidas a las del prototipo y también es utilizado para el diseño de sistemas agrícolas.

La plataforma posee un costo de \$5'194.500 pesos y posee las capacidades de conexión por wi-fi, sensores de temperatura interna e inclinación, identificación de red y medición de intensidad de red, su chasis está diseñado en aluminio y posee amortiguadores en sus orugas. La plataforma y sus accesorios se pueden adquirir en la página web:

<https://www.dynamoelectronics.com/tienda/robot-todo-terreno-ugv01/>

Figura 53 Plataforma UGV01



Fuente: Dynamo electronics(<https://www.dynamoelectronics.com/tienda/robot-todo-terreno-ugv01/>)

Se proyecta que la plataforma será capaz de suplir las labores realizadas por 6 empleados.

Para determinar la rentabilidad del proyecto, es necesario determinar el valor actual neto, la tasa de retorno y la relación costo beneficio de los empleados con el fin de determinar los índices económicos a superar por la plataforma, ya que, si la plataforma puede igualar o superar estos índices, potenciaría la rentabilidad del invernadero.

4.5.1 *Cálculo de Valor Actual Neto (VAN)*

Un método dinámico de valoración de inversiones el Valor Actual Neto (VAN). El VAN, se basa inicialmente en los flujos de caja futuros que puede generar un proyecto de inversión. [9]

El objetivo principal de este valor es predecir si la inversión será rentable, para ello se va a emplear una tasa de descuento, en donde se descontarán los flujos futuros y poder determinar su equivalente monetario en la actualidad, de esta manera, se agregan para ser restados de la cuantía de la inversión inicial requerida por el proyecto. [9]

La fórmula para calcular el VAN es:

Ecuación 7 Formula del VAN

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{1+K} + \left| \frac{Q_2}{(1+K)^2} + \frac{Q_3}{(1+K)^3} + \dots + \frac{Q_n}{(1+K)^n} \right|$$

Fuente: Gonzales, I. (2021). ¿Qué es y como calcular la TIR (Tasa Interna de Retorno)? Artículo. UNIR.

Donde:

A: valor del desembolso inicial de la inversión.

Q_n : Representa los flujos de caja.

n: Numero de momentos temporales en que se divide el periodo global en la duración del proyecto.

K: Tasa de descuento.

4.5.2 *Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)*

La TIR es utilizada para evaluar y analizar la viabilidad de proyectos de inversión. [9]

Hay diferentes métodos para la evaluación de proyectos de inversión, como lo son los estáticos y dinámicos, estos permiten reducir los riesgos de inversión y ayudan a planificar un modelo de negocio. [9]

El VAN y la TIR se encuentran directamente relacionados, esta relación es debido a que ambas herramientas utilizan la misma ecuación. A partir del valor arrojado por el VAN, es posible

determinar la rentabilidad de un proyecto de inversión en donde al ser positivo es rentable, si es negativo es no rentable y cero si es financieramente indistinto, basado en una tasa de descuento determinada. [9]

El vínculo que tienen la TIR y la VAN es directamente proporcional, ya que con el valor obtenido de la TIR se define como la tasa de descuento que produce que la VAN sea cero.

Ecuación 8 Cálculo de la TIR.

$$TIR = \frac{\text{Valor final} - \text{valor inicial}}{\text{valor inicial}} * 100$$

Fuente: Jesús, S. (2023). Artículo, Tasa interna de retorno ¿Qué es y cómo se calcula de manera correcta? Revista E3 TV.

La fórmula para la VAN en función de la tasa de descuento o TIR es:

Ecuación 9 Formula del VAN con la tasa de descuento o TIR.

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{1 + K_{TIR}} + \left| \frac{Q_2}{(1 + K_{TIR})^2} + \frac{Q_3}{(1 + K_{TIR})^3} + \dots + \frac{Q_n}{(1 + K_{TIR})^n} \right|$$

Fuente: Gonzales, I. (2021). ¿Qué es y como calcular la TIR (Tasa Interna de Retorno)? Artículo. UNIR.

En donde K_{TIR} es la tasa de descuento que representa la TIR.

4.5.3 Cálculo de la relación costo-beneficio

La relación costo-beneficio (B/C) permite determinar la capacidad económica de un proyecto mediante la relación entre la VAN (Valor neto actualizado) el cual es la suma acumulativa de los flujos efectivos netos descontados de un proyecto hasta un momento específico y la inversión inicial [9], se determina mediante la siguiente formula:

Ecuación 13 Formula de la relación B/C

$$\frac{B}{C} = \frac{VAN}{\text{Inversión inicial}}$$

Esta relación permite determinar el valor producido por cada unidad de moneda invertida, es decir, cuánto se gana por cada peso invertido en el proyecto.

Este cálculo es útil para definir la capacidad productiva de los empleados, la cuál debe ser igualada o superada por la plataforma final.

4.5.3.1 Como decidir sobre un proyecto.

A partir de lo anteriormente descrito, se puede decir que un proyecto es rentable cuando $K_{TIR} \geq K$, es no rentable cuando $K_{TIR} < K$ y el proyecto se aceptaría en el caso en que $K_{TIR} = K$. Es importante tener presente que, al tener dos o más proyectos de inversión alternativos, se elige aquel que presente un valor de TIR mayor. [9]

La viabilidad económica es uno de los factores con mayor influencia en el proyecto ya que permite evaluar la factibilidad de la inversión realizada en esta tecnología, con ello se busca la rentabilidad de la inversión mediante un análisis detallado, para esto, se realiza la comparación entre la capacidad productiva proyectada del prototipo y la productividad económica de los empleados del invernadero en tres periodos de producción los cuales abarcan 3 meses cada uno.

Según uno de los inversores del invernadero, el señor Julián Rodríguez, en el invernadero en un periodo de cosecha y cuidado (3 meses) se necesitan entre 3 y 6 empleados para realizar todas las tareas necesarias, la inversión necesaria para cada periodo de producción es aproximadamente \$25 millones de pesos en los cuales el 40% (10 millones de pesos) se encuentran destinados al pago de la mano de obra del invernadero, estos datos cambian según la necesidad en el periodo de cosecha en donde se pueden necesitar 1 o 2 empleados extras.

En la siguiente tabla se puede evidenciar el gasto promedio trimestral que posee el invernadero en cada periodo de producción.

Tabla 5 Inversión trimestral del invernadero durante periodo de producción.

| Inversión | Valor | Unidad |
|--------------------------|-------------------------|---------------|
| Plaguicidas y fungicidas | \$ 3,000,000.00 | COP |
| Mano de obra | \$ 10,692,000.00 | COP |
| Mantenimiento | \$ 3,500,000.00 | COP |
| Costos de preparación | \$ 5,500,000.00 | COP |
| Implementos | \$ 2,400,000.00 | COP |
| Total | \$ 25,092,000.00 | COP |

Fuente: Datos económicos del invernadero.

En la tabla se puede observar que la inversión en mano de obra asciende a sobre los 10 millones de pesos, dicha inversión es necesaria conocerla en exactitud ya que el proyecto se encuentra orientado a reducir principalmente este costo, por lo tanto, en la siguiente tabla se presenta detalladamente la inversión en mano de obra por parte del invernadero:

Tabla 6 Inversión en mano de obra del invernadero

| Tipo de inversión | Valor | Unidad |
|------------------------------------|-------------------------|---------------|
| Salario hora trabajo | \$ 9,200.00 | COP |
| Horas trabajadas al mes | 90 | Hora |
| Cantidad de empleados | 3 | Hora |
| Transporte trimestral | \$ 3,240,000.00 | COP |
| Total, inversión trimestral | \$ 10,692,000.00 | COP |

Fuente: Datos económicos del invernadero

El valor hora de trabajo de los empleados es de \$9200 pesos y durante el periodo de cosecha se mantienen por lo menos 3 empleados, en algunos casos, dependientes de la producción, se necesitan entre 1 y 3 empleados más, por lo tanto, el total de inversión se incrementa, pero no se incluye debido a que no es una inversión fija.

4.5.4 Análisis de ingresos del invernadero

El invernadero, durante el año, produce cerca de 15 Toneladas de tomate en tres periodos que abarcan 9 meses (3 meses cada periodo) en los cuales se producen 4 tipos diferentes de tomates: Extra, segunda, tercera y cuarta los cuales, el precio varía según el tipo siendo el extra el más valioso. A lo largo del año se vende la producción en centrales de abasto las cuales ofrecen precios estables en comparación a otros sitios, por lo tanto, para realizar el análisis de proyección económica del invernadero, se analizan los precios del último periodo del año 2023 y se proyectan los precios del primer y segundo periodo del año 2024.

Tabla 7 Producción económica del último periodo del año 2023

| Tipo de tomate | Porcentaje en el cargamento total | Ton periodo | Cantidad de canastas | Precio canasta | Ganancia |
|----------------|-----------------------------------|-------------|----------------------|----------------|------------------|
| 1 | 15% | 2.25 | 90 | \$ 120,000.00 | \$ 10,800,000.00 |
| 2 | 25% | 3.75 | 150 | \$ 93,500.00 | \$ 14,025,000.00 |
| 3 | 25% | 3.75 | 150 | \$ 74,000.00 | \$ 11,100,000.00 |
| 4 | 35% | 5.25 | 210 | \$ 50,000.00 | \$ 10,500,000.00 |
| Total | | | | | \$ 46,425,000.00 |

Fuente: Datos económicos del invernadero

Tabla 8 Producción económica del primer periodo del año 2024

| Tipo de tomate | Porcentaje en el cargamento total | Ton periodo | Cantidad de canastas | Precio canasta | Ganancia |
|----------------|-----------------------------------|-------------|----------------------|----------------|------------------|
| 1 | 15% | 2.25 | 90 | \$ 125,000.00 | \$ 11,250,000.00 |
| 2 | 25% | 3.75 | 150 | \$ 97,389.60 | \$ 14,608,440.00 |
| 3 | 25% | 3.75 | 150 | \$ 77,078.40 | \$ 11,561,760.00 |
| 4 | 35% | 5.25 | 210 | \$ 52,080.00 | \$ 10,936,800.00 |
| Total | | | | | \$ 48,357,000.00 |

Fuente: Autores.

Tabla 9 Producción económica del segundo periodo del año 2024

| Tipo de tomate | Porcentaje en el cargamento total | Ton periodo | Cantidad de canastas | Precio canasta | Ganancia |
|----------------|-----------------------------------|-------------|----------------------|----------------|------------------|
| 1 | 15% | 2.25 | 90 | \$ 127,500.00 | \$ 11,475,000.00 |
| 2 | 25% | 3.75 | 150 | \$ 99,337.39 | \$ 14,900,608.80 |
| 3 | 25% | 3.75 | 150 | \$ 78,619.97 | \$ 11,792,995.20 |
| 4 | 35% | 5.25 | 210 | \$ 53,121.60 | \$ 11,155,536.00 |
| Total | | | | | \$ 49,324,140.00 |

Fuente: Autores.

Las tablas se desarrollan para calcular la ganancia en cada periodo establecido y así definir los parámetros base para el desarrollo económico que debe suplir el modelo final para ser rentable.

4.5.5 *Cálculo de la viabilidad económica del proyecto.*

Para el cálculo de la viabilidad económica, se tiene en cuenta la información suministrada por parte del invernadero, la cual aclara que la tasa de descuento (interés) que se toma de la producción es del 15%, luego, se calcula la inversión inicial de los empleados la cual es la suma entre la inversión del invernadero y la inversión necesaria de los empleados.

Luego se calculan las ganancias de los tres periodos para así poder calcular tres factores que permiten determinar la viabilidad económica del proyecto los cuales son la VAN (Valor actual neto) que permite proyectar el valor de la inversión a la actualidad desde valores futuros y uno pasado, VNA (Valor neto actualizado) el cual es la suma acumulativa de los flujos efectivos netos descontados de un proyecto hasta un momento específico, TIR (Tasa interna de retorno) el cual es el porcentaje de ganancia y B/C (Relación beneficio- costo) el cual indica la ganancia por cada peso invertido en el proyecto, cada factor permite facilitar el análisis y determinar la viabilidad del proyecto. Gitman, L. J., & Zutter, C. J. (2015)

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los cálculos con relación a los empleados:

Tabla 10 Cálculos de viabilidad económica de los empleados

| Tasa de descuento | | 0.15 |
|--------------------------|--|-------------------|
| Empleados | | |
| Inversión inicial | | -\$ 35,784,000.00 |
| Periodo 1 | | \$ 21,333,000.00 |
| Periodo 2 | | \$ 23,265,000.00 |
| Periodo 3 | | \$ 24,232,140.00 |
| Tasa de retorno | | 40% |
| VAN | | \$ 16,291,142.60 |
| VNA | | \$ 52,075,142.60 |
| B/C | | 1.46 |

Fuente: Autores.

Con este análisis se busca establecer los parámetros económicos que debe suplir y superar el proyecto final para demostrar su rentabilidad, si el proyecto final presenta la capacidad de poseer

un B/C mayor o igual a 1,60 se demostraría su viabilidad económica y productiva frente a los empleados.

Con este modelo de plataforma se busca reducir en 6 los empleados necesarios para realizar las tareas del invernadero, los empleados restantes estarían orientados a funciones de sembrado, deschupado, recolección, transporte y clasificación de los tomates, la plataforma automatizaría los procesos aspersion, control de malezas, riego de nutrientes y monitorización del cultivo. A partir de esto, la creación de los módulos debe estar orientada a las tareas mencionadas, aunque, se abre la posibilidad de agregar nuevas funciones a los módulos como la identificación de plagas o el seguimiento de la madurez de la planta.

4. Conclusiones

Para la caracterización del terreno, se realizó una visita al invernadero el porvenir en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá en esta visita se pudo observar las condiciones del terreno y el entorno de trabajo y se destacaron los principales aspectos de la tierra los cuales son la textura del suelo, nivel de compactación, capacidad de drenaje, la distribución de los surcos, la cantidad y uniformidad de los mismos. Gracias a la información proporcionada por el propietario del establecimiento, se concluyó que el terreno es compacto, con buena capacidad de drenaje y los surcos poseen montículos alineados para la siembra de tomates en los laterales, estas características de terreno facilitan la movilidad del prototipo. Adicionalmente, algunos surcos presentan unos pilares de madera que representan un obstáculo en la movilidad del prototipo.

Para la elaboración del diseño y ensamblaje del prototipo de plataforma móvil se exploraron diversas estrategias que integraran los componentes de manera óptima y compacta, A través de un enfoque integral que abarca desde la estructura hasta los sistemas de control y comunicación, proporcionando la capacidad de supervisar y ajustar el rendimiento del prototipo.

La integración de los sistemas de movilidad permite al prototipo adaptarse y desplazarse con mayor facilidad a través de los surcos y los obstáculos presentes en estos, esto se logró diseñando un sistema de desplazamiento basado en 4 ruedas las cuales permiten la maniobrabilidad a través del terreno, además, la integración de sensores permite al sistema desarrollar funciones automatizadas a las cuales se ingresan a través del sistema de comunicación bluetooth, el diseño de los sistemas también permite la integración futura de los módulos de forma sencilla y ágil.

La programación del prototipo refleja un enfoque escalable y sistematizado para ejecución de las funciones requeridas, esto se logró mediante la definición de las funciones a desarrollar a través de diagramas de bloques y pseudocódigos los cuales permiten comprender y facilitar el proceso de programación de cada función y de la programación en general.

El uso del método de programación por bloques facilita la digitación y organización del código, permite la capacidad de añadir nuevas líneas de código para la adecuación de los módulos que serán desarrollados en el futuro, gracias a este método de programación, existe la flexibilidad en la adecuación de nuevas funciones sin la alteración de las existentes.

El enfoque meticuloso en el diseño también permite la generación de un sistema que posee una estructura clara y adaptable lo que garantiza que el sistema se encuentre preparado para futuras actualizaciones. Debido a la simplicidad de diseño, se facilitan las tareas de ensamble y desensamble de la plataforma para la realización de mantenimiento o mejoras futuras.

En las pruebas de movilidad de la plataforma móvil, los resultados obtenidos muestran la buena transmisión de datos entre la conexión bluetooth y las aplicaciones del dispositivo móvil, lo que confirma la fiabilidad del prototipo en condiciones controladas, sin embargo, esta tecnología pretende abrir paso a que los futuros investigadores mejoren los sistemas de comunicación e implementen nuevos componentes que realicen mas labores como lo sería el reconocimiento de plantas.

La evaluación de viabilidad económica del prototipo implica un análisis de sus potenciales beneficios financieros aportados al invernadero en comparación con los costos asociados a los procesos referentes al cultivo de tomate. Para el análisis económico se hizo necesario realizar estimaciones basadas en un modelo de plataforma existente en el mercado, esta plataforma podría satisfacer las labores equivalentes realizadas hasta por 6 empleados en el invernadero, resultando en una reducción en los costos asociados al cultivo. Para la realización de estas estimaciones, se emplearon herramientas financieras las cuales son: El valor actual neto (VAN), el valor neto actualizado (VNA), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo – beneficio, estas herramientas permitieron evaluar y comparar los costos referentes a los empleados frente a los costos referentes al prototipo. Inicialmente, se calculó el VAN y el VNA, esto permite conocer las proyecciones presentes del prototipo frente a las proyecciones futuras, luego se realizó el cálculo de la TIR para definir cuánta ganancia puede producir el sistema al invernadero y compararla con la ganancia producida por los empleados. La relación costo beneficio permite evidenciar la capacidad económica del prototipo y también permite comprarla con los empleados, esta relación se establece a través de los costos asociados al sistema y a los empleados frente a su capacidad productiva.

La evaluación de viabilidad económica permite estimar la factibilidad del desarrollo del sistema y su aplicación en los invernaderos ya que permite conocer un porcentaje estimado de mejoramiento de las ganancias del invernadero debido a la reducción en los costos de mano de obra.

Este proyecto, abre la puerta a futuras investigaciones y aplicaciones en áreas como la robótica móvil, así como se espera que con este proyecto se puedan seguir desarrollando investigaciones, con el fin de implementar los distintos módulos para las funciones de riego, siembra, etc., promoviendo el desarrollo continuo en el campo de la ingeniería y la agricultura 4.0 en Colombia.

5. Recomendaciones

Se recomienda a los futuros investigadores, explorar y desarrollar módulos especializados diseñados para realizar tareas de aspersión, riego, siembra, entre otras actividades entorno a la agricultura. La implementación de dispositivos automatizados podría mejorar la versatilidad y aplicabilidad de la plataforma en la agricultura.

Se sugiere la incorporación de sensores agrícolas especializados que permitan al sistema recopilar datos relevantes sobre el suelo, humedad, entre otras condiciones. Esto podría facilitar la toma de decisión durante las operaciones.

Se recomienda investigar y mejorar los algoritmos de navegación, con el fin de garantizar un desplazamiento preciso y eficiente en entornos agrícolas. La adaptación a terrenos irregulares y variables, y de ser posible, mejorar la capacidad de evitar obstáculos.

Considerar la compatibilidad y la integración con sistemas agrícolas ya existentes. La capacidad de comunicación y colaboración con los otros dispositivos en el entorno agrícola contribuirá a la eficiencia.

Investigar métodos para la optimización del consumo de energía de la plataforma, se recomienda considerar especialmente el despliegue prolongado en campos agrícolas. La autonomía y la eficiencia energética son aspectos críticos a la hora de garantizar un rendimiento sostenible del sistema.

Si se desea avanzar el proyecto a una fase de creación de un modelo, sería necesario implementar lenguajes de programación más complejos y desarrollados como Python o C++ que permiten desarrollar funciones más complejas y específicas.

Realizar pruebas y validaciones en condiciones del mundo real, preferiblemente en colaboración con agricultores y expertos en el campo. Esto permitirá ajustes y mejoras basados en situaciones prácticas y necesidades reales.

Evaluar y mitigar posibles impactos ambientales. Investigar la posibilidad de incorporar tecnologías sostenibles y amigables con el medio ambiente en el diseño de los módulos.

Referencias bibliográficas

- [1] Andrade Daza, L. (2019). Cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y maíz (*Zea mays*) como alternativa de sostenimiento para familias campesinas en Algeciras Huila. Universidad de la Salle.
- [2] Alcántara, J., Sáez, Y., & Muñoz, D. (2018). Plataforma de bajo coste para la monitorización de cultivos basada en Arduino. Jornadas sobre tecnologías de la información para la gestión de empresas agroalimentarias.
- [3] Castilla, N. Invernaderos de plástico, tecnología y manejo. Ediciones mundo-prensa. (2007).
- [4] Bouzo, C & Gariglio, N. Catedra a fisiología vegetal. Facultad de agronomía y veterinaria.
- [5] Evans, B. (2007). Arduino: Manual de programación, Standford.
- [6] Giraldo, A, (2020). Tan cerca y tan lejos de la agricultura 4.0 en Colombia. Revista universidad EAFIT-agrotech: Transformación, mercado y producción.
- [7] Herrera, J. (2020). Diseño y construcción de un prototipo de invernadero urbano automatizado de tres metros cúbicos que permita controlar la humedad relativa por medio de microcontroladores para generar una producción constante de alimentos orgánicos. Universidad politécnica salesiana sede Quito. Quito, Ecuador.
- [8] Gonzales, D. S (2015). DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE MALEZA. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- [9] Gonzales, I. (2021). ¿Qué es y como calcular la TIR (Tasa Interna de Retorno)? Artículo. UNIR.
- [10] Jesús, S. (2023). Artículo, Tasa interna de retorno ¿Qué es y cómo se calcula de manera correcta? Revista E3 TV.
- [11] Martínez, A. Córdoba, F., & Rodríguez, M. (2020). Aplicación de tecnología Arduino en la agricultura de precisión. Revista de Investigación e Innovación Agroindustrial, 6(2), 40-48.

[12] Melgar, M, director general CENGICAÑA (2017-2018). Agricultura digital o agricultura 4.0.

[13] Ojeda, A. (2022). Plataformas tecnológicas en la Agricultura 4.0: Una mirada al desarrollo en Colombia. Universidad del Atlántico, Barranquilla (Colombia).

[14] Ortega Q, L. S. (2021). Sistema de navegación autónoma en robot móvil tipo oruga para apoyo en tareas de siembra en campos caficultores. Bucaramanga: Universidad autónoma de Bucaramanga.

[15] Ramírez, J, (2007). Diseño y construcción de un prototipo para la supervisión de un invernadero a través de internet. Universidad de San Buenaventura. Bogotá, Colombia.

[16] Rivero, N. (2018). Mantenimiento y manejo de invernaderos. IC Editorial.

[17] Villalobos, M., Manami, M. y Herrera, R. (2017). Sistema Web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. Revista chilena de ingeniería.

[18] Zambrano, A. (2009). Manual de cultivo de tomates en invernadero. Departamento de Cundinamarca, secretaria de educación.

[19] Agro BAYER Colombia. (2022). Solución para tomate. Tienda Virtual de insecticidas Agro BAYER Colombia.

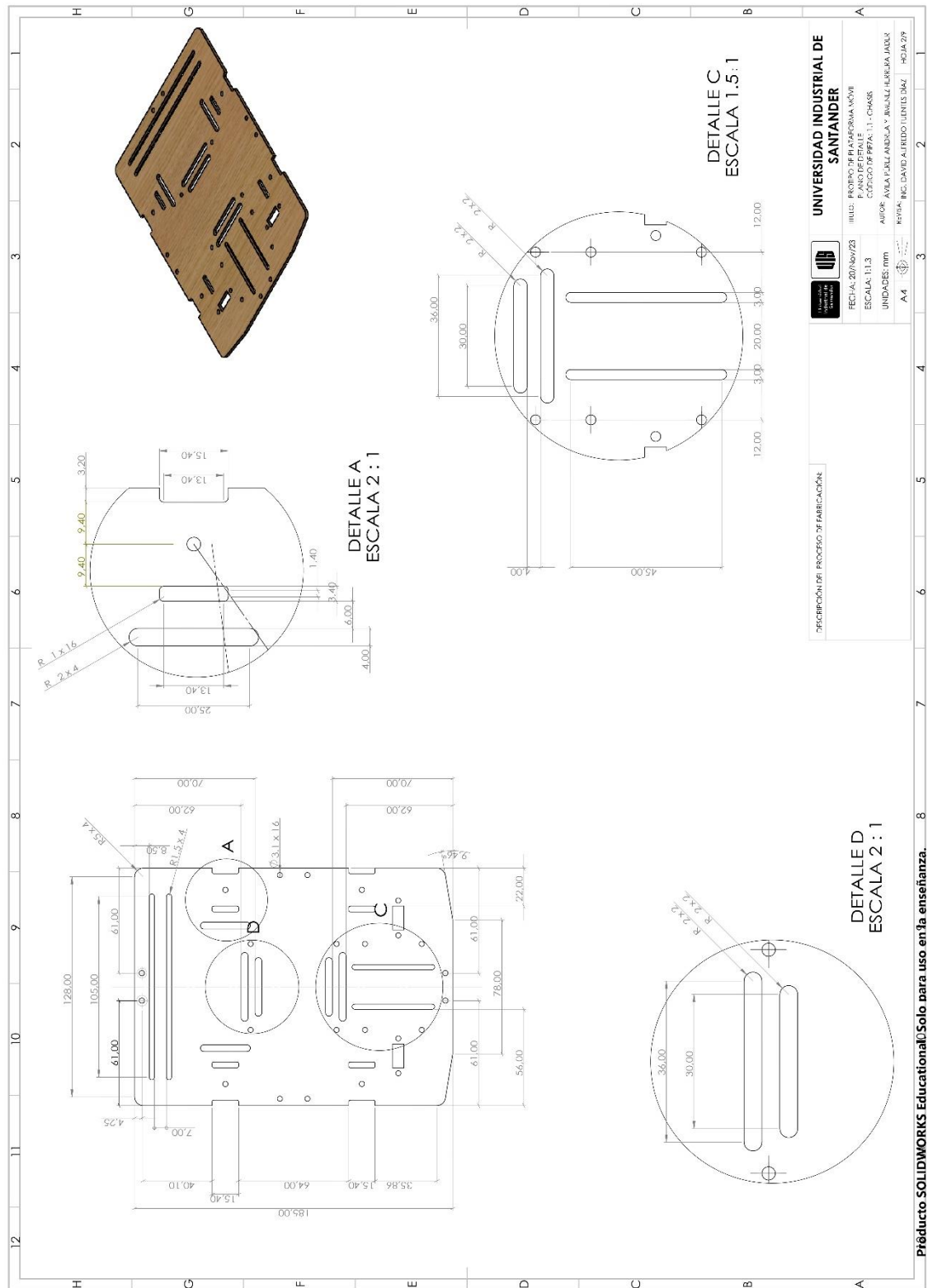
Apéndice

Apéndice A Explosionado de prototipo de plataforma móvil

| | | | |
|--|--|-------|--|
| 1.22 | Sensor infrarrojo | 2 | Evasor de obstáculos |
| 1.21 | Motor y rueda | 4-4 | Motoreductor de 6V 220rpm y 1:48. D7cm de rueda |
| 1.20 | Separador hexagonal | 2 | M3x1x10 |
| 1.19 | Modulo Bluetooth | 1 | HC-06 |
| 1.18 | Modulo de encoder | 2 | HC-020K |
| 1.17 | Separador hexagonal | 4 | M3x1x20 |
| 1.16 | Motor Driver L298N | 1 | L298N puente H |
| 1.15 | Separador hexagonal | 4 | M3x1x30 |
| 1.14 | Arduino | 1 | Arduino UNO |
| 1.13 | Ultrasonido | 1 | HC-SR04 para Arduino |
| 1.12 | Ala de servomotor | 1 | Complemento de servomotor |
| 1.11 | Servomotor | 1 | Micro servo Sg90 |
| 1.10 | Tuerca | 21 | M3 |
| 1.9 | Tornillo | 23 | M3x1x10 |
| 1.8 | Soporte de HC-06 | 1 | Impresión 3D en filamento de PLA |
| 1.7 | Soporte de Driver L298N | 1 | Impresión 3D en filamento de PLA |
| 1.6 | Soporte de Arduino | 1 | Impresión 3D en filamento de PLA |
| 1.5 | Soporte de infrarrojos | 1 | Impresión 3D en filamento de PLA |
| 1.4 | Soporte de ultrasonido | 1 | Impresión 3D en filamento de PLA |
| 1.3 | Soporte de servomotor | 1 | Impresión 3D en filamento de PLA |
| 1.2 | Soporte de motor | 4 | Impresión 3D en filamento de PLA |
| 1.1 | Chasis | 1 | Corte laser de acrílico 2mm |
| CÓDIGO PIEZA | NOMBRE DE LA PIEZA | CANT. | ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA. |
| UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER | | | |
| FECHA: 20/Nov/23 | TÍTULO: PROTOTIPO DE PLATAFORMA MÓVIL | | |
| ESCALA: 1:1.5 | PLANO DE EXPLOSIONADO DE PIEZAS | | |
| UNIDADES: mm | AUTOR: ÁVILA PÉREZ ANDRÍA Y JIMENEZ HERRERA JADJIR | | |
| A3 | REVISOR: DAVID ALFREDO FUENTES DÍAZ | | HOJA 1/9 |

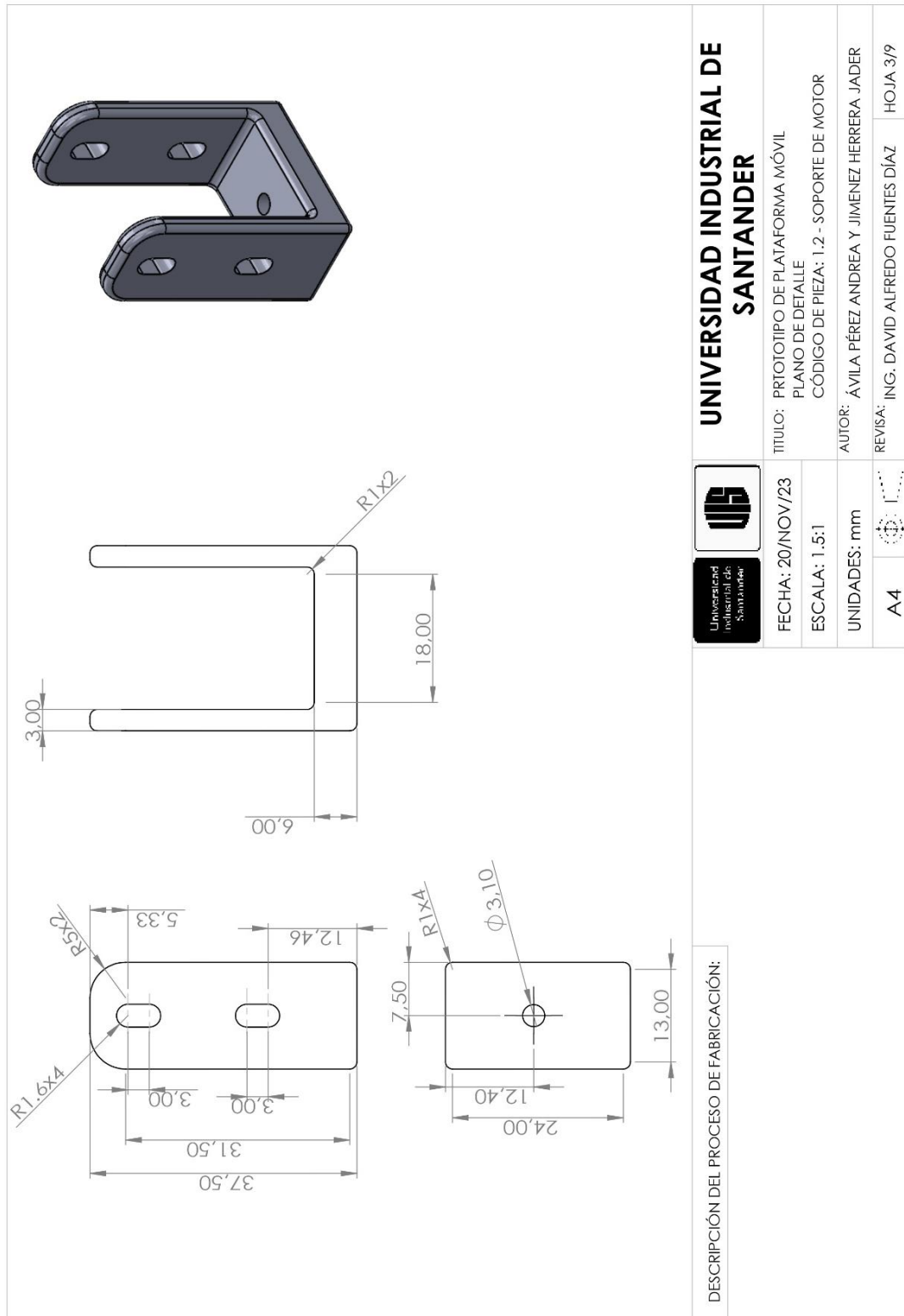
Fuente: Elaboración propia.


Apéndice B Plano de la placa de plataforma.



Fuente: Elaboración propia.

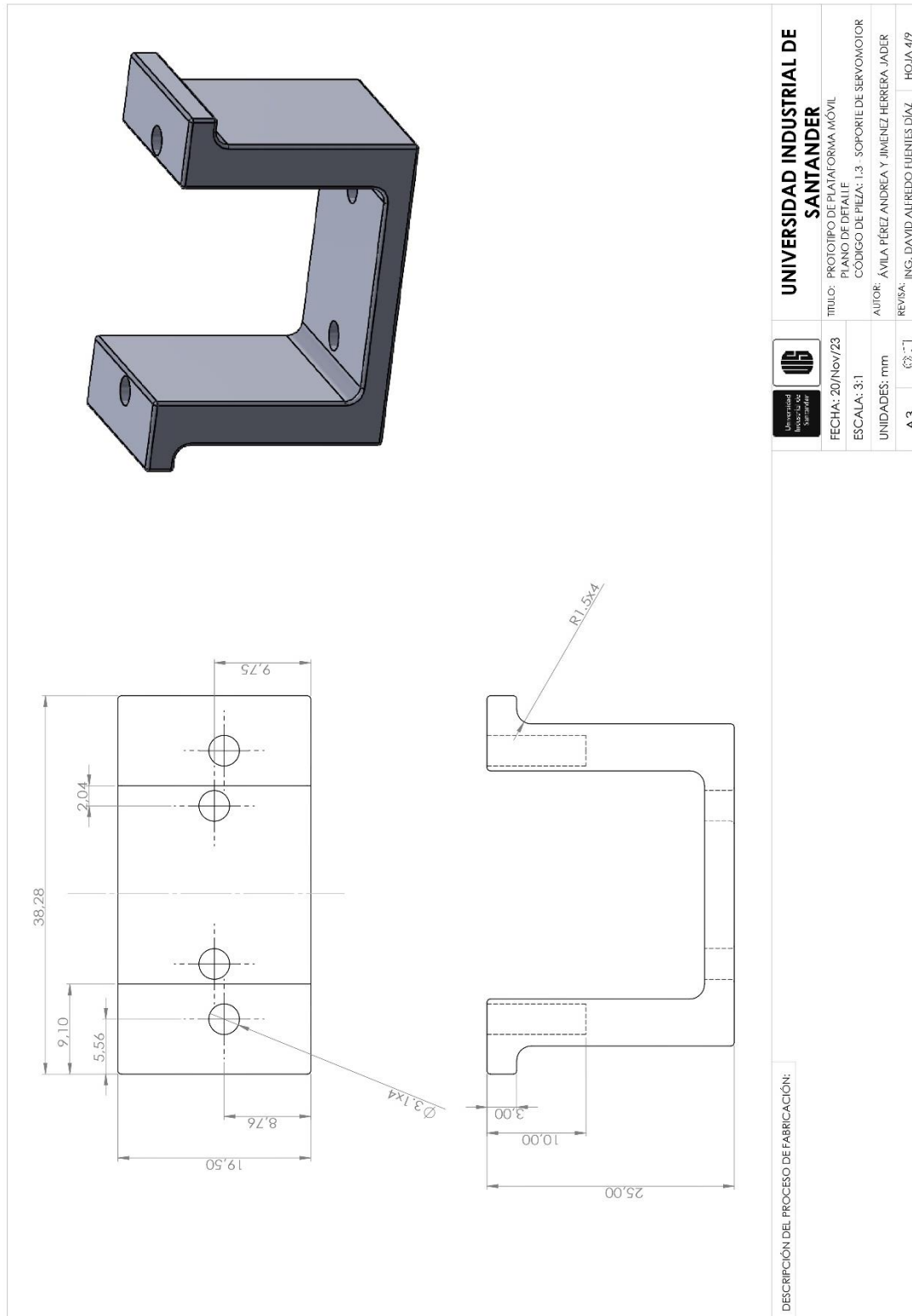
Apéndice C Plano de soporte de soporte de motor.



| | | |
|---|--|--|
| UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER | | TÍTULO: PROTOTIPO DE PLATAFORMA MÓVIL PLANO DE DETALLE CÓDIGO DE PIEZA: 1.2 - SOPORTE DE MOTOR |
|  | | AUTOR: ÁVILA PÉREZ ANDREA Y JIMENEZ HERRERA JADER |
| FECHA: 20/NOV/23 | | REVISÁ: ING. DAVID ALFREDO FUENTES DÍAZ |
| ESCALA: 1.5:1 | | HOJA 3/9 |
| UNIDADES: mm | | |
| A4 | | |
| DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN: | | |

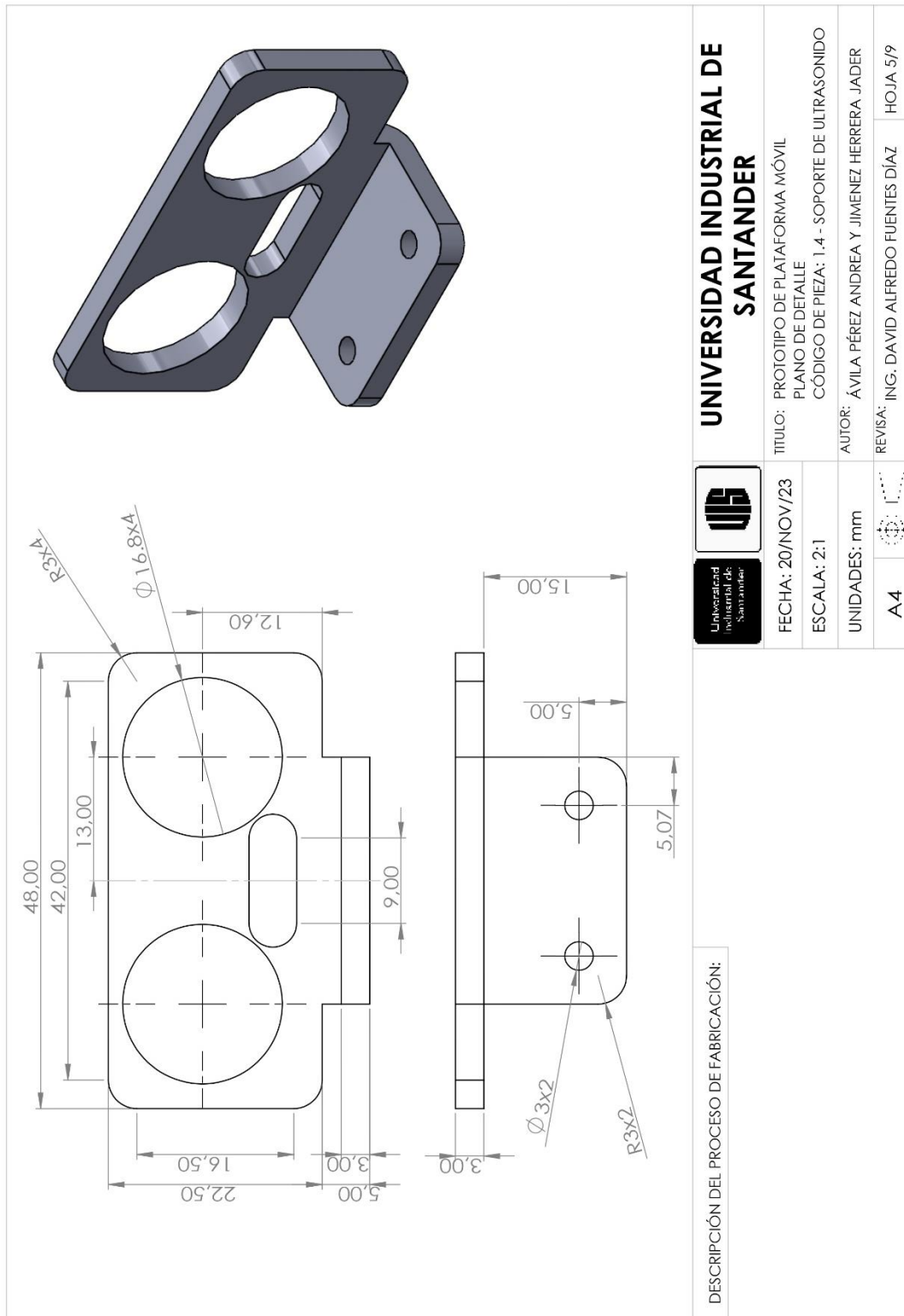
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice D Plano de servomotor.



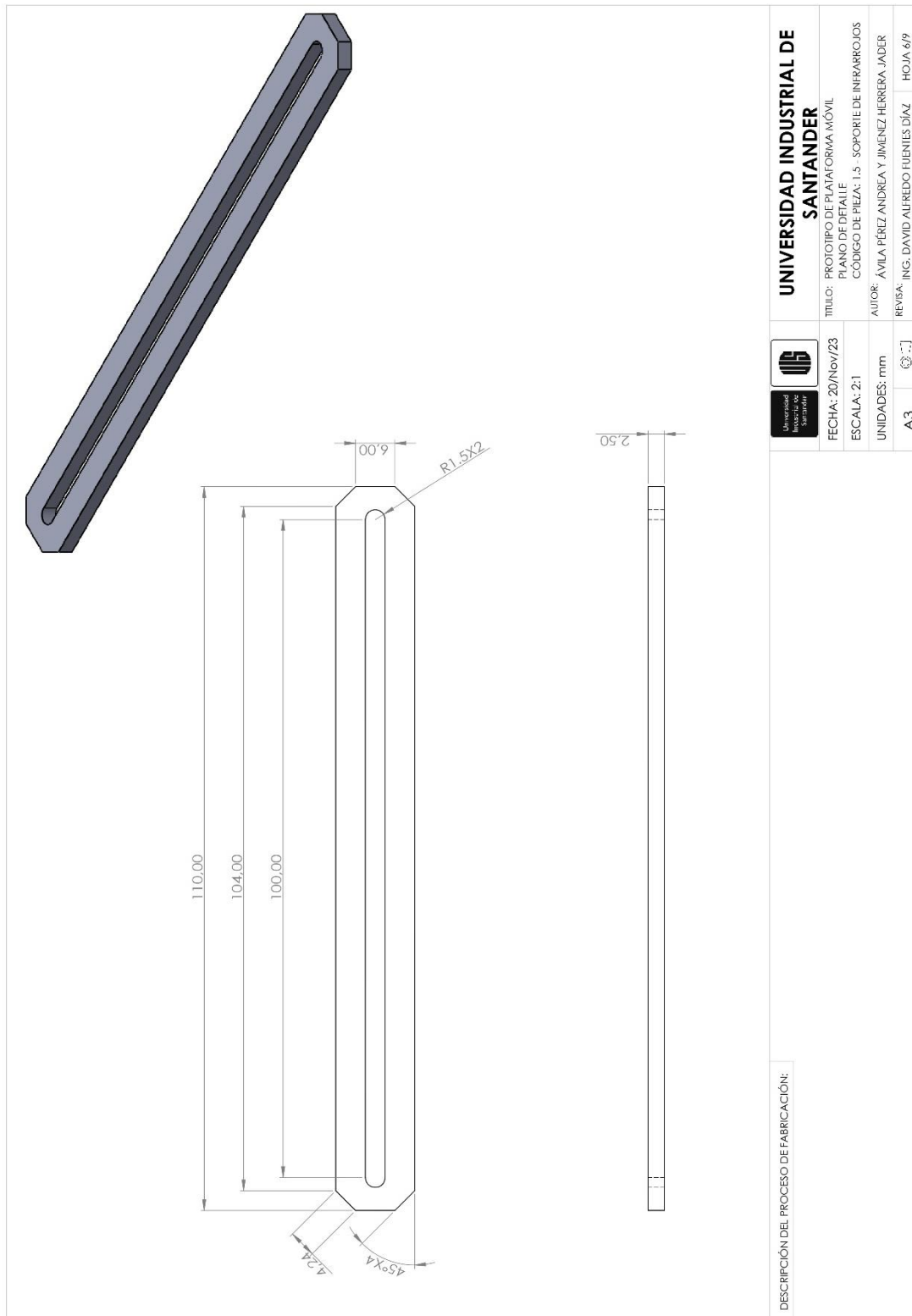
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice E Plano de soporte de ultrasonido.



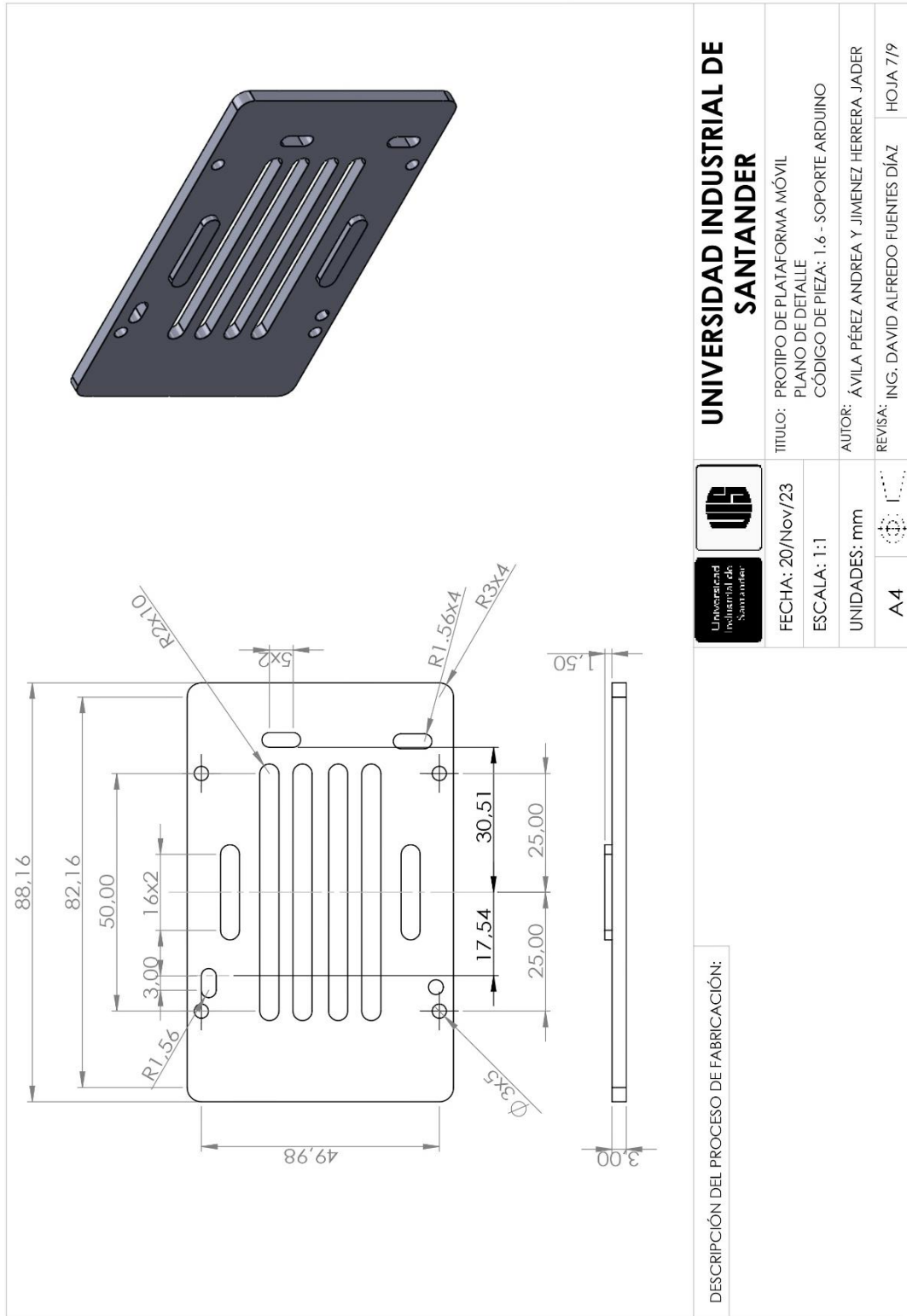
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice F Plano de soporte de infrarrojos.



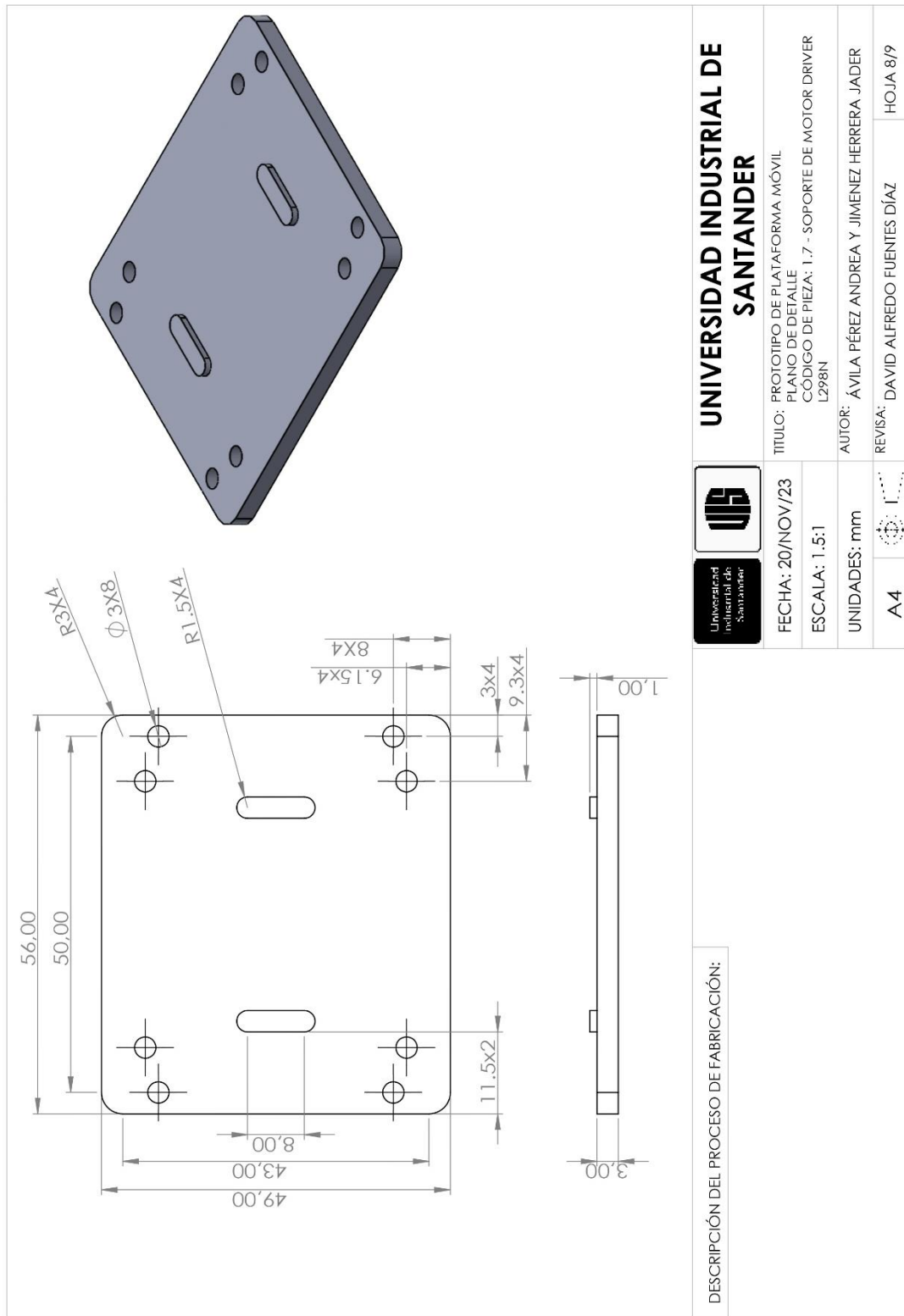
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice G Plano de soporte de Arduino.



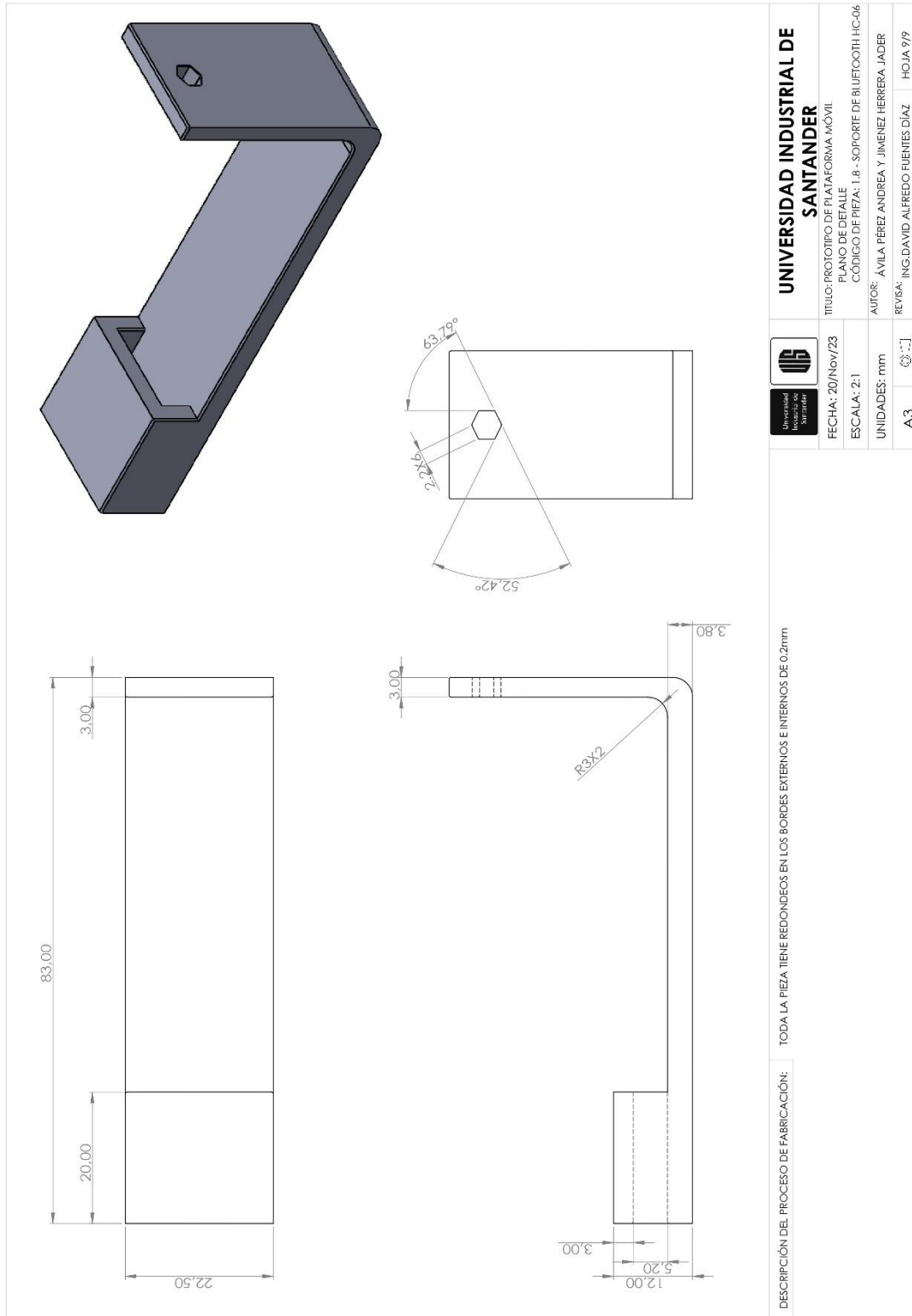
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice H Plano de soporte de motor driver L298N



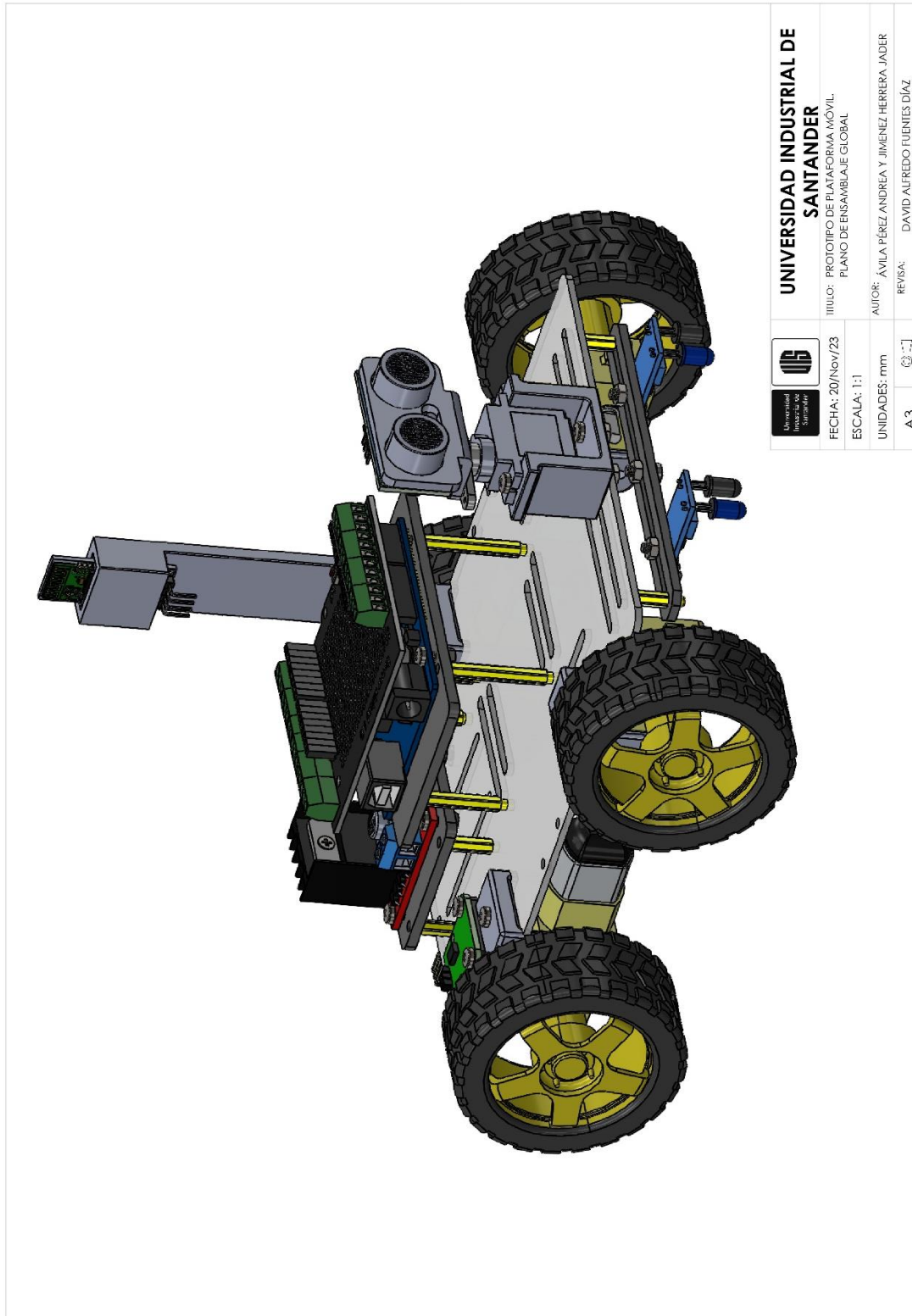
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice I Plano de soporte de módulo bluetooth HC-06.



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice J Plano de ensamblaje global.



Fuente: Elaboración propia.