

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL DE COMPETENCIA
MULTI-CATEGORÍA**

AUTORES

**LUIS ANÍBAL ALDAZ ANDRADE
RUBÉN DARÍO ORELLANA TORRES**

TUTOR

ANÍBAL ROBERTO PÉREZ CHECA

Quito, agosto del 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Luis Aníbal Aldaz Andrade, Rubén Darío Orellana Torres, con documento de identificación N° 0202022109 y N° 1723083323 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: Desarrollo de un prototipo de Robot móvil de competencia multi-categoría, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada.

En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Luis Aníbal Aldaz Andrade
C.I. 0202022109
Fecha: agosto 2017



Nombre: Rubén Darío Orellana Torres
C.I. 1723083323
Fecha: agosto 2017

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Desarrollo de un prototipo de Robot móvil de competencia multi-categoría realizado por Luis Aníbal Aldaz Andrade y Rubén Darío Orellana Torres, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto 2017



Aníbal Roberto Pérez Checa

C.I. 1711423440

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a mi padre, quien ha sido un pilar fundamental en mi educación humana y académica, a mi madre que, a pesar de nuestra distancia, nunca olvidare tu apoyo y amor incondicional en los buenos y malos momentos. De manera especial dedico este trabajo a mis amigos y a quienes estuvieron a lo largo de toda esta etapa de estudios, aunque estemos dispersos, los buenos momentos que compartimos quedan plasmados en mi memoria, su apoyo y palabras hicieron mucho por mí, gracias.

Como parte fundamental de este trabajo agradezco el apoyo incondicional, las palabras de confianza y los ánimos en aquellos momentos en los que sin pedirlos los necesitaba, gracias por tu entrega mi amada Ivonne, es un logro compartido.

Rubén

Dedico este trabajo a mi amada esposa y a mi querido hijo quienes me han acompañado en todo momento brindándome su apoyo incondicional, también a mis padres en especial a mi madre quien con su esfuerzo y dedicación ha hecho posible mi formación académica, a mis hermanos, en especial a Francisco y su esposa quienes estuvieron incondicional desde el inicio de mis estudios.

Un agradecimiento especial a mis queridos suegros quienes siempre se hicieron presentes con sus palabras de aliento en los momentos más difíciles.

Luis

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por habernos acogido durante nuestros estudios de pregrado, así también a todos los profesores que estuvieron a nuestro lado, ya que con su experiencia y conocimientos han aportado en nuestra formación académica, un agradecimiento especial para nuestros padres quienes con su esfuerzo han permitido establecernos como profesionales y como entes productivos para la sociedad, por otro lado, queremos agradecer a todas aquellas personas que en el diario vivir nos supieron guiar y apoyar en los momentos difíciles de nuestra preparación, este trabajo no hubiera sido posible sin vuestro apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO 1.....	15
ANTECEDENTES	15
1.1 Planteamiento del problema	15
1.2 Justificación del proyecto	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
CAPÍTULO 2.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 Robot móvil.....	17
2.1.1 Robot móvil con ruedas	17
2.2 Robots de competencia.....	17
2.2.1 Concursos de robótica en Ecuador.....	17
2.3 Categorías a nivel nacional.....	18
2.4 Descripción robot seguidor de línea	18
2.4.1 Seguidor de línea Velocista.....	18

2.4.1.1	Chasis.....	18
2.4.1.2	Sensores del robot seguidor de línea.....	19
2.4.1.3	Motores y ruedas del robot seguidor de línea velocista.....	20
2.4.2	Seguidor de línea Destreza.....	20
2.4.2.1	Aspectos mecatrónicos de un Seguidor de línea Destreza.....	20
2.4.2.2	Chasis seguidor destreza.....	21
2.4.2.3	Sensores robot seguidor de línea modalidad destreza	21
2.4.2.4	Motores y ruedas robot seguidor línea destreza.....	21
2.5	Robot Laberinto.....	21
2.5.1	Aspectos mecatrónicos del Robot Laberinto.....	22
2.5.1.1	Chasis.....	22
2.5.1.2	Motores y ruedas del robot laberinto	23
2.5.1.3	Sensores del robot laberinto.....	23
2.5.1.4	Ubicación de sensores.....	23
CAPÍTULO 3.....		25
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT.....		25
3.1	Discernimiento de robots de competencia para el robot multi-categoría	25
3.2	Diseño del robot multi-categoría	28
3.2.1	Chasis modular del robot multi-categoría	28
3.2.1.1	Diseño del chasis modular	29
3.2.2	Adaptación de los robots al chasis principal	30
3.2.3	Motores y ruedas robot multi- categoría	32
3.3	Diseño electrónico del Robot Multi-categoría	35
3.4	Controlador de potencia	35
3.5	Sistema sensorial	36
3.5.1	Sensores de línea	36
3.5.2	Sensores de distancia.....	38

3.5.3	Encoder	38
3.6	Sistema de comunicación	39
3.7	Sistema de control	39
3.8	Sistema de alimentación	40
3.9	Diseño de la placa de control	40
CAPÍTULO 4	44
DISEÑO DE SOFTWARE	44
4.1	Arquitectura de software para el robot modalidad velocista.....	44
4.1.1	Función calibración de sensores.....	44
4.1.2	Sistema de motores	45
4.1.3	Función para el control de motor derecho/izquierdo	46
4.1.4	Arranque.....	46
4.2	Arquitectura de software para el robot en modalidad Laberinto.....	47
4.2.1	Lectura de sensores	48
4.2.2	Error de posición	48
4.2.3	Módulo de control.....	49
4.2.4	Función avance pared izquierda o derecha	49
4.2.5	Función girar a la derecha/izquierda.....	50
4.2.6	Algoritmo de la mano derecha o izquierda	50
4.3	Diagramas de flujo del robot en modalidad destreza	52
CAPÍTULO 5	54
PRUEBAS – RESULTADOS, REDISEÑOS Y MEJORAS	54
5.1	Pruebas en el robot multi-categoría modalidad Velocista.....	54
5.2	Pruebas en pista	54
5.2.1	Características del robot modalidad velocista.....	56
5.3	Pruebas en el robot multi-categoría modalidad Laberinto	57
5.3.1	Características del robot modalidad laberinto.....	59

5.4	Pruebas en el robot multi-categoría modalidad Destreza	61
5.4.1	Características del robot modalidad seguidor destreza	63
5.5	Rediseños generales Robot multi-categoría	64
5.5.1	Ruedas	64
5.6	Rediseños del robot en modalidad seguidor Velocista.....	65
5.7	Rediseños del robot en modalidad Laberinto	65
5.8	Rediseños del robot en modalidad seguidor Destreza.....	66
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	69
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Forma en triangulo de un seguidor de línea velocista.	19
Figura 2.2. Ejemplos de robots seguidores de línea destreza.....	21
Figura 2.3. Formas comúnmente usadas para el robot laberinto.....	22
Figura 2.4. Medición de distancia con sensores a 34 °	24
Figura 3.1. Fixture clasificatorio al robot multi-categoría	27
Figura 3.2. Chasis primario del robot Multi-categoría.....	29
Figura 3.3. Chasis secundario robot modalidad seguidor de línea Velocista	30
Figura 3.4. Chasis secundario del robot en modalidad Laberinto.....	31
Figura 3.5. Adaptaciones para el chasis del robot Seguidor de línea Destreza.....	32
Figura 3.6. Características eléctricas y mecánicas micro-motor Pololu 10:1	34
Figura 3.7. Motor 10:1 y rueda	35
Figura 3.8. Sensor de reflectancia analógico QTR-8A	37
Figura 3.9. Sensor de reflectancia analógico en forma de T	37
Figura 3.10. Sensor de distancia Sharp de 4 – 30 cm	38
Figura 3.11. Encoder magnético para Micromotores de eje extendido.....	39
Figura 3.12. Especificaciones del ATmega328P	40
Figura 3.13. Alimentación de energía	40
Figura 3.14. Tarjeta de control del robot multicategoría	41
Figura 3.15. Conexiones modulares del robot multi-categoría	42
Figura 3.16. Frame para sistema de control y batería	42
Figura 4.1. Diagrama de calibración de sensores.....	44
Figura 4.2. Cálculo del error de posición	45
Figura 4.3. Control del motor derecho	46
Figura 4.4. Control tipo proporcional derivativo (PD)	47
Figura 4.5. Diagrama de flujo de la función detección de paredes	48
Figura 4.6. Diagrama de flujo del error de posición	49
Figura 4.7. Diagrama de flujo del avance con pared izquierda.....	50
Figura 4.8. Diagrama de flujo del algoritmo de la mano izquierda	51
Figura 4.9. Diagrama de flujo del acondicionamiento sensores	52
Figura 4.10. Diagrama de flujo general del robot en modalidad seguidor destreza..	53
Figura 5.1. Pista de la final categoría velocista CER 2015.....	55
Figura 5.2. Pista de la final categoría velocista CER 2016.....	56
Figura 5.3. Robot modalidad Velocista diseño final.....	57

Figura 5.4. Pista laberinto del CER 2015 y CER 2016.....	58
Figura 5.5. Robot modalidad laberinto diseño final.....	60
Figura 5.6. Pista oficial destreza SALESBOT 2017	61
Figura 5.7. Pista replica destreza CER 2016.....	61
Figura 5.8. Robot modalidad destreza, diseño final.....	64
Figura 5.9. Ruedas de espuma scaleauto.....	65
Figura 5.10. Placas de sensores con diferentes tipos de distribuciones	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Categorías en el CER	18
Tabla 3.1. Concentración de robots según sus dimensiones	25
Tabla 3.2. Concentración de robots según sus Pesos	25
Tabla 3.3. Concentración de robots según su tipo de locomoción.....	26
Tabla 3.4. Concentración de robots según el material de construcción.....	26
Tabla 3.5. Características relevantes entre robots	27
Tabla 5.1. Resultados en pista CER 2015	54
Tabla 5.2. Resultados oficiales del CER 2016 categoría velocista	55
Tabla 5.3. Resultados en pista CER 2016 modalidad Velocista	56
Tabla 5.4. Resultados oficiales del CER 2016 categoría Laberinto.....	58
Tabla 5.5. Resultados en pista replica CER 2015 y 2016 modalidad laberinto	58
Tabla 5.6. Resultados oficiales del CER 2016 categoría seguidor Destreza	62
Tabla 5.7. Resultados en pista replica CER 2016 modalidad Destreza	62
Tabla 5.8. Resultados en pista oficial SALESBOT 2017 modalidad Destreza	63

RESUMEN

Con una mayor acogida de la robótica de competencia en el país, y el desarrollo de diversos torneos a nivel de Institutos de Educación Superior, el presente trabajo opta por el diseño e implementación de un modelo de robot multi-categoría, que permita participar en varias categorías en una misma competencia con un solo prototipo.

Basándose en estudios se determinó las características comunes de los robots de competencia que podrían ser integrados, se realizó una unificación de los robots seguidor de línea velocista, seguidor destreza y robot laberinto por medio del diseño y desarrollo de un chasis de tipo modular el cual respecta la mecánica/electrónica individual de los robots para hacerlos competitivos en su entorno.

Mediante el desarrollo de sistemas de control en lazo cerrado y algoritmos PD (Proporcional y Derivativo), se logró que cada robot cumpla con sus objetivos específicos en competencia y esto se comprobó mediante pruebas de campo usando réplicas de las pistas del CER (Concurso Ecuatoriano de Robótica) 2015 y 2016, SALESBOT2017 ,además para validar el prototipo, el robot multi-categoría fue sometido a competencias nacionales como representante de la UPS-UIO, y se consiguió estar entre los tres primeros podios.

Palabras claves: desarrollo, prototipo, robot, móvil, competencia, multi-categoría

ABSTRACT

With a greater acceptance of robotics competition in the country, and the development of various tournaments at the level of Institutes of Higher Education, this paper opts for the design and implementation of a multi-category robot model, which allows participation in several Categories in the same competition with a single prototype.

Based on studies the common characteristics of the competition robots that could be integrated were determined, a unifying of the robots follower of line sprinter, follower dexterity and robot labyrinth was realized by means of the design and development of a chassis of type modular that respects The individual mechanics / electronics of robots to make them competitive in their environment.

Through the development of closed loop control systems and PD algorithms (Proportional and Derivative), each robot could meet its specific objectives in competition and this was verified by field tests using tracks replicas of the CER 2015- 2016 and SALESBOT 2017, in addition to validate the prototype, the multi-category robot was submitted to national competencies as representative of the UPS-UIO, and managed to be among the first three podiums.

Keywords: development, prototype, robot, mobile, competition, multi-category

INTRODUCCIÓN

El planteamiento del problema, justificación y los objetivos que se han planteado en el presente proyecto, se encuentran en el Capítulo 1.

En el Capítulo 2, se describe la robótica de competencia y se enfoca en los prototipos que integran al robot multi-categoría, exponiendo el tipo de sensores y características mecánicas específicas de cada robot.

El diseño y desarrollo del robot multi-categoría en todas sus modalidades, partiendo desde la elección de los robots a ser integrados en el prototipo, continuando con el desarrollo mecánico/electrónico del robot, se presentan en el Capítulo 3.

En el Capítulo 4, se explica el desarrollo de los algoritmos de control que permiten cumplir con el objetivo del robot multi-categoría en todas sus modalidades en competencia.

Las pruebas realizadas al robot en todas sus modalidades con los resultados obtenidos junto con los rediseños electrónicos y mecánicos que se realizó al robot se presentan en el Capítulo 5.

Finalmente, en el Capítulo 6, se hace referencia a las conclusiones que se llegó en el presente proyecto de titulación, los cuales son el resultado de la implementación, observación y pruebas de varios prototipos. Además, se presentan recomendaciones para trabajos futuros.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día con la aparición de prototipos robóticos nace la competición entre ellos, eventos en los que los diseñadores demuestran sus habilidades y destrezas, para competir existen varias categorías como: robots seguidores de línea, robots velocistas y robots sumo las cuales son las pruebas más difundidas.

Se ha observado que normalmente los participantes de los concursos de robótica se preparan o desarrollan un tipo de robot básico, en hardware y/o software, limitando la posibilidad de obtener premios de diversas categorías en las competencias con un solo prototipo.

El club de robótica de la carrera de ingeniería electrónica sede Quito, quiere elevar su ranking mejorando su nivel de competencia, pero por la aplicación de métodos básicos de control en sus prototipos robóticos y la falta de recursos, no se ha cumplido con este objetivo. Con estos antecedentes y tomando en consideración el bajo desempeño en las participaciones del club de robótica en los distintos concursos, se hace necesaria la implementación de un robot multi-categoría el cual ayude al club de robótica y a sus integrantes a mejorar sus participaciones en las diversas categorías de las competencias.

1.2 Justificación del proyecto

Hoy en día las competencias de robots han crecido de manera exponencial y se requiere la implementación de varios prototipos robóticos para participar en las diferentes categorías, lo que deja un limitante para sus competidores, ya que con los prototipos existentes los participantes están limitados a competir en una sola categoría debido a sus características de hardware.

Frente a esta realidad se expone la necesidad de diseñar e implementar un prototipo robótico capaz de adaptarse para concursar en varias categorías.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Desarrollar un prototipo de robot móvil de competencia multi-categoría para mejorar el nivel de competición del club de robótica de la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Sede Quito.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de las diferentes competencias y categorías que participan los robots móviles, para determinar las categorías que podrían ser unificadas para el prototipo.
- Desarrollar el hardware del prototipo robótico para que cumpla con la mayor cantidad de categorías posibles.
- Elaborar los algoritmos de control basándose en sistemas de lazo cerrado para que el prototipo se adapte a múltiples categorías.
- Validar el diseño tanto en hardware como en software mediante pruebas de campo y competiciones para determinar el grado de efectividad del diseño.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Robot móvil

Es una máquina autónoma o controlada manualmente cuya característica principal es moverse en su entorno, ya sea por medio de ruedas, patas, alas y demás sistemas de locomoción que aparecen para la robótica dependiendo de la superficie por la cual deba transitar. (Aguilera Hernández, Bautista, & Iruegas, 2007)

2.1.1 Robot móvil con ruedas

Entre todas las clasificaciones de robots, el robot móvil con ruedas es el más popular por sus aplicaciones prácticas, habilidad para transportar materiales, construcción relativamente fácil a comparación con otros robots.

2.2 Robots de competencia

Son aquellos prototipos robóticos que participan en distintas categorías de los concursos de robótica, los cuales son construidos y programados para cumplir tareas específicas según el reglamento propuesto en los diferentes torneos tanto nacionales como internacionales.

2.2.1 Concursos de robótica en Ecuador

En el Ecuador existen algunos concursos como UMEBOT (organizado por la Unidad de Mantenimiento Electrónico de la Escuela Politécnica Nacional), SALESBOT (organizado por la Universidad Politécnica Salesiana-UIO), RIOTRONIC (concurso realizado por la Politécnica de Chimborazo en la ciudad de Riobamba), RGZL (Robot Games Zero Latitud) y el CER (Concurso Ecuatoriano de Robótica) el cual es una iniciativa de las Instituciones de Educación Superior Ecuatorianas con la finalidad de promover el desarrollo de la robótica en el país, para esto convocan anualmente a estudiantes de las Universidades, Escuelas Politécnicas e Institutos de Educación Superior, para medir sus destrezas y conocimientos obtenidos en los distintos centros de educación y ponerlos en práctica durante las diferentes competencias establecidas por categorías. (CER2016, 2016).

2.3 Categorías a nivel nacional

El CER es el concurso nacional más importante a nivel interuniversitario celebrado año tras año, las categorías en las que se participan se observan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Categorías en el CER

Categorías CER		
Batalla de robots	Categoría libre	Carrera de humanoides
Robot volador	Seguidor de línea	Robot bailarín
Micro, Mini y Mega sumo	Laberinto	Transformes
Batalla simulada	Pelea de bípedos	Robot futbol
Creatividad Lego	Robot trepador	Programación industrial

Categorías en las que se puede participar en el CER, Fuente: (CER2016, 2016)

2.4 Descripción robot seguidor de línea

Un robot seguidor de línea tiene como objetivo seguir una línea blanca o negra en contraste con el color de fondo desde el inicio hasta el final de un recorrido determinado, esta categoría se divide en 2 sub-categorías, la primera como Seguidor de línea Velocista, y la segunda como Seguidor de línea Destreza.

2.4.1 Seguidor de línea Velocista

Este tipo de robot debe cumplir una ruta establecida en el menor tiempo posible, las velocidades máximas alcanzadas en los concursos de robótica son de 1 a 2 m/s ya que las pistas tienen curvas cerradas y pocas rectas.

Para la realización de este tipo de robots existen ciertas características relevantes como el chasis, ruedas, sensores y peso.

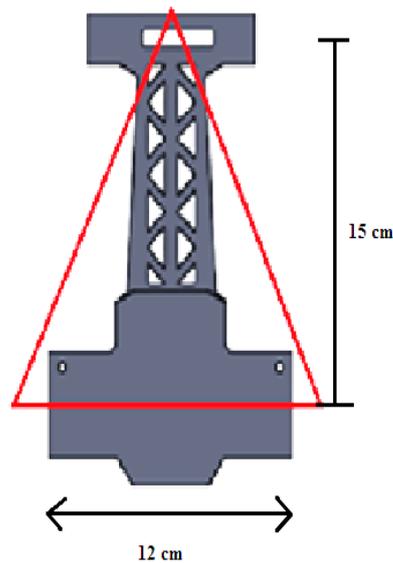
2.4.1.1 Chasis

Para la mecánica del chasis se debe considerar la forma, peso, separación de las ruedas, distancia entre el eje de las ruedas y los sensores de línea, aspectos que se analizan en este capítulo.

El robot velocista debe tener bajo peso para alcanzar una mayor velocidad por lo tanto el chasis es fabricado con materiales livianos y resistentes.

Normalmente para el robot velocista se considera la forma de un triángulo, por lo tanto, el eje de las ruedas es la base y como punta del triángulo se considera los sensores de línea, como se observa en la Figura 2.1.

Figura 2.1. Forma en triángulo de un seguidor de línea velocista.



Forma del seguidor de línea velocista, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

La distancia entre las ruedas del robot velocista varía entre los $12\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$. para tomar las curvas cerradas en competencia, además la distancia entre el eje de las ruedas y los sensores de línea es de $15\text{ cm} \pm 1\text{ cm}$ (Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016), como se observa Figura 2.1.

2.4.1.2 Sensores del robot seguidor de línea

En este tipo de robots se usa sensores de reflectancia de tipo fototransistores (IR emisor y receptor), con el fin de ayudar al robot a seguir una trayectoria (línea) marcada en el recorrido.

Para los seguidores de línea comúnmente se usan dos configuraciones de sensores en forma de línea recta y en forma de T o V invertida, las primeras configuraciones se suelen usar en los seguidores de línea modalidad velocista y la segunda los usan los seguidores modalidad destreza. (Ferro Laspidea & Goicoechea Fernández, 2014)

2.4.1.3 Motores y ruedas del robot seguidor de línea velocista

Los robots velocistas tienen motores de altas RPM (revoluciones por minuto), tomando en consideración el toque necesario, consumo de la batería y la aceleración deseada del robot se realiza la selección de relación de velocidad en la caja de engranajes del motor.

Para las ruedas de los robots velocistas se deben analizar algunos aspectos como el radio, ancho y adherencia del material del cual están fabricadas, este factor influye en el desempeño del robot durante la competencia. El radio de las ruedas es una característica muy significativa, si este es muy grande el desplazamiento del robot será mayor por RPM de los motores y por ende mayor velocidad, pero en contraparte se necesita un mayor torque para mover al robot, si el radio es pequeño la velocidad y el torque serán menores. (Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016)

2.4.2 Seguidor de línea Destreza

El objetivo del robot es completar un recorrido complejo que posee discontinuidades, entrecruces, curvas de 90°, zigzag, rejillas y figuras complejas en menos de 3 minutos según las reglas del CER. (CER2016, 2016)

2.4.2.1 Aspectos mecatrónicos de un Seguidor de línea Destreza

Dada que las formas de las pistas que existen para esta categoría son muy complejas y variadas la estructura mecánica de los robots también son diversas, de tal forma que cada una de ellas trata de adaptarse de manera óptima para cumplir con el objetivo.

En el CER 2016 participaron seguidores modalidad destreza con varios tipos de chasis y ruedas, como se observa en la Figura 2.2.

Figura 2.2. Ejemplos de robots seguidores de línea destreza



Robots categoría seguidor destreza CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

2.4.2.2 Chasis seguidor destreza

Por la complejidad de la pista en esta categoría se utiliza un robot pequeño, con tracción diferencial y un chasis liviano con el fin permitir una mayor autonomía energética en competencia, dando la posibilidad de culminar la trayectoria planteada con la misma relación de velocidad de los motores tanto al finalizar la prueba como al inicio de la misma.

2.4.2.3 Sensores robot seguidor de línea modalidad destreza

Este tipo de robots utiliza los mismos tipos de sensores del robot velocista que fueron tratados en la sección 2.4.1.2., la distribución de los sensores tiene forma de T o V.

2.4.2.4 Motores y ruedas robot seguidor línea destreza

En los robots seguidor destreza no son necesarios motores de altas revoluciones, por tal razón para escoger los motores solo se toma en cuenta el torque del mismo, basándose principalmente en el peso del robot.

La velocidad del robot en competencia debe ser de bajas revoluciones y por lo tanto la adherencia de las ruedas no es algo primordial, por otro lado, se puede usar gran variedad de ruedas para este robot.

2.5 Robot Laberinto

Un robot laberinto se caracteriza por tener la capacidad de poder cruzar un laberinto con el único objetivo de lograr salir del mismo en el menor tiempo posible, este robot tiene un complejo diseño tanto en hardware como en software, ya que debe interactuar en el laberinto para descifrarlo en un tiempo relativamente rápido.

2.5.1 Aspectos mecatrónicos del Robot Laberinto

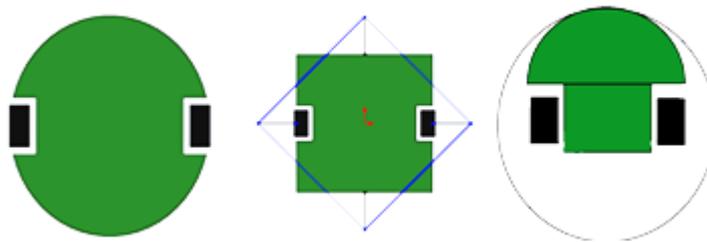
El objetivo de este tipo de robot es salir del laberinto en el menor tiempo posible sin tocar las paredes del mismo, como especifican las reglas del CER, la mecánica de este tipo robot debe ser tomada muy en cuenta desde la forma, peso, distribución y ubicación de los sensores para que el desempeño del mismo sea el deseado.

2.5.1.1 Chasis

La forma y las dimensiones del chasis en el robot laberinto son factores a tomar en consideración, ya que aumentan o disminuyen la probabilidad de choque con las paredes del laberinto.

Para los robots laberinto existen varias formas desde circulares, cuadradas y semicírculos, las distintas formas se observan en la Figura 2.3.

Figura 2.3. Formas comúnmente usadas para el robot laberinto



Diferentes formas de chasis en robots laberinto, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

La forma circular para el chasis del robot laberinto suele ser la mejor, debido a que se puede girar libremente y la posibilidad de quedarse atascado o chocar con una pared es menor, además el eje de las ruedas debe estar ubicado en medio del robot, para facilitar los giros y vueltas en U, caso contrario al girar el robot en su propio eje aumenta las probabilidades de choque. (Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016)

El requerimiento técnico en tamaño de los robots laberinto igualmente es variado dependiendo de los concursos que se nombran a continuación:

- En el CER 2016 las dimensiones del robot laberinto no pueden exceder los 15cm en ancho y largo con altura de 20 cm. (CER2016, 2016)
- En el Robot Games Zero Latitud RGZL los robots han de tener como dimensiones máximas 15x15x15 cm. (robotgameszerolatitud, 2016)

- En el UMEBOT las dimensiones máximas de los prototipos son de 15x15x15cm. (UMEBOT XI, 2016)

(Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016) En su trabajo optan por un robot laberinto de dimensiones de 10x10x10 cm con el fin de evitar colisiones al realizar giros y vueltas en U, además de cumplir con las reglas de la categoría robot laberinto en los diferentes concursos.

2.5.1.2 Motores y ruedas del robot laberinto

Para la elección de los motores y ruedas se debe considerar lo anteriormente dicho en la sección 2.4.1.3, exceptuando que en este tipo de robots no es relevante el peso como lo es en el robot velocista, basándose en observaciones y experimentación se debe tomar en consideración la adherencia del material de las ruedas.

2.5.1.3 Sensores del robot laberinto

En este tipo de robots se usa sensores de proximidad para detectar las paredes de la trayectoria y lograr salir del laberinto, generalmente en los concursos de robótica se usan sensores infrarrojos y/o sensores ultrasónicos.

Para este tipo de robots se usa comúnmente una combinación de tres sensores para detectar la trayectoria a seguir, uno ubicado en el frente y dos ubicados a la derecha e izquierda del robot uno para cada lado respectivamente.

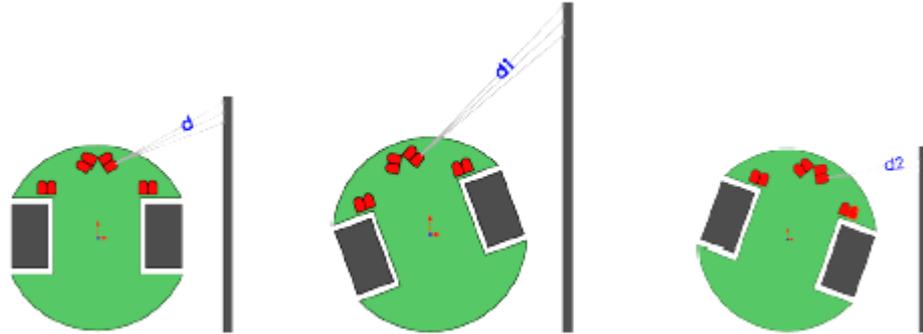
Para lograr la salida del laberinto por parte del robot se usa comúnmente el algoritmo de la Mano Izquierda o el de la Mano Derecha, todo depende de la forma y complejidad de la trayectoria a seguir, es decir, si la salida del laberinto es más rápida siguiendo las paredes derechas o las paredes izquierdas.

2.5.1.4 Ubicación de sensores.

Los sensores para el robot laberinto van ubicados paralelamente a la pared, pero no es la mejor opción ya que al realizar el control de posición no se puede discernir si el robot se está alejando o acercando a la pared con el fin de evitar choques.

(Lima da Silva, 2015) Dicta el posicionamiento de sensores en los micro-mouse y (Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016) en su trabajo establecen que la mejor posición de los sensores es con un ángulo de 34° , de esta manera se permite un mayor rango de detección de distancia además de la prevención de una trayectoria libre a la derecha o izquierda con anticipación lo cual se observa en la Figura 2.4.

Figura 2.4. Medición de distancia con sensores a 34°



Disposición de sensores, Fuente: (Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016)

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT

3.1 Discernimiento de robots de competencia para el robot multi-categoría

Para conocer las características comunes entre los robots de competencia, con el fin de adaptarlas, integrarlas y formar el robot multi-categoría, se reunieron a todas las categorías a participar en el CER 2016 para clasificarlos en tablas, tomando en cuenta los reglamentos de cada categoría, su mecánica y el tipo de locomoción de cada robot, como se observa en: Tabla 3.1, Tabla 3.2, Tabla 3.3 y Tabla 3.4.

Para clasificar a los robots cuyo peso y dimensiones no están definidas (ND) en las reglas de cada categoría se tomó los datos conocidos según la mecánica que se observa en los concursos de robótica.

Tabla 3.1. Concentración de robots según sus dimensiones

Dimensiones						
No definidas (ND)	60cm alto	1x1x1 m	20x20x20 cm	15x15x15 cm	10x10x10 cm	5x5x5 cm
Bailarín	Humanoides	Batalla	Seguidor Velocista	Mini batalla	Fútbol	Micro sumo
Transformes	Pelea bípedos	Mini batalla	Mega Sumo	Laberinto	Mini sumo	
Volador			Trepador	Seguidor Destreza		

Concentración de robots según las reglas del CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Tabla 3.2. Concentración de robots según sus Pesos

Peso						
(ND)	30-100 g	100-250 gr	450-500 g	3 kg	30 lb	120 lb
Bailarín	Micro Sumo	Laberinto	Mini batalla	Mega Sumo	Mini Batalla	Batalla
Pelea bípedos	Trepador	Seguidor Velocista	Mini Sumo			
Fútbol		Seguidor Destreza	Bailarín			
Volador			Humanoides			

Concentración de robots según las reglas del CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Como resumen en la Tabla 3.1, se observa que las mayores concentraciones de robots con dimensiones similares están entre los 15 – 20 cm, mientras que en la Tabla 3.2, se observa que entre los 100-250g. y 450-500g. existe una mayor concentración de robots.

Tabla 3.3. Concentración de robots según su tipo de locomoción

Tipo de locomoción		
Ruedas	Patas	otro
Batalla	Bailarín	Transformes
Mini Batalla	Pelea de Bípedos	Trepador
Fútbol	Humanoides	Drones
Laberinto		
Seguidor Velocista		
Seguidor Destreza		
Mega Sumo		
Mini Sumo		
Micro Sumo		

Concentración de robots según las reglas del CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Se observa en la Tabla 3.3 que una mayor agrupación de robots usa ruedas como tipo de locomoción.

Tabla 3.4. Concentración de robots según el material de construcción

Material de construcción	
Metal	Plástico
batalla	bailarín
Mini Batalla	Futbol
Pelea de Bípedos	Humanoides
mega Sumo	Laberinto
mini Sumo	Seguidor Velocista
Micro Sumo	Seguidor destreza
	Trepador
	volador

Concentración de robots según las reglas del CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

En la Tabla 3.4 se observa que la mayor concentración de robots usa plástico como material de construcción.

Una vez hecha las concentraciones de robots según dimensiones, pesos, locomoción y material de construcción, las características relevantes entre robots se observan en la Tabla 3.5 como un resumen.

Tabla 3.5. Características relevantes entre robots

Características relevantes			
Dimensiones	Peso	Locomoción	Tipo de Material
15 - 20 cm Ancho x Largo x ND	100-250gr. a 450-500gr	Ruedas	Plástico

Características integrables para el robot multi-categoría, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Obtenidas las características más comunes se realizó etapas clasificatorias con el fin de obtener a los prototipos que integrarán al robot multi-categoría, como se muestra en la Figura 3.1.

Figura 3.1. Fixture clasificatorio al robot multi-categoría

Categorías	Dimensiones 15-20 cm	Peso 100-500gr	Construcción de Plástico	Locomoción Ruedas
Batalla 120 lb				
Bailarin				
Futbol				
Laberinto	→ Laberinto	→ Laberinto	→ Laberinto	→ Laberinto
Humanoides				
Mega Sumo	→ Mega Sumo			
Mini Sumo				
Mini Batalla 1lb	→ Mini Batalla 1 lb	→ Mini Batalla 1 lb		
Mini Batalla 30lb				
Micro Sumo				
Pelea de Bipedos				
Seguidor Velocista	→ Seguidor Velocista	→ Seguidor Velocista	→ Seguidor Velocista	→ Seguidor Velocista
Seguidor destreza	→ Seguidor destreza	→ Seguidor destreza	→ Seguidor destreza	→ Seguidor destreza
Volador				
Trepador	→ Trepador	→ Trepador	→ Trepador	

Fixture para clasificatorio del robot-multi-categoría, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Se obtuvo que los robots mejor cualificados para ser parte del robot multi-categoría son: robot laberinto, robot seguidor de línea velocista y seguidor de línea destreza, ya que las características de estos robots son similares en dimensiones, pesos,

locomoción y material de construcción con $15 \times 15 \times 15 \text{ cm} \pm 5 \text{ cm}$, 100 a 250 g, ruedas y plástico respectivamente.

Todas estas características especialmente el peso y dimensiones son integrables por su similitud en el robot multi-categoría.

3.2 Diseño del robot multi-categoría

Obtenidos los resultados de compatibilidad entre los robots que serán integrados en el multi-categoría, se determinó las características principales los diseños de chasis de cada uno de los robots, obteniendo como resultado una estructura de tipo modular la cual integre a los diferentes robots en uno solo.

3.2.1 Chasis modular del robot multi-categoría

Para el diseño modular del chasis se tomó en cuenta las distintas dimensiones y formas mecánicas de estos robots, es decir buscar la unión y adaptación del triángulo del Robot Velocista en conjunto con la forma circular del Robot Laberinto, por otro lado, el robot Seguidor Destreza no tiene un chasis establecido y se lo puede integrar a cualquier forma.

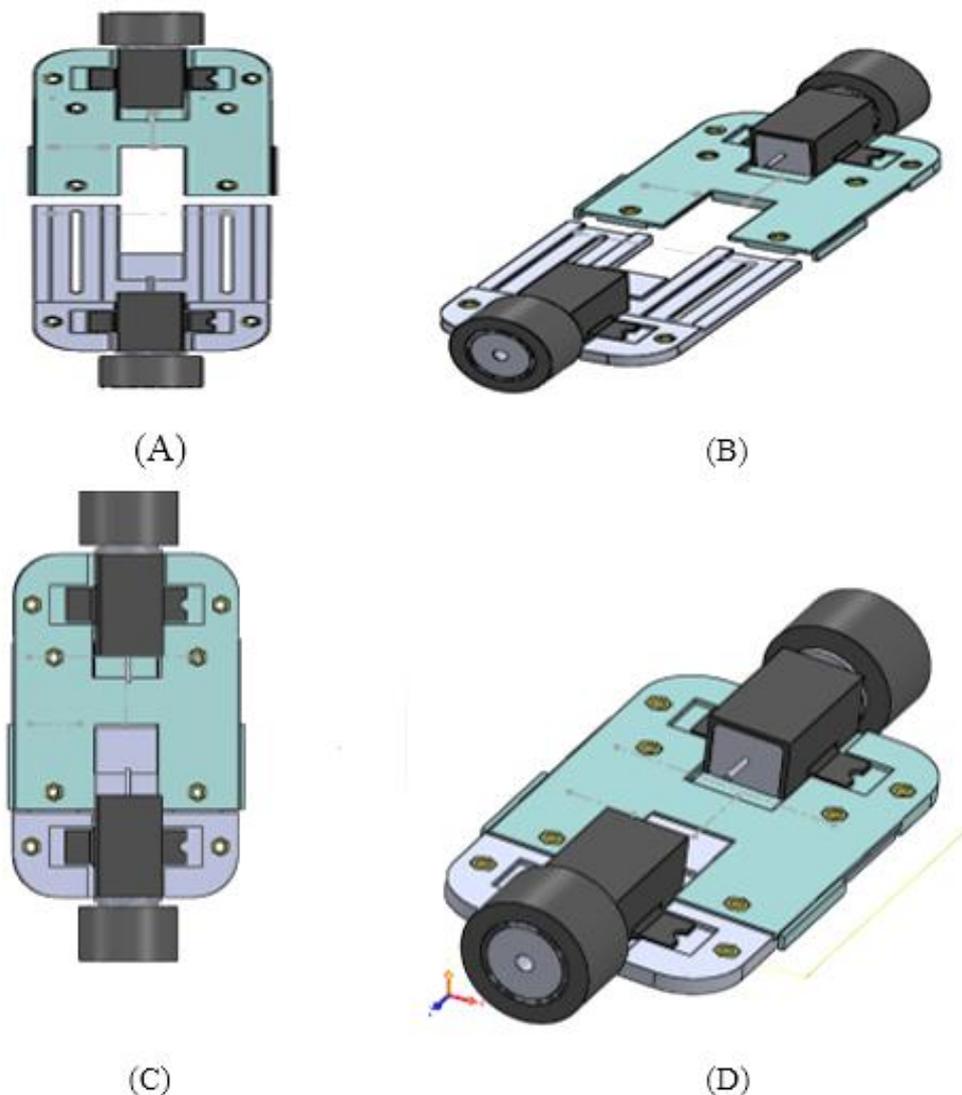
Para el robot velocista se toman las dimensiones recomendadas de la sección 2.4.1 de 12 cm de ancho entre ruedas y 15 cm de largo medido desde el eje de las ruedas a los sensores, pero como se aclara en la sección 2.5.1, las dimensiones del robot laberinto deben ser de $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ tomando en cuenta las medidas de ruedas y sensores.

Como el ancho de las ruedas ocupa una medida que va desde 2.6 - 4 cm en total se debe tomar ese factor en consideración para el ancho total del robot, es decir, si el seguidor de línea velocista tiene 12 cm de chasis sumando un ancho de 4 cm de las ruedas, tendrá un total de 16 cm, y algo similar con el robot laberinto, tomando en cuenta las medidas de las ruedas el tamaño final del chasis principal debe ser de 10 cm, y en la unificación del chasis del robot multi-categoría se tomó este punto a consideración, por lo tanto se buscó una forma de chasis que pueda variar su medida en lo ancho.

3.2.1.1 Diseño del chasis modular

Tomando en consideración lo dicho en la sección 3.2.1 , para que se pueda acoplar y desacoplar partes de un robot a otro se buscó un diseñar chasis principal, que sirva de base primaria para el acople de las piezas secundarias que definen la mecánica de cada robot, como se observa en la Figura 3.2 el chasis principal se divide en dos partes, con secciones tipo ranura de tal manera que el chasis pueda variar su medida para cambiar de modalidad, además de poseer tuercas adaptadas en los bordes para el acople de los chasis secundarios.

Figura 3.2. Chasis primario del robot Multi-categoría



(A) Vista superior, separación de ejes 12cm, (B) Vista isométrica superior, separación de ejes 12cm,

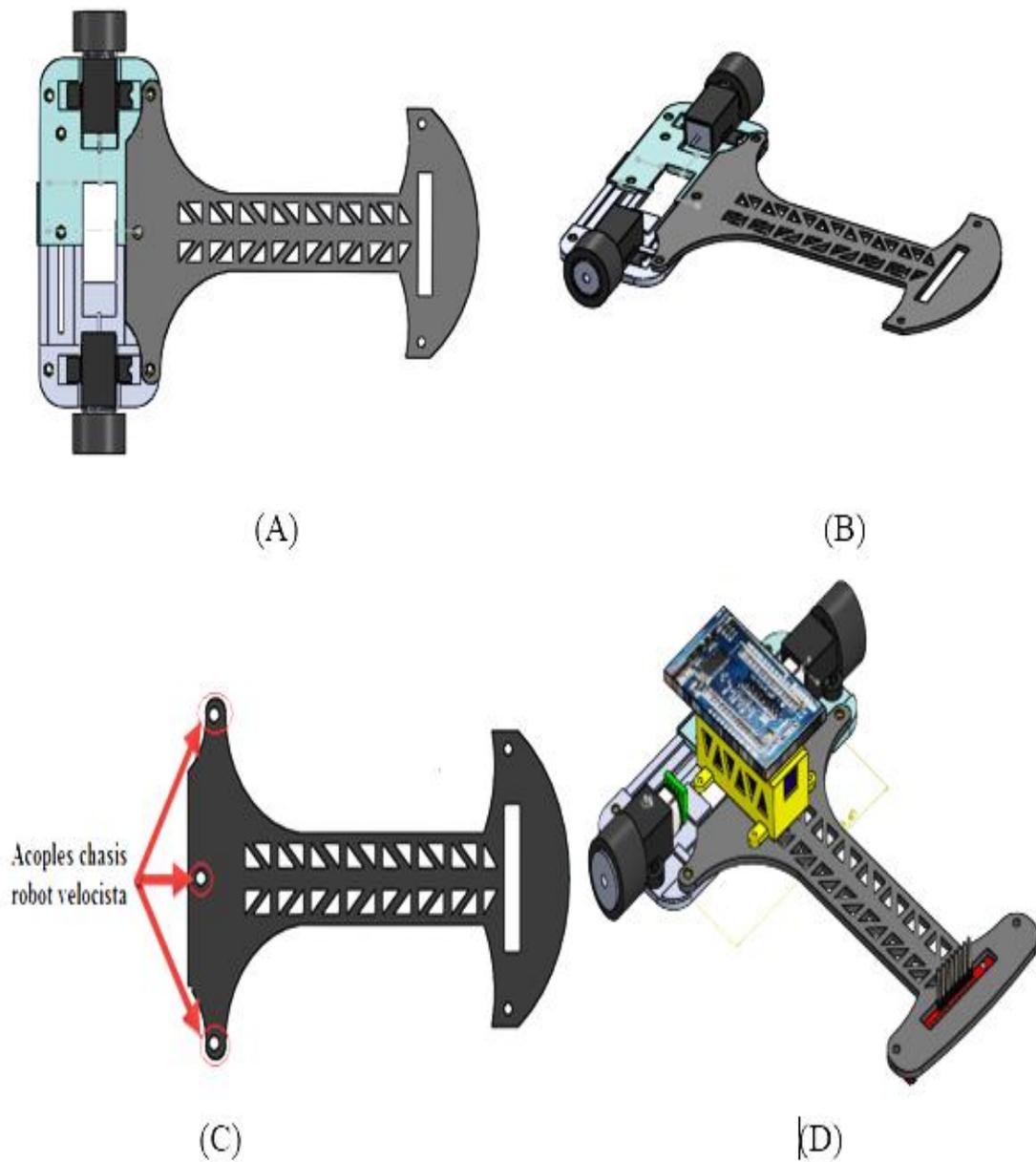
(C) Vista superior, separación de ejes 8 cm, (D) Vista isométrica, separación de ejes 8 cm.

Chasis principal, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz.

3.2.2 Adaptación de los robots al chasis principal

Para el chasis secundario que conforma el robot seguidor velocista se adoptó una forma de brazo aligerado que pueda acoplarse y sujetarse al chasis primario para obtener la forma en triángulo del robot velocista, como se muestra en la Figura 3.3.

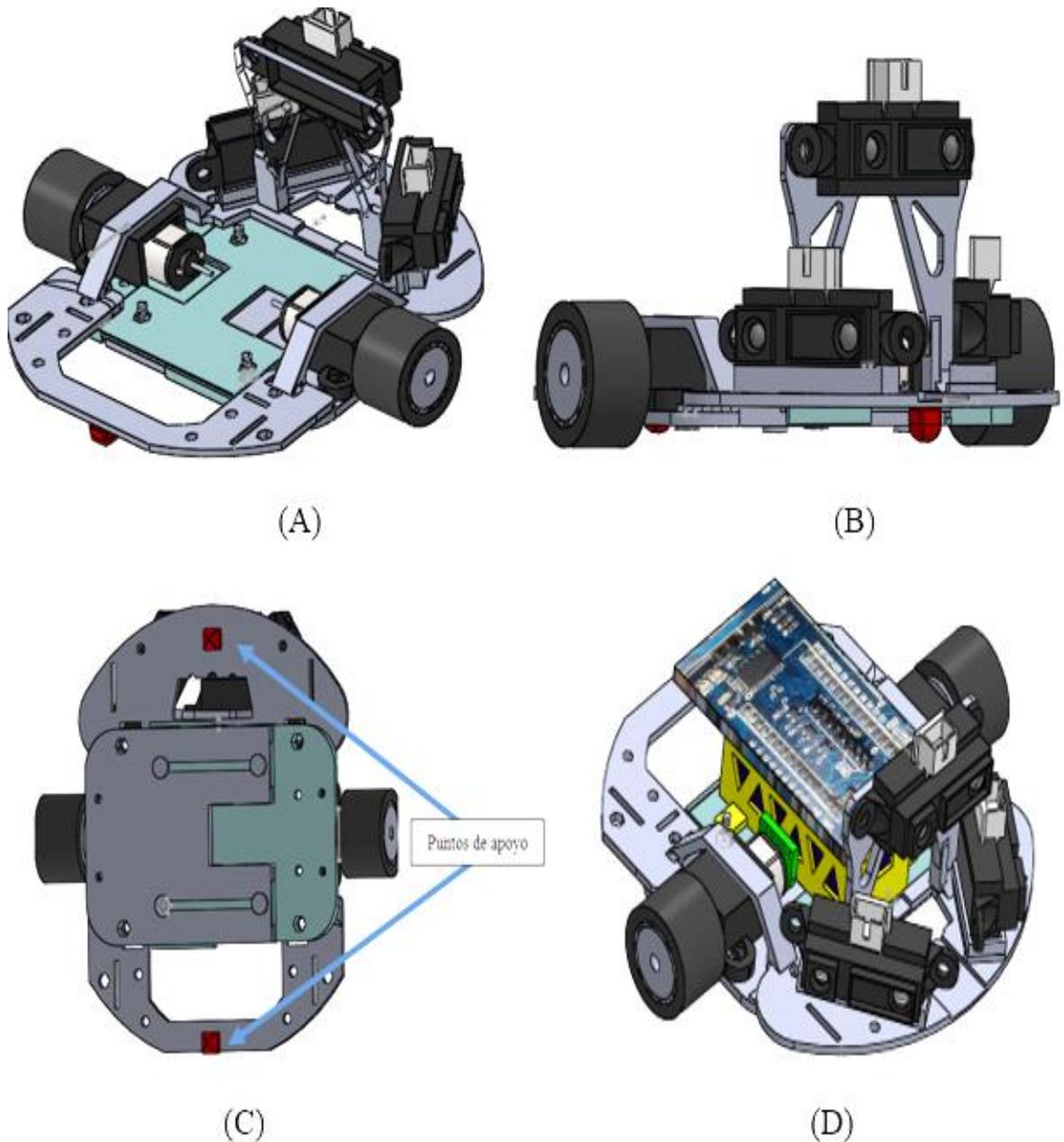
Figura 3.3. Chasis secundario robot modalidad seguidor de línea Velocista



Chasis secundario robot velocista, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

En el chasis secundario del robot laberinto se tomó la forma circular y para la sujeción del mismo posee cuatro puntos de acople al chasis principal, referente a la disposición de sensores que se nombra en la sección 2.5.1.3, se hizo bases unidas al chasis a 34° para colocar los dos sensores laterales, también se tomó en cuenta los puntos de apoyo que poseen estos robots los cuales en este caso son leds 5 mm , como se observa en la Figura 3.4.

Figura 3.4. Chasis secundario del robot en modalidad Laberinto

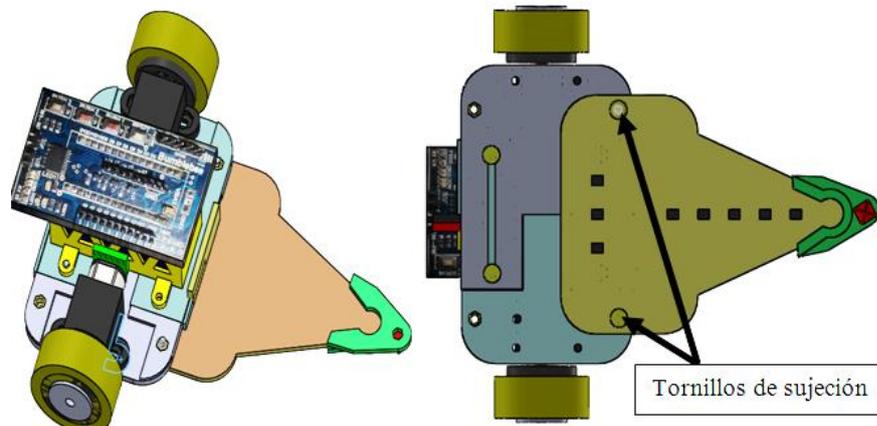


(a) Vista isométrica superior posterior izquierda, (b) Vista isométrica frontal izquierda, (c) Puntos de apoyo del chasis secundario modalidad laberinto, (d) Prototipo del robot en modalidad laberinto.

Chasis secundario para robot laberinto, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

En lo que se refiere al robot seguidor de línea destreza, lo importante en este robot es la distribución de sensores, los mismos que se acoplan al chasis principal, por medio de tornillos como se observa en la Figura 3.5.

Figura 3.5. Adaptaciones para el chasis del robot Seguidor de línea Destreza.



Chasis principal unido a placa de sensores, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

3.2.3 Motores y ruedas robot multi- categoría

Los motores son una parte esencial en los robots, estos deben ser seleccionados para que cumplan con las características necesarias de los tres robots que se integraran. Como se menciona en la sección 2.4.1.3 los robots velocistas dependen de las ruedas y de motores rápidos, estas características deben ser tomadas en cuenta en la integración de los robots.

Para el cálculo del torque requerido del robot multi-categoría se emplea la ecuación obtenida en (Neal, 2010), para lo cual es necesario conocer la masa total del robot, el radio de la rueda y la aceleración que se desea alcanzar con el mismo, para lo cual se aplica la Ecuación (3.1).

$$T = M * (a + g * \sin(\theta)) * r \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Donde:

- T : Torque del motor.
- M : Masa total del robot.
- a : Aceleración.
- θ : Ángulo del plano.

- g : Gravedad.
- r : Radio de las ruedas.

Para el caso del robot multi-categoría modalidad velocista se asume una masa de 150 g, este dato está basado en estudios y observaciones a prototipos de la categoría seguidor velocista, el radio de las ruedas es de 1 cm, se requiere llegar a una aceleración de $2 m/s^2$ que es ideal en competencia para estos robots y el ángulo θ sería cero ya que la pista es totalmente plana.

Resolviendo la ecuación con los datos conocidos:

$$150 g * \frac{1Kg}{1000g} = 0.15Kg$$

$$T = 0.15 Kg * 2 \frac{m}{s^2} * 0.01m = 0.003 N * m$$

Al ser los micro motores de marca Pololu, la tabla de torque está dada en oz/in, por lo tanto, se procede a realizar una conversión de unidades.

$$T = 0.003N * m * \frac{0.225 lb}{1N} * \frac{16 oz}{1 lb} * \frac{100cm}{1m} * \frac{1cm}{2.54 in} = 0.42 oz * in$$

$$T = 0.42 oz * in$$

Como se puede observar en la Figura 3.6 el micro motor 10:1 tiene un torque aproximado de 4 oz*in a una alimentación de 6v DC y una velocidad de 3000 RPM, lo cual es suficiente para cubrir con las necesidades del robot Multi-categoría modalidad velocista.

Tomando en consideración una rueda de 1 cm de radio, la velocidad máxima que podría alcanzar el robot en modalidad velocista se calcula con la Ecuación (3.2).

$$V = \frac{V_{RPM}}{60_{seg}} * 2\pi * r \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

$$V = \frac{3000}{60} * 2\pi * 1$$

$$V = 314.16 \frac{cm}{s} * \frac{1m}{100 cm}$$

$$V = 3.14 \frac{m}{s}$$

El valor de velocidad calculado es bajo condiciones ideales en una pista sin coeficiente de fricción, por lo tanto, es un valor teórico.

Figura 3.6. Características eléctricas y mecánicas micro-motor Pololu 10:1

Rated Voltage	Motor Type	Stall Current ⊕ Rated Voltage	No-Load Speed ⊕ Rated Voltage	Approximate Stall Torque ⊕ Rated Voltage	Single-Shaft (Gearbox Only)
6 V	high-power, carbon brushes (HPCB)	1600 mA	6000 RPM	2 oz-in	5:1 HPCB 6V
			3000 RPM	4 oz-in	10:1 HPCB 6V
			1000 RPM	9 oz-in	30:1 HPCB 6V
			625 RPM	15 oz-in	50:1 HPCB 6V
			400 RPM	22 oz-in	75:1 HPCB 6V
			320 RPM	30 oz-in	100:1 HPCB 6V
			200 RPM	40 oz-in	150:1 HPCB 6V

Catálogo de micro-motores Pololu, Fuente: (Pololu Robotics and Electronics, 2016)

Para el cálculo del torque necesario del motor para el Robot Multi-categoría modalidad laberinto, se emplea la Ecuación (3.1), tomando en consideración pesos estimados de los elementos que conforman al robot. Se tiene una masa teórica de 200g, ruedas de 1cm de radio, una aceleración de $1 m/s^2$ y ángulo θ cero, ya que el laberinto no tiene inclinaciones, por lo tanto, se obtienen los siguientes resultados.

$$T = 0.2 Kg * 1 \frac{m}{s^2} * 0.01 m$$

$$T = 0.002 N * m$$

Al ser los micro motores de marca Pololu, la tabla de torque está dada en oz/in, por lo tanto, se realiza una conversión de unidades.

$$T = 0.002 N * m * \frac{0.225lb}{1 N} * \frac{16 oz}{1 lb} * \frac{100 cm}{1 m} * \frac{1 in}{2.54 cm}$$

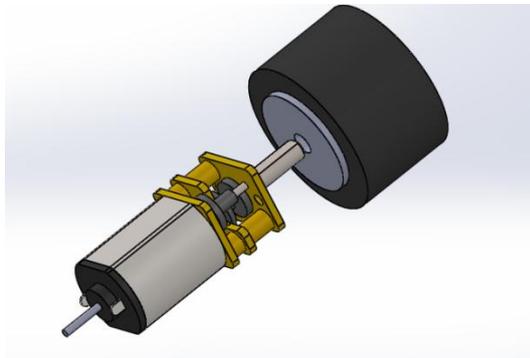
$$T = 0.28 \text{ oz} * \text{in}$$

De los resultados obtenidos se determina que el micro-motor con relación de velocidad 10:1, se ajusta para ser empleado también en el robot Multi-categoría modalidad laberinto y modalidad seguidor destreza.

Como se muestra en la Figura 3.6 las características eléctricas/mecánicas que proporciona el fabricante, este motor cumple con lo requerido por el robot para ser empleado en las categorías propuestas.

Para las ruedas del robot en esta sección se dijo que se utilizó ruedas de 1cm de radio incluyendo el rin y su recubrimiento, para acoplar la rueda al motor, el eje tiene una forma en D, la elección de las ruedas se desarrolló mediante pruebas de campo con la utilización de materiales como caucho silicón, gomas y espuma. El acople de la rueda se puede ver en la Figura 3.7.

Figura 3.7. Motor 10:1 y rueda



Muestra del acople del motor y rueda, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

3.3 Diseño electrónico del Robot Multi-categoría

El robot está conformado por varios sistemas electrónicos tales como: sistema de control, driver de potencia para el accionamiento de motores, sistema sensorial, sistema de comunicación e interfaz con el usuario.

3.4 Controlador de potencia

Para el accionamiento de los motores es necesario un driver de potencia el cual suministra la corriente necesaria a los actuadores. La elección del driver se realizó

tomando en cuenta la corriente de arranque y la corriente nominal de los motores, sin descuidar el tamaño y peso del driver, estos son factores primordiales en los robots de competencia.

En la Figura 3.6 se observa una corriente máxima en el motor de 1.6A a 6v, lo cual se debe considerar para la elección del driver de potencia, se revisó algunas opciones disponibles en el mercado ecuatoriano y se optó por el driver TB6612FNG. Las características entregadas por el fabricante (Toshiba, 2008) son:

- Driver dual
- Freno eléctrico
- Voltaje de motor: 4.5 a 13.5 V.
- Voltaje lógico: 2.7 a 5.5 V.
- Salida de corriente máxima por canal: 3.2 A.
- Salida de corriente continua: 1.2 A.
- Máxima frecuencia de PWM: 100 kHz

Para que el driver del motor no afecte al microcontrolador se usó capacitores de tantalio y cerámicos con el fin de evitar el ruido, como lo recomienda el fabricante (Toshiba, 2008) en las hojas de especificaciones técnicas.

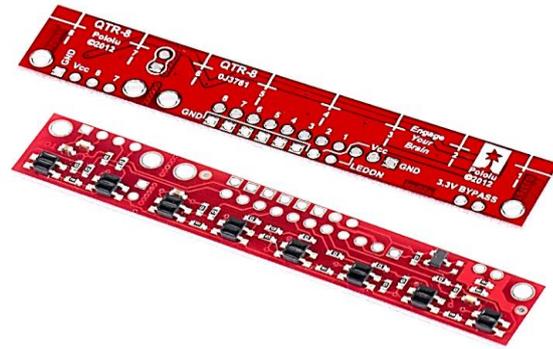
3.5 Sistema sensorial

Entre los sensores optados para el robot multi-categoría están: sensores infrarrojos y encoder magnético.

3.5.1 Sensores de línea

Para los robots seguidores de línea se usan los sensores nombrados en la sección 2.4.1.2, en el robot modalidad Velocista se usó un arreglo de sensores QTR-6A, la cual posee 6 sensores infrarrojos QRE1113, cada sensor tiene una salida análoga independiente, además existe librerías del sensor para facilitar su uso en la plataforma Arduino, al sensor se lo observa en la Figura 3.8.

