

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ROBOT PARA CATEGORÍA SSL

DUVAN CAMILO ROJAS ALVARADO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTA D.C

2015

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ROBOT PARA CATEGORÍA SSL

DUVAN CAMILO ROJAS ALVARADO

Proyecto de grado para optar por el título de Licenciado en Electrónica

Tutor

Alberto Morales

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

BOGOTA D.C

2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN – RAE

1. Información General	
Tipo de documento	TRABAJO DE GRADO
Acceso al documento	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL. BIBLIOTECA CENTRAL
Título del documento	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ROBOT PARA CATEGORÍA SSL
Autor(es)	ROJAS ALVARADO, DUVAN CAMILO
Director	MORALES, ALBERTO
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional. 2015, 83p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ROBOCUP, ROBÓTICA MÓVIL, SSL, F180, ESTRUCTURAS, FUTBOL, COMUNICACIÓN RF, MÓDULOS.

2. Descripción
<p>En el proyecto de grado se trabajó la construcción de robots F-180 pertenecientes a la Small Size League de RoboCup, que es una iniciativa de investigación en el área de inteligencia artificial la cual busca el desarrollo tecnológico por medio de competencias en las cuales se utilizan robots autónomos. Una de estas competencias es el robot soccer, que a su vez se divide en cinco ligas, una de ellas es la SSL por sus siglas en inglés (Small Size League) o también conocida como F180.</p> <p>En este mismo orden de ideas, la liga SSL se basa en la cooperación multi-agente, el juego de futbol se lleva a cabo entre dos equipos de cinco robots cada uno, se juega con una pelota de golf naranja, en un campo de color verde. De esta manera, los robots funcionan de manera autónoma, es decir, sin ningún tipo de alimentación externa, también controlado de manera remota.</p>

3. Fuentes
<p>Adamuz, A. (Octubre de 2010). DESARROLLO DEL CIRCUITO DE UN ROBOT F180 (ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE, SSL). España.</p> <p>Ariza Guerrero, H. A., Castiblanco Álvarez, J. A., & Suárez Camargo, J. L. (febrero de 2010). Desarrollo de estrategias en sistemas multiagentes (Robots Futbolistas) con implementacion de vision artificial. Bogota D.C., Colombia.</p> <p>Caparrós, A. (Septiembre de 2012). Implementación de Arquitectura de Control 3T en la RoboCup Small Size League: Formación de Defensa. España.</p> <p>Garcia, A. (Septiembre de 2010). DESARROLLO DEL SISTEMA DE LOCOMOCION DE UNA PLATAFORMA HARDWARE PARA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL). España.</p>

GED. (2015). *STOX'S*. Obtenido de <http://www.stoxs.org/>

Lopez, D. (Octubre de 2010). DESARROLLO DE CONTROL Y GOLPEO DE PELOTA PARA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL). España.

Lozano, P. (Octubre de 2010). DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SOFTWARE PARA UN PROTOTIPO DE LA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL). España.

Murillo, M., & Parra, F. (2013). INCURSIÓN AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCCER DE LA SERIE F180. Bogotá, Bogotá, Colombia.

Pris, L. (2012). MEJORA DEL DISEÑO DEL SISTEMA LOCOMOTOR Y DE DISPARO PARA UN MICROROBOT ROBOCUP SOCCER SMALL LEAGUE. España.

RoboCup. (2015). *Laws of the RoboCup Small Size League 2015*. Obtenido de http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/_media/rules:ssl-rules-2015.pdf

4. Contenidos

A continuación se observa los contenidos del presente trabajo de grado, enunciado por capítulos.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

Para el primer capítulo con referencia al marco teórico se tomó en cuenta el reglamento para SSL 2015 para construir los robots con las especificaciones exigidas para competir en la categoría; estas reglas son suministradas por RoboCup que es un proyecto para fomentar la investigación en robots autónomos e inteligencia artificial, cuentan con diferentes categorías como RoboCupRescue, RoboCupJunior, RoboCup@Home y RoboCupSoccer esta última fue la escogida para realizar el trabajo de grado.

CAPÍTULO 2: DISEÑO ELECTRÓNICO

En el segundo capítulo se puede encontrar la selección de cada uno de los componentes electrónicos adecuados para la construcción de los robots ejecutando diferentes pruebas que evidenciaban la viabilidad de los componentes para el correcto funcionamiento en este trabajo de grado.

De igual forma el diseño y construcción de los circuitos impresos que conllevan al correcto funcionamiento de los múltiples componentes, teniendo en cuenta que se realizaron diferentes diseños y pruebas pcb's para escoger los más adecuados y óptimos.

CAPÍTULO 3: PRUEBAS

En el capítulo tres se puede evidenciar las diferentes pruebas que se realizaron a cada uno de los robots teniendo en cuenta la fluidez en la locomoción, como esta se afecta al momento de agregarle o quitarle peso, la variación de voltaje y corriente en cada una de las pruebas. Para así poder realizar las correcciones pertinentes que llevaron al producto que se diseñó al inicio.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

En el cuarto capítulo se puede hallar como se diseñó la estructura de cada uno de los robots con recursos fotográficos que muestran cada uno de los procesos de construcción paso a paso y ensamble del prototipado en 3D.

5. Metodología

METODOLOGÍA TOP DOWN

Esta metodología permite dividir el proceso en módulos que facilitan el trabajo logrando evidenciar posibles errores. Por lo tanto, los módulos permiten ahorrar tiempo y dinero, al poder realizar un seguimiento del proceso más personal e individual.

De igual forma, en el momento en el cual se termina el diseño y construcción al emplear esta metodología de Top Down hace más fácil el mantenimiento, debido a que al evidenciarse una anomalía no se hace necesario cambiar todo sino por el contrario el error se puede identificar más sencillamente y cambiar por individual.

6. Conclusiones

- Es importante mencionar que al analizar las múltiples tesis y documentación relacionada con la fabricación de robots F180 se encontró que la mayoría de estos son construidos con componentes similares, esto quiere decir que los sistemas de locomoción, comunicación, pateo, dribbling son similares.
- El prototipado 3D fue una herramienta eficaz al momento de realizar la estructura del robot ya que ofrece una gran precisión en el tamaño de las piezas, dependiendo del tipo de material posee una buena elasticidad, tenacidad, resistencia, resiliencia.
- En caso que se debiera modificar una pieza se podía hacer inmediatamente gracias a poseer dos impresoras 3D, también se redujeron significativamente los costos de impresión de las piezas.
- Los materiales de construcción del robot poseen una buena calidad y cumplen con todos los requerimientos para competir con otros robots de la categoría SSL; no obstante dado el presupuesto se puede motivar a realizar versiones alternas con diversos cambios que mejoren el presente trabajo de grado.

- La construcción de estos robots puede ser una buena oportunidad para crear una línea de investigación en el departamento de tecnología o utilizarse como herramienta de enseñanza en la UPN.

Elaborado por:	DUVAN CAMILO ROJAS ALVARADO
Revisado por:	ALBERTO MORALES

Fecha de elaboración del Resumen:	03	DIC	2015
--	----	-----	------

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	12
INTRODUCCIÓN	13
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVOS	17
Objetivo general:	17
Objetivos Específicos:	17
METODOLOGÍA	18
ANTECEDENTES	22
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	24
1.1 Reglamento SSL 2015	24
1.1.1 PELOTA.....	24
1.1.2 NUMERO DE ROBOTS.....	24
1.1.3 SUSTITUCIONES	24
1.1.3.1 PROCEDIMIENTO DE SUSTITUCIÓN	25
1.1.3.2 SUSTITUCION DEL PORTERO	25
1.1.4 SEGURIDAD	25
1.1.5 FORMA.....	26
1.1.6 COMUNICANCIÓN INALAMBRICA	26
1.1.7 COLOR DE LOS EQUIPOS	26
1.1.8 PATRÓN ESTANDAR	27
1.1.9 AUTONOMIA	29
1.1.10 REGATE.....	30
1.2 Comunicación Serial	31
1.2.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.....	32
1.2.2 BITS DE DATOS:.....	32
1.2.3 BITS DE PARIDAD:	32
1.2.4 BITS DE STOP:	32

1.3 Robots Móviles	32
1.3.1 ROBOTS AUTÓNOMOS	33
1.3.2 ROBOTS DEPENDIENTES	33
1.4 Locomoción	33
1.4.1 CATEGORÍAS	33
1.5 Sensores	35
1.5.1 SENSORES INTERNOS.....	35
1.5.2 SENSORES EXTERNOS	37
1.6 Arquitectura de hardware	37
1.7 Motores	40
1.8 Controladores	42
1.8.1 ARQUITECTURA DE CONTROLADORES:.....	42
1.9 Odometría para robots móviles	46
CAPÍTULO 2: DISEÑO ELECTRÓNICO	48
2.1 Selección de componentes	48
2.2 Mecanismos de disparo	52
2.2.1 MUELLE:	52
2.2.2 NEUMÁTICO:	53
2.2.3 SERVOMOTOR:.....	54
2.2.4 SOLENOIDE:.....	54
2.3 Diseño de los circuitos impresos	59
2.3.1 MÓDULO DE REGULACIÓN:.....	59
2.3.2 MÓDULO TEENSY:.....	61
2.3.3 MÓDULO SOLENOIDE:	62
2.3.4 MÓDULO ENCODER:	63
2.3.4 MÓDULO PUENTES H:.....	64
2.3.5 MÓDULO XBEE:.....	65
2.3.6 TARJETA DE ENSAMBLE:.....	66
CAPÍTULO 3: PRUEBAS	68
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	73
4.1 BASE:	74
4.2 Rodillo:	75

4.3 Cubiertas:	75
RECOMENDACIONES	80
CONCLUSIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Dimensiones máximas del robot	26
Figura 2 Área mínima superior del robot	27
Figura 3 Patrón estándar RoboCup 2015.....	28
Figura 4 Asignación estándar de colores	29
Figura 5 Sistemas de regate	30
Figura 6 Legged Robot RHex (Dynamics, 2015).....	34
Figura 7 Wheeled Robot (SuperDroid Robots, 2015).....	34
Figura 8 Estructura tipo ackerman (Electronics Forum, 2015)	38
Figura 9 Estructura tipo triciclo (Mucho trasto, 2015).....	38
Figura 10 Estructura tipo diferencial (Cuentos cuanticos, 2015).....	39
Figura 11 Estructura tipo oruga (Makerblock, 2015).....	39
Figura 12Figura 12 Rueda omnidireccional y Estructura tipo omnidireccional (Mucho trasto, 2015).....	40
Figura 13 Pateo usando resorte (CEJAROSU, 2015).....	53
Figura 14 Pateo neumático. (Informes Mk2013A Eduardo Rdz Zarate. 174, 2015)	54
Figura 15 Pateo con servomotor (nefergallego, 2015)	54
Figura 16 Pateo con solenoide (tecnoficio, 2015).....	55
Figura 18 Pcb módulo de regulación.....	60
Figura 17 Esquemático módulo de regulación	60
Figura 19 Pcb módulo de la tarjeta Teensy y tarjeta Teensy.....	61
Figura 20 Esquemático modulo tarjeta Teensy	62
Figura 21 Pcb modulo solenoide y dribbling	63
Figura 22 Esquemático modulo solenoide y dribbling.....	63
Figura 23 Pcb módulo encoder.....	64
Figura 24 Esquemático módulo encoder	64
Figura 25 Pcb modulo Puentes H y Puentes H.....	65
Figura 26 Esquemático modulo puentes H.....	65
Figura 27 Pcb module Xbee y Xbee S1.....	66
Figura 28 Pcb tarjeta de ensamble.....	66
Figura 29 Módulos conectados en la tarjeta de ensamble	67
Figura 30 Croquis estructura de prueba 1.....	68
Figura 31 Fotos estructura de prueba 1	69
Figura 33 Croquis de la estructura de prueba 2	71
Figura 32 Fotos estructura de prueba 2	72
Figura 34 Croquis estructura de prueba 3.....	72
Figura 35 Fotos estructura de prueba 3	73
Figura 36 Fotos base impresa en 3D	74
Figura 37 Fotos partes dribbling.....	75
Figura 38 Fotos cubierta 1	76
Figura 39 Fotos cubierta 2.....	76
Figura 40 Fotos ensamble porta batería a la base.....	77
Figura 41 Fotos ensamble partes del dribbling.....	78
Figura 42 Fotos ensamble solenoide y motores	78
Figura 43 Fotos del robot completamente ensamblado.....	79
Figura 44 Fotos del robot con la primera carcasa y el circuito impreso.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Metodología Top Down para la fabricación del robot F180	20
Tabla 2 Características de motores categoría SSL	42
Tabla 3 Paradigma deliberativo (INFANTE MORENO, 2012).....	44
Tabla 4 Paradigma reactivo (INFANTE MORENO, 2012).....	45
Tabla 5 Arquitectura mixta (INFANTE MORENO, 2012).....	46
Tabla 6 Comparación Arduino mega vs Teensy 3.1	50
Tabla 7 NRF24L01 vs XBEE S1.....	51
Tabla 8 Comparación de sistemas de pateo.....	56
Tabla 9 Peso de los componentes de las estructuras de prueba.....	70

INTRODUCCIÓN

RoboCup es una iniciativa de investigación en el área de la robótica la cual busca el desarrollo tecnológico por medio de competencias en las cuales se utilizan robots autónomos.

Una de estas competencias es el robot soccer, que a su vez se divide en cinco ligas, una de ellas es la SSL por sus siglas en inglés (Small Size League) o también conocida como F180.

En este mismo orden de ideas, la liga SSL se basa en la cooperación multi-agente, el juego de futbol se lleva a cabo entre dos equipos de cinco robots cada uno, se juega con una pelota de golf naranja, en un campo de color verde.

De antemano, es importante aclarar que todos los objetos del campo son monitoreados por un sistema de visión estandarizado que posee dos cámaras situadas a cuatro metros por encima de la superficie de juego, el sistema de visión se llama SSL-vision y es de código abierto.

Este trabajo describe la construcción de robots F180 en la categoría *Small Size League* de RoboCup, ya que es poco estudiada en la universidad el área de robótica móvil. Teniendo en cuenta que se puede aplicar en múltiples áreas disciplinares a lo largo de la carrera de licenciatura en electrónica, igualmente puede ser utilizado por los docentes en formación en los espacios de practica educativa.

Ahora bien teniendo en cuenta que el presente trabajo de grado se basa en el diseño y construcción de 3 robots F180 que cumplan con el reglamentos de RoboCup para participar en una competición. También se tuvo en cuenta la implementación del hardware, para el diseño de los circuitos de manera modular y así facilitar las mediciones además de un ágil remplazo en caso de daño de alguno de los componentes o las tarjetas. De igual forma estos

componentes fueron seleccionados de acuerdo al presupuesto con el que se contaba sin perder la calidad de los mismos.

Por otro lado se tuvo en cuenta los proyectos de grados y semilleros de investigación de otras universidades que alimentaron el interés por escoger el tema y por seguir investigando acerca de éste.

De esta manera se fue consolidado el presente trabajo de grado el cual se organizó en cuatro capítulos los cuales se desglosa el diseño, construcción e implementación de los mismos

JUSTIFICACIÓN

Por otro lado es importante reconocer que a nivel nacional los eventos, concursos, muestras, exhibiciones en cuanto a la robótica han venido creciendo de manera exponencial, sin embargo en el área del robot soccer hay pocos desarrollos por parte de entidades educativas y/o particulares.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente en lo referente al campo de la robótica y a todo el avance que se ha venido dando en los últimos tiempos, en cuanto a lo que se refiere a difusión, aplicabilidad, desarrollo investigativo, etc. Se hace necesario que la Universidad Pedagógica Nacional, (UPN), se vincule e invite a sus estudiantes, maestros y demás miembros de la comunidad académica a ampliar las investigaciones y aplicaciones de la robótica.

De aquí que esta tesis se puede vincular o aplicar en diferentes materias o contenidos del programa académico para facilitar la adquisición de conocimiento y la aplicabilidad en múltiples espacios como sistemas de control 1, 2, 3, sistemas de comunicación, tratamiento de imágenes; realizando laboratorios, prácticas en la que se incluya a la robótica móvil como una herramienta de aprendizaje

Es vital reconocer la importancia de la robótica además el aporte que ésta hace a la tecnología, la aplicabilidad para mejorar y facilitar la calidad de vida del ser humano, la posibilidad que da para incentivar nuevas investigaciones en el área, aportar elementos novedosos y lúdicos en el aprendizaje de la educación, ya que, los colegios, escuelas e instituciones de educación

media invitan a sus alumnos a realizar proyectos relacionados con la robótica, por esta razón el estudiante/egresado UPN debe formarse y formar conocimiento en este aspecto.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Diseñar y construir un equipo de 3 robots para categoría SSL

Objetivos Específicos:

- Fabricar e implementar el hardware necesario para el funcionamiento autónomo del robot, en módulos individuales e intercambiables como: etapa de potencia, comunicación, control, instrumentación.
- Construir una estructura resistente para una competencia de categoría SSL, teniendo en cuenta el reglamento y especificaciones de RoboCup.

METODOLOGÍA

Metodología Top Down (Metodologías de Diseño, 2015)

En la búsqueda de una metodología que se ajustara al diseño y a la construcción del presente que proyecto de grado, se opta por buscar diferentes metodologías empleadas en el diseño electrónico, desarrollo de productos y de software.

De esta manera esta metodología permite dividir el proceso en módulos que facilitan el trabajo logrando evidenciar posibles errores. Por lo tanto, los módulos permiten ahorrar tiempo y dinero, al poder realizar un seguimiento del proceso más personal e individual.

De igual forma, en el momento en el cual se termina el diseño y construcción al emplear esta metodología de Top Down hace más fácil el mantenimiento, debido a que al evidenciarse una anomalía no se hace necesario cambiar todo sino por el contrario el error se puede identificar más sencillamente y cambiar por individual.

Así pues, *“las especificaciones se establecen desde el principio y se transfieren a todo el sistema (...) se inicia por un nivel superior y se va emigrando a los niveles inferiores, buscando establecer las funciones entre las partes del producto para finalmente ultimar los detalles”* Esto facilita las modificaciones que se le hagan al diseño ya que, esta metodología permite que se permee todo el diseño y llegué al producto final.

En este orden de ideas se establecen unos principios básicos para su óptimo funcionamiento:

- En el proceso de diseño los cambios que se efectúen tienen la potestad para ser verificados evidenciando su viabilidad o no.
- Es necesaria una planeación rigurosa que evidencie riesgos y pueda mitigarlos.
- Las especificaciones del diseño y construcción deben manifestarse de manera escrita que permitan documentar y replicar el diseño en el futuro.
- Se hace necesario tener un parámetro de diseño el cual se divide en parámetros de atributo que hace referencia a la estructura, dimensión o geometría y parámetro de desempeño que son el ciclo de vida del producto.

De igual modo se vislumbran las ventajas de esta metodología que se acomodan en el diseño y la construcción del proyecto de grado.

- Flexibilidad y rapidez en los cambios efectuados
- Debido a que hay una verificación en cada módulo se mitigan los errores en el proceso y por ende producto final.
- De manera que el modelo compartido lleva que exista un desarrollo en paralelo de los bloques de diseño eliminando los retrasos las actividades en serie.
- Además disminuye la necesidad verificación del producto final.

Ahora bien, se procede a la explicación de cada uno de estos pasos que guían el proyecto de grado y lo complementan para que el análisis de las diferentes pruebas realizadas sea eficaz y conciso.

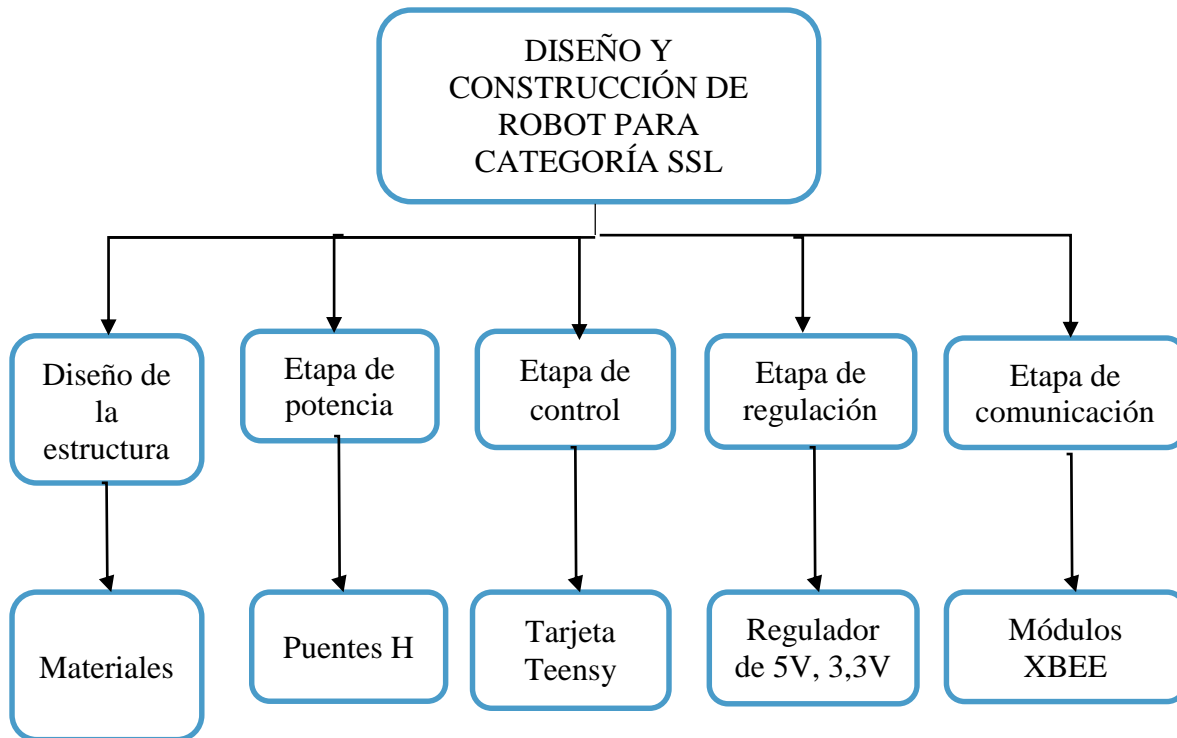


Tabla 1 Metodología Top Down para la fabricación del robot F180

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Esta etapa es sin duda una de las más importantes del proceso de investigación pues brinda las bases para motivar y guiar la misma. De esta manera en esta instancia se identifican posibles necesidades o falencias para que el producto final satisfaga las mismas, es decir, en este caso se identificó el poco trabajo en la robótica y su poca vinculación con el área de la educación, por ejemplo se asistió a encuentros de Robótica que mostraron lo anteriormente dicho. Así se fueron considerando las primeras ideas preliminares que se abordan a continuación.

IDEAS PRELIMINARES

En primera instancia se consideró este tipo de robots que se ajustaban al presupuesto económico, facilidad de manejo, en cuanto al diseño y la construcción.

También se decidió que fueran tres robots que se ajustaran al reglamento establecido y cumplieran con las especificaciones para competir; no obstante el presente proyecto de grado no se destina a la competición de los mismos, si no expresamente a al diseño y construcción.

Sin embargo no se desconoce que este proyecto motive otras investigaciones en la Universidad Pedagógica y porque no se derive una línea de investigación para competir en los diferentes torneos que existen.

ANÁLISIS Y PERFECCIONAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta etapa se realizaron diferentes pruebas en el diseño, ensamble y construcción de los robots con el fin de perfeccionar constantemente los mismos. De igual forma el texto escrito como tal, ha recibido distintos cambios los cuales también lo han ido perfeccionando.

De esta manera el ensayo y error han configurado los diferentes momentos en todo el proceso investigativo.

DECISIÓN Y REALIZACIÓN

Estas etapas son unas de las más cruciales pues de acuerdo a las decisiones que se tomen se verá reflejado en el producto final y sus resultados. Es decir, el adecuado análisis y las

posteriores decisiones que se tomen en cuanto a componentes a usar, los prototipos finales de los robots, la programación de Hardware, determinan en este caso, el óptimo funcionamiento de cada uno de los Robots

La metodología empleada en el presente proyecto de grado consta de tres etapas, la primera de ellas se refiere a la recolección de información en la cual se toma en cuenta trabajos de grado y sitios web relacionados con el tema de Robots F180 de la categoría SSL.

La segunda etapa hace referencia a la selección de componentes electrónicos adecuados que faciliten la construcción de los Robots y la fabricación de circuitos impresos de manera modular para una fácil sustitución de componentes en el caso de que se presente algún daño.

Finalmente la tercera etapa consta del diseño de la parte estructural y la selección de materiales a implementar en las mismas.

ANTECEDENTES

Para efectos de la construcción del trabajo de grado se ha venido realizado una revisión documental en las tesis del departamento de tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional.

En esta indagación se encontró un trabajo de grado del año 2010 titulado “Desarrollo de estrategias en sistemas multiagentes (Robots Futbolistas) con implementación de visión artificial” (Ariza Guerrero, Castiblanco Álvarez, & Suárez Camargo, 2010), en el cual se

desarrollaron tres robots futbolistas que realizaban tres estrategias que se explican a continuación.

La primera de éstas estrategias es cuando se enfrentan los robots delantero contra delantero, la segunda se da al entrenar al arquero en la cual se lanza una pelota y éste evita que sea gol, finalmente la tercer estrategia es cuando el delantero se enfrenta con el portero en penaltis.

Así pues, el trabajo anteriormente descrito se enfoca en la estrategia del robot para determinar cómo atacar la pelota y cómo ubicarse respecto a los robots del otro equipo, los robots no poseen un actuador para patear la pelota, la golpea con la estructura para darle la dirección.

Por otro lado, se realizó una indagación a un grupo de investigación en robótica de la Universidad Santo Tomás que posee un equipo de fútbol robótico llamado STOX's (GED, 2015), el cual ha participado en campeonatos latinoamericanos y mundiales en la categoría SSL, por sus siglas en inglés (Small Size League), que pertenece a una de las ligas de RoboCup.

Asimismo, consta de dos equipos de 5 robots, que no pueden sobrepasar los 18cm de diámetro, y los 15cm de altura, cada uno. Este grupo de investigación posee 2 generaciones de robots, la primera fue construida en plástico, pero las piezas se rompían constantemente.

La segunda generación fue fabricada en aluminio y bronce, con el cual participaron en una copa mundial. Actualmente están buscando patrocinio para construir una tercera generación con materiales más resistentes.

Es necesario aclarar que este grupo de investigación ya posee las estrategias, el tratamiento de imágenes para que el control sea autónomo, sin embargo no posee un cálculo para lograr hacer pases de manera aérea.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Reglamento SSL 2015

A continuación se encuentran las especificaciones que se tomaron del REGLAMENTO SSL 2015, (RoboCup, 2015).

1.1.1 PELOTA

Es una bola de golf estándar de color naranja:

- Esférica
- Color naranja
- Aproximadamente 46 gramos de masa
- Aproximadamente 43 mm de diámetro

1.1.2 NUMERO DE ROBOTS

El juego consta de dos equipos de robots, los equipos no pueden sobrepasar los seis robots. De esta manera, los mismos deben estar claramente enumerados para que puedan ser identificados por los jueces, el portero debe ser designado antes de que comience el equipo.

1.1.3 SUSTITUCIONES

Los robots pueden ser sustituidos y no hay un número límite de sustituciones.

1.1.3.1 PROCEDIMIENTO DE SUSTITUCIÓN

Para realizar la sustitución se deben cumplir las siguientes condiciones.

- Las sustituciones solo se pueden realizar cuando el juego se encuentre interrumpido.
- El árbitro debe ser informado antes de realizar la sustitución.
- El robot sustituido debe ser sacado del campo antes de que entre en nuevo robot.
- El robot que sustituye entra por la línea del medio del campo.

1.1.3.2 SUSTITUCION DEL PORTERO

Cualquiera de los jugadores puede cambiar de puesto con el portero siempre que:

- El árbitro debe ser informado antes del cambio para tener conocimiento de cuál es el robot que va a tomar el puesto del portero.
- El cambio se efectuará durante una interrupción del juego
- El árbitro indica el nuevo número del portero, que se envía a los equipos.

Cada equipo debe tener una persona que es la encargada del intercambio de los robots y colocarlos cuando sea necesarios. Ningún otro miembro puede invadir el área que rodea el campo de juego.

1.1.4 SEGURIDAD

Los robots no pueden poseer en su construcción ningún artefacto que pueda causar daño así mismo, a los demás robots o a los humanos.

1.1.5 FORMA

Un robot debe entrar en un cilindro de 180mm de diámetro y tener una altura de 150mm o menos. Adicionalmente el área de la superficie debe adherirse al tamaño del patrón estándar y sus restricciones que se describen más adelante en esta regla.

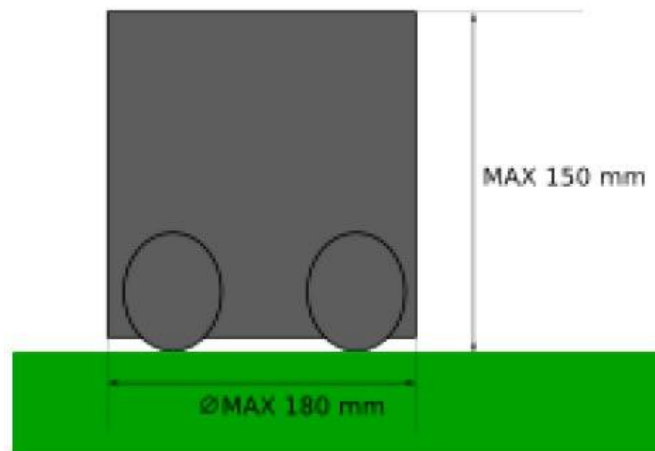


Figura 1 Dimensiones máximas del robot

1.1.6 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Los robots pueden utilizar comunicación inalámbrica a computadores o redes locales fuera del campo.

1.1.7 COLOR DE LOS EQUIPOS

Así pues, antes de comenzar el juego, a cada uno de los dos equipos se le asigna un color, es decir, amarillo o azul. Todos los equipos deben tener la posibilidad de cambiar de color amarillo o azul.

El color asignado al equipo se utiliza en el marcador central para todos los robots del equipo.

A continuación se encuentra el diseño detallado de los marcadores.

1.1.8 PATRÓN ESTANDAR

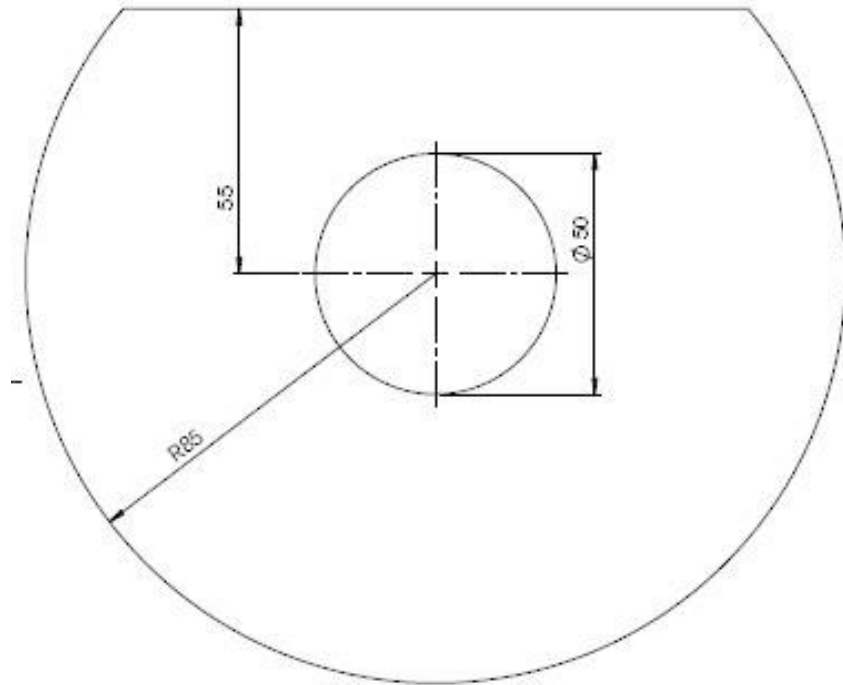


Figura 2 Área mínima superior del robot

De esta manera todos los equipos participantes deben cumplir con los requisitos de funcionamiento dados del sistema de visión compartida.

En particular se solicita a los equipos utilizar un determinado conjunto de colores estandarizados y patrones en la parte superior de sus robots.

Para asegurar la compatibilidad con los modelos normalizados para el sistema de visión compartida, todos los equipos deben garantizar que todos los robots tengan una superficie plana en la parte superior con suficiente espacio disponible. El color de la parte superior del robot debe ser negro o gris oscuro mate (sin brillo) para reducir el deslumbramiento.

El patrón estándar SSL -Vision se garantiza para entrar un círculo de 85 mm de radio, se realiza un corte en la parte frontal del robot a una distancia de 55 mm desde el centro, como se muestra en la Figura 3. Así, los equipos deben asegurarse de que la parte de arriba de los robots encierren totalmente esta zona.

El patrón estándar usado por todos los equipos en RoboCup se muestra en la figura 3. *Nota: los organizadores se reservan el derecho de cambiar este patrón en cualquier momento, si es necesario.* Por lo tanto los equipos deben asegurarse de cumplir con el tamaño estándar del área en la parte superior del robot como se indica en la figura 3.

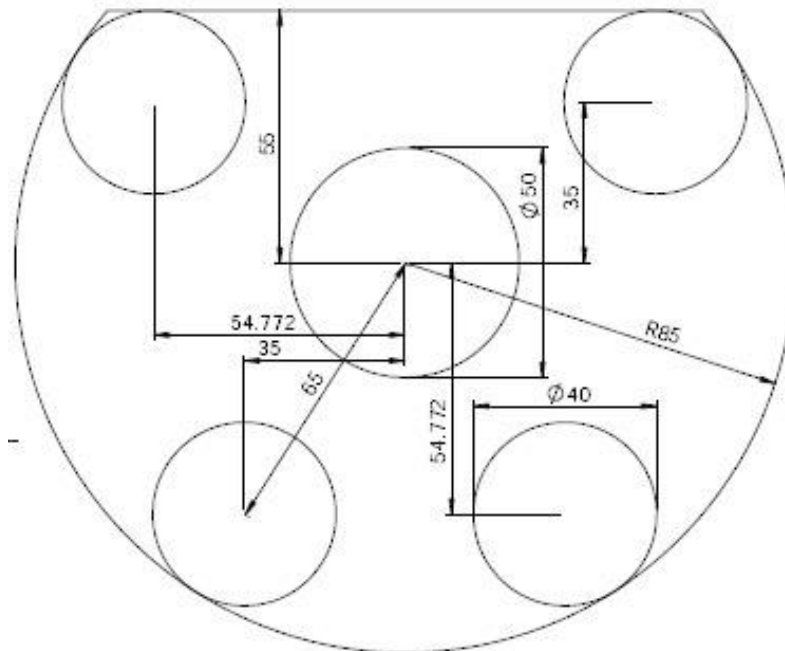


Figura 3 Patrón estándar RoboCup 2015

De esta manera, cada robot debe utilizar el patrón estandarizado con una asignación de color única seleccionado de un conjunto de posibles combinaciones. No hay dos robots que se les permita utilizar la misma asignación de color.

Asimismo, el color de círculo central determina el equipo si es azul o amarillo. Todos los marcadores deben ser cortados con las especificaciones de la documentación sobre SSL-vision. Los equipos pueden adquirir el papel de color estándar antes de la competencia, las cantidades son limitadas del papel o cartón de los colores estándar y serán proporcionadas en la competición. El conjunto de colores legales asignados se muestran en la figura 4.

Nota: Tener en cuenta que los organizadores se reservan el derecho a cambiar los colores en cualquier momento si es necesario.

Igualmente los equipos pueden elegir la asignación de colores con la identificación de 0-11 debido a que experimentalmente se han encontrado más estables.

1.1.9 AUTONOMIA

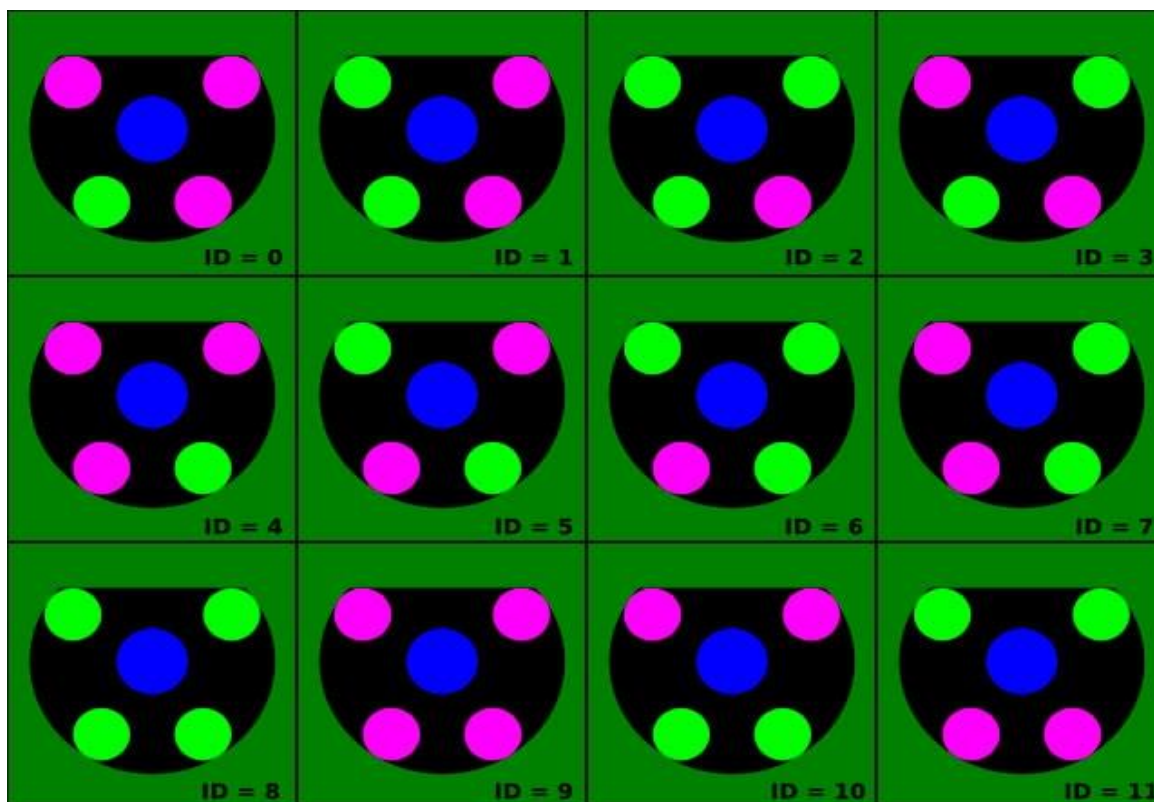


Figura 4 Asignación estándar de colores

El equipo robot debe ser totalmente autónomo. Sin embargo, al operador humano no le es permitido ingresar información al equipo durante el partido, excepto en el medio tiempo o durante un tiempo de espera.

1.1.10 REGATE

En cuanto al dispositivo que ejerce activamente el efecto de retroceso de la bola, mantener la bola en contacto con el regate del robot se permite bajo ciertas condiciones. Primero, el giro que se ejerce sobre la pelota debe ser perpendicular al plano del campo. Segundo, las barras de regate verticales o parcialmente verticales, también conocidos como dribladores secundarios son permitidas.

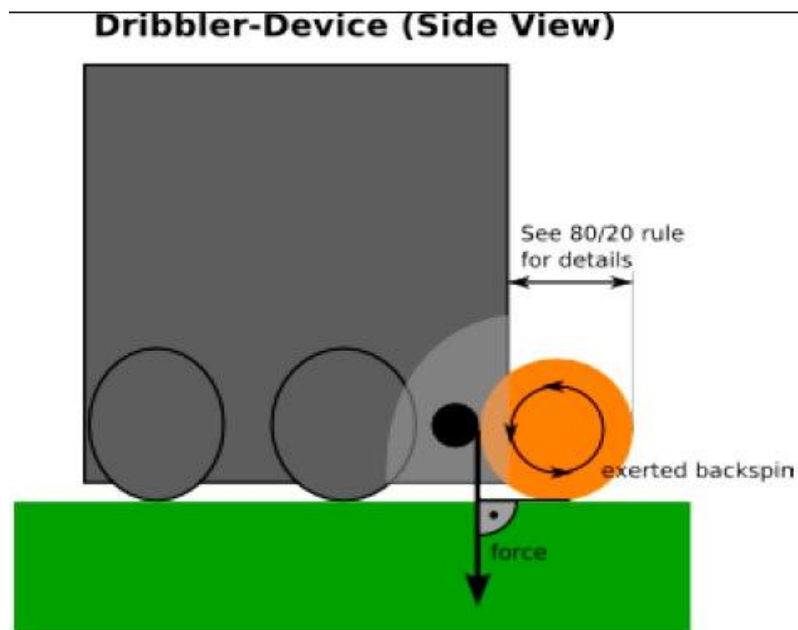


Figura 5 Sistemas de regate

- Si el robot se avería el árbitro informa que debe abandonar el campo de juego para corregir su equipamiento.
- El robot sale del campo de juego cuando el balón deja de estar en juego

- Cualquier robot obligado a abandonar el campo de juego para corregir su equipo no puede volver a entrar sin permiso del árbitro.
- El árbitro verifica que el equipamiento del robot es correcto antes de permitir que vuelva a entrar al campo de juego.

Al robot solo se le permite volver a entrar en el terreno de juego cuando el balón esta fuera de juego. Un robot que ha abandonado el campo de juego debido a una infracción de la presente ley y que entra (o vuelve a entrar) en el terreno de juego sin el permiso del árbitro será amonestado con tarjeta amarilla.

1.2 Comunicación Serial

La comunicación serial es un protocolo bastante común para la comunicación entre dispositivos, el puerto puede recibir y enviar bytes de información transmitiendo un bit a la vez hasta completar el byte. Esta manera de transmitir la información es un poco lenta comparado con la comunicación paralela, sin embargo de esta forma se puede transmitir a una mayor distancia y se puede utilizar un cable de hasta 1200 metros. Los datos se transmiten en formato ASCII y la conexión se hace a través de tres líneas de transmisión, tierra, transmisión y recepción. Al tratarse de una comunicación asíncrona se puede estar recibiendo información por una línea mientras se trasmite por la otra. De manera que este protocolo tiene las características de bits de información, bits de stop y bits de paridad, lo cual es necesario que los dos puertos estén configurados de la misma manera para que se puedan comunicar.

1.2.1 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

La velocidad de transmisión indica los números de bits transmitidos por segundo y se mide en baudios. Es decir, a mayor velocidad se reduce la distancia de transmisión, la velocidad más comúnmente utilizada es 9600 baudios.

1.2.2 BITS DE DATOS:

Se refiere a la cantidad de bits de la transmisión, comúnmente se utilizan 8 bits, que se refiere a un número de 0-255, no obstante se pueden utilizar más o menos bits dependiendo de la necesidad.

1.2.3 BITS DE PARIDAD:

Estos bits son utilizados para indicar el fin de la comunicación de un paquete de bits, esto da un margen de tolerancia entre los dos relojes.

1.2.4 BITS DE STOP:

Es una manera de verificar si hay errores en la transmisión de la información verificando que la transmisión tenga un número par o impar de bits.

1.3 Robots Móviles

Se pueden definir como máquinas controladas con inteligencia artificial que se desplazan mediante extremidades flexibles o rodamientos, tienen la capacidad de aprender, decidir y aprender de la experiencia para implementarlo en el mundo que lo rodea. Por otro lado cuenta con la capacidad de desplazarse de forma autónoma en un entorno desconocido o parcialmente desconocido.

A continuación se derivan dos tipos autónomos y dependientes que se explican a continuación.

1.3.1 ROBOTS AUTÓNOMOS

Estos tienen la capacidad de moverse sin necesidad de fuentes de alimentación externas, toman decisiones basados en el sensado del entorno en el cual se encuentran, también cuentan con la capacidad de percibir, modelar, planificar y actuar con poca o nula intervención humana.

1.3.2 ROBOTS DEPENDIENTES

Este tipo de robot necesita la intervención humana parcial o total, como alimentación cableada.

1.4 Locomoción

Por otro lado se halla la locomoción que se divide en dos partes, la primera es la forma de apoyarse y en el medio por el cual se desplaza el robot; la segunda es la que se refiere a lo que permite su propulsión, esto depende del medio en el cual se desplaza (terrestre, acuático, aéreo y/o la combinación) (INFANTE MORENO, 2012).

1.4.1 CATEGORÍAS

A continuación se encuentran las diferentes categorías en las cuales se dividen los robots

Caterpillar Robots

Son robots utilizados para desplazarse en lugares de difícil acceso.

Legged robots:

Poseen sistemas de control complejos, ya que tienen numerosos grados de libertad para desplazarse en terrenos irregulares.



Figura 6 Legged Robot RHex (*Dynamics, 2015*)

Wheeled robots:

Se clasifican dependiendo del número de ruedas que posean y su colocación. Así pues éstos pueden sobrepasar obstáculos menores al radio de su rueda.



Figura 7 Wheeled Robot (*SuperDroid Robots, 2015*)

Robots holonómicos

Estos máquinas tienen la capacidad de desplazarse en cualquier dirección y no tienen restricciones en sus movimientos.

Robots no holonómicos

Estos robots poseen solo dos grados de libertad en sus movimientos.

1.5 Sensores

1.5.1 SENSORES INTERNOS

Los sensores internos son lo que se encargan de la información relacionada a su estado o posición. A continuación se desarrollan los diferentes tipos de sensores internos.

Sensores de posición

Este tipo de sensores se emplean para control de posición angular, entre ellos se encuentran los Encoder. De esta manera, los potenciómetros son principalmente utilizados para usos educativos.

Encoder

Es un dispositivo electromecánico para la lectura de la posición angular, los hay de tipo óptico, magnéticos y mecánicos.

En primera instancia los ópticos constan de dos diodos infrarrojos uno emisor y el otro receptor, donde la manera de sensar los pulsos es colocando una barrera entre los dos diodos, los afecta la contaminación por que el polvo puede tapar los diodos y los afecta las altas temperaturas.

Como segunda instancia se encuentran los de tipo magnético o efecto hall que cuentan con un sensor que capta el campo magnético y de esta manera realiza el sensado, poseen la ventaja de poder trabajar en ambientes extremos ya que no los afecta el polvo ni la temperatura.

Finalmente se halla el tipo mecánico el cual sensa teniendo en cuenta un contacto que se genera en su interior, no es recomendable utilizarlo en altas velocidades ya que al ser de contacto se dañan con facilidad.

Sensores de velocidad

Es de vital importancia el sensado de la velocidad para mejorar el comportamiento del robot, normalmente se realimenta la información en un bucle de control análogo. Habitualmente se utiliza un taco generatriz como sensor el cual proporciona 10 mili voltios por cada rpm.

Sensores de presencia

Aquí se pueden encontrar dos tipos de sensores de presencia, los de contacto y los ópticos.

Los sensores de contacto normalmente son interruptores unidos a un vástago u otro dispositivo, con los cuales se puede medir las posiciones en cero, indicar los límites de las articulaciones o como auxiliares de los sensores de posición.

También se puede detectar la presencia de un objeto con los sensores de tipo óptico lo único es que con estos no hay contacto, también se pueden utilizar con sensores externos además los sensores de efecto hall detectan la presencia de objetos ferro magnéticos.

1.5.2 SENSORES EXTERNOS

Los sensores externos ayudan a los robots a adquirir información de lo que los rodea a los mismos, esto permite una mejor interacción con su ambiente. Sin embargo esto contrasta con los robots que realizan tareas repetitivas, ya que, estos tienen funciones preprogramadas.

Por lo tanto un robot es capaz de observar y sensar gran cantidad de variables a su alrededor de esta manera se hace más factible manipular su ejecución de tareas complejas, al mismo tiempo, promueve un menor control y menos estricto que las máquinas preprogramadas.

1.6 Arquitectura de hardware

VEHÍCULOS CON RUEDAS:

Estas se convierten en la alternativa más común para desplazamientos en diferentes terrenos, con la limitación de los componentes al cambiar de terreno, como en terrenos blandos

ACKERMAN:

Vehículo de cuatro ruedas convencionales, en el cual, la rueda delantera interior gira un ángulo ligeramente superior a la exterior ($\theta_1 > \theta_0$) para eliminar deslizamiento (INFANTE MORENO, 2012).

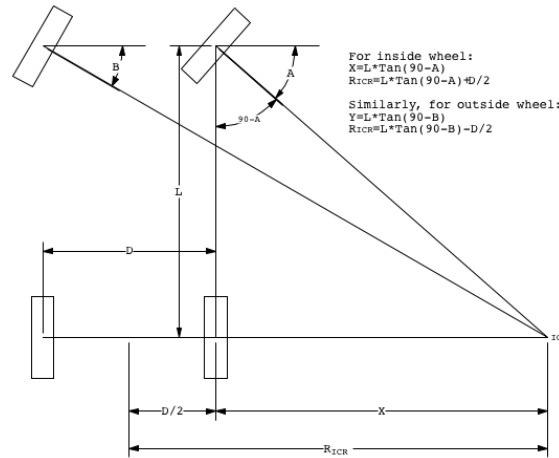


Figura 8 Estructura tipo ackerman (*Electronics Forum, 2015*)

TRICICLO CLÁSICO:

Éste se compone de una rueda en la parte delantera adicionalmente dos en la parte trasera, la rueda delantera funciona para el direccionamiento y las ruedas traseras funcionan para el desplazamiento.

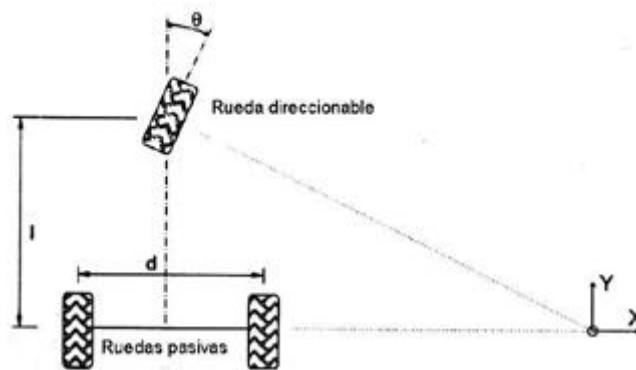


Figura 9 Estructura tipo triