

**Proyecto Integrador**

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ROBOTS FUTBOLISTAS TELEOPERADOS**

Por:

Anna Sofía Rubiano

Karen Cecilia Villaronga

María Fernanda Avellaneda Burgos

Natalia Serrano Ardila

Docentes Evaluadores:

**Oscar Becerra**

**Carlos Pimentel**



**Facultad de Ingeniería Mecatrónica**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Universidad Santo Tomás**

**Bucaramanga, 09 de Septiembre de 2024**

Para actualizar la tabla de contenido, selecciónela, clic derecho y seleccione actualizar campos. Tenga presente que, para actualizar automáticamente, todos los títulos y subtítulos deben estar con ese formato dado por Word.

### **Tabla de Contenido**

1. Introducción .....	3
2. Formulación del Problema .....	4
3. Justificación .....	5
4. Objetivos .....	6
4.1. Objetivo General .....	6
5. Alcance .....	7
5.2. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) .....	8
6. Marco de Referencia .....	9
6.1. Marco Teórico .....	10
6.2. Marco Conceptual .....	15
6.3. Marco Legal .....	24
6.4. Marco Tecnológico y Científico (Estado del Arte) .....	27
7. Condiciones Iniciales .....	29
8. Equipo De Investigación Y Trayectoria.....	30
9. Diseño Experimental Preliminar .....	31
9.4. Descripción de etapas y tareas .....	31
10. Resultados Esperados.....	38
12. Cronograma .....	39
13. Presupuesto .....	40
Bibliografía .....	42
ANEXOS.....	45
A.1. Diseño CAD .....	45
A.2. Referencias Bibliográficas .....	46

## **1. INTRODUCCIÓN**

La innovación y el desarrollo tecnológico han experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, extendiéndose a diversos ámbitos más allá del sector industrial. La adaptación a estos cambios es crucial, especialmente en el ámbito educativo, ya que las habilidades y conocimientos digitales no solo son esenciales para desempeñarse en futuras carreras profesionales, sino que impulsa la creatividad y la capacidad de responder a problemas.

Otro campo que no ha quedado atrás en la era tecnológica es el deporte, en vez de practicarlo solo personas, ahora también involucran máquinas. El trasfondo que lleva el construir los dispositivos, su diseño y funcionamiento orientados a imitar el comportamiento humano, han despertado el interés de los espectadores y con ello la curiosidad de ser partícipe de estas prácticas.

Esta investigación está enfocada en el diseño y construcción de robots futbolistas, con la capacidad de competir en equipo y desempeñarse adecuadamente en un partido de fútbol, para participar en el Mundial de Clubes USTABOT 2024, organizado por la facultad de ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga. Estos robots serán operados de manera inalámbrica utilizando tecnología de radiofrecuencia. Esta idea surge de la necesidad de fomentar un entorno de desarrollo, generar habilidades en los participantes del proyecto y estimular el espíritu de competencia.

Actualmente, la unión entre la tecnología y el entretenimiento da lugar a propuestas interesantes, ofreciendo formas interactivas y divertidas de fomentar el aprendizaje. ¡Uno de los enfoques de este proyecto es el de adquirir habilidades de planeación, ejecución, desarrollo y trabajo en equipo En la ingeniería mecatrónica, donde la integración de diversas disciplinas, como la electrónica, la mecánica y el control, requiere una planificación meticulosa y un desarrollo colaborativo, estas competencias son esenciales.

El objetivo del proyecto es crear y diseñar robots para jugar fútbol, lo cual es tanto un desafío técnico como una oportunidad para aplicar ideas teóricas en situaciones reales. Para coordinar las diversas etapas del proyecto, desde el diseño inicial hasta la implementación de sistemas de control remoto por radiofrecuencia, será necesario trabajar en equipo. Asegurando que los robots cumplan con las especificaciones técnicas y sean competitivos en el Mundial de Clubes USTABOT 2024, la colaboración entre los participantes permitirá la resolución eficiente de problemas complejos.

Este tipo de proyectos son cruciales porque involucran el desarrollo de tecnología innovadora en un ambiente que fomenta el aprendizaje activo y aplicado. Además, la creación de robots futbolistas ayuda a la ingeniería mecatrónica a explorar nuevas formas de interacción entre humanos y máquinas, optimizando tanto el diseño mecánico como la inteligencia artificial aplicada a la toma de decisiones en tiempo real y siendo aplicables en áreas como la robótica avanzada, la automatización industrial y las competencias robóticas útiles para el desarrollo profesional de los participantes del torneo y para el crecimiento educativo del programa académico.

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Para esta investigación, se identifica como problemática la necesidad de diseñar e implementar una pareja de robots futbolistas en un entorno competitivo. Ambos robots han de ser capaces de controlar y disparar una pelota hacia un área delimitada como la portería del equipo contrario, operados a través de radiofrecuencia, con la finalidad última de que el equipo representado por estos robots se convierta en el primer finalista en la competencia. Lo anterior ha de realizarse en el marco del reglamento establecido por la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga para esta competencia, incorporando conceptos, conocimientos y habilidades propias al

área de la ingeniería mecatrónica y siendo desarrollados ambos bajo un presupuesto máximo de 500.000\$ COP.

En la actualidad, los avances en robótica han permitido el desarrollo de robots que se desempeñan en competencias deportivas internacionales. Sin embargo, el desafío de aplicar estas tecnologías en un contexto local, educativo y bajo un presupuesto limitado sigue siendo relevante e importante para aplicarlo en el desarrollo de programas con dichas áreas de afinidad en su práctica profesional.

La creación de robots competitivos que cumplan con los estándares del USTABOT 2024, bajo restricciones de costos, exige la optimización de recursos, tanto en la selección de componentes electrónicos como en el diseño mecánico y de control, busca no solo desarrollar robots que funcionen adecuadamente en un entorno competitivo, sino también encontrar soluciones asequibles y accesibles que puedan replicarse en futuras investigaciones o competiciones de robótica de bajo costo. El enfoque en la optimización de sistemas inalámbricos de control por radiofrecuencia, la construcción de estructuras eficientes y ligeras, y la integración de tecnologías accesibles, pero con nivel avanzado fuera de entorno educativo es un gran incentivo y punto de partida para un desarrollo de prácticas, proyectos y soluciones a problemáticas propios en el estudio de la mecatrónica.

Por tanto, en el marco de esta investigación, puede plantearse como interrogante problema: ¿Cómo diseñar y construir un robot futbolista controlado de forma inalámbrica por radiofrecuencia que cumpla con las normas establecidas y sea competitivo en el marco del USTABOT 2024?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

En el contexto de la ingeniería mecatrónica, la investigación es conveniente, ya que se enfoca en la creación y optimización de robots futbolistas, una subdisciplina de la robótica que contribuye al avance de la ingeniería mecatrónica y al desarrollo de tecnologías aplicadas en otros campos relacionados.

Luego, se justifica el presente proyecto en la contribución que realiza a la investigación relativa a robots futbolistas, similares a los trabajados en las ligas de competencia RoboCupSoccer entre de tamaño pequeño a mediano. La comunidad beneficiada incluye no solo a la comunidad científica e investigadora, sino también a la industria tecnológica y educativa, quienes pueden aplicar los hallazgos y desarrollos en áreas como la automatización, sistemas electrónicos y la educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

De esta manera, la finalización de este proyecto será crucial en el marco de la resolución de problemas prácticos relacionados con la optimización de robots para entornos competitivos, donde son fundamentales la precisión y la velocidad de respuesta, así como un buen diseño y estrategia de manejo de los robots. Además, el trabajo con robots futbolistas implica crear sistemas dinámicos y robustos que puedan funcionar en tiempo real e impredecibles, aplicados a otros campos relacionados con la mecatrónica, donde se requiera de autonomía y precisión, como la robótica industrial.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General**

- Desarrollar dos robots futbolistas para el Mundial de Clubes USTABOT 2024, utilizando tecnologías como el control por radiofrecuencia, con el fin de maximizar su rendimiento en un entorno altamente dinámico y de carácter competitivo.

### **4.2. Objetivos Específicos**

1. Describir los fundamentos conceptuales y teóricos necesarios para el diseño de los robots, incluyendo el modelado de la carcasa, y lo que

respecta al funcionamiento y manejo de microcontroladores, comunicación y control por radiofrecuencia.

2. Determinar un diseño adecuado y eficaz en concordancia con el reglamento establecido, incorporando en el modelado los sistemas de disparo y manipulación del balón y el material conveniente para la construcción de la carcasa.
3. Comparar diferentes componentes electrónicos que puedan usarse, seleccionando los más acordes a las especificaciones de los robots diseñados, considerando su peso, dimensiones y el presupuesto asignado.
4. Integrar los componentes seleccionados en el diseño del circuito con el diseño estructural realizado, consiguiendo robots que precisen las necesidades de la competencia.
5. Implementar un sistema de control remoto por medio de radiofrecuencia para los robots a construir, integrando estrategias como el cifrado de señales para evitar interferencia con la programación con Arduino IDE.
6. Evaluar el comportamiento y desenvolvimiento de los robots en escenarios de competencia, identificando oportunidades de mejora y características a favor que pueda poseer el diseño propuesto.

## **5. ALCANCE**

### **5.1. Alcance General**

El alcance de este proyecto se limita al diseño y construcción de dos robots controlados por radio frecuencia que participen en un torneo de fútbol, más específicamente, en el titulado “Mundial de Clubes USTABOT 2024”, organizado por la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga. [17]

Para alcanzar cada objetivo, se proporcionarán las bases conceptuales para modelar carcasa, manejar microcontroladores y comunicar por radiofrecuencia. Además, se establecerá un diseño ideal que cumpla con los requisitos del reglamento, incluidos los sistemas de disparo y manipulación del balón, así como

la selección de materiales adecuados para la estructura. Se compararán varios componentes electrónicos en función de su peso, tamaño y costo, y luego seleccionarán los que mejor se ajusten a las especificaciones del robot. Dichos elementos se integrarán en un circuito que cumpla con el diseño estructural para garantizar la funcionalidad requerida. Además, se llevará a cabo un sistema de control remoto por radiofrecuencia que incluirá métodos de seguridad como el cifrado de señales para evitar interferencias. Finalmente, se evaluarán los robots en escenarios competitivos, identificando ventajas y desventajas del diseño propuesto.

## 5.2. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL)

La escala de Madurez Tecnológica o Technology Readiness Level (TRL) es una medida para describir el estado de desarrollo o madurez de una tecnología. [16]

**Tabla 1.** Nivel de Madurez Tecnológica del objeto del proyecto (TRL)

<b>TRL 1: Principios básicos observados y reportados.</b> En esta fase se desarrolla la idea y se comienza la transición de la investigación básica hacia investigación aplicada, pero todavía no hay ninguna actividad o aplicación de negocios concreta.	
<b>TRL 2: Concepto y/o aplicación tecnológica formulada.</b> En esta fase se formula la tecnología y se observan aplicaciones prácticas que pueden llegar a ser una invención, las cuales pueden aún ser especulativas y puede aún no haber pruebas o análisis detallados que confirmen dichas suposiciones.	
<b>TRL 3: Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica.</b> En esta fase inicia la validación de la idea, la cual ya incluye actividades de investigación y desarrollo como estudios analíticos y pruebas a nivel laboratorio para validar físicamente las predicciones de los elementos separados de la tecnología, aunque estos aún no están integrados en un sistema completo	
<b>TRL 4: Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio.</b> En esta fase se integran los componentes básicos o elementos separados de la tecnología y se valida que funcionen en conjunto	



a nivel laboratorio con el objetivo de identificar el potencial de ampliación y cuestiones operativas.	
<b>TRL 5: Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante.</b>  En esta fase se desarrolla el primer prototipo, es decir los componentes se integran de forma que la configuración del sistema sea similar a su aplicación final en casi todas sus características, pero su operatividad es aún a nivel laboratorio.	X
<b>TRL 6: Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante.</b>  En esta fase se realiza la validación del prototipo en condiciones similares a las que se espera vaya a funcionar, por lo que el prototipo debe ser capaz de desarrollar todas las funciones requeridas por un sistema operativo y los procesos se amplían para demostrar el potencial industrial.	
<b>TRL 7: Demostración de sistema o prototipo en un entorno real.</b>  En esta fase se demuestra que la tecnología funciona y opera en una escala pre-comercial, usualmente es donde se realiza la primer corrida piloto y pruebas reales para identificar las cuestiones de la fabricación y operaciones finales.	
<b>TRL 8: Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones.</b>  En esta fase se demuestra que la tecnología funciona y opera en una escala pre-comercial, usualmente es donde se realiza la primer corrida piloto y pruebas reales para identificar las cuestiones de la fabricación y operaciones finales.	
<b>TRL 9: Sistema probado con éxito en entorno real.</b>  En esta fase se demuestra que la tecnología funciona y opera en una escala pre-comercial, usualmente es donde se realiza la primer corrida piloto y pruebas reales para identificar las cuestiones de la fabricación y operaciones finales.	

## 6. MARCO DE REFERENCIA

A continuación, se definen diferentes marcos en los que se apoya el objeto de este proyecto.

## **6.1. Marco Teórico**

### **6.1.1. Robótica teleoperada**

Los robots teleoperados son aquellos controlados por un usuario a distancia desde una estación remota. [7] Este tipo de robots, son observados en diferentes campos, pues suponen una ventaja clave relativa a la protección y seguridad del usuario, ya que en caso de realizar trabajos en ambientes inseguros o inestables o con sustancias potencialmente peligrosas, como químicos o explosivos, no se arriesga la integridad física del individuo. En el desarrollo de robots teleoperados se involucra la electrónica, las comunicaciones, el control, la inteligencia artificial (IA) y la visión por computador. [7] [8]

Este tipo de robots teleoperados, funcionan a través del sistema maestro/esclavo [8]. De acuerdo con esto, el robot (esclavo) está controlado de forma remota por un usuario (maestro), por medio de un programa interno con el objeto de realizar tareas propias y tener mayor autonomía. Este programa está ubicado en la memoria de un sistema de procesamiento de datos sea éste un computador, un DSP (procesador digital de señales), un microprocesador o un microcontrolador. [7]

#### **6.1.1.1. Microcontroladores.**

Los circuitos integrados son estructuras pequeñas, construidas con materiales semiconductores (generalmente silicio); que contienen circuitos electrónicos encapsulados en plástico o cerámica para su protección. [24]

Los microcontroladores son circuitos integrados programables que pueden ejecutar las tareas que han sido grabadas en su memoria. [24]

Dentro de un microcontrolador, se encontrarán 3 unidades funcionales: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida; tal como se observa en una computadora. De esta forma, se puede saber que un microcontrolador es una microcomputadora que se encuentra encapsulada en un circuito integrado. [24] El microcontrolador que se tendrá en cuenta en este

proyecto se tendrá en cuenta el microcontrolador ATmega328P integrado en los módulos Arduino Nano y Arduino UNO.

#### **6.1.1.2. Conexión inalámbrica con radiofrecuencia**

En el marco de la robótica móvil, existen diferentes tipos de comunicación inalámbrica, entre las que destacan la comunicación por Wi-Fi, módulos ZigBee, y Bluetooth, al ser las más comunes para este tipo de proyectos.

Sin embargo, este proyecto se limita a la construcción de un robot con comunicación RF (abreviatura para “radiofrecuencia”), por tanto, se define a continuación este tipo de comunicación.

#### **6.1.2. Estructuras Básicas**

En el marco de la construcción de un robot futbolista en forma no humanoide, se ha de comprender que su estructura externa estará constituida de diferentes partes, entre ellas se encuentra el chasis, la carrocería y la estructuración de las ruedas quienes serán responsables del movimiento del robot.

##### **6.1.2.1. Diseño de Carrocería**

La carrocería es la parte del vehículo encargada de soportar la mayor parte de las fuerzas, absorbiendo la energía derivada de un choque. Se diseña tomando como base una estructura resistente capaz de minimizar las deformaciones causadas por los esfuerzos mecánicos a los que el vehículo está inevitablemente expuesto. [5]

Los esfuerzos estructurales a los que se somete una carrocería son:

- *Tracción:* Se presenta debido a las aceleraciones y frenadas del vehículo, que generan fuerzas longitudinales en la estructura.
- *Flexión:* Es provocada por las cargas y los componentes mecánicos, resultando en deformaciones en la estructura cuando se aplican fuerzas verticales o laterales.
- *Torsión:* Se produce por el desplazamiento vertical de los ejes cuando el terreno es firme e irregular, lo que provoca torciones en la carrocería. [5]

Para el desarrollo de la carrocería de los robots en cuestión, se tendrán en cuenta estos esfuerzos estructurales con relación al peso y al centro de masa de cada robot diseñado, con el fin de que el diseño de la carrocería optimice la distribución de las fuerzas y minimice los efectos negativos sobre la estructura.

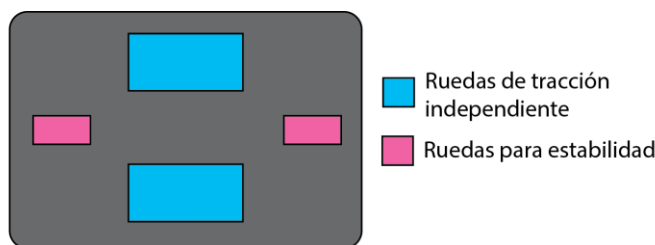
#### 6.1.2.2. Chasis

El chasis en un vehículo tiene la misión de fijar los distintos elementos que forman el automóvil, lo que permite la relación entre ellos. Debido a las constantes cargas que a las que están sometidos los automóviles, los chasis están sometidos a constantes deformaciones por la cantidad de esfuerzos a los que son sometidos por las diferentes partes del vehículo. [5]

#### 6.1.2.3. Locomoción

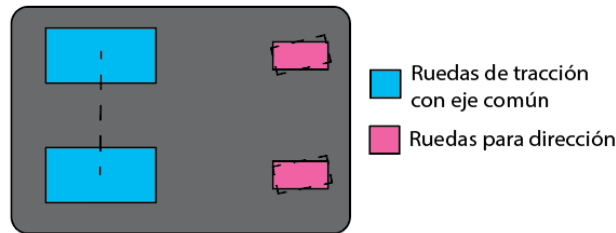
Los robots móviles emplean diferentes tipos de locomoción que les confieren características y propiedades diferentes respecto a la eficiencia energética, dimensiones, cargas útiles y maniobrabilidad requerida por el mismo según la función que desarrolla. [8] A continuación se describirán los cuatro sistemas de locomoción más relevantes para el desarrollo de este proyecto.

- **Diferencial.** Esta estructura se basa en dos ruedas en un eje común, cada una controlada independientemente; donde se pueden realizar movimientos en línea recta, en arco y sobre su propio eje según las velocidades a las que giren cada una de las ruedas [4][9]. La configuración de este sistema se observa en la Figura 1.



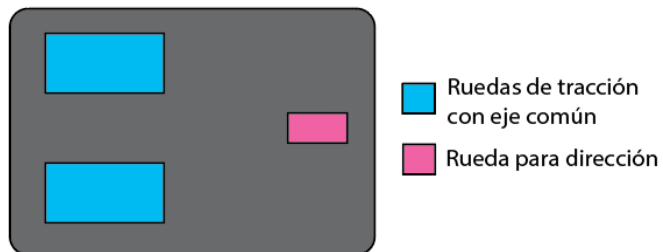
*Figura 1. Locomoción de direccionamiento diferencial.*

- **Ackerman.** Es el utilizado en vehículos o automóviles de cuatro ruedas convencionales. [8] Consta de cuatro ruedas, de las cuales las traseras son las de tracción y las delanteras no motrices corresponden a las ruedas de dirección. Esta configuración permitirá gran estabilidad, pero no permite una respuesta rápida al cambio de dirección. [15] La configuración se muestra en la Figura 2.



*Figura 2. Locomoción Ackerman.*

- **Triciclo.** Esta configuración es soportada en dos ruedas de tracción fijas, y una tercera para la dirección sin tracción; es estable, simple mecánicamente, con facilidad para los movimientos rectos. Presenta una cinemática compleja, ya que al realizar giros y vueltas requiere de grandes desplazamientos. [4] Sin embargo, la ventaja de esta configuración es la estabilidad que posee, la maniobrabilidad y la distribución de peso. [15] En la Figura 3, se observa la esta configuración.



*Figura 3. Locomoción tipo Triciclo.*

### 6.1.3. Materiales

Entre los materiales más comunes utilizados dentro de la robótica móvil de educación y de competencia, se encuentran el aluminio, el acrílico, y la madera. [19]

El aluminio es un material ideal por sus características, pues se considera liviano, resistente a corrosión, permite crear estructuras muy sólidas, y es de buena apariencia; sin embargo, requiere herramientas específicas que solo se pueden encontrar en talleres mecánicos y puede resultar costoso y poco accesible. [19]

El acrílico es también un material muy utilizado en robótica. Presenta también muchas ventajas, a pesar del inconveniente de su precio, puede trabajarse fácilmente con herramientas clásicas y asegura una buena solidez general. Existen diferentes grosores y colores que pueden mejorar la solidez y la estética de un robot. [19]

Por otro lado, para fabricar el chasis también se presenta como una opción viable el uso de la madera, ya que esta presenta un buen compromiso entre la facilidad para ser trabajada y la solidez. [19] Además, posee un buen aislamiento eléctrico, y aunque tenga el inconveniente de su peso, pueden trabajarse maderas más delgadas como el MDF.

Existe un último material que últimamente se ha planteado como una opción sólida y accesible para la construcción del chasis y carrocería de este proyecto, el cual es el ácido poliláctico (PLA), el cual es un polímero compuesto por elementos semejantes al ácido láctico y cuyas propiedades son similares a las del Tereftalato de Polietileno (PET) usado habitualmente en la fabricación de envases y botellas. [25]

El PLA es utilizado en el ámbito de la impresión 3D, la cual consiste en una serie de procesos aditivos en los que se agregan capas sucesivas de un material, correspondientes a las secciones transversales de un modelo 3D, en este caso el chasis/carrocería del robot, partiendo siempre de un modelo digital computarizado para dar lugar a un objeto tangible. [25]

#### **6.1.4. Robots futbolistas de competencia**

##### **6.1.4.1. RoboCupSoccer**

En lo que respecta a los robots futbolistas de competencia, se sabe que a nivel internacional, se realiza la RoboCup, una iniciativa científica internacional cuyo objetivo es avanzar en el estado del arte de los robots inteligentes. [1] Dentro de esta iniciativa, existe la liga RoboCupSoccer, con las categorías de robot mediano y robot pequeño, las cuales pueden ser relacionadas directamente con el desarrollo de este proyecto.

En estas categorías, los equipos competidores deben construir robots completamente autónomos (o con control RF en ciertos casos) que sean capaces de llevar, en la categoría de tamaño mediano, un balón de fútbol FIFA de tamaño normal, mientras que en la categoría de tamaño pequeño se juega con una pelota anaranjada de ping pong, tal como se llevará a cabo en el Mundial de Clubes USTABOT 2024 que concierne a esta investigación.

#### **6.2. Marco Conceptual**

##### **6.2.1. Sistema de tracción y soporte estructural**

El sistema de tracción y soporte estructural se le llamará a aquel integrado por tanto los elementos encargados del movimiento (motores y llantas) como los que brindan soporte y protección (chasis y carrocería). En este apartado, se definirán los conceptos necesarios para comprender el comportamiento en conjunto de este sistema.

##### **6.2.1.1. Motor reductor DC**

El motor de corriente continua con reductor permite ajustar su velocidad mediante la variación de la tensión aplicada. Como este motor tiene un engranaje reductor, puede hacerse más pequeño y ligero. [6] En la Tabla 2 y en la Figura 4, se observa la ficha técnica y la apariencia de estos motores respectivamente. [27]

**Tabla 2.** Especificaciones motor reductor DC [27]

Voltaje de Operación	3V~12V (recomendado de 6V a 8V)
----------------------	---------------------------------

Torque máximo	800gf cm/min (3V) / 1 Kg*cm (5V)
Tamaño	7 x 2.2 x 1.8cm (aprox.)
Consumo de corriente sin carga	70 mA
Consumo de corriente con carga	140mA a 250mA
Velocidad	200 RPM a 5V
Relación de reducción	48:1
Peso máximo sobre la rueda	1.25kg



Figura 4. Motorreductor. [27]

#### 6.2.1.2. Ruedas.

Las ruedas son los elementos que proporcionan la capacidad de movilidad a estos robots y son el medio más utilizado para el desplazamiento. El tipo y el número de ruedas del robot se elige en función de la aplicación, mientras que su tamaño se elige en función de las dimensiones del robot. [20] Para el área de robótica móvil educativa, el modelo de llantas más utilizado se muestra en la Figura 5, y este será el considerado para este proyecto. Por consiguiente, en la Tabla 3, se muestran las características correspondientes a estas.

Tabla 3. Características de las llantas. [21]

Peso	35 gr
Diámetro	65 mm
Ancho	27 mm





*Figura 5. Llantas para robótica educativa*

### **6.2.2. Sistema electrónico**

El sistema electrónico de este proyecto concierne a los componentes necesarios para realizar el control adecuado para el sistema de tracción y movimiento del robot. Para ello, se ha de saber que, como fue establecido en el Marco Legal, el uso de comunicación por radiofrecuencia con cada robot es el único método de comunicación inalámbrica permitido, por lo que se utilizarán los componentes descritos a continuación.

#### **6.2.2.1. Arduino UNO**

El UNO-R3/ATMEGA328 es una tarjeta basada en el microcontrolador ATmega328P, se considera la más sencilla y versátil en el entorno de iniciación en la robótica. Cuenta con todos los elementos necesarios para la conexión de sensores a las entradas y/o actuadores a las salidas. [26] dentro de las ventajas que ofrece el Arduino uno se encuentra su precio accesible, el ser multiplataforma, un entorno de programación flexible y de software abierto, una comunidad amplia y el hardware abierto. [24] En la Tabla 4 y en la Figura 6 se observan sus características generales y su apariencia externa respectivamente.

**Tabla 4.** Características generales Arduino UNO. [26]

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Pines digitales I/O	14

Pines PWM	6
Pines de entrada analógicos	6
Corriente por cada pin I/O	20mA
Corriente para pin de 3.3V	50mA
Dimensiones	68.6 x 53.4 mm (Largo x Ancho)
Peso	25 g



Figura 6. Placa Arduino UNO [24]

#### 6.2.2.2. Arduino NANO

El Arduino Nano es una placa pequeña, completa y compatible con placas de pruebas basada en el ATmega328. El Arduino Nano se puede programar con el software Arduino IDE. [22] En la Tabla 5 y Figura 7 se observan las especificaciones, el PIN-OUT de la placa y el aspecto de esta, respectivamente.

**Tabla 5.** Características técnicas Arduino NANO. [22]

Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de Operación	5V
Velocidad de Reloj	16MHz
Pines IN Analógicos	8
Salida PWM	6
Tamaño de PCB	18 x 45 mm

Peso	7g
Voltaje de Entrada	7-12V
Corriente DC por Pines I/O	22 (de lo que 6 son PWM)
Consumo Energético	19 mA

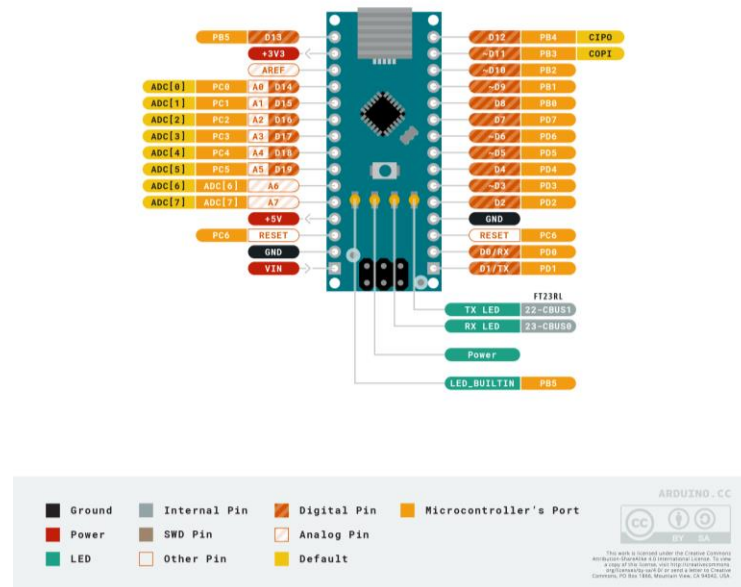


Figura 7. PIN-OUT Arduino NANO. [22]

### 6.2.2.3. Módulo NRF24L01

El módulo NRF24L01 opera en la banda de frecuencias de 2.4 GHz y permite una velocidad de transmisión de datos de hasta 2 Mbps. Se alimenta con 3.3V y su control de datos se realiza mediante el bus SPI (Serial Peripheral Interface). Puede alcanzar una distancia de hasta 100 metros en espacio abierto, dependiendo de las condiciones del entorno y la calidad de la señal. [6] Sus características principales son: [23]

- Módulo transceptor de RF de 2,4 GHz
- Voltaje de funcionamiento: 3,3 V.
- Corriente nominal: 50mA
- Alcance: 50 – 200 pies

- Corriente de funcionamiento: 250 mA (máximo)
- Protocolo de comunicación: SPI
- Velocidad de baudios: 250 kbps - 2 Mbps.
- Rango de canales: 125
- Tuberías máximas/nodo: 6
- Solución inalámbrica de bajo costo.

En la Figura 8 y en la Figura 9, se observa el PIN-OUT de este módulo y el aspecto de este, respectivamente.

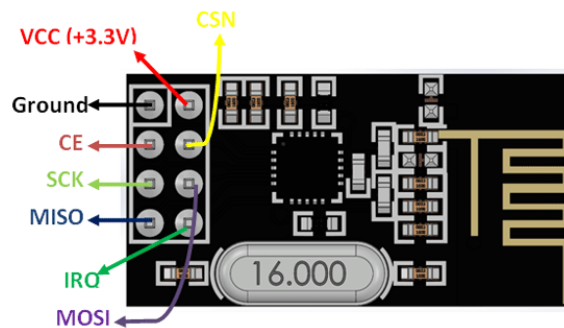


Figura 8. Módulo NFR24L01 PIN-OUT [23].

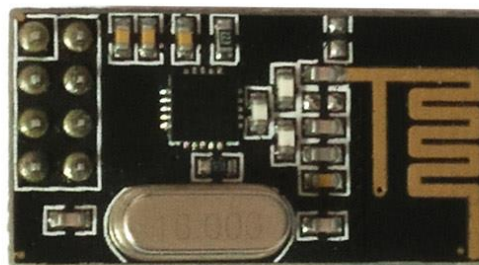


Figura 9. Módulo NFR24L01 [23].

#### 6.2.2.4. Puente H (Módulo L298N)

El puente en H es un circuito electrónico de potencia basado en componentes electrónicos, normalmente MOSFET y transistores bipolares, dispuestos en forma

de "H". Permite variar la polaridad de la tensión aplicada al motor, controlando así la dirección de la corriente. Para cambiar la dirección del motor, se activan dos transistores opuestos diagonalmente, permitiendo que la corriente fluya en una dirección y luego en la dirección opuesta, lo que a su vez controla el giro del motor. [6] En la Tabla 3 y la Figura 10, se observa la ficha técnica y el circuito correspondiente al funcionamiento interno de un Puente H.

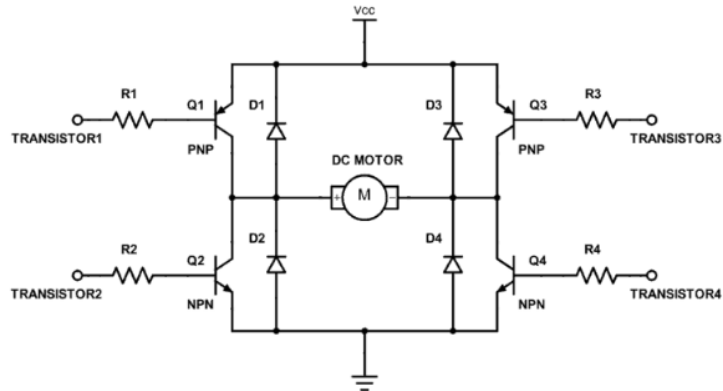


Figura 10. Circuito Puente H.

#### 6.2.2.5. PWM

La modulación por ancho de pulso (PWM) es una técnica que permite controlar la potencia media suministrada generando pulsos cuadrados con un intervalo de tiempo variable. Esto se logra produciendo una señal de onda cuadrada que alterna entre los estados de encendido y apagado. En otras palabras, controlando el tiempo que una onda cuadrada está en un nivel lógico alto (ciclo de trabajo), es posible modificar su amplitud media, manteniendo la misma frecuencia de conmutación, tal como se observa en la ecuación (1).

$$Duty\ Cycle(\%) = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} * 100 \quad (1)$$

donde  $T_{on}$  y  $T_{off}$  son el tiempo de conducción y el tiempo de corte, respectivamente, y ambos se expresan en segundos. [6]

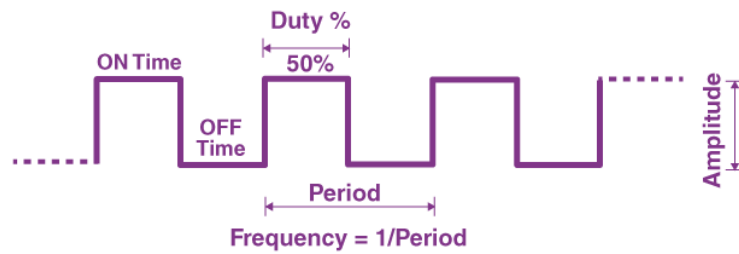


Figura 11. Señal PWM

### 6.2.3. Sistemas de alimentación

A la hora de trabajar con Arduino, es importante tener en cuenta la necesidad de contar con una fuente de alimentación eléctrica. Aunque para la programación se puede utilizar el computador como método de alimentación a través del puerto USB, para la competencia, se tendrá que buscar otras alternativas, como lo pueden ser pilas doble AA o baterías LiPo. [24]

#### 6.2.3.1. Pilas AA

Es posible poner varias pilas AA en serie para lograr el voltaje que necesario en la placa de trabajo, teniendo en cuenta que cada pila proporciona 1.5 voltios. Aunque se trata de una opción recomendable para proyectos que requieren movilidad, se debe considerar que su energía se consume rápido, por lo que tendrán que cambiarse las baterías a menudo y puede que esto también, eleve los costos a nivel general. [24]

#### 6.2.3.2. Baterías LiPo

Esta es una opción más eficiente, pues las baterías LiPo proporcionan energía por bastante tiempo, aunque en comparación con las tradicionales pilas doble AA presentan el costo mayor. Son baterías recargables, por lo que también necesitarán un módulo cargador, ya que es necesario cargarlas adecuadamente para alargar su vida útil. Las baterías LiPo (polímero de litio) se componen de celdas de 3.7 voltios cada una. [24]

#### 6.2.4. Actuadores para disparo

##### 6.2.4.1. Solenoide

El solenoide está compuesto por un embobinado en el que se encuentra un vástago de material ferromagnético. Cuando se hace circular una corriente a través del embobinado, se genera un campo magnético que atrae y desplaza el vástago fuera del núcleo, produciendo así el disparo. Para aumentar la fuerza del disparo, es necesario incrementar la corriente suministrada al embobinado o aumentar el número de espiras en el embobinado.[29]

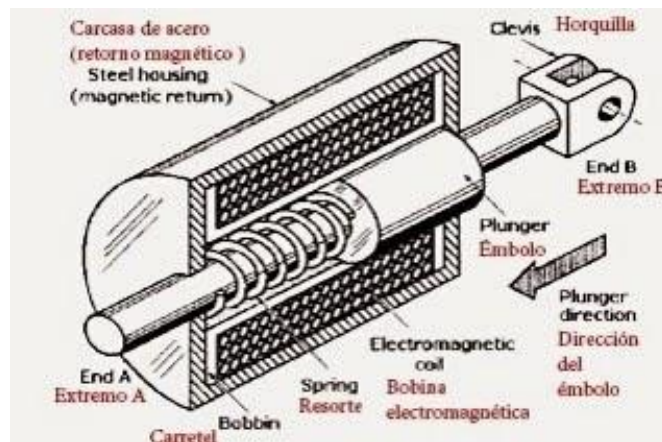


Figura 12. Solenoide [29].

##### 6.2.4.2. Servo Motor

Un servomotor es un motor de rotación o traslación que emplea un mecanismo de realimentación para garantizar un posicionamiento exacto. Utiliza una señal de control para ajustar el movimiento del motor y alcanzar una posición deseada con alta precisión. El servomotor permite una variación de ángulo o desplazamiento específico; este mecanismo permite ajustar la fuerza del disparo variando el giro del servomotor. Así, se puede lograr un mayor número de disparos con un menor consumo de energía. Sin embargo, la velocidad de los disparos estará limitada por la velocidad del servomotor y el tamaño del piñón, lo que podría restringir la rapidez con la que se realizan los disparos. [29]



*Figura 13. Servomotor.*

**Tabla 6.** Comparación ventajas y desventajas de los actuadores.[29]

	<b>Solenoide</b>	<b>Servomotor</b>
<b>VENTAJAS</b>	Variación de la fuerza de disparo	Alta fuerza de Disparo
	Mecanismo principal compacto	Ocupa poco Espacio
<b>DESVENTAJAS</b>	Consumo de energía alto, requiere picos de corriente para generar fuerza	Consumo de energía Moderado
	Requiere circuitos adicionales para manejar picos de corriente	Velocidad entre disparo

### **6.3. Marco Legal**

Para definir el marco legal que concierne al desarrollo de este proyecto, se tuvo en cuenta el reglamento establecido por la Facultad de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga para la realización de la competencia donde se podría a prueba el prototipo diseñado. Para el contexto del marco legal, el reglamento fue dividido en dos partes tratadas a continuación: normativa de competencia y especificaciones técnicas.



### **6.3.1. Normativa de competencia.**

#### **1. Artículo 1: Definición de Participantes.**

- a. Cada equipo ha de estar conformado por dos robots jugadores funcionales.
- b. Los robots participantes deben ser robots con ruedas y cumplir con las especificaciones técnicas determinadas en el numeral 6.3.2.
- c. Se permitirá un robot suplente por equipo, adicional a los dos robots iniciales.

#### **2. Artículo 2: Campo de Juego.**

- a. Las dimensiones del campo de juego serán de 2 metros de largo por 1.5 metros de ancho.
- b. Las porterías medirán 35 cm de ancho.
- c. Un área chica frente a cada portería será delimitada, dentro de la cual los robots no podrán ingresar para realizar un tiro a gol. Los goles realizados desde esta área no serán válidos.

#### **3. Artículo 3: Duración del Partido.**

- a. Cada partido consistirá en dos tiempos de 5 minutos cada uno.
- b. Habrá un entretiempo con una duración de 2 minutos.

#### **4. Artículo 4: Normas de Juego.**

- a. Se determinará por medio de un sorteo que equipo inicia con la posesión del balón.
- b. Para la posición de inicio, los robots deberán ubicarse en cualquier zona de su campo, fuera del círculo central.
- c. El balón podrá ser movido por los robots empujándolo o golpeándolo; no se permitirá el uso de mecanismos que enganchen, sujeten o escondan la pelota en más de un 30% de su área total.
- d. Un gol será válido siempre que el balón cruce completamente la línea de gol y no haya sido pateado desde el área chica.

**5. Artículo 5: Penalizaciones.**

- a. Las faltas técnicas como empujar un robot contrario, interferir en su movimiento serán penalizadas con un tiro libre para el equipo contrario.
- b. Si un robot atacante ingresa en el área chica para tirar a gol, el gol no será válido.
- c. En caso de faltas graves como el uso de componentes no autorizados, manipulación ilegal del balón, o interferencia intencional, se podrá expulsar al robot infractor, penalizar al equipo con tiros libres, o descalificar al equipo en casos extremos.

**6. Artículo 6: Árbitros**

- a. Durante el partido, habrá al menos un árbitro presente para asegurar el cumplimiento de las reglas.
- b. Las decisiones del árbitro serán finales, es decir, no apelables.

**7. Artículo 7: Equipamiento y Seguridad**

- a. Todos los robots serán inspeccionados antes del inicio del torneo y podrán ser revisados en cualquier momento durante el torneo.
- b. Los robots deben cumplir con las especificaciones técnicas y de seguridad descritas en el apartado 6.3.2, incluyendo dimensiones, peso, y la ausencia de componentes peligrosos.
- c. Los sistemas de comunicación y control de los robots deben ser seguros y no ocasionar interferencia con los de otros equipos.

**8. Artículo 8: Resultados y Desempates.**

- a. Ganará el equipo que anote primero 10 goles o que anote más goles al finalizar el tiempo reglamentario.
- b. En caso de empate, se realizará una tanda de tres penales para determinar al ganador.

### **6.3.2. Especificaciones técnicas.**

Para la parte de especificaciones técnicas requeridas para la construcción de este prototipo, refiérase a la sección 8 de Diseño Experimental Preliminar, más específicamente, en el apartado 8.4.4 de Diseño Mecánico y CAD.

## **6.4. Marco Tecnológico y Científico (Estado del Arte)**

Para comenzar con la caracterización del estado actual de este proyecto, el estado del arte será dividido en dos: en lo que se refiere a los avances en general de este tipo de robots competitivos, y en lo que respecta al fútbol de robots en Colombia.

### **6.4.1. Robótica de competencia**

El fútbol de robots de competencia tanto autónomos y como no autónomos ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, gracias a competencias como la MIROSOT y la RoboCup, especialmente en áreas clave como la robótica móvil vehicular, la inteligencia artificial (IA), el procesamiento de imágenes, la cooperación multi-robot y el uso de tecnologías de radiofrecuencia (RF) para la comunicación y la localización a través de sensores y ondas electromagnéticas.

#### **6.4.1.1. Robótica móvil vehicular.**

Los avances en robótica móvil vehicular se han centrado en mejorar la capacidad de los robots para navegar de manera autónoma en entornos dinámicos e impredecibles, como es el caso de un campo de fútbol de competencia. [30] Los robots móviles vehiculares que participan en competiciones de fútbol, como RoboCup, emplean sensores como cámaras, LiDAR, ultrasonido y acelerómetros para obtener información sobre el entorno y tomar decisiones respecto al mismo. [10]

Entre los avances recientes destacan, los sistemas de navegación autónoma y la cooperación multi-robot. En épocas recientes, se han desarrollado algoritmos que permiten a los robots moverse por el campo de manera eficiente y rápida,

utilizando sistemas de mapeo y localización simultánea (SLAM), no solo permitiendo que los robots reconozcan el campo de juego y tomen decisiones respecto a su posición en este, sino que los equipos de robots son capaces de coordinarse utilizando arquitecturas descentralizadas o semi-centralizadas, donde cada robot puede tomar decisiones independientes, pero comparte información clave con el resto del equipo. Estas estrategias han sido fundamentales para que los robots puedan pasar el balón, defender y atacar de manera coordinada. [31] [32]

#### **6.4.1.2. Fútbol de Robots Autónomos**

El fútbol de robots autónomos implica que los robots toman decisiones sin intervención humana durante los partidos. El mayor avance en este campo se ha tenido en lo que es la visión por computadora. [32] Gracias a los avances en el procesamiento de imágenes y en el uso de redes neuronales profundas (CNN), se ha conseguido que los robots de competencia sean capaces de reconocer el balón, los jugadores del equipo contrario y el entorno del campo. [33]

#### **6.4.2. Fútbol robot en Colombia**

La robótica de fútbol en Colombia ha tenido un Grupos de investigación en Colombia de diferentes instituciones de educación superior han realizado trabajos relacionados al fútbol de robots, obteniendo resultados satisfactorios. [10]

Recientemente, un grupo de estudiantes del semillero de Investigación de Robótica Aplicada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Sabana se dio a la tarea de desarrollar un algoritmo para participar en una competencia de fútbol en Eindhoven (Países Bajos) con robots inteligentes. Su participación les permitió llegar a semifinales. [11]

Previo a esto, en el año 2011, el grupo Bochica, de la Universidad Javeriana y Universidad de los Andes, participó en ediciones de la Small Size League de la RoboCup en Estambul [12], o el grupo Stox`s de la Universidad Santo Tomás, grupo colombiano que ha estado presente en la RoboCup, y ha participado en la

Small Size League [10] [13]. Otros trabajos que se han desarrollado por parte de investigadores de la Universidad de los Andes están relacionados con arquitecturas de equipo orientadas a la Robocup 2D Simulation League, o de ligas humanoides. [10]

Por otro lado, instituciones educativas de educación básica y superior en Colombia también realizan competencias relativas al fútbol de robots, por ejemplo, la Universidad Pontificia Bolivariana este año llevó a cabo el “Concurso de Robótica FUTBOL ROBOT UPB 2024”. [14]

Se concluye entonces que en Colombia se presenta un entorno favorable para la investigación en robots de fútbol de competencia por diferentes grupos, tanto de educación básica como superior, con el fin de desarrollar sus diferentes trabajos de robótica, y presentarlos a la comunidad académica mundial. [10]

## **7. CONDICIONES INICIALES**

El proyecto por desarrollar, concerniente al diseño y construcción de robots futbolistas, se llevará a cabo en un entorno educativo, en este caso la universidad Santo Tomas, que es la entidad encargada de organizar el Mundial de Clubes USTABOT 2024 La universidad proporcionará el espacio en el cual se disputarán los partidos, así como las instalaciones y laboratorios necesarios para la ejecución del proyecto. La cancha construida por la universidad mide 2 metros de largo y 1,5 de ancho, y ya está disponible en óptimas condiciones para usarse.

Como condición Inicial, se ha fijado un presupuesto máximo de 500.000 pesos, por lo que el monto total destinado a la construcción de los robots no debe superar esta cifra. En consecuencia, la elección de materiales se ve limitada por el presupuesto disponible.

Según lo investigado y teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en el marco teórico del presente documento, se ha optado por utilizar materiales como madera y PLA para la estructura del robot. Aunque existen opciones en el

mercado con mejores propiedades y resistencia, se considera que, dada la limitación presupuestaria y el uso previsto, estos materiales son adecuados para el proyecto.

Dado que el robot debe contar con un sistema capaz de impulsar un objeto y dirigirlo a un área específica, se proponen dos mecanismos para esto. El primero incluye un solenoide incorporado en el chasis del robot, junto con una especie de garra que aumenta el área de impacto del solenoide. Esta adición puede visualizarse en el diseño que se encuentra anexado a este documento. Por otro lado, el segundo robot estará equipado con un servomotor y un componente similar a una pala. El servomotor levantará la "pala" para interactuar con la pelota, proporcionándole el impulso necesario para entrar en la portería rival. Estos mecanismos serán probados y se analizará su capacidad para realizar la tarea esperada a medida que avanza el proyecto.

Otro aspecto importante por las limitaciones del presupuesto es el sistema de alimentación, crucial para el rendimiento óptimo del robot. Suponiendo que esto no presente mayor problema y que sea posible utilizar más de una batería, se propone separar la alimentación del microcontrolador que controla el robot, del sistema de impulso, es decir el actuador encargado de dirigir la pelota.

Esta separación tiene como objetivo aislar y, por ende, proteger el sistema de control y prevenir posibles daños al Arduino. En el caso del solenoide se pueden presentar picos de corriente que pueden superar su corriente nominal, lo que podría dañar los componentes electrónicos conectados. Al mantener separados los sistemas de alimentación, se minimiza el riesgo de que estos picos de corriente afecten al Arduino y a otros elementos del circuito de control.

## **8. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA**

**Tabla 7.** *Equipo de investigación*

<b>Nombre del Integrante</b>	<b>Nivel</b>	<b>Cargo a desarrollar</b>
Maria Fernanda Avellaneda Burgos	8°	Investigación, diseño CAD y redacción. Encargada de la parte electrónica.
Natalia Serrano Ardila	6°	Investigación y planeación de etapas y cronograma del proyecto. Ensamblaje del robot.
Karen Cecilia Villaronga Fuenmayor	4°	Investigación, redacción y encargada de la parte de programación de dispositivos de comunicación RF con microcontroladores.
Anna Sofia Rubiano Castellanos	2°	Investigación y redacción. Construcción y ensamblaje del robot.

## **9. DISEÑO EXPERIMENTAL PRELIMINAR**

### **9.4. Descripción de etapas y tareas**

El desarrollo del proyecto de diseño y construcción del robot se realizará en estas etapas, cada una con tareas específicas que permitirán avanzar ordenada y eficientemente hacia el cumplimiento de los objetivos planteados:

#### **Etapas 1: Planificación y Definición del Proyecto**

- ✓ **Tarea 1:** Revisión de los requerimientos técnicos del USTABOT 2024. Aquí se analizarán detalladamente las especificaciones técnicas y reglamentarias proporcionadas por la Facultad de Ingeniería Mecatrónica.
- ✓ **Tarea 2:** Definición de los objetivos específicos, alcance y resultados esperados.
- ✓ **Tarea 3:** Establecimiento del cronograma de trabajo, incluyendo los plazos para cada etapa.

#### **Etapas 2: Investigación y Selección de Componentes**

- ✓ **Tarea 1:** Revisión bibliográfica y análisis de proyectos similares. Se consultarán antecedentes en el campo de la robótica futbolista para identificar tecnologías aplicables.
- ✓ **Tarea 2:** Selección de componentes electrónicos. Se identificarán y elegirán los microcontroladores, motores, módulos de radiofrecuencia, y demás componentes que cumplan con las necesidades del proyecto y se ajusten al presupuesto.
- ✓ **Tarea 3:** Elección de materiales para la construcción del chasis y la carrocería de los robots, evaluando opciones como aluminio, acrílico y PLA para asegurar resistencia y ligereza.

### **Etapas 3: Diseño Conceptual**

- ✓ **Tarea 1:** Diseño del esquema de control. Se establecerá la arquitectura del sistema de control de los robots, que incluirá los módulos de radiofrecuencia y los sistemas de decisión en tiempo real.
- ✓ **Tarea 2:** Diseño mecánico y modelado 3D. Se modelarán las estructuras mecánicas utilizando software CAD, como SolidWorks, optimizando el diseño para cumplir con las especificaciones de tamaño y peso establecidas por la competencia.
- ✓ **Tarea 3:** Simulación del comportamiento mecánico. Se realizarán simulaciones para validar el diseño y prever posibles problemas estructurales.

### **Etapas 4: Implementación del Hardware**

- ✓ **Tarea 1:** Fabricación del chasis y componentes mecánicos. Se construirán las estructuras físicas de los robots basadas en los modelos 3D diseñados.
- ✓ **Tarea 2:** Montaje de los componentes electrónicos. Se integrarán los microcontroladores, motores, sensores y módulos de radiofrecuencia en los robots, asegurando que todos los sistemas estén conectados adecuadamente.



- ✓ **Tarea 3:** Programación del sistema de control. Se desarrollará el código que controlará el movimiento de los robots, el disparo del balón y la comunicación inalámbrica.

#### **Etapas 5: Pruebas y Validación**

- ✓ **Tarea 1:** Pruebas iniciales del sistema de control. Se evaluará el correcto funcionamiento de los robots, enfocándose en la precisión de los disparos y la capacidad de desplazamiento en el campo de juego.
- ✓ **Tarea 2:** Ajustes en el diseño y programación. Según los resultados de las pruebas, se modificarán para mejorar el rendimiento de los robots.
- ✓ **Tarea 3:** Validación final en un entorno simulado de competencia. Se realizarán simulaciones de partidos en condiciones similares a las de la competencia para garantizar que los robots cumplan con los requisitos.

#### **Etapas 6: Evaluación y Documentación**

- ✓ **Tarea 1:** Evaluación del desempeño de los robots. Se medirá el rendimiento de los robots en cuanto a precisión, velocidad de respuesta y capacidad de competir en tiempo real.
- ✓ **Tarea 2:** Documentación del proceso y resultados obtenidos. Se redactará un informe final que detalle cada etapa del proyecto, las decisiones tomadas, los problemas encontrados y las soluciones implementadas.
- ✓ **Tarea 3:** Preparación para la participación en la competencia USTABOT 2024. Se realizarán los últimos ajustes y se elaborarán las presentaciones e informe necesario para la prueba.

#### **9.4.1. Organización.**

El éxito del proyecto depende de una organización adecuada que permita coordinar de manera eficiente los esfuerzos de todo el equipo. La organización del

proyecto se basa en una estructura jerárquica con responsabilidades específicas a los miembros del equipo, asegurando que cada etapa del desarrollo se complete a tiempo y con la calidad requerida.

Se dividirán las tareas principales en áreas clave: diseño mecánico, programación y control, integración de sistemas electrónicos, y pruebas y validación. Cada área será liderada por un integrante del equipo con conocimientos y habilidades específicos, que se encargará de coordinar las actividades de su grupo, gestionar los recursos necesarios y mantener comunicación constante con el resto para garantizar la cohesión y el progreso continuo del proyecto.

El equipo se reunirá periódicamente para evaluar el progreso, resolver problemas y ajustar el plan según sea necesario, manteniendo siempre en mente los objetivos y el cronograma del proyecto.

#### **9.4.2. Revisión Bibliográfica**

La revisión bibliográfica es fundamental para proporcionar un marco teórico sólido al proyecto y asegurar que las decisiones técnicas y de diseño estén basadas en las mejores prácticas y conocimientos actuales en el campo de la robótica futbolística. Se han revisado investigaciones previas sobre robots futbolistas en competencias como RoboCup, centradas en aspectos como el control de sistemas robóticos a distancia, estrategias de diseño mecánico, y la integración de módulos de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia.

También se consultaron artículos sobre optimización en robótica competitiva, explorando los componentes electrónicos más adecuados para cumplir con las restricciones de presupuesto sin comprometer el rendimiento. En especial, se han revisado estudios de robots en competencias educativas y proyectos de robótica móvil, lo que proporcionó una comprensión de los retos de balancear costos, funcionalidad y durabilidad. Estas fuentes ayudarán a fundamentar el enfoque del proyecto y guiar las decisiones técnicas a lo largo de su desarrollo.

#### 9.4.3. Selección de Materiales.

Con una base sólida establecida, se procederá a la selección de los materiales a utilizar, teniendo en cuenta las características esperadas del sistema y buscando aquellos materiales que beneficien de la mejor manera el proyecto.

Se debe considerar que, para el diseño de un robot futbolista, es esencial que el chasis sea lo suficientemente resistente y liviano para soportar esfuerzos o colisiones sin comprometer la movilidad ni la precisión en sus movimientos. Además, el material del chasis debe ser capaz de absorber los impactos que puedan darse durante la competencia. Materiales como aluminio, madera liviana como MDF, o plásticos reforzados como el PLA, pueden ser opciones ideales, ya que proporcionan una buena relación entre peso y resistencia, contribuyendo a mejorar la agilidad y durabilidad del robot en el campo de juego.

#### 9.4.4. Diseño Mecánico y CAD

El diseño mecánico, comprenderá dos etapas. La primera será la definición de la forma que tendrán los robots, específicamente la forma del chasis, donde se sostendrá y ubicará toda la electrónica del robot. La segunda etapa, corresponde al tipo de tracción que este va a poseer, es decir, el sistema de locomoción sea diferencial, triciclo, o Ackerman. Dentro de la primera etapa, se ha de tener en cuenta para el diseño, las siguientes especificaciones técnicas mostradas en la Tabla 8. [18]

**Tabla 8.** Especificaciones técnicas para el diseño.

Característica	Especificación	Valor Máximo
Dimensiones	Alto	15cm
	Largo	15cm
	Ancho	15cm

<b>Peso</b>	Peso total del sistema	2kg
-------------	------------------------	-----

Una vez definido el sistema mecánico, y con una idea general de los materiales y dispositivos a utilizar, se procede al modelado de los robots en SolidWorks, teniendo en cuenta el propósito para el que estarán diseñados y las restricciones propuestas por los evaluadores, como peso, dimensiones y demás requerimientos.

Según lo dicho anteriormente, se realizó el siguiente diseño tentativo como primera propuesta para los robots.

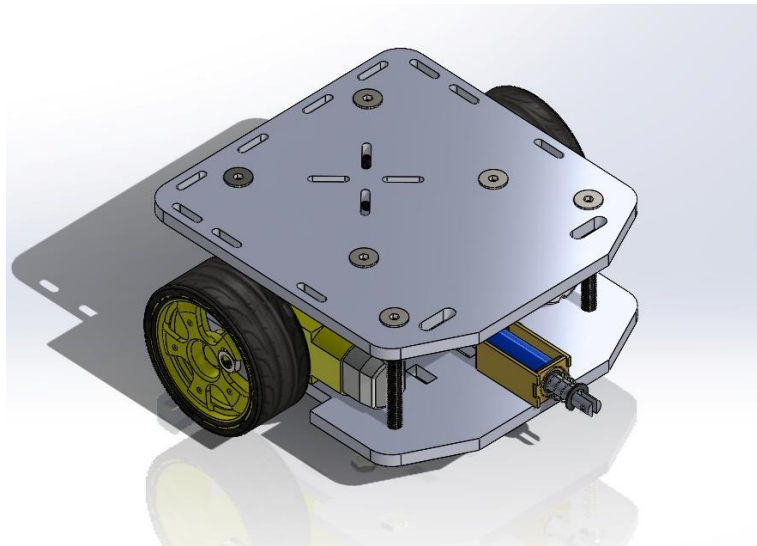


Figura 14. Modelo CAD tentativo para robots futbolistas.

Para este diseño, se tuvo en cuenta una locomoción del tipo triciclo, y un sistema de disparo de la pelota utilizando un solenoide para impulsar esta misma hacia adelante, incorporando un ensamble en estilo de “red” que no cubrirá más del 30% del área de la pelota, mas servirá como objeto direccionador y para llevar a la misma, así como para empujarla en conjunto con el solenoide, como se muestra en la Figura 15.

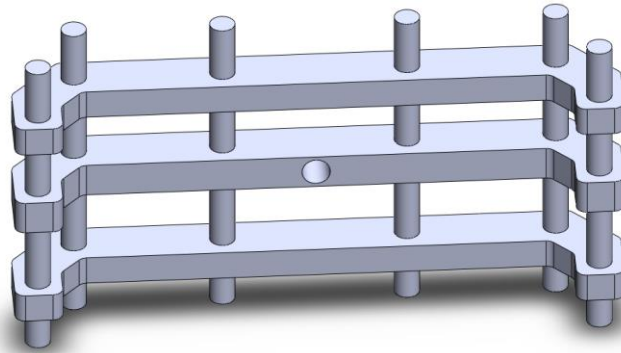


Figura 15. Modelo CAD tentativo para sistema de pateo de la pelota.

#### **9.4.5. Diseño Esquemático y PCB.**

Se elaborará el diagrama que involucra las distintas conexiones que incluirá el circuito que se encargará tanto del control como de la movilidad de los robots.

#### **9.4.6. Ensamblaje de Componentes Electrónicos.**

Con el circuito y los componentes electrónicos claramente definidos para el correcto funcionamiento de los robots, es fundamental integrarlos, conectarlos y soldarlos de la mejor manera posible, ya que esto determinará el rendimiento de los robots.

#### **9.4.7. Construcción.**

Se implementará el diseño previamente realizado, para dar comienzo a la construcción de los robots. En esta fase, se ensamblarán todos los componentes que les proporcionarán forma y movimiento.

#### **9.4.8. Ajustes al Sistema.**

Esta etapa permite realizar los cambios necesarios para optimizar el funcionamiento de los robots y dejarlos en las mejores condiciones posibles. Es una fase esencial, ya que, al llevar un diseño del papel a la realidad, siempre surgen modificaciones que no se habían previsto en un entorno ideal.

#### 9.4.9. Presentación de Resultados.

Una vez que los robots estén listos, se pondrán a prueba en las competencias. Se analizarán los resultados obtenidos y se compararán con los resultados deseados.

### 10. RESULTADOS ESPERADOS

**Tabla 9.** Tabla de resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Desarrollo del entregable de Anteproyecto.	Marcos de referencia completos y bien estructurados.	1
Modelo CAD del diseño propuesto, incluyendo disparador, chasis y carrocería.	Cumplimiento del diseño con las normas de dimensiones y peso establecidas. Diseño robusto.	2
Selección de los componentes electrónicos más apropiados según las características del diseño.	Lista de componentes seleccionados, sin superar el límite de precios.	3
Robots funcionales que integren eficientemente los componentes electrónicos con la estructura física.	Robots ensamblados y operativos en un 100% conforme al diseño estructural y electrónico propuesto.	4
Sistema de control remoto funcional con comunicación segura y sin interferencias.	Transmisión sin errores en el 95% de las pruebas con un alcance mínimo de 30 metros y uso de señales cifradas.	5
Identificación de puntos fuertes y áreas de mejora en el desempeño de los robots en condiciones reales.	Posición destacada en el torneo y cumplimiento de las reglas. Informe con al menos 5 oportunidades de mejora	5

### 11. IMPACTOS

El desarrollo de los robots brinda a los estudiantes una oportunidad para aplicar conocimientos teóricos en contextos prácticos. Esto mejora sus habilidades

técnicas y capacidad para resolver problemas complejos en Ingeniería Mecatrónica, cubriendo desde el diseño hasta la implementación y prueba. La experiencia adquirida los prepara mejor para enfrentar futuros desafíos profesionales y los convierte en ingenieros más competentes y versátiles.

El proyecto tiene el potencial de generar innovaciones valiosas en el diseño y control de robots de bajo costo. Al optimizar el uso de componentes asequibles sin sacrificar el rendimiento, puede abrir nuevas oportunidades para proyectos similares con limitaciones económicas. Esto fomenta el desarrollo de soluciones más accesibles para la automatización y la robótica móvil, con aplicaciones potenciales en otros sectores industriales.

Al participar en el USTABOT 2024, la Universidad Santo Tomás fortalece su prestigio en robótica educativa y competitiva. El proyecto fomenta la innovación y colaboración entre estudiantes y docentes, inspirando a otros a involucrarse en proyectos tecnológicos y contribuyendo al crecimiento de la investigación y desarrollo en la región.

Las soluciones técnicas desarrolladas, como la optimización del control inalámbrico y el diseño eficiente de sistemas robóticos, tienen aplicaciones prácticas en la robótica industrial y la automatización. Esto vincula la educación con las necesidades del mercado, posicionando al proyecto como un puente entre ambos.

## 12. CRONOGRAMA

**Tabla 10.** Cronograma

ACTIVIDAD		MES							
		1	2	3	4				
PLANIFICACIÓN Y DEFINICION DEL PROYECTO									
1	Revisión de requerimientos y reglamento y definición de objetivos y cronograma.								

INVESTIGACION Y SELECCION DE LOS COMPONENTES									
2	Investigación de antecedentes y selección de Componentes/materiales.								
DISEÑO CONCEPTUAL E IMPLEMENTACION DE HARDWARE									
3	Diseño Conceptual (mecánico/eléctrico y electrónico) e implementación del Hardware								
PRUEBAS Y VALIDACIÓN									
4	Pruebas iniciales del proyecto y ajustes finales.								
INFORME DE RESULTADOS									
5	Evaluación y documentación: Informe de resultados, conclusiones y documentación final								
Fuente [Autor]									

### 13. PRESUPUESTO

Tabla 11. Ejemplo presupuesto

CONCEPTO	Vendedor	Cantidad	Valor Unitario	TOTAL [pesos colombianos]
Componentes Electrónicos				
Puente H Modelo L298N	MercadoLibre Colombia	2	\$12.000	\$36.000
Microcontrolador Arduino UNO ATMEGA328P	MercadoLibre Colombia	2	\$26.500	\$53.000
Microcontrolador Arduino Nano ATMEGA328P	MercadoLibre Colombia	2	\$24.000	\$48.000
Módulo Transceptor RF NRF24L01	MercadoLibre Colombia	4	\$7.700	\$30.800
Shield de Control Joystick para Arduino	MercadoLibre Colombia	3	\$14.950	\$44.850
Motorreductor 6v-12v	MercadoLibre Colombia	4	\$18.500	\$74.000
Servomotor	MercadoLibre Colombia	3	\$9.500	\$28.500
Baterías LiPo	Ja Bots Colombia	2	\$40.000	\$80.000
Baquelitas 7x9cms	MercadoLibre Colombia	3	\$8.000	\$24.000



				SUBTOTAL	\$339.150
Partes de estructura y sistemas mecánicos					
Ruedas locas	MercadoLibre Colombia	2	\$6.000	\$18.000	
Llantas	MercadoLibre Colombia	4	\$6.000	\$24.000	
				SUBTOTAL	\$461.150
Varios					
Tablas Madera MDF	MercadoLibre Colombia	1	\$10.000	\$10.000	
				SUBTOTAL	\$471.150
Imprevistos (5%)					\$23.557,5
SUBTOTAL GENERAL					\$494.707,5
				TOTAL GENERAL	\$494.707,5

## BIBLIOGRAFÍA

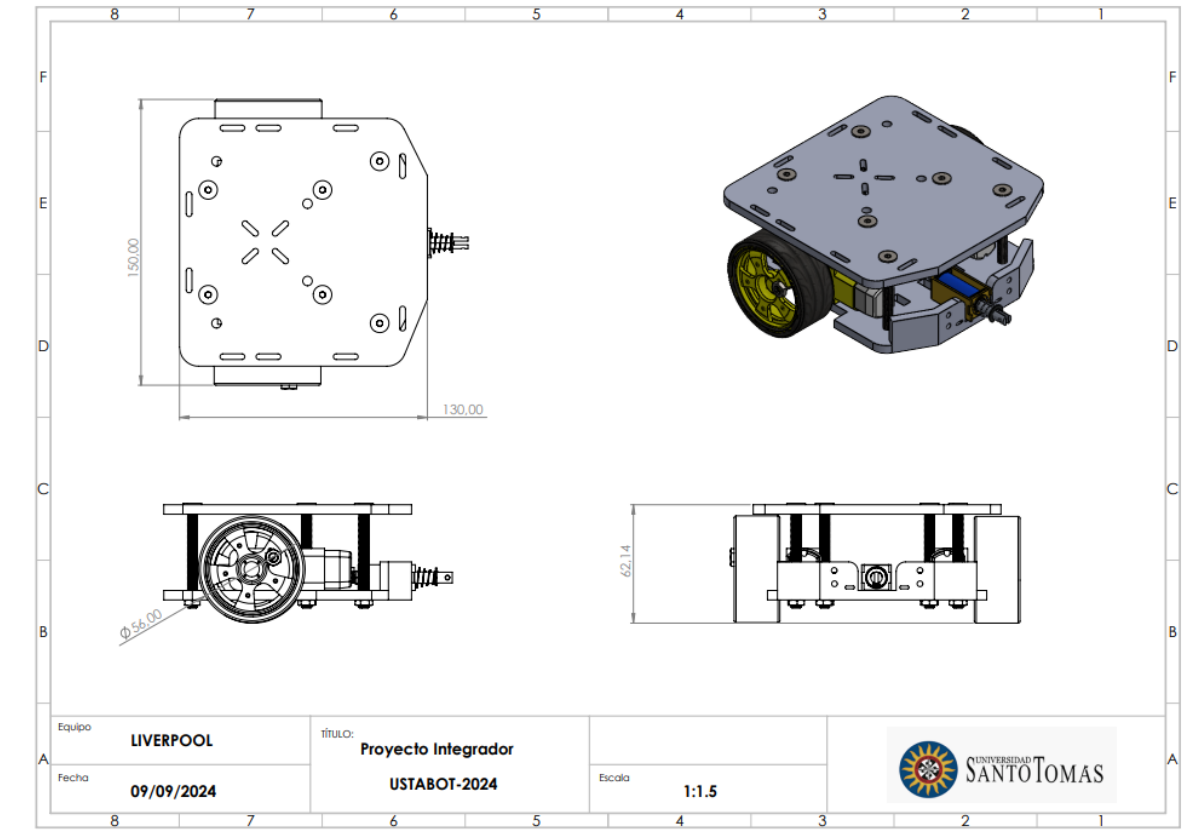
- [1] RoboCup Federation, "A Brief History of RoboCup," *Robocup.org*, 2020. [https://www.robocup.org/a\\_brief\\_history\\_of\\_robocup](https://www.robocup.org/a_brief_history_of_robocup)
- [2] RoboCup Federation, "RoboCup Middle Size League," *www.robocup.org*. <https://www.robocup.org/leagues/6>
- [3] RoboCup Federation, "RoboCup Small Size League," *www.robocup.org*. <https://www.robocup.org/leagues/7>
- [4] C. Goyeneche, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO PARA TRANSPORTE," 2016. Accessed: Sep. 06, 2024. [Online]. Available: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8627/79941769.pdf>
- [5] M. A. De Oro Montes and H. L. Tolosa Rivera, "Diseño Y Construcción De Un Carro Eléctrico Operado A Control Remoto Para El Transporte De Carga," 2020. Accessed: Sep. 06, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/b13964d4-a629-4d59-96d7-70cb3c6f405b/content>
- [6] A. Furtado, L. Grossi, R. Neves, and V. Fernandes, "Robô controlado remotamente via Arduino," *ANALECTA - Centro Universitário Academia*, vol. 6, no. 3, 2020, Accessed: Sep. 06, 2024. [Online]. Available: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/ANL/article/view/2747>
- [7] A. Cerón Correa, "Ciencia e Ingeniería Neogranadina," 2015. Accessed: Sep. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/911/91176389003.pdf>
- [8] A. Botero Baturone, "Robótica: Manipuladores y Robots Móviles," *Google Books*, 2024. <https://books.google.com.ec/books?id=TtMfuy6FNCcC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> (accessed Sep. 07, 2024).
- [9] J. C. Téllez Barrera, "Todo Sobre Mini Robotica," *calameo.com*, 2024. <https://www.calameo.com/books/005796919b3dc3eb2e1fb> (accessed Sep. 07, 2024).
- [10] J. G. Guarnizo, C. L. Trujillo, and N. L. Díaz, "Vista de Fútbol de robots: orígenes, federaciones, ligas y horizontes de investigación-Robot Soccer: Origins, Federations, Leagues and Research Horizons," *Usb.edu.co*, Apr. 07, 2015. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/2154/1886> (accessed Sep. 07, 2024).
- [11] Universidad de La Sabana, "Así fue la participación de equipo colombiano en la RoboCup 2024," *Unisabana.edu.co*, Aug. 02, 2024. <https://www.unisabana.edu.co/portaldenoticias/sello-sabana/asi-fue-la-participacion-de-equipo-colombiano-en-la-robocup-2024/> (accessed Sep. 07, 2024).

- [12] W. Anaya Altama, "La robótica Javeriana se internacionaliza – Hoy en la Javeriana," *Javeriana.edu.co*, Jul. 2011. <https://www.javeriana.edu.co/repositorio-hoy-en-la-javeriana/la-robotica-javeriana-se-internacionaliza/> (accessed Sep. 07, 2024).
- [13] Redacción El Tiempo, "La selección colombiana de fútbol con robots busca la gloria," *El Tiempo*, Jul. 13, 2015. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16089201> (accessed Sep. 07, 2024).
- [14] Universidad Pontificia Bolivariana, "CONCURSO DE ROBOTICA FUTBOL - ROBOT 2024," *Upb.edu.co*, 2024. <https://roboticaupb.bucaramanga.upb.edu.co/> (accessed Sep. 07, 2024).
- [15] Y. Tapiero, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA DE COMPETENCIA PARA LA CATEGORÍA VELOCISTA YEISON DANIEL TAPIERO SANTA FACULTAD DE INGENIERIA INGENIERIA ELECTRONICA," 2019. Available: <https://repositorio.unibague.edu.co/server/api/core/bitstreams/b36551a3-e1f1-48cc-959b-4e813f6019e4/content>
- [16] Ó. Salazar, "¿Qué es la escala de madurez tecnológica (TRL)?," *Euro Funding*, Sep. 16, 2022. <https://euro-funding.com/es/blog/que-es-la-escala-de-madurez-tecnologica-trl/>
- [17] Facultad de Ingeniería Mecatrónica USTA, "PROYECTO INTEGRADOR INGENIERÍA MECATRÓNICA MUNDIAL DE CLUBES USTABOT 2024," Aug. 2024. Accessed: Sep. 08, 2024. [Online]. Available: [https://facultadingenieriamecatronica.ustabuca.edu.co/images/docuemntos\\_mecatronica/2024/Proyecto\\_Integrador/PI-2024-2.pdf](https://facultadingenieriamecatronica.ustabuca.edu.co/images/docuemntos_mecatronica/2024/Proyecto_Integrador/PI-2024-2.pdf)
- [18] Facultad de Ingeniería Mecatrónica USTA, "ESPECIFICACIONES TÉCNICAS," Aug. 2024. Accessed: Sep. 08, 2024. [Online]. Available: [https://facultadingenieriamecatronica.ustabuca.edu.co/images/docuemntos\\_mecatronica/2024/Proyecto\\_Integrador/Especificaciones-Tecnicas-Mundial-de-Clubes-USTABOT-2024.pdf](https://facultadingenieriamecatronica.ustabuca.edu.co/images/docuemntos_mecatronica/2024/Proyecto_Integrador/Especificaciones-Tecnicas-Mundial-de-Clubes-USTABOT-2024.pdf)
- [19] D. Hernandez, D. Londoño, and J. Ardila, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO TIPO ROVER -DIDAJO," 2005. Available: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37506.pdf>
- [20] J. R. Figueroa Olmedo, W. M. Montalvo López, and M. M. Bayas Sampedro, *Cinemática y Dinámica de Robots Móviles con Ruedas*. Editorial CILADI, 2023.
- [21] Demoss Prototipado S.A.S, "Rueda 65Mm amarilla Para Motorreductor 48:1 Carro Robot Arduino," *Demoss Prototipado SAS*, 2024. <https://demosspro.com/174-rueda-65-mm-de-diametro-amarilla-compatible-con-motorreductor-481.html> (accessed Sep. 09, 2024).

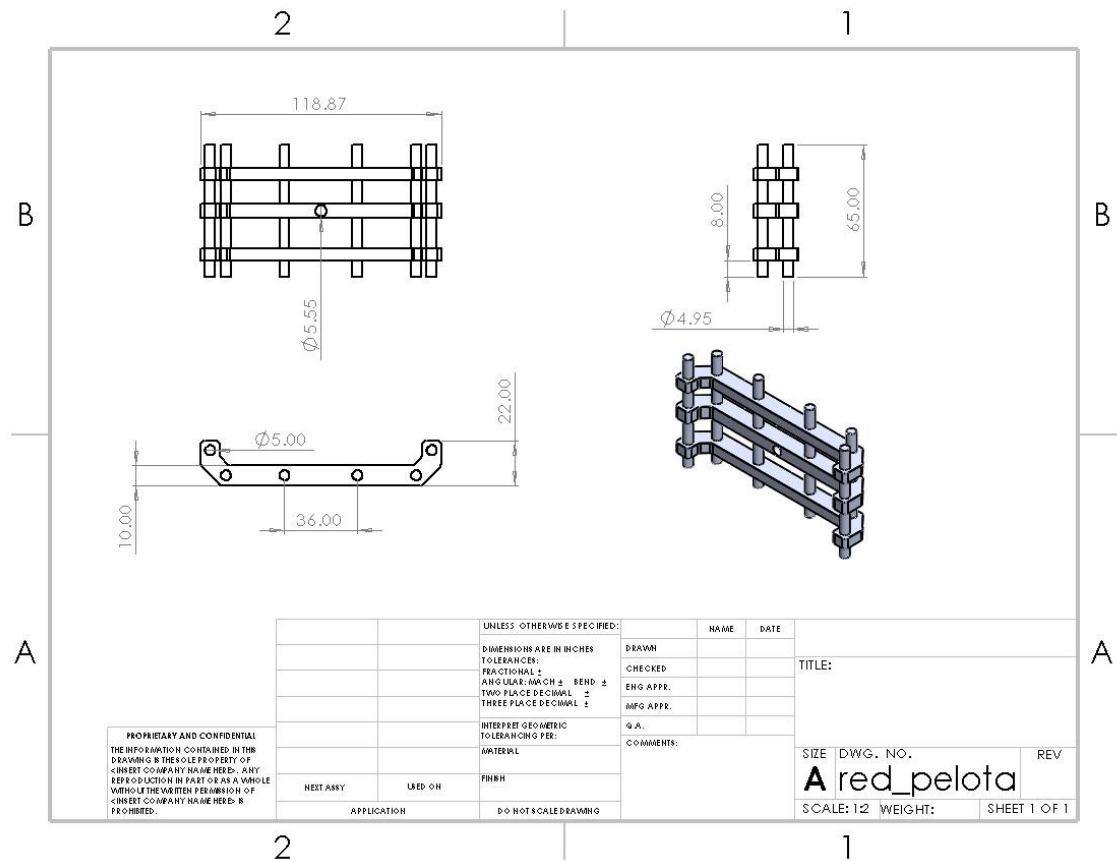
- [22] Arduino SRL, “Arduino Nano,” *Arduino Official Store*, 2024. [https://store.arduino.cc/products/arduino-nano?srltid=AfmBOoqFXbBvQeG3WWZVYRupBuyLvXGe5Fq5z9Lc79abB\\_uMhn0q8joc](https://store.arduino.cc/products/arduino-nano?srltid=AfmBOoqFXbBvQeG3WWZVYRupBuyLvXGe5Fq5z9Lc79abB_uMhn0q8joc) (accessed Sep. 09, 2024).
- [23] Components 101, “nRF24L01 Wireless RF Module,” *Components101*, Apr. 30, 2021. <https://components101.com/wireless/nrf24l01-pinout-features-datasheet>
- [24] C. Peña Millahual, *ARDUINO: La guía para realizar tus prototipos electrónicos*. RedUsers, 2017.
- [25] E. Vega Soto, “Modelado, impresión 3D y automatización de un brazo robótico Trabajo de Fin de Grado,” Feb. 2024. Accessed: Sep. 09, 2024. [Online]. Available: [https://gredos.usal.es/bitstream/10366/157583/1/TG\\_VEGA%20SOTO%2C%20Elvira\\_%20Modelado%2C%20impresi%C3%B3n%203D.pdf](https://gredos.usal.es/bitstream/10366/157583/1/TG_VEGA%20SOTO%2C%20Elvira_%20Modelado%2C%20impresi%C3%B3n%203D.pdf)
- [26] AG Electrónica, “TARJETA R3 ATMEGA328 COMPATIBLE CON ARDUINO UNO,” 2022. Available: [https://agelectronica.lat/pdfs/textos/U/UNO-R3\\_ATMEGA328.PDF](https://agelectronica.lat/pdfs/textos/U/UNO-R3_ATMEGA328.PDF)
- [27] ELECTRONILAB S.A.S, “Motorreductor TT con caja reductora 6V 1:48,” *Electronilab*, 2024. <https://electronilab.co/tienda/motorreductor-con-caja-reductora-6v-1-48/>
- [28] K.-H. Kim, K.-W. Ko, J.-G. Kim, S.-H. Lee, and H.-S. Cho, “The development of a micro robot system for robot soccer game,” *IEEEExplore*, Nov. 2002, doi: <https://doi.org/10.1109/robot.1997.620109>.
- [29] D. C. Rojas Alvarado, “Diseño y construcción de robot para la categoría SSL.,” *Pedagogica.edu.co*, 2014, doi: <https://doi.org/TE-18808>.
- [30] E. Olson, “Robust and Efficient Robotic Mapping,” 2008. Accessed: Sep. 10, 2024. [Online]. Available: <https://april.eecs.umich.edu/pdfs/olson2008phd.pdf>
- [31] S. Thrun, “Probabilistic robotics,” *Communications of the ACM*, vol. 45, no. 3, Mar. 2002, doi: <https://doi.org/10.1145/504729.504754>.
- [32] M. Asada, H. Kitano, I. Noda, and M. Veloso, “RoboCup: Today and tomorrow—What we have learned,” *Artificial Intelligence*, vol. 110, no. 2, pp. 193–214, Jun. 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/s0004-3702\(99\)00024-7](https://doi.org/10.1016/s0004-3702(99)00024-7).
- [33] S. Opiyo, J. Zhou, E. Mwangi, W. Kai, and I. Sunusi, “A Review on Teleoperation of Mobile Ground Robots: Architecture and Situation Awareness,” *International Journal of Control, Automation and Systems*, Oct. 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s12555-019-0999-z>.

## ANEXOS

### A.1. Diseño CAD



### ANEXO A. PLANOS DE MODELO CAD DEL ROBOT FUTBOL.



## ANEXO B. PLANOS DE MODELO CAD DE LA RED DE DIRECCIONAMIENTO DE LA PELOTA.

### A.2. Referencias Bibliografías

## GLOSARIO

**Robot:** es una entidad virtual o mecánica, que posee cierto grado de inteligencia para llevar a cabo determinadas tareas.

**Robot Móvil:** es un robot provisto de un sistema de locomoción el cual le permite desplazarse en un espacio determinado.

**Solenoide:** es un dispositivo regularmente cilíndrico que presenta un alambrado y es capaz de crear un campo magnético al circular la corriente a través de él.