Figura 3.8. Sensor de reflectancia analógico QTR-8^a



Sensor para seguidor velocista, Fuente: (Pololu Robotics and Electronics, 2016)

Características del sensor entregadas por el fabricante (Fairchild Semiconductor , 2009):

- Consumo de corriente: 100 mA
- Tipo de salida: tensión analógica
- Distancia óptima de detección: 3 mm
- Máxima distancia recomendada de detección: 6 mm
- Voltaje de operación: 3.3-5.0 V

Para el robot multi-categoría modalidad Destreza se usó el mismo tipo de sensores, pero en forma de T, como se observa en la Figura 3.9.

Figura 3.9. Sensor de reflectancia analógico en forma de T



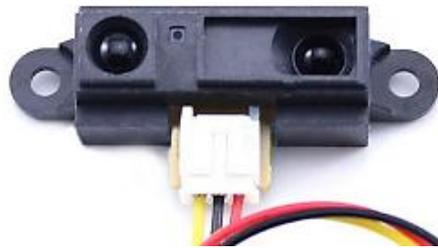
Sensor de línea para Seguidores Destreza, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

3.5.2 Sensores de distancia

Para el robot multi-categoría modalidad Laberinto, como se explica en la sección 2.5.1.3, el tipo de sensores que se utilizan son de tipo analógicos Sharp GP2Y0A41SK0F. Ver Figura 3.10.

El sensor Sharp es de tipo infrarrojo y mide la distancia del objeto por medio de la cantidad de radiación reflejada en la superficie reflectiva, el mayor inconveniente de estos sensores es que su funcionamiento se ve afectado por la luz ambiental. (Sharp Microelectronics)

Figura 3.10. Sensor de distancia Sharp de 4 – 30 cm



Sensor Sharp GP2Y0A41SK0F, Fuente: (Pololu Robotics and Electronics, 2016)

Características principales entregadas por el fabricante (Sharp Microelectronics):

- Tensión de funcionamiento: 4.5v a 5.5v.
- Tipo de salida: voltaje analógico.
- Rango de medición: 4-30cm.
- Periodo de actualizaciones: 16.5 – 4 ms.

3.5.3 Encoder

Para el control y depuración de los algoritmos en el robot se decidió usar encoders magnéticos compatibles con los micro motores de eje extendido, los cuales tienen dos salidas en cuadratura con desfase de 90°, para obtener la velocidad de un motor basta con una salida, pero para determinar el sentido de giro es necesario usar las dos señales. El encoder y su acople al motor se observa en la Figura 3.11.

Figura 3.11. Encoder magnético para Micro motores de eje extendido



Encoder magnético Pololu, Fuente: (Pololu Robotics and Electronics, 2016)

Características del sensor entregadas por el fabricante (Infineon Technologies AG ©, 2007) :

- Voltaje de funcionamiento: 2.7v a 18v.
- Pulsos por revolución: 12
- Salida digital en cuadratura
- Conexión directa al sistema de control

3.6 Sistema de comunicación

Con el fin de calibrar los algoritmos de control del robot se realizó una comunicación con el módulo Bluetooth HC-05, el cual tiene una comunicación serial y bidireccional con un alcance hasta 10 metros a 9600 baudios. (HC Information Technology, 2005)

3.7 Sistema de control

En la implementación del robot multi-categoría se optó por usar la plataforma libre Arduino Nano, por la forma del robot multi-categoría es necesario un sistema de control que pueda cambiar de lugar fácilmente, sea compacto, de simple comunicación con el computador, posee una mayor cantidad de pines utilitarios a pesar de su reducido tamaño, el Arduino Nano posee un micro controlador ATmega 328P, las características se pueden observar en la Figura 3.12.

Figura 3.12. Especificaciones del ATmega328P

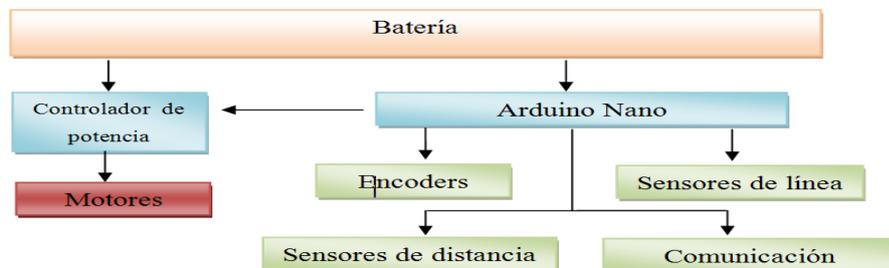
- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller Family
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32KBytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1KBytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2KBytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change

Características del micro controlador ATmega328, Fuente: (ATMEL, 2015)

3.8 Sistema de alimentación

Para este sistema se ha utilizado una batería de polímero de litio con un voltaje nominal de 7.4v con el fin de alimentar a todos los sistemas mencionados en la sección 3.3 , esto se puede observar en la Figura 3.13.

Figura 3.13. Alimentación de energía

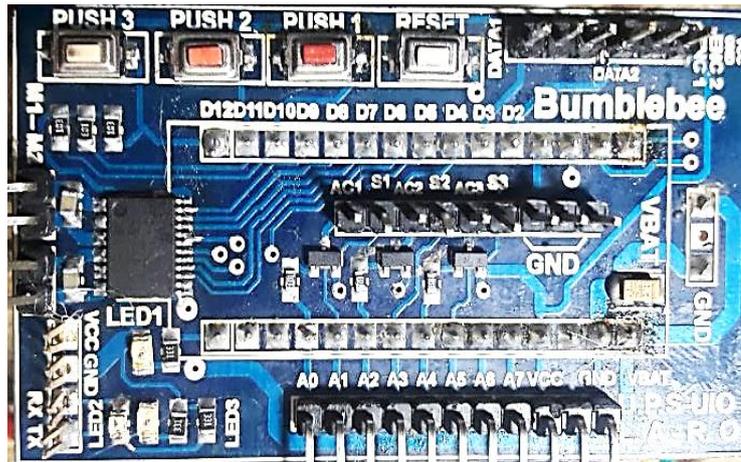


Sistema de alimentación, Elaborado por: Rubén Orellana

3.9 Diseño de la placa de control

Para acoplar al robot multi-categoría los distintos sensores y cumplir con las características electrónicas de las diferentes modalidades del robot, se realizó una placa de control la cual unifique los sistemas electrónicos de los distintos robots. Ver Figura 3.14.

Figura 3.14. Tarjeta de control del robot multi-categoría



Tarjeta de control, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

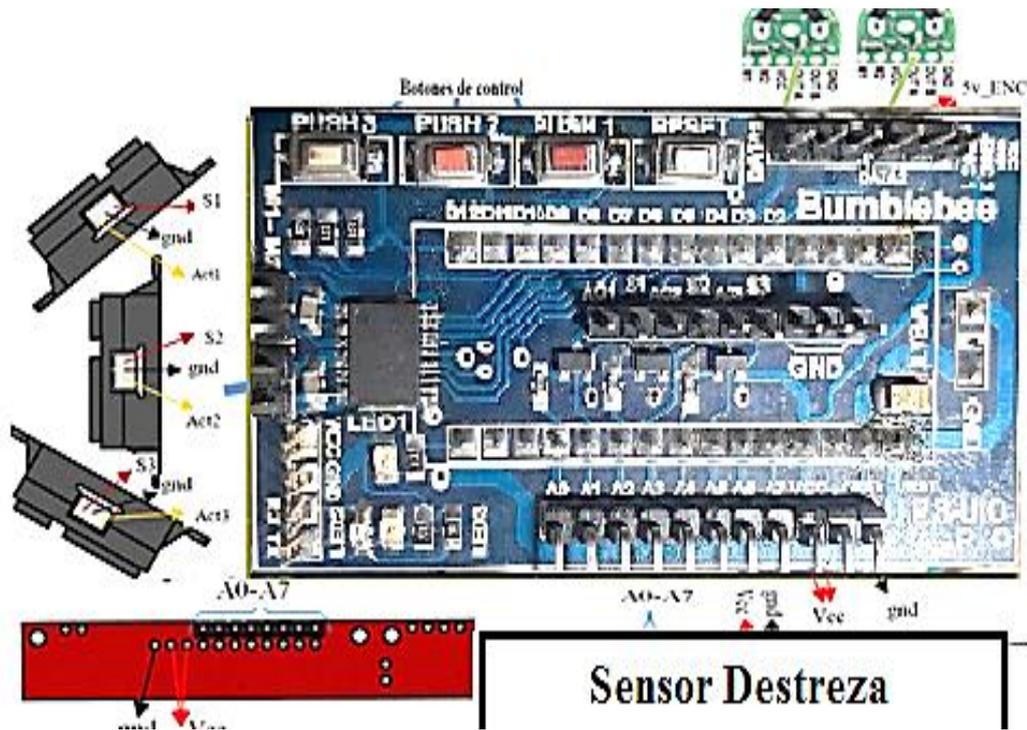
El esquemático de la tarjeta de control se lo puede observar detalladamente en el Anexo 2. En lo que se refiere al driver de motor TB6612FNG se debe revisar las hojas de datos del fabricante (Toshiba, 2008) para comprender su funcionalidad y las conexiones requeridas.

En el robot multi-categoría se usó en su mayoría sensores analógicos para lograr una integración electrónica. Como se observa en la Figura 3.15 los sensores Sharp, los sensores de línea en forma recta y en T comparten los pines analógicos de la placa de control, con esta integración se facilita la conexión y desconexión de sensores al cambiar de una modalidad a otra.

Para la eficiencia de la batería, el encendido y apagado independiente de cada sensor Sharp izquierdo y derecho para el robot en modalidad laberinto se lo hace medio de jumpers.

En los encoders, se hizo la lectura de una sola señal por parte de la placa de control de las dos que posee el encoder, ya que únicamente se necesita conocer la velocidad de las ruedas o el conteo de pulsos para determinar el desplazamiento de las ruedas.

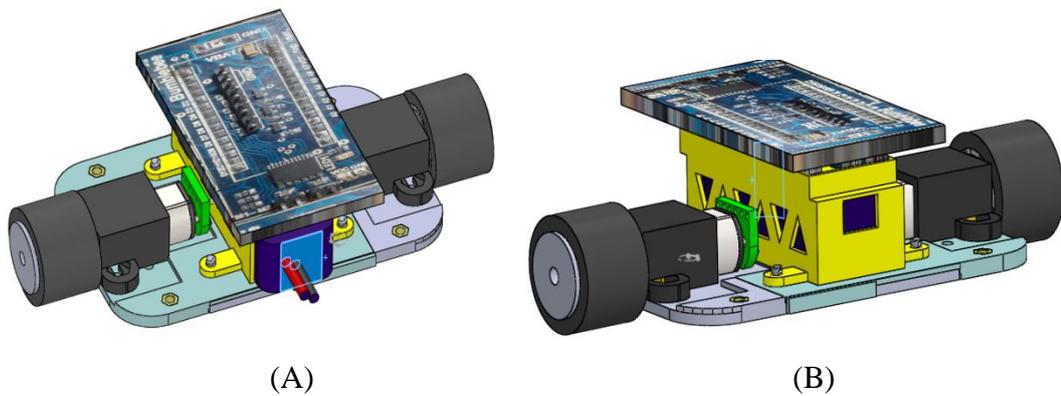
Figura 3.15. Conexiones modulares del robot multi-categoría

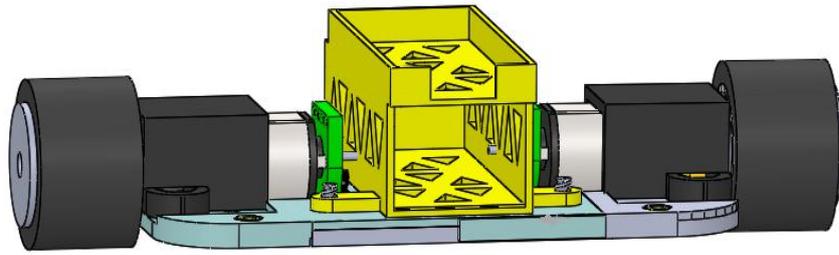


Conexiones modulares, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Para acoplar el sistema de control y la batería al prototipo en sus diferentes modalidades se ha diseñado un frame aligerado de dos pisos, se ha puesto en el 1er piso del frame a la batería, la cual es el elemento de mayor peso, y en el 2do piso al sistema de control (Arduino Nano y placa de control) con el fin de bajar el centro de gravedad y mantener el peso balanceado. En la Figura 3.16 se puede observar el frame y el acople de la batería.

Figura 3.16. Frame para sistema de control y batería





(C)

(A) Vista isométrica superior posterior, (B) Vista isométrica frontal izquierda, (C) vista posterior de la estructura mostrada al detalle.

Frame aligerado en chasis principal, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE SOFTWARE

Para cumplir con los objetivos funcionales del robot multi-categoría en las distintas modalidades se desarrollaron los algoritmos de control en el entorno de programación Arduino.

4.1 Arquitectura de software para el robot modalidad velocista

Para la programación de la modalidad velocista se usó las librerías del sensor de línea y también funciones con el fin de ser llamadas desde el programa principal.

4.1.1 Función calibración de sensores

Para los sensores de línea QTR-8A existen librerías que se pueden descargar de la página de Pololu, la función de la librería permite calibrar los sensores de línea con el fin que se adapten a las condiciones de luz del entorno. Para la calibración de los sensores se coloca al robot sobre la pista y se lo hace girar de modo que los sensores pasen sobre las superficies blanca y negra con el fin de guardar los valores máximo y mínimo de cada sensor en un array de la librería. En la Figura 4.1 se observa el diagrama de flujo de la función calibración de sensores.

Figura 4.1. Diagrama de calibración de sensores

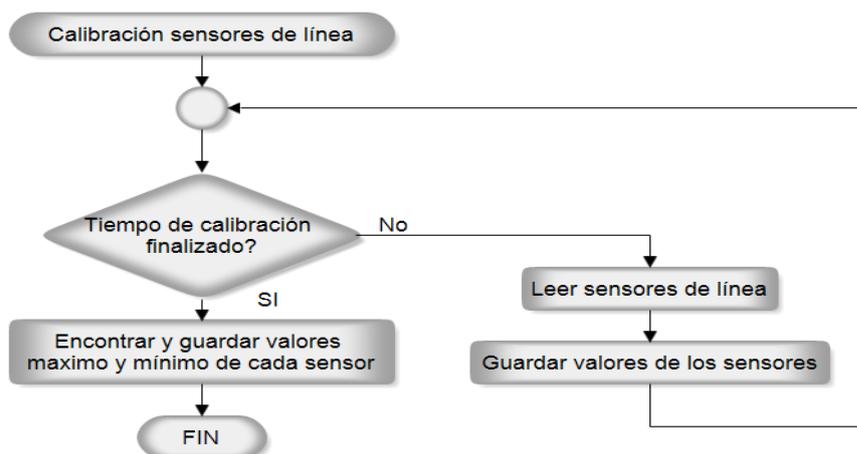


Diagrama de calibración de los sensores QTR, Elaborado por: Rubén Orellana

La librería de los sensores QTR-8A entrega un método llamado `sensorValúes` la cual es diseñada para seguir la línea, esta función devuelve una posición estimada de la línea. La estimación que realiza la librería es por medio de un ponderado, para mayor

información revisar la página del vendedor Pololu, de manera que, si el valor de retorno es 0, este indica que la línea está en medio del array de sensores, si los valores son positivos, indica que el sensor tiene desviación hacia la izquierda, por otro lado, si son negativos, indica desviación del sensor a la derecha. Los valores que regresa la librería sirven para realizar el cálculo de error de posición, el diagrama de flujo sobre el cálculo de error de posición se presenta en la Figura 4.2.

Figura 4.2. Cálculo del error de posición

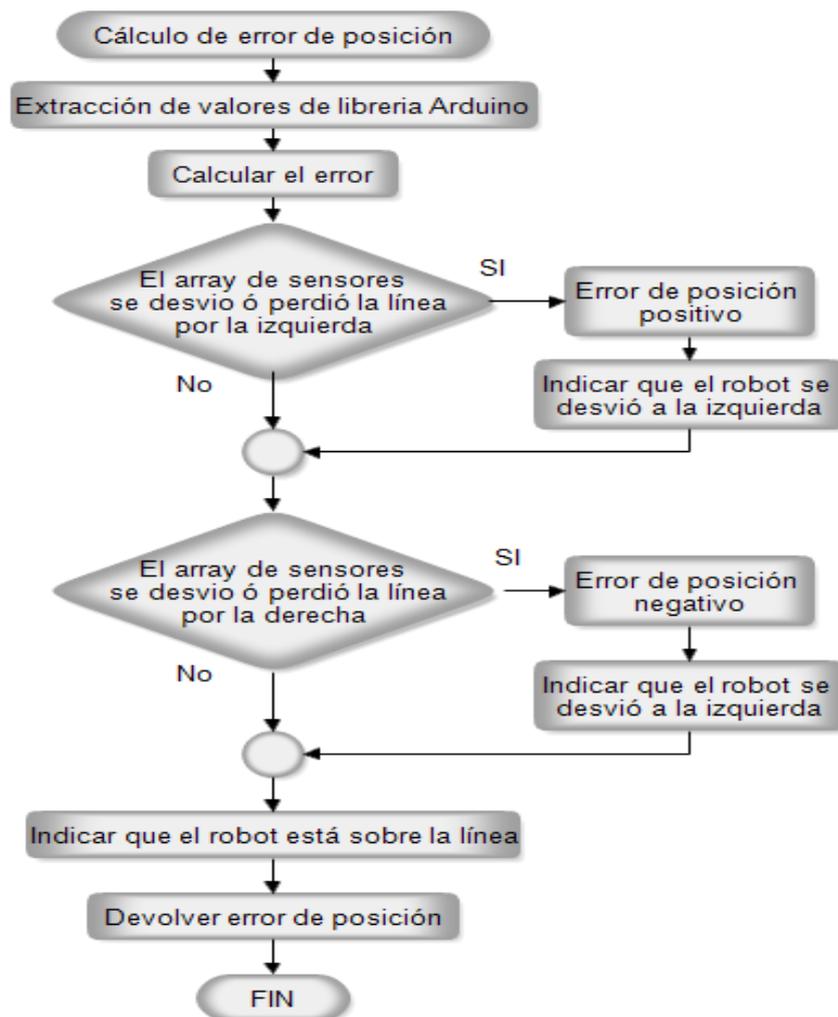


Diagrama de flujo de la función cálculo del error de posición, Elaborado por: Rubén Orellana

4.1.2 Sistema de motores

En este sistema, se describe las funciones que permiten controlar la velocidad de los motores, también se puede escoger el sentido de giro, además de la realización de una modulación por ancho de pulso (PWM).

4.1.3 Función para el control de motor derecho/izquierdo

Estas funciones se encargan del control y activación del driver de potencia (TB6612 FNG) para el accionamiento de los motores.

El control de los motores se lo realiza mediante funciones tanto para el motor derecho como para el izquierdo, en la Figura 4.3 se muestra el ejemplo de control del motor derecho.

Figura 4.3. Control del motor derecho

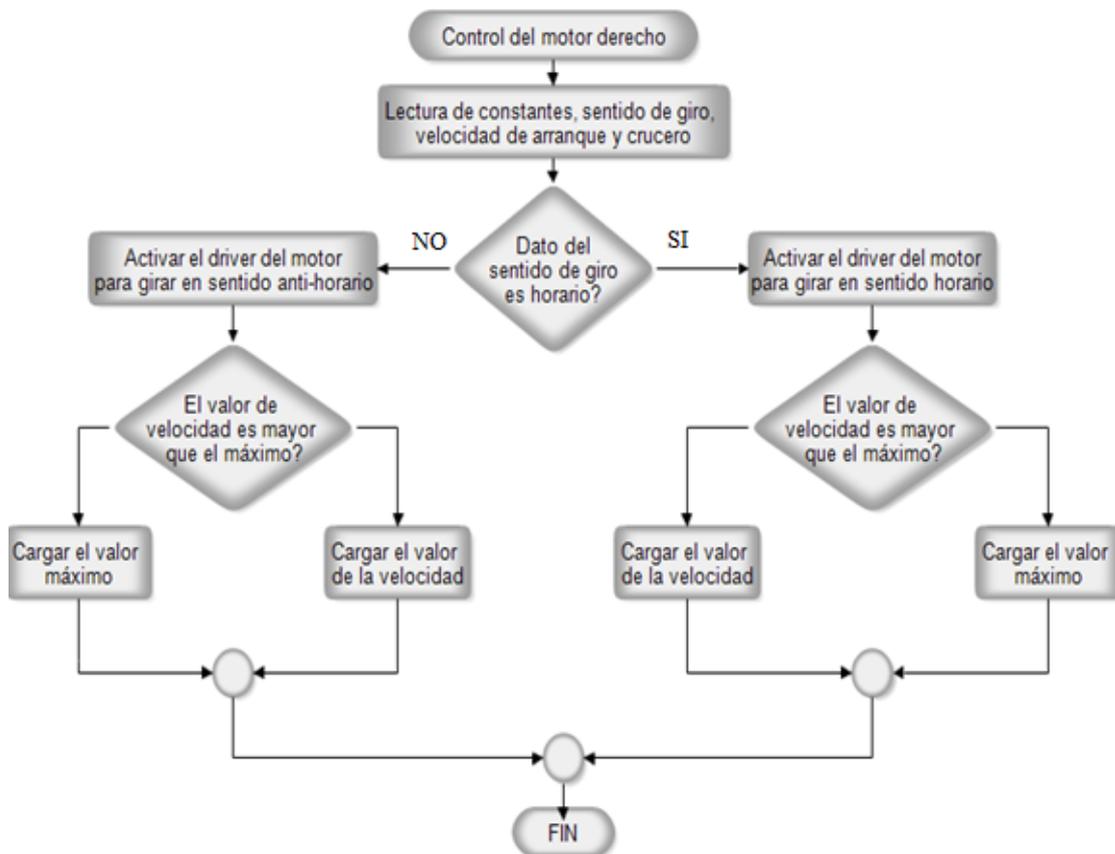


Diagrama de flujo de la función control del motor derecho, Elaborado por: Rubén Orellana

4.1.4 Arranque

Para que el robot rompa la inercia al momento del arranque se ha creado una rampa de aceleración, dando un incremento de velocidad hasta la velocidad de cruce, es decir la velocidad seteada por el usuario según la pista a recorrer, esta actividad de arranque se debe realizar cuidadosamente ya que puede volver inestable al robot.

El sistema de control para el robot tipo velocista es de tipo proporcional derivativo PD, con el fin que el prototipo siga la línea a alta velocidad con un error cercano a cero.

El diagrama de flujo del control PD (proporcional y derivativo) se puede observar en la Figura 4.4, la función posee las contantes del proporcional y derivativo, velocidad de cruceo.

Figura 4.4. Control tipo proporcional derivativo (PD)

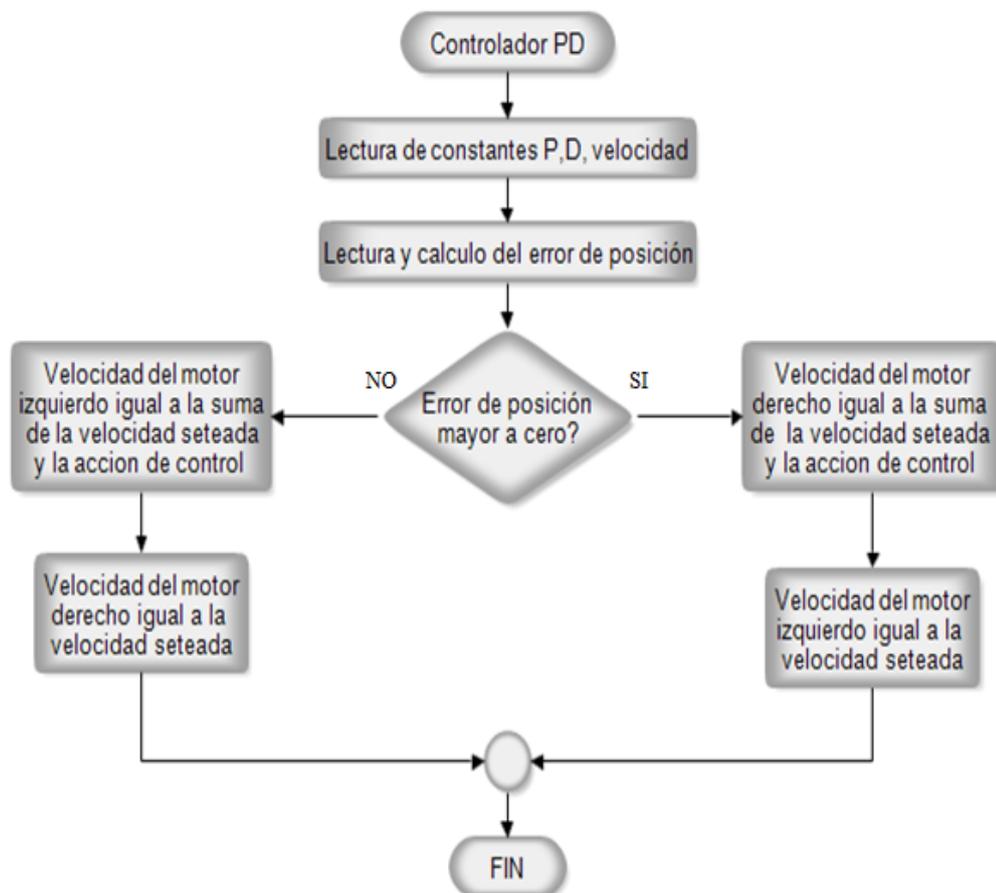


Diagrama de flujo del controlador PD, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

4.2 Arquitectura de software para el robot en modalidad Laberinto

Para la programación de la modalidad laberinto se usó funciones con el fin de ser invocadas en el programa principal.

4.2.1 Lectura de sensores

Esta función realiza la medida de la distancia de cada sensor a la pared, para determinar si existe o no pared. En la Figura 4.5 se puede observar el diagrama de flujo.

Figura 4.5. Diagrama de flujo de la función detección de paredes

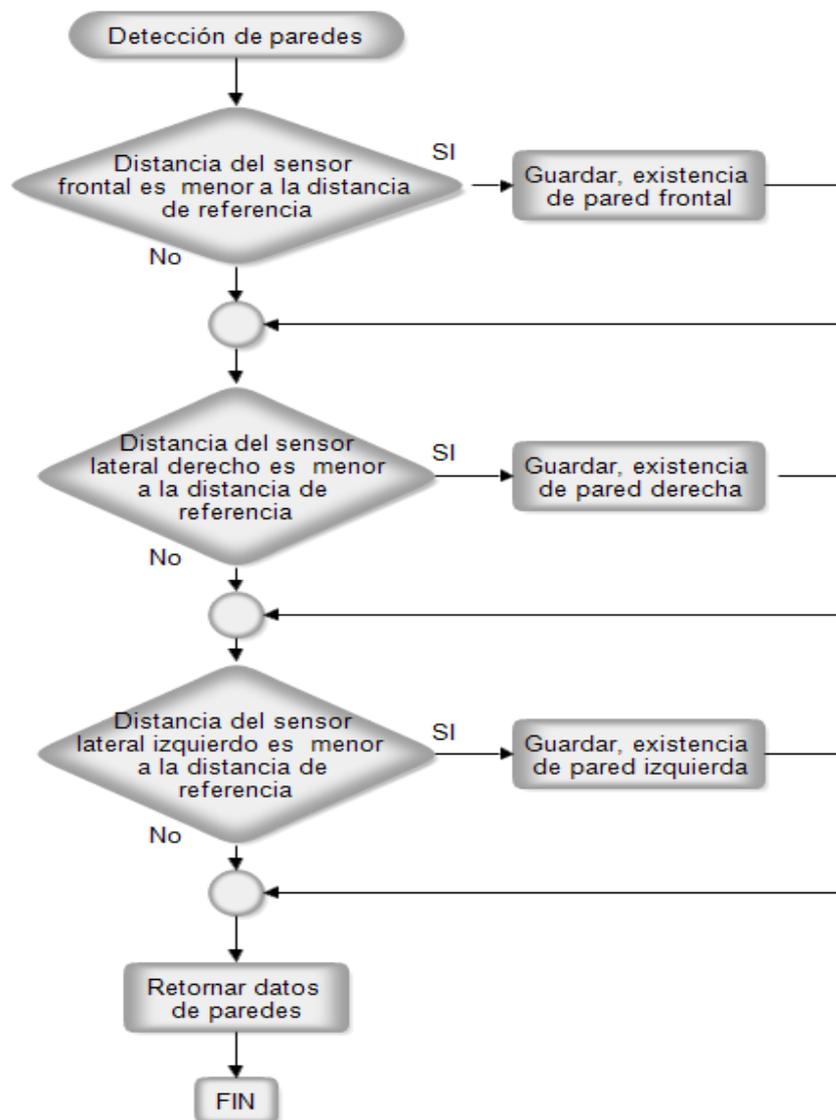


Diagrama de flujo de la función detección de paredes, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

4.2.2 Error de posición

Con el fin de que el robot al momento de navegar por el laberinto no se choque, se crea una función para calcular el error de la posición, para el cálculo del error se resta la lectura de distancia del sensor a la pared con el set point establecido.

En la Figura 4.6 se observa el diagrama de flujo de la función obtener error para la pared izquierda.

Figura 4.6. Diagrama de flujo del error de posición

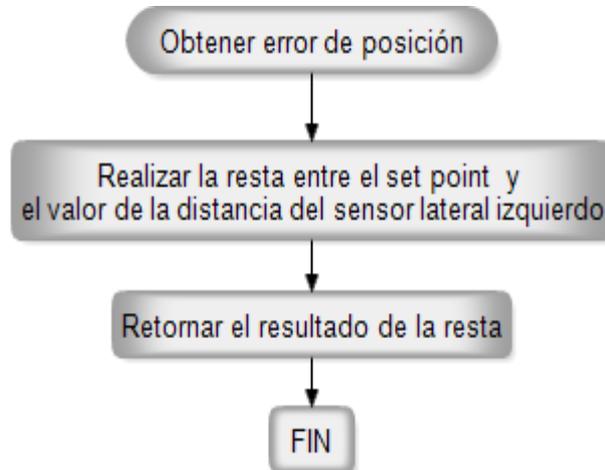


Diagrama de flujo error de posición, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

4.2.3 Módulo de control

Para el control del robot en modalidad laberinto se implementó un control proporcional derivativo (PD), para controlar el desplazamiento del robot por el laberinto se usan funciones o casos, los casos que se usan son: avance con pared derecha o izquierda, giro a la izquierda o derecha en su propio eje, girar a la derecha o izquierda con un cierto radio.

4.2.4 Función avance pared izquierda o derecha

Para avanzar y navegar a través del laberinto en el centro de la celda, tomando como referencia la pared izquierda o derecha, se mide el error de posición con la pared izquierda o derecha y se utiliza el control proporcional derivativo (PD). La velocidad del robot está dada por la acción de control y la velocidad de cruce (velocidad de desplazamiento). En la Figura 4.7 se observa el ejemplo de flujo del avance con la pared izquierda.

Figura 4.7. Diagrama de flujo del avance con pared izquierda

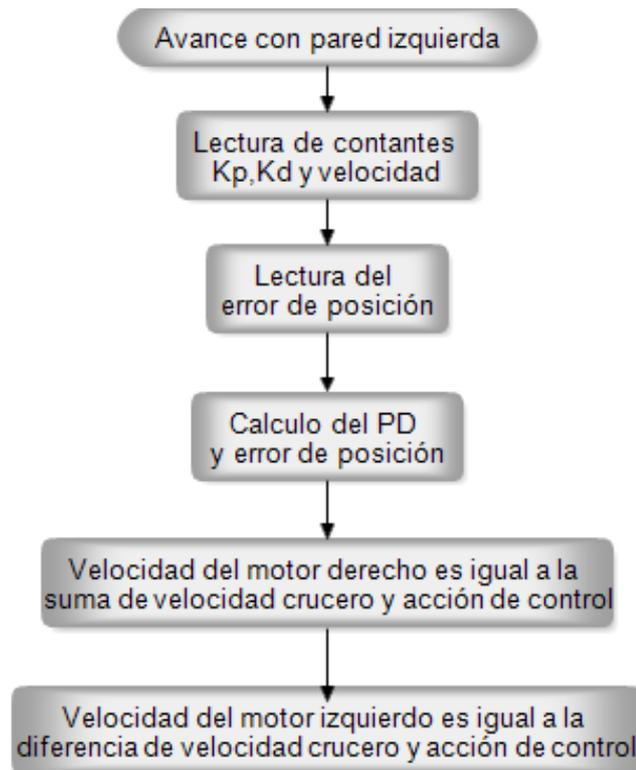


Diagrama de flujo avance pared izquierda, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

4.2.5 Función girar a la derecha/izquierda

Para la realización de los giros ya sean estos a la izquierda o derecha, debe existir una diferencia de velocidades entre los motores con el fin de lograr el radio de curvatura deseado, cabe recalcar que la velocidad asignada a cada motor dependerá de la calibración del controlador PD y también de la velocidad de cruce asignada.

4.2.6 Algoritmo de la mano derecha o izquierda

Con el fin de lograr salir del laberinto por parte del robot se usa el seguimiento de la pared, ya sea la derecha o izquierda dependiendo de lo escogido, en el algoritmo de la mano derecha siempre se seguirá la pared derecha mientras la tenga, y si no existe el robot girará a la derecha, realizando las mismas acciones hasta la salida del laberinto. Por otro lado, el algoritmo de la mano izquierda funciona de la misma manera, pero con la pared izquierda, en la Figura 4.8 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de la mano izquierda.

Figura 4.8. Diagrama de flujo del algoritmo de la mano izquierda

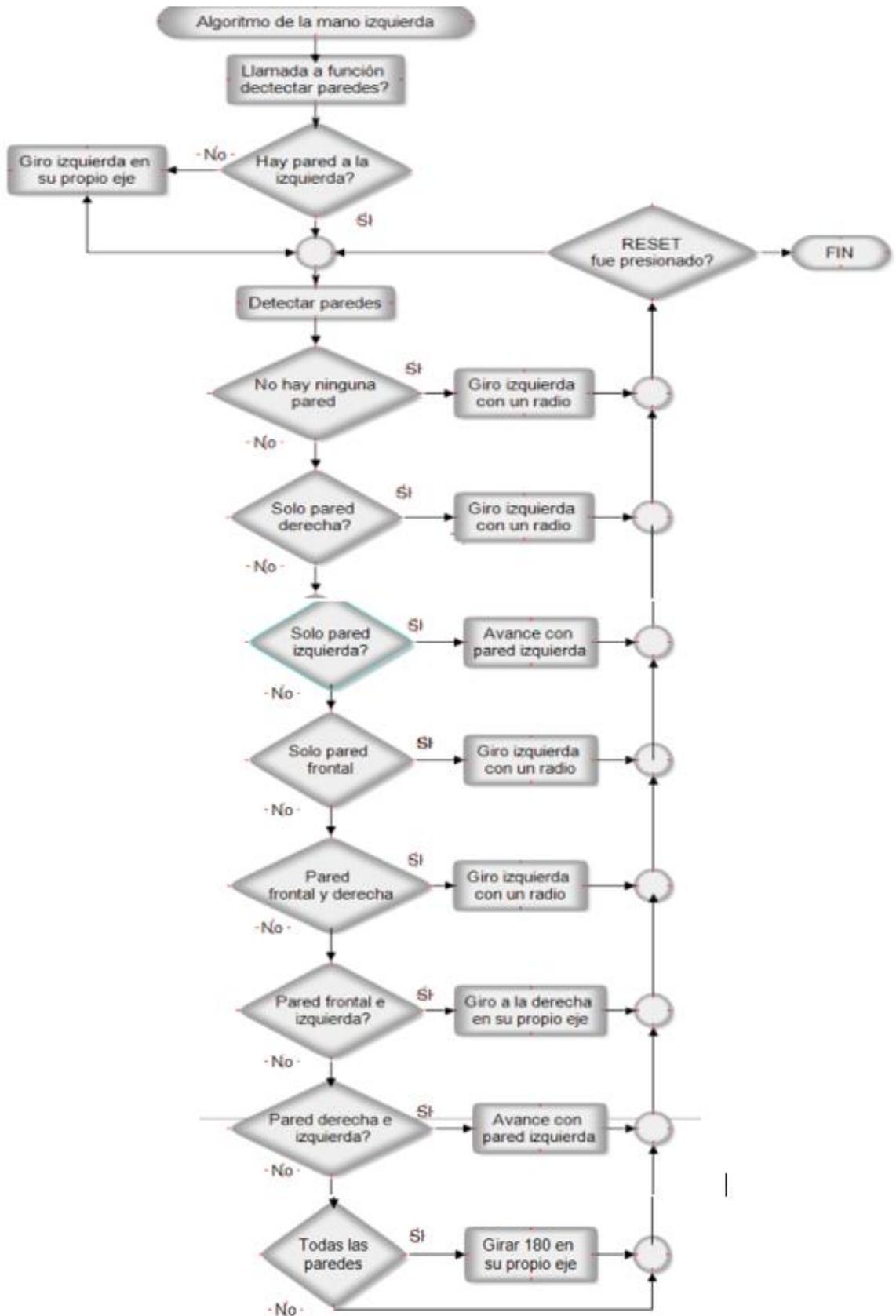


Diagrama de flujo algoritmo de la mano izquierda, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

4.3 Diagramas de flujo del robot en modalidad destreza

Para el control de este robot y con el fin de que el prototipo logre finalizar el complejo recorrido propuesto en la categoría seguidor destreza, se desarrolló un algoritmo basado en múltiples condiciones, además de una calibración estándar de los sensores infrarrojos.

Para la calibración de los sensores se ha realizado una función, en la misma se ha tomado valores en distintas superficies y se realizó un acondicionamiento de valores máximos y mínimos, el diagrama de flujo de dicha actividad se puede observar en la Figura 4.9.

Figura 4.9. Diagrama de flujo del acondicionamiento sensores

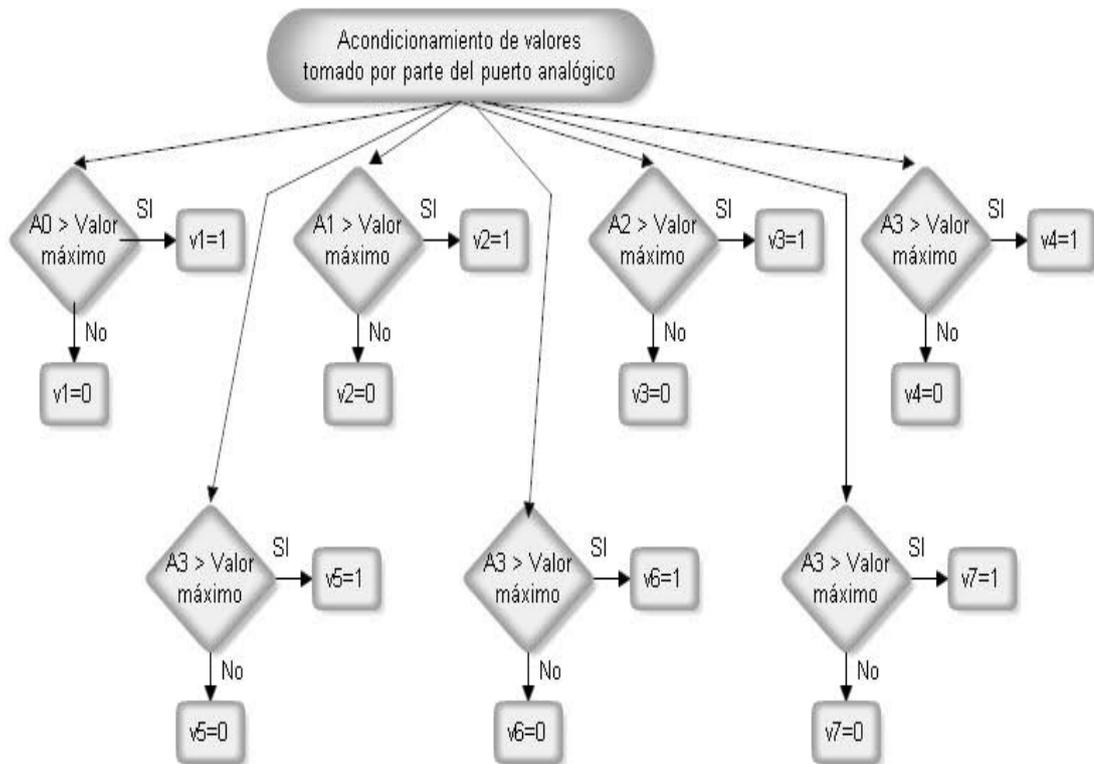


Diagrama de flujo de la función acondicionamiento, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Una vez realizada dicha función se procede con el algoritmo general, en cual realiza todas las condiciones basándose en los valores de los sensores, dicha acción se puede observar en la Figura 4.10.

Figura 4.10. Diagrama de flujo general del robot en modalidad seguidor destreza

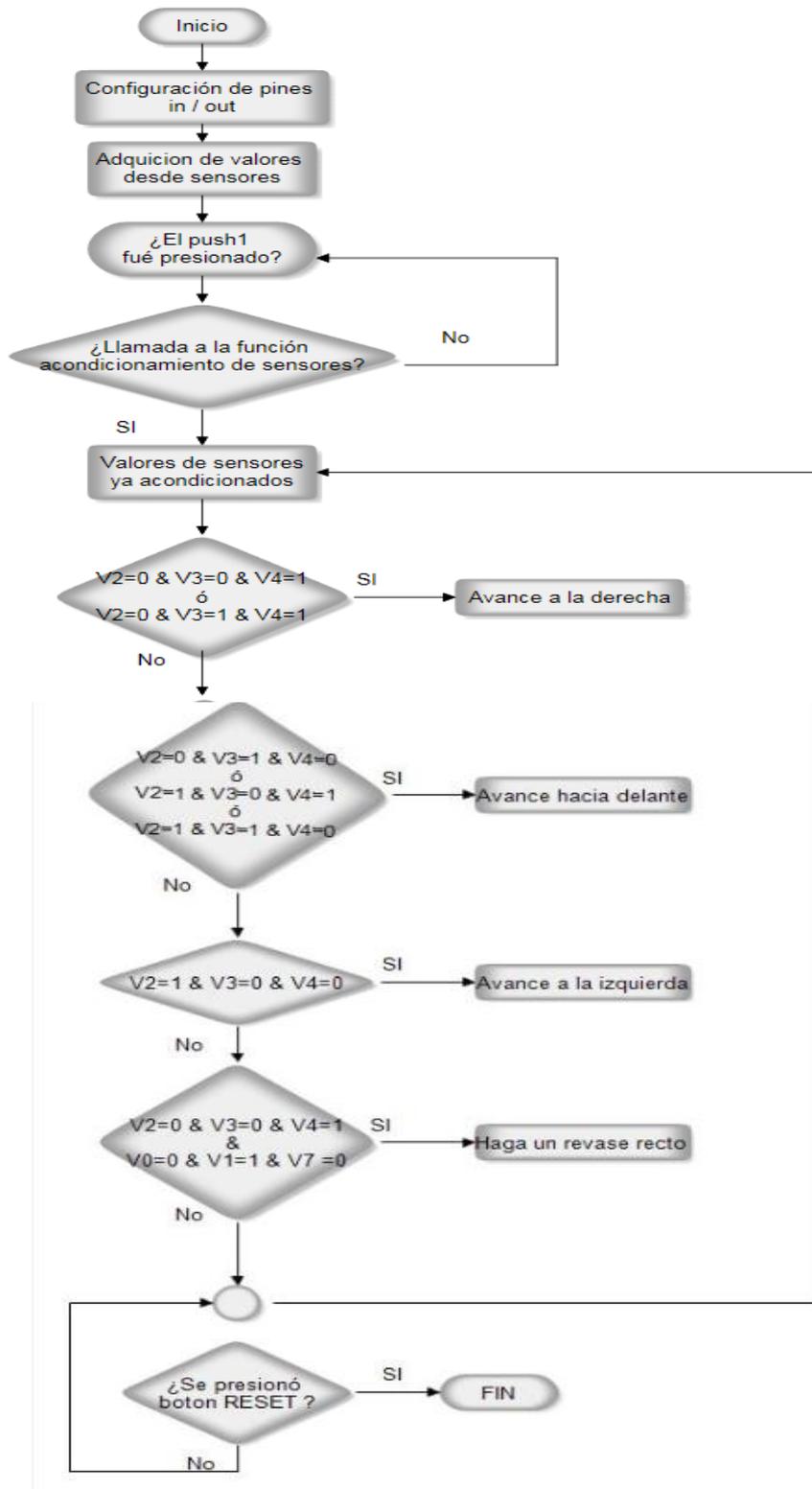


Diagrama de flujo general, modalidad destreza, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

CAPÍTULO 5

PRUEBAS – RESULTADOS, REDISEÑOS Y MEJORAS

5.1 Pruebas en el robot multi-categoría modalidad Velocista

Para la validación del hardware y software del robot se realizaron pruebas en distintas pistas réplicas del CER de esta categoría, para comparar resultados, observar fallos y lograr rediseños en hardware y/o software con el fin de mejorar al robot de esta modalidad.

5.2 Pruebas en pista

El desempeño del robot se lo evalúa por el tiempo que le toma en completar el recorrido sin desviarse ni acortar camino. Para comparar resultados y evaluar el diseño del robot multi-categoría se replicó las pistas y se realizó cuarenta muestras de tiempos en cada pista, veinte en sentido horario y otras veinte en anti horario, se tomó el tiempo promedio y el mejor tiempo del robot en pista. Cabe recalcar que en las muestras se obtuvieron tiempos altos, ya que un nivel bajo de batería afecta el desempeño del robot y por lo tanto aumenta el tiempo de recorrido.

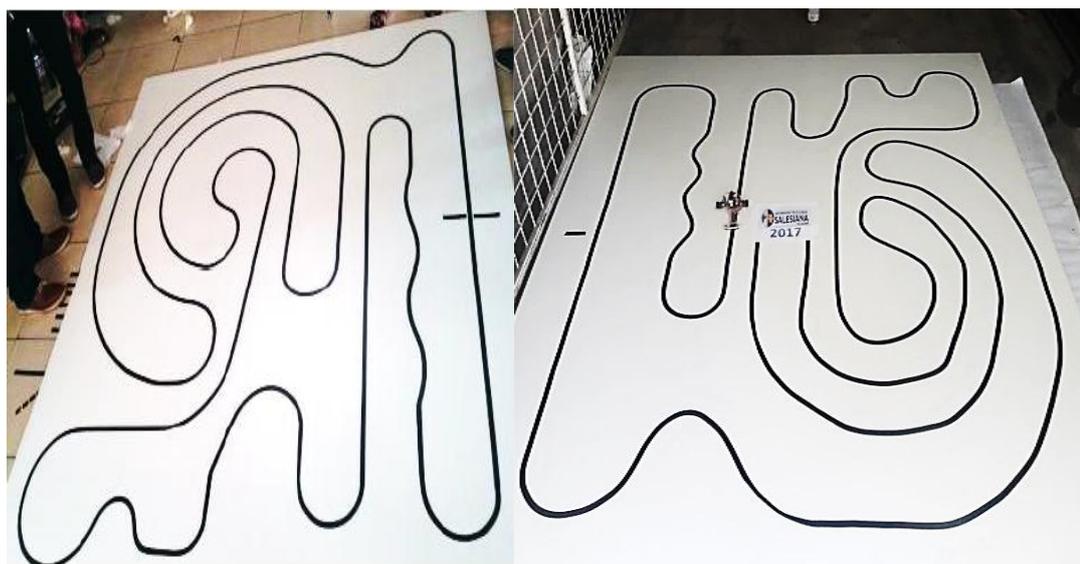
El ganador del CER 2015 en categoría velocista según (Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016) logro un tiempo aproximado de 11.4 segundos, con el robot multi-categoría modalidad velocista se realizó la réplica de la pista como se observa en la Figura 5.1 y se obtuvo los siguientes resultados detallados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Resultados en pista CER 2015

Resultados en la réplica pista velocista CER 2015					
Sentido horario			Sentido anti horario		
N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo	N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo
20	12.36 (seg.)	11.76 (seg.)	20	11.95 (seg.)	11.66 (seg.)

Resultados del robot multi-categoría en pista CER 2015, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Figura 5.1. Pista de la final categoría velocista CER 2015



(a)

(b)

(a) Pista oficial velocista CER 2015, (b) replica pista velocista

Replica pista velocista CER 2015, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

En el CER 2016 categoría seguidor velocista se obtuvo los siguientes resultados oficiales, revisar Anexo 1, para comparaciones en Tabla 5.2 se puede observar el extracto de los ganadores categoría robot velocista.

Tabla 5.2. Resultados oficiales del CER 2016 categoría velocista

Resultados categoría seguidor de línea velocista CER 2016 UTE			
Ubicación	Robot	Universidad	Tiempo (seg.)
1ro.	Bymax	ESPOCH	5.50
2do.	Black Ghost	UTELVT	6.00
3er.	TM16	ESPE-L	6.50

Resultados oficiales del CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

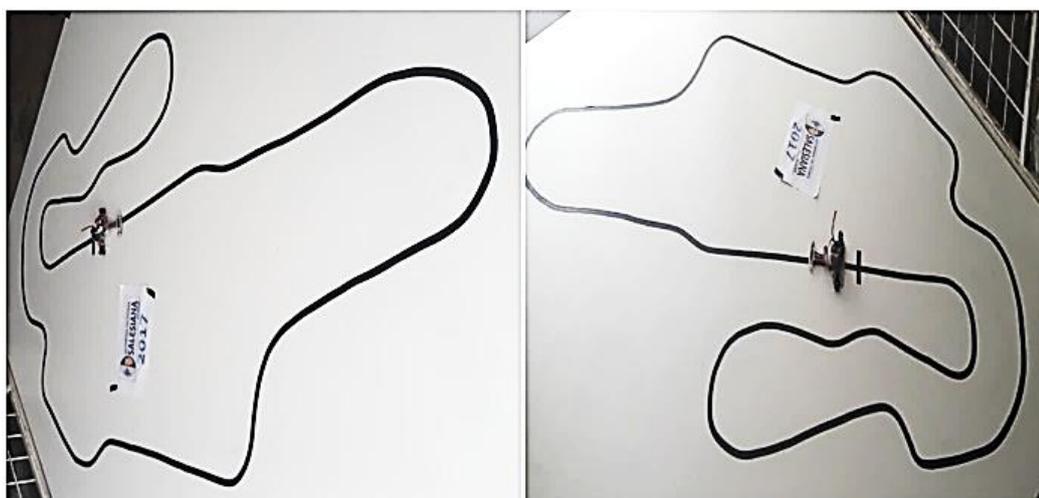
En la réplica de la pista CER 2016, revisar Figura 5.2 se realizaron pruebas en la pista y se obtuvo los siguientes resultados detallados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Resultados en pista CER 2016 modalidad Velocista

Resultados en la pista réplica velocista CER 2016					
Sentido horario			Sentido anti horario		
N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo	N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo
20	5.391 (seg.)	5.29 (seg.)	20	5.294 (seg.)	5.23 (seg.)

Resultados en la pista replica, velocista CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Figura 5.2. Pista de la final categoría velocista CER 2016



Réplica pista velocista CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Con los resultados de las pruebas se valida el diseño del robot en modalidad velocista, ya que el resultado en pista del CER 2015 es similar al ganador de ese año y en la pista del CER 2016 el robot supera el tiempo del ganador.

Además, para completar la validación del prototipo se participó en el Salesbot Challenge V2.0 celebrado el 5 de mayo del 2017 y se obtuvo el 3er lugar. Los certificados se pueden observar en el Anexo 3.

5.2.1 Características del robot modalidad velocista

En la Figura 5.3 se puede observar el diseño final del robot en modalidad velocista, las características del robot se nombran a continuación.

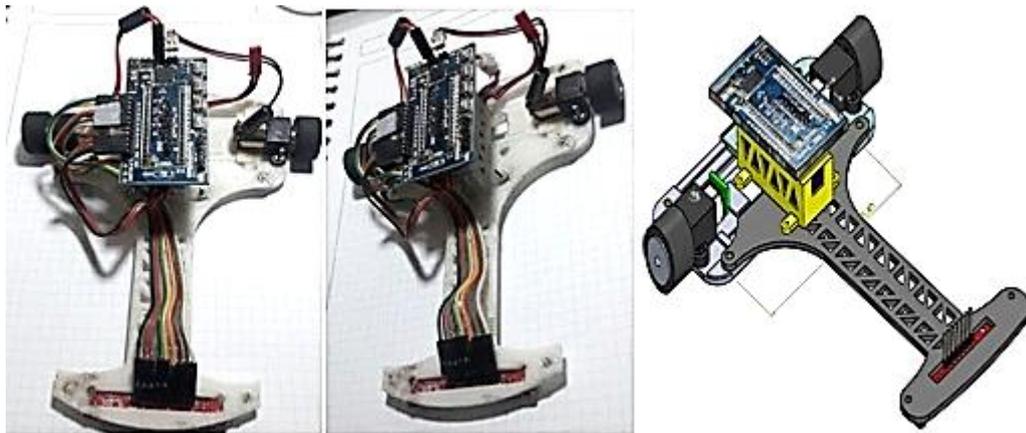
Características únicas del robot en modalidad velocista:

- Largo: 15.6 cm.
- Ancho: 14 cm.
- Alto: 4cm.
- Regleta de 6 sensores infrarrojos para detección de línea.

Características compartidas robot multi-categoría:

- Alimentación: batería 7.4v a 300 mA.
- Tracción diferencial, con eje en el centro del robot.
- Micro controlador: ATmega 328P, utilizado por Arduino Nano.
- Sistema de interfaz para el usuario por medio de 3 botones y 3 leds indicadores.
- Encoder magnético en cada motor.

Figura 5.3. Robot modalidad Velocista diseño final.



Robot multi-categoría modalidad Velocista, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

5.3 Pruebas en el robot multi-categoría modalidad Laberinto

Para las pruebas del robot en modalidad laberinto se realizaron réplicas de las pistas del CER del 2015 y 2016, las cuales fueron las mismas pistas en ambos concursos. En la Figura 5.4 se observa el laberinto.

El objetivo del robot para ganar la categoría es solucionar el laberinto en el menor tiempo posible sin topar las paredes. El ganador del CER 2015 según (Romo Caicedo & Toca Trujillo, 2016) resolvió el laberinto en un tiempo de 30 segundos y los resultados del CER 2016 categoría laberinto se pueden revisar en el Anexo 1, para

comparaciones en la Tabla 5.4 se puede observar el extracto de los ganadores de esta categoría.

Figura 5.4. Pista laberinto del CER 2015 y CER 2016



Pista oficial del laberinto CER 2015 y CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Tabla 5.4. Resultados oficiales del CER 2016 categoría Laberinto

Categoría Laberinto CER 2016 UTE			
Ubicación	Robot	Universidad	Tiempo (seg.)
1ro.	Wolftracker	ITS New Generation	16.00
2do.	Magno	UNACH	20.00
3er.	Atlas	UNACH	21.49

Resultados oficiales categoría laberinto, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Al igual que el robot en modalidad velocista se tomó cuarenta muestras en la pista, veinte en sentido horario y veinte en anti-horario, los resultados obtenidos se pueden observar en la

Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Resultados en pista replica CER 2015 y 2016 modalidad laberinto

Resultados en la réplica pista Laberinto CER 2015 y 2016					
Sentido horario			Sentido anti horario		
N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo	N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo
20	23.29 (seg.)	22.18 (seg.)	20	32.81 (seg.)	31.17 (seg.)

Resultados del robot multi-categoría, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Con los resultados de las pruebas, se valida el diseño del robot en esta categoría, el resultado del robot multi-categoría modalidad laberinto para el CER 2015 supera al ganador de ese año, y para el CER 2016 el resultado es similar al 3er puesto.

Cabe recalcar que la pista para el robot laberinto en competencia es montada sobre un tablero laminado, otorgando un valor bajo de fricción, en las pruebas realizadas al robot modalidad laberinto, la réplica de la pista se hizo en un tablero de triplex, el cual tiene desperfectos y es áspero, afectando la velocidad de desplazamiento del robot, y se refleja en la

Tabla 5.5. Los resultados se pueden mejorar, mediante el incremento de la velocidad de navegación, además de la calibración del algoritmo de control con el fin de evitar colisiones.

Para validar el diseño del robot modalidad laberinto se mejoró dichos factores y se participó en el Concurso Internacional de Robótica UMEBOT XI el cual se celebró el 13 de enero del 2017 y se obtuvo el 2do lugar, del mismo modo se participó en el Salesbot Challenge V2.0 celebrado el 5 de mayo del 2017 y se alcanzó el 2do lugar. Con la experiencia adquirida de los concursos, se mejoró la calibración del algoritmo de control y se participó el 18 de mayo del 2017 en el Concurso Nacional de Robótica organizado por la ESPOCH (Escuela Politécnica de Chimborazo) y se obtuvo el 1er lugar. Los certificados de los concursos se pueden observar en el Anexo 3.

5.3.1 Características del robot modalidad laberinto

Características únicas de la modalidad laberinto:

- Largo: 11 cm.
- Ancho: 11 cm.
- Alto: 7cm.
- Posee 3 sensores detectores de pared, uno frontal y dos laterales.

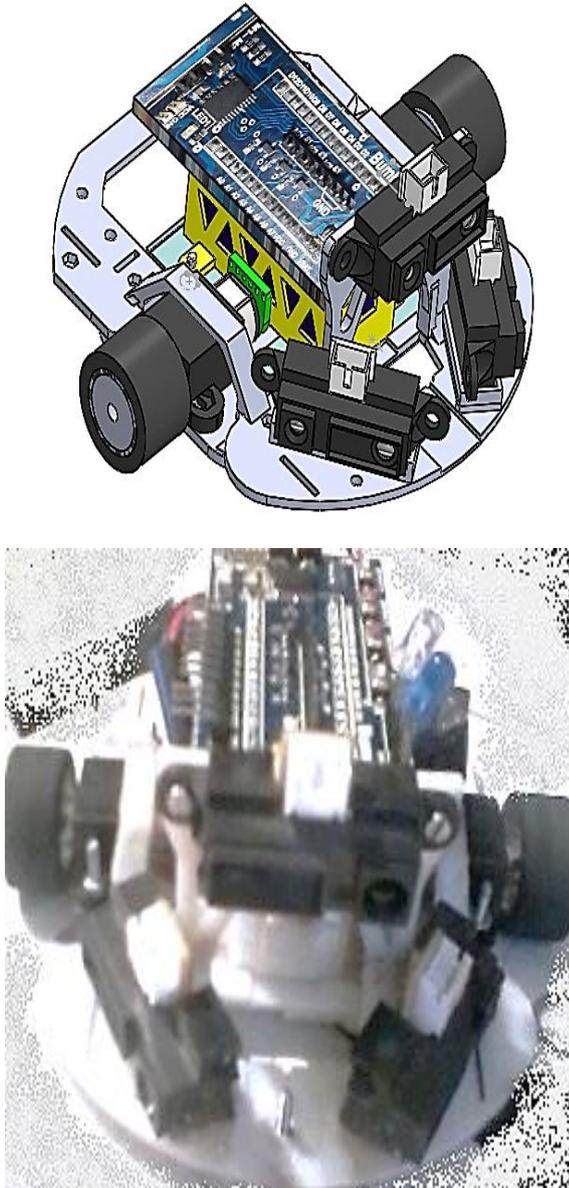
Características compartidas robot multi-categoría:

- Alimentación: batería de 7.4 v a 300 mA.
- Tracción diferencial, con eje en el centro del robot.
- Micro controlador: ATmega 328P, utilizado por Arduino Nano.

- Sistema de interfaz para el usuario por medio de 3 botones y un led indicador.
- Encoder magnético en cada motor.

En la Figura 5.5 se puede observar al robot modalidad laberinto implementado.

Figura 5.5. Robot modalidad laberinto diseño final

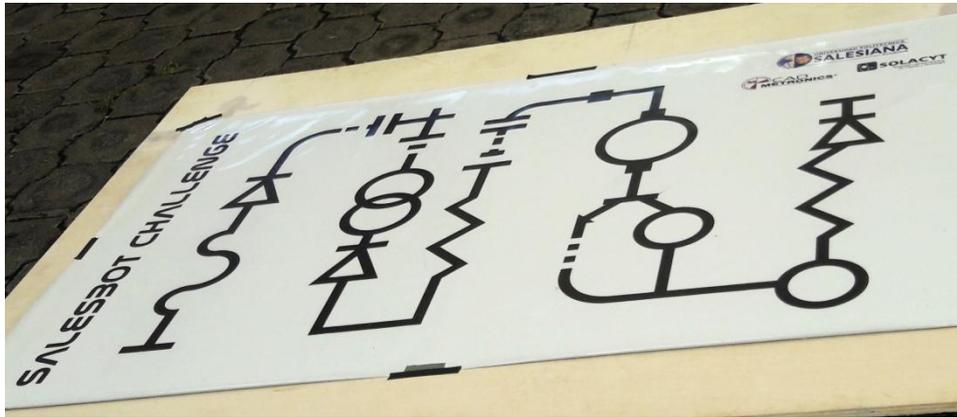


Robot modalidad laberinto, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

5.4 Pruebas en el robot multi-categoría modalidad Destreza

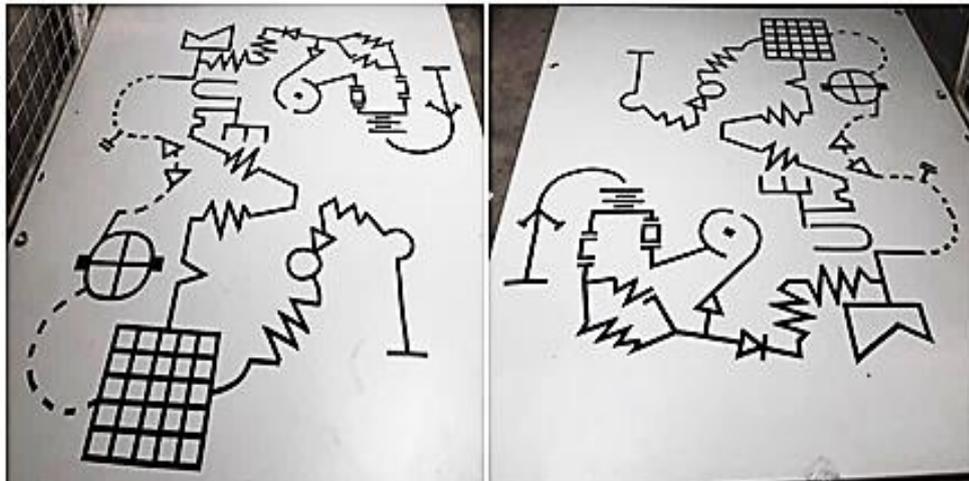
Para la validación del robot multi-categoría se realizaron pruebas en la pista oficial seguidor destreza SALESBOT 2017 y en la pista réplica del CER 2016, en la Figura 5.6 y Figura 5.7 se pueden observar las respectivas pistas.

Figura 5.6. Pista oficial destreza SALESBOT 2017



Pista oficial SALESBOT 2017, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Figura 5.7. Pista replica destreza CER 2016



Pista replica destreza CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

El objetivo del robot para ganar la categoría seguidor destreza es terminar el recorrido en el menor tiempo posible, ya que el recorrido es complejo, el robot cuenta con un tiempo máximo determinado por los jueces para terminar el recorrido. En el CER 2016 en la categoría seguidor destreza las reglas dictan, que si ninguno de los participantes puede completar la trayectoria en el tiempo máximo establecido el jurado declarará nula la categoría, por otro lado, en el UMEBOT y SALESBOT las

reglas establecen que si ningún robot consigue completar el recorrido, se calificará el porcentaje que se logre completar para decretar al ganador.

Los resultados oficiales del CER 2016 categoría destreza se pueden revisar en el Anexo 1, cabe recalcar, que solo un robot logró completar el recorrido por la complejidad del mismo y para comparaciones en la Tabla 5.6 se puede observar el extracto de los resultados categoría seguidor destreza.

Tabla 5.6. Resultados oficiales del CER 2016 categoría seguidor Destreza

Categoría seguidor Destreza CER 2016 UTE			
Ubicación	Robot	Universidad	Tiempo
1ro.	Pulteh	UPSE	01' 38" 90
2do.	-----	-----	-----
3er.	-----	-----	-----

Resultados oficiales CER 2016, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Se realizó pruebas en la pista réplica del CER 2016 y se tomó diez muestras, las cuales fueron realizadas por el mismo sentido que fue en el concurso, los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Resultados en pista replica CER 2016 modalidad Destreza

Resultados en la pista destreza CER 2016		
Nº muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo
10	02'35"05	02'31"15

Resultados del robot multi-categoría, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

De la misma manera se realizó pruebas en la pista oficial del SALESBOT 2017, y se tomó veinte muestras, diez en sentido horario y diez en anti horario, al igual que en el CER 2016 solo un robot logró completar el recorrido en el concurso con un tiempo aproximado de 1'29". Los resultados obtenidos por parte del robot multi-categoría modalidad destreza se pueden observar en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Resultados en pista oficial SALESBOT 2017 modalidad Destreza

Resultados obtenidos en la pista SALESBOT 2017					
Sentido horario			Sentido anti horario		
N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo	N.º muestras	Tiempo promedio	Mejor tiempo
10	1'43"	1'41"	10	1'39"	1'33"

Resultados del robot multi-categoría SALESBOT, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

Con los resultados de las pruebas, se valida el diseño del robot en modalidad destreza, aunque no supero a los ganadores el robot logró completar los trayectos con éxito y dentro del tiempo establecido según las reglas.

5.4.1 Características del robot modalidad seguidor destreza

En la Figura 5.8 se puede observar al robot modalidad seguidor destreza ya implementado, las características del robot se detallan a continuación.

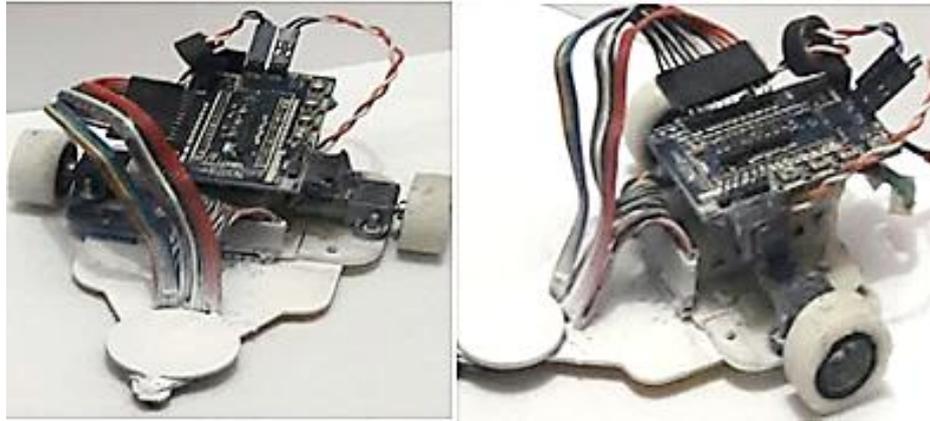
Características únicas de la modalidad Destreza

- Largo: 12 cm.
- Ancho: 11 cm.
- Alto: 5cm.
- 8 sensores infrarrojos en forma de T para detección de línea.

Características compartidas robot multi-categoría:

- Alimentación: batería de 300 mA DC.
- Tracción diferencial, con eje en el centro del robot.
- Micro controlador: ATmega 328P, utilizado por Arduino Nano.
- Sistema de interfaz para el usuario por medio de 3 botones y un led indicador.
- Encoder magnético en cada motor.

Figura 5.8. Robot modalidad destreza, diseño final



Robot en modalidad seguidor Destreza, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

5.5 Rediseños generales Robot multi-categoría

Referente a la electrónica con el fin de mejorar la interfaz con el usuario se implementó una PCB con 3 botones para cambiar los valores de las constantes de los algoritmos utilizados en el robot multi-categoría, como velocidad máxima en rectas y velocidad máxima de arranque, una vez homologado el robot no es posible ninguna modificación.

En el chasis principal se realizó vaciados para la colocación de los motores con el fin de obtener una altura óptima, evitando así el contacto de los tornillos con la superficie de la pista.

5.5.1 Ruedas

La adherencia de las ruedas a la pista es muy importante, se probó ruedas fabricadas de goma, caucho silicón y espuma de neopreno. Se obtuvo como resultado que las ruedas de goma y caucho silicón tienen problemas de adherencia, además en estas ruedas se adhiere con mayor facilidad el polvo, el cual es un factor de la pérdida de adherencia, ocasionando derrape del robot velocista y del robot laberinto, por otro lado, los mejores resultados se obtuvieron con ruedas de espuma de neopreno, a las cuales no les afecta significativamente el polvo, estas ruedas deben ser importadas ya que no existen a la venta en Ecuador. Las ruedas de espuma de neopreno existen en varias medidas y se las puede observar en la Figura 5.9.

Figura 5.9. Ruedas de espuma Scaleauto



Ruedas de espuma 20x11 mm, llanta de 15 mm, eje 3mm, Procomp-3, Elaborado por: Rubén Orellana

5.6 Rediseños del robot en modalidad seguidor Velocista

Con el fin de mejorar la sujeción de los motores al robot multi-categoría en modalidad velocista se cambió los brackets que sujetan al motor por unos originales de Pololu, reemplazando a los impresos en tecnología 3D, ya que la vibración y el movimiento de los motores desgastan a los mismos.

En el chasis principal en el cambio a modalidad velocista la superficie de sujeción entre piezas es pequeña y por lo tanto la unión de estas tiende a pandearse, la sujeción al principio fue con tornillos de cabeza avellanada M2 para evitar contacto con el suelo, pero estos desgastan al plástico del chasis y provocan aún más la pérdida de sujeción, por lo tanto la solución fue la implementación de tornillo M2 de cabeza plana, además de la fabricación de una rodela de diámetro 4mm que se ajuste a ese tornillo con el fin de obtener una sujeción más firme de las partes móviles del chasis sin dañar el mismo.

En el algoritmo del robot multi-categoría en modalidad velocista se realizó la implementación de una rampa ascendente de arranque de los motores, similar al de un arrancador suave.

5.7 Rediseños del robot en modalidad Laberinto

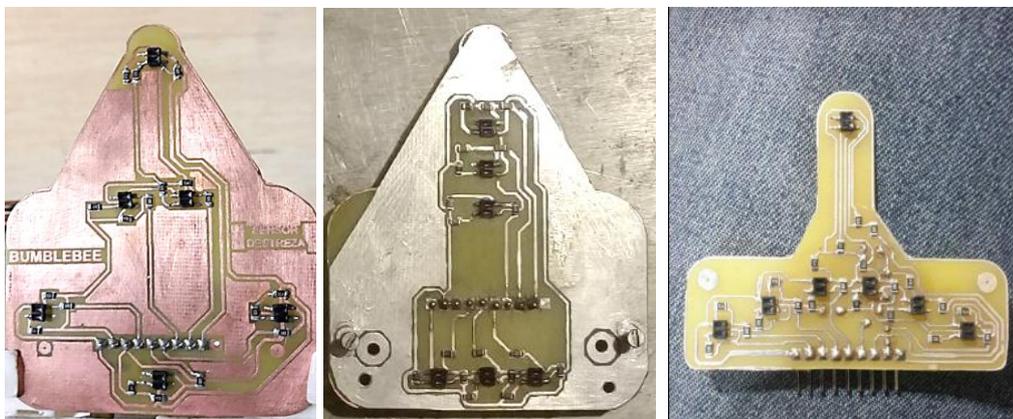
En el robot multi-categoría modalidad laberinto se mejoró los puntos de soporte cambiando los tornillos por leds de 5mm, con el fin de disminuir la fricción con el suelo.

5.8 Rediseños del robot en modalidad seguidor Destreza

Ya que la pista es compleja en la categoría seguidor destreza, se realizó modificaciones a la distribución de los sensores, tomando en consideración el ancho de la cinta con la que se realiza la pista y la distancia de mayor discontinuidad. Para la distribución de sensores se pasó por varias configuraciones tipo V invertida, formación en “Y” y por último la forma en “T” con 8 sensores, con la cual se obtuvieron los mejores resultados en las pruebas realizadas al robot. Las distribuciones utilizadas se observan en la Figura 5.10.

Con el fin de mejorar el tiempo de reacción del robot en la pista los sensores deben estar lo más cerca posible del eje de las ruedas, por lo tanto, se puso la placa de sensores debajo del chasis principal buscando alinear los sensores horizontales con el eje, por otro lado, con el fin de respetar la distancia de sensado y mantener la adherencia de las ruedas, se fabricó neumáticos de goma de 27.8 x 15 mm de diámetro externo e interno respectivamente, las cuales van sobre las ruedas de espuma.

Figura 5.10. Placas de sensores con diferentes tipos de distribuciones



Configuraciones de sensores probadas para el robot en modalidad destreza, Elaborado por: Rubén Orellana y Luis Aldaz

CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se desarrolló un prototipo de robot multi-categoría el cual integra de manera modular al robot seguidor velocista, robot seguidor destreza y robot laberinto, mediante el uso del robot multi-categoría, el club de robótica de la UPS-UIO (Universidad Politécnica Salesiana de la Sede Quito) puede participar en tres categorías con un mismo prototipo y por lo tanto aumenta la posibilidad de ganar en los concursos y mejora el nivel de competición del club, por otro lado, durante el desarrollo del trabajo con el fin de validar el prototipo se participó en concursos nacionales como representante de la UPS-UIO y se consiguió estar entre los tres primeros podios, por consiguiente también se mejoró directamente el nivel de competición del club de robótica.
- Basándose en tablas de ruta y Fixture los cuales son herramientas muy aplicativas para encontrar características generales y/o específicas, tomando en consideración que en el presente trabajo se buscó examinar y fusionar gran cantidad de datos de los reglamentos de cada categoría de los concursos de robótica, además de características mecánicas y electrónicas de los diferentes robots participantes basados en la observación y caracterización, con dichas herramientas se determinó que de las 16 categorías de robots del CER (Concurso Ecuatoriano de Robótica) únicamente se pueden integrar tres categorías, debido a que comparten características similares y viables para ser integradas en el robot multi-categoría.
- Se determinó que la manera más viable de construir un prototipo que integre a las tres categorías establecidas según el estudio realizado fue por medio del diseño y desarrollo de un chasis de características modulares, el cual pueda cambiar su forma para adaptarse al entorno de competencia, que cumpla con las especificaciones técnicas de cada categoría de los concursos de robótica y que respete la mecánica y electrónica propia de cada robot individualmente.

- Se determinó que el mejor tipo de control en lazo cerrado para el robot multi-categoría es el algoritmo PD (Proporcional y derivativo) , ya que al no necesitar de cálculos matemáticos complejos, no consume muchos recursos del micro controlador, también se mejora el tiempo de respuesta en comparación con un algoritmo de lógica difusa, el cual tiene un retardo debido a que se necesita de muchas líneas de código, cálculos y variables, por lo tanto también se establece que el PD se adapta a las categorías seguidor velocista y robot laberinto en las cuales se necesita modificar las variables de control sin grandes cambios en el algoritmo al momento de las competencias.
- Para validar y comprobar el diseño y/o funcionamiento del robot multi-categoría en todas sus modalidades fue sometido a pruebas y competencias en las cuales estuvo dentro de los tres primeros lugares, lo cual demuestra y determina el alto nivel de efectividad que posee el robot, los resultados obtenidos se verifican en el presente trabajo y resaltan con certificados de los concursos en los que se participó.

RECOMENDACIONES

- Al cambiar el chasis a modalidad velocista se debe poner atención en dejar al robot bien asegurado con sus tornillos obteniendo una correcta alineación entre las piezas, es decir conseguir que el eje de las ruedas y sensores queden perpendiculares con el fin de evitar vibraciones en el chasis, ya que al no realizar esta actividad el robot tiende a perder la trayectoria a seguir.
- Se observó que los sensores infrarrojos ya sean para seguir líneas o para detectar paredes funcionan adecuadamente cuando la batería está totalmente cargada, es decir con un voltaje sobre los 8v, por lo tanto, se recomienda siempre mantener dicho nivel de voltaje para el funcionamiento del robot.
- Antes de las competencias y como mantenimiento preventivo del robot se recomienda la revisión de las cajas reductoras de los motores, desde la lubricación hasta el movimiento del eje del motor, ya que siempre existe desgaste mecánico, lo cual perjudica en la velocidad y movimiento del robot.
- Como trabajo futuro se recomienda mejorar la mecánica del robot multi-categoría, cambiando el material de construcción por uno más liviano como la fibra de carbono, con el fin de reducir el peso del robot, lograr mayores velocidades y por ende mejorando el rendimiento de la batería.
- Como mejora del robot multi-categoría se recomienda cambiar la electrónica, implementando un microcontrolador de alto rendimiento y que posea más pines de I/O, con el fin de mejorar la velocidad de procesamiento, por ende, la implementación de algoritmos especializados y por otro lado la posibilidad de agregar más dispositivos electrónicos.
- Como trabajo futuro se debería implementar una unidad de medición inercial IMU para mejorar la navegación del robot en modalidad velocista y laberinto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Infineon Technologies AG ©. (2007). *High Precision Hall Effekt Latch TLE4946-2K*. Recuperado el 15 de Agosto de 2016, de http://www.infineon.com/dgdl/Infineon-TLE4946_2K-DS-v01_00-en.pdf?fileId=db3a30431f848401011fbc925c48637f

Pololu Corporation. (s.f.). *QTR-8A Reflectance Sensor Array*. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de <https://www.pololu.com/product/960>

Aguilera Hernández, M., Bautista, M., & Iruegas, J. (2007). *Diseño y Control de Robots Móviles*. Nuevo Laredo, México. Obtenido de <http://www.mecamex.net/anterior/cong02/papers/art24.pdf>

ATMEL. (Noviembre de 2015). *ATMEL 8-BIT microcontroller with 4/8/16/32 kbytes in system programmable flash*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2016, de http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf

Balajia, V., Balajib, M., Chandrasekaran, M., Ahamed khan, M., & Elamvazuthie, I. (2015). *Optimization of PID Control for High Speed Line Tracking Robots*. Recuperado el 2017, de ScienceDirect: www.sciencedirect.com

Beng Kiat, N. (2009). *uMouse lecture*. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXNjI5MTc>

Caballero Moreno, M. A. (2011). *Taller Robot Velocista de Competencias*. Recuperado el Diciembre de 2016, de Aprendiendo Fácil Electronica: <http://aprendiendofacilelectronica.blogspot.pe/>

CER2016. (10 de Noviembre de 2016). *Universidad Tecnológica Equinoccial CER 2016*. Obtenido de <http://www.mecatronicaecuador.com/cer/>

Fairchild Semiconductor . (September de 2009). *QRE1113, QRE1113GR — Miniature Reflective Object Sensor*. Recuperado el 29 de mayo de 2017, de https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/QR_QRE1113.GR.pdf

Ferro Laspidea, P., & Goicoechea Fernández, J. (2014). *Diseño e implementación de un robot para la automatización de un almacén*. Pamplona: Universidad pública de Navarra.

HC Information Technology. (3 de Julio de 2005). *Data sheet HC-05*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/HC-Serial-Bluetooth-Products-User-Instructional-Manual_Wavesen.pdf

Hernández Millán, G., Ríos González, L. H., & Parra Lara, H. (Abril de 2012). *Implementación de un controlador PID mediante RNA para el control de motores D.C de robots móviles diferenciales*. Obtenido de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6669>

Holland, J. M. (2004). *Designing Autonomous Mobile Robots Inside the Mind of an Intelligent Machine*. British: Elsevier.

Lima da Silva, K. (11 de Marzo de 2015). *Micromouse Brasil*. Recuperado el 20 de Agosto de 2016, de *Sensores de pared*: <http://kleberufu.wixsite.com/micromousebrasil/single-post/2015/03/11/Sensores-de-Pared>

Neal, A. (enero de 2010). *Tips for selecting DC motors for your mobile robot*. Recuperado el Diciembre de 2016, de *Servomagazine*: http://www.servomagazine.com/uploads/issue_downloads/pdf/Tips%20For%20Selecting%20DC%20Motors%20For%20Your%20Mobile%20Robot.pdf.

Pololu Robotics and Electronics. (10 de Diciembre de 2016). *Pololu*. Obtenido de <https://www.pololu.com>
robotgameszerolatitud. (mayo de 2016). *RGZL 2016*. Obtenido de <http://robotgameszerolatitud.jimdo.com/>

Romo Caicedo, D. A., & Toca Trujillo, L. E. (2016). *Diseño e implementacion de dos robots de competencia*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .

Sharp Microelectronics. (s.f.). *GP2Y0A41SK0F Distance Measuring Sensor Unit*. Recuperado el 6 de Enero de 2017, de Measuring distance : 4 to 30 cm: https://www.pololu.com/file/download/GP2Y0A41SK0F.pdf?file_id=0J713

Toshiba. (9 de Junio de 2008). *Data sheet Driver IC for dual DC moto*. Recuperado el 6 de enero de 2017, de <https://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf>

UMEBOT XI. (13 de enero de 2016). *umeepn*. Obtenido de <https://umeepn.wordpress.com/>

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (9 de diciembre de 2015). *ucsg*. Obtenido de <http://eventocal.com/evento/concurso-ecuadoriano-de-roboticasjk34/>

Vannoy II, R. T. (2009). *Design a Line Maze Solving Robot*. Obtenido de Teaching a Robot to Solve a Line Maze: <https://www.pololu.com/file/0J195/line-maze-algorithm.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados oficiales del CER 2016



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS



Señor

Rubén Orellana

Estudiante de la UPE Quíno

Por medio del presente, le informo los resultados del concurso de robótica CER2016

CATEGORIA	PRIMER LUGAR	SEGUNDO LUGAR	TERCER LUGAR
Laberinto	Wolfracker 2.0 Instituto Tecnológico New Generation Jessica Apo, Erick Bonifaz	Magnó Universidad Nacional de Chimborazo Daniel Álvarez, Santiago Castro	Atlas Universidad Nacional de Chimborazo Ivan Tapia, Mario Guillen
Seguidor de línea velocidad	Byrnax Escuela Superior Politécnica de Chimborazo John Hidalgo, Lisette Carranza	Black Ghost Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres, Juan Ulloa, Erickson Pérez	TM16 Universidad de las Fuerzas Armadas sede Latacunga Hugo Teneda, Julio Toalamba
Seguidor de línea destreza	Puteh Universidad Estatal Península de Santa Elena Carmen Loor		
Tiempo	00:01' 38" 90		

Atentamente,

Vladimir Bonilla, CI 1710300045

Coordinador de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Universidad Tecnológica Equinoccial



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS



Señor
Rubén Orellana

Estudiante de la UPS Quito

Por medio del presente, le informo los resultados del concurso de robótica CER2016

CATEGORIA	PRIMER LUGAR	SEGUNDO LUGAR	TERCER LUGAR
Laberinto	Wolfracker 2.0 Instituto Tecnológico New Generation Jessica Apo, Erick Bonifaz	Magno Universidad Nacional de Chimborazo Daniel Alvarez, Santiago Castro	Atlas Universidad Nacional de Chimborazo Ivan Tapia, Mario Guillen
Tiempo	00:00' 16" 00	00:00' 20" 00	00:00' 21" 49
Seguidor de línea velocidad	Bymax Escuela Superior Politécnica de Chimborazo John Hidalgo, Lissette Carranza	Black Ghost Universidad Técnica de Esmeraldas "Luis Vargas Torres" Juan Illioa, Erickson Pérez	TMT6 Universidad de las Fuerzas Armadas sede Latacunga Hugo Teneda, Julio Toalombo
Tiempo	00:00' 05" 50	00:00' 06" 00	00:00' 06" 50
Seguidor de línea destreza	Pulreh Universidad Estatal Península de Santa Elena Carmen Lloor		
Tiempo	00:01' 38" 90		

Atentamente,

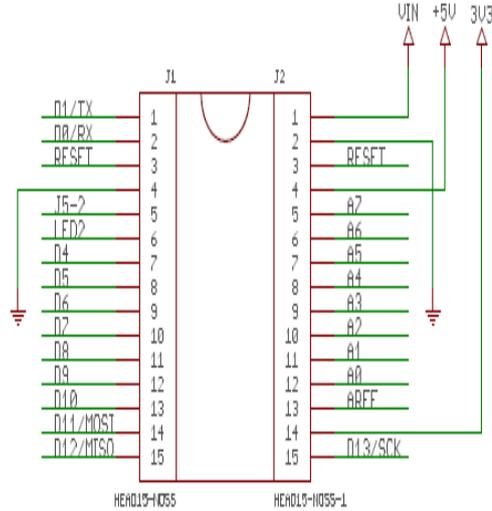
Vladimir Bonilla, CI 1710300045

Coordinador de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

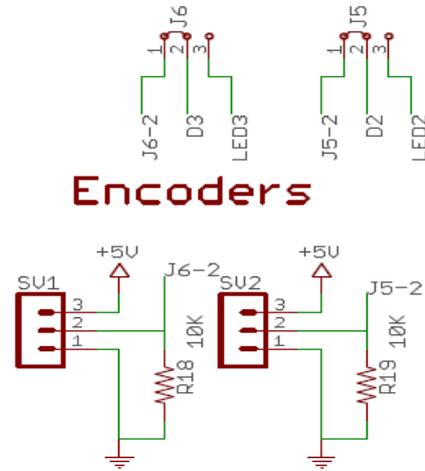
Universidad Tecnológica Equinoccial

Anexo 2. Esquemático de la tarjeta de control del robot multi-categoría

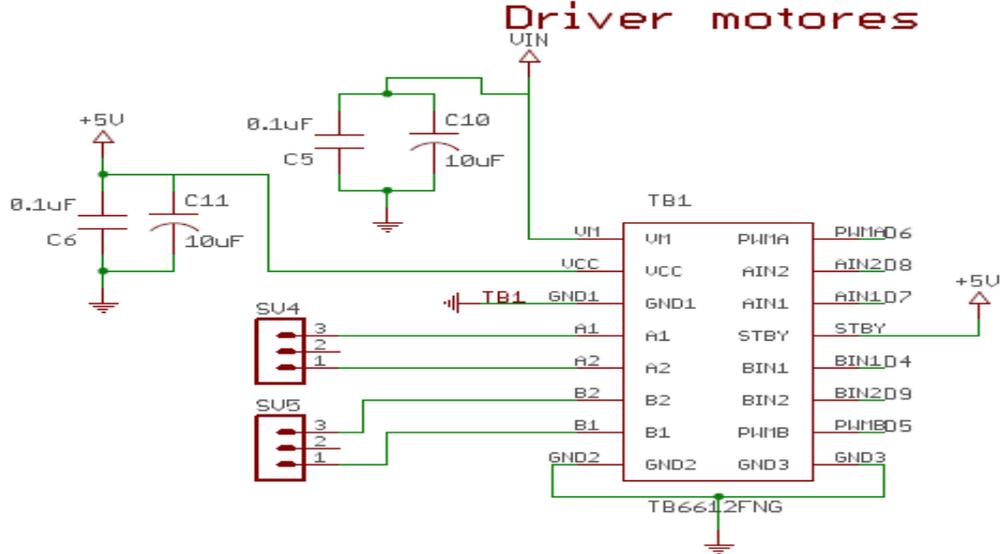
Distribución de Pines Arduino Nano



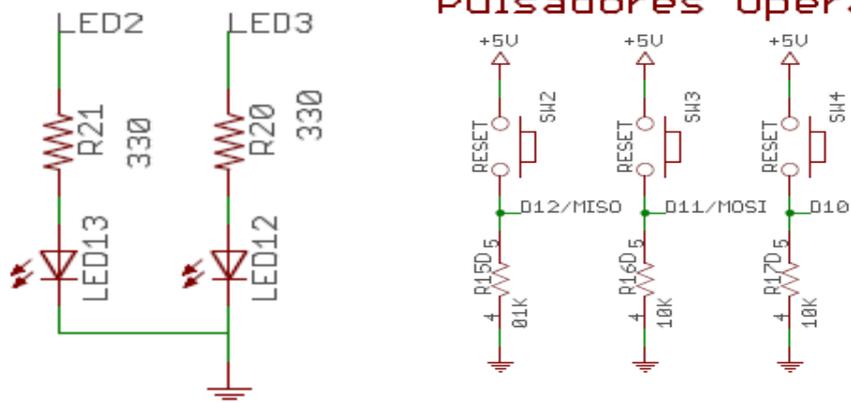
Encoders



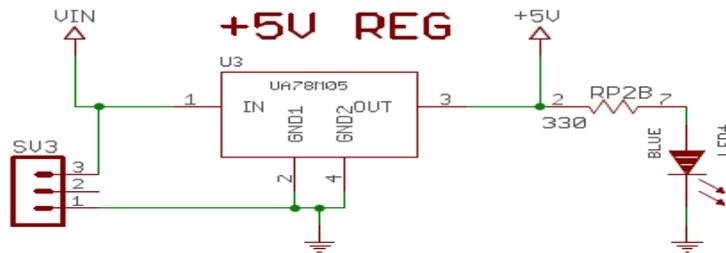
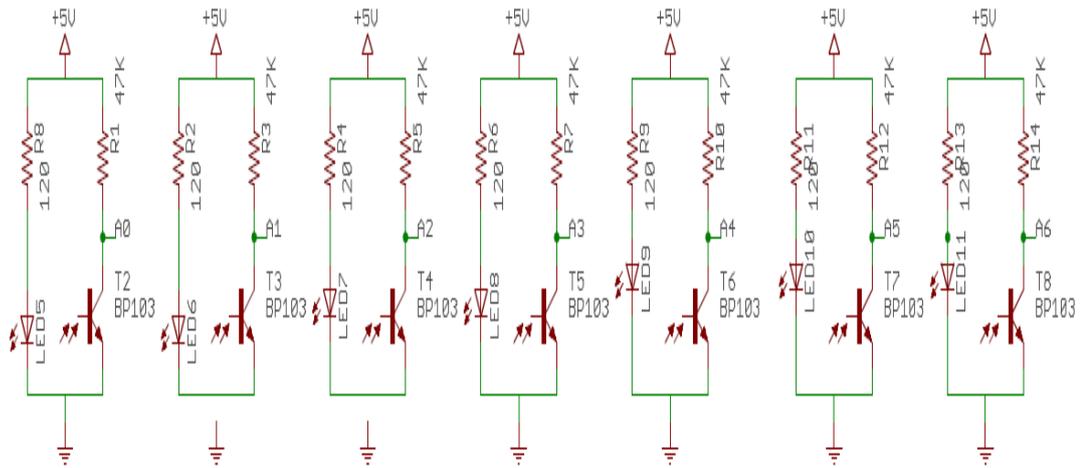
Driver motores



Pulsadores Operacion



Sensores de reflexión ITR830



Anexo 3. Certificados de concursos ganados con el robot multi-categoría





UMEBOT XI

CONCURSO INTERNACIONAL DE ROBÓTICA



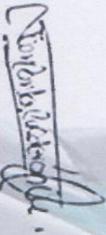
La Unidad de Mantenimiento Electrónico de la Escuela Politécnica Nacional confiere

CERTIFICADO

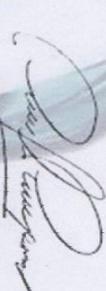
A:

LUIS ALDAS A.

El certificado de haber obtenido el 2do. lugar en el Concurso Internacional de Robótica UMEBOT XI en la categoría Robot Laberinto con el robot: BUMBULBEE. Evento realizado el 13 de Enero del 2017.


Juan Carlos Calderón
Presidente UME


Javier Calderón
Director del DETRI


Ing. Aldrin Reyes
Coordinador UME



LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Confiere una beca completa para cursar un seminario de su respectiva carrera

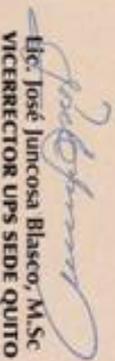
A: RUBÉN ORELLANA T.

Por haber obtenido

EL PRIMER LUGAR EN EL CONCURSO

A: Robot Bumblebee

Quito DM, 05 de mayo de 2017



Lic. José Juncosa Blasco, M.Sc.
VICERECTOR UPS SEDE QUITO

LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Confiere media beca para cursar un seminario de su respectiva carrera

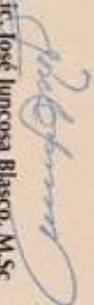
A: RUBÉN ORELLANA T.

Por haber obtenido

EL SEGUNDO LUGAR EN EL CONCURSO

A: Robot Optimus Prime

Quito DM, 05 de mayo de 2017



Hc. José Juncosa Blasco, M.Sc
VICERRECTOR UPS SEDE QUITO

LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Confere media beca para cursar un seminario de su respectiva carrera

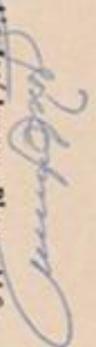
A: _____
LUIS ANIBAL ALDAZ A.

Por haber obtenido

EL SEGUNDO LUGAR EN EL CONCURSO

A: _____
Robot Optimus Prime

Quito DM, 05 de mayo de 2017



Tit. José Juncosa Blasco, M.Sc.
VICERRECTOR UPS SEDE QUITO

Anexo 4. Datos obtenidos en las pruebas realizadas al robot multi-categoría

Datos robot modalidad Velocista CER 2015	
Sentido de ruta horario	
Nro. de muestra	Tiempo(seg.)
1	12.03
2	12.69
3	11.76
4	13.94
5	12.61
6	12.79
7	11.89
8	12.6
9	12.7
10	12.68
11	12.09
12	12.05
13	12.75
14	12.93
15	12.18
16	12.2
17	12.09
18	11.79
19	11.85
20	11.69
Tiempo promedio	12.3655

Datos robot modalidad Velocista CER 2015	
Sentido de ruta Anti - horario	
Nro. de muestra	Tiempo(seg.)
1	11.89
2	11.77
3	11.86
4	12.25
5	12.16
6	12.18
7	11.96
8	12.02
9	12.06
10	11.66
11	11.74
12	11.92
13	11.83
14	11.83
15	11.94
16	12.09
17	11.95
18	11.91
19	12.29
20	11.83
Tiempo promedio	11.957

Datos robot modalidad Velocista CER 2016	
Sentido de ruta Horario	
Nro. de muestra	Tiempo(seg.)
1	5.52
2	5.39
3	5.37
4	5.55
5	5.3
6	5.39
7	5.28
8	5.29
9	5.3
10	5.28
11	5.35
12	5.38
13	5.42
14	5.49
15	5.48
16	5.53
17	5.3
18	5.56
19	5.36
20	5.29
Tiempo promedio	5.3915

Datos robot modalidad Velocista CER 2016	
Sentido de ruta Anti - horario	
Nro. de muestra	Tiempo(seg.)
1	5.37
2	5.39
3	5.4
4	5.26
5	5.24
6	5.25
7	5.38
8	5.29
9	5.32
10	5.26
11	5.058
12	5.39
13	5.098
14	5.31
15	5.34
16	5.27
17	5.36
18	5.37
19	5.3
20	5.23
Tiempo promedio	5.2943

Datos robot modalidad Destreza SALESBOT 2017	
Sentido de ruta Anti-horario	
Nro. de muestra	Tiempo en (min.sec)
1	1.42
2	1.33
3	1.41
4	1.46
5	1.45
6	1.38
7	1.35
8	1.39
9	1.4
10	1.4
Tiempo promedio	1.399

Datos robot modalidad Destreza SALESBOT 2017	
Sentido de ruta Horario	
Nro. de muestra	Tiempo en (min.sec)
1	1.41
2	1.45
3	1.47
4	1.43
5	1.46
6	1.42
7	1.43
8	1.49
9	1.41
10	1.42
Tiempo promedio	1.439

Datos robot modalidad Destreza CER 2016	
Sentido de ruta Horario (mismo sentido del concurso)	
Nro. de muestra	Tiempo en (min.seg)
1	2.4
2	2.39
3	2.37
4	2.38
5	2.31
6	2.33
7	2.33
8	2.31
9	2.36
10	2.35
Tiempo promedio	2.353

Datos robot modalidad Laberinto CER 2015-2016	
Sentido de ruta horario siguiendo mano izquierda (in-out)	
Nro. de muestra	Tiempo(seg.)
1	22.68
2	25.45
3	22.89
4	22.74
5	22.89
6	22.64
7	22.58
8	23.45
9	23.3
10	23.5
11	22.84
12	23.98
13	22.18
14	25.1
15	23.8
16	22.4
17	23.5
18	23.3
19	23.4
20	23.3
Tiempo promedio	23.296

Datos robot modalidad Laberinto CER 2015-2016	
Sentido de ruta Anti-horario siguiendo mano izquierda (out-in)	
Nro. de muestra	Tiempo(seg.)
1	34.7
2	32.5
3	33.4
4	34.2
5	32.7
6	33.16
7	31.17
8	32.7
9	31.5
10	32.2
11	32.5
12	32.5
13	35.2
14	32.6
15	32.8
16	32.8
17	33.3
18	31.9
19	32.5
20	32
Tiempo promedio	32.8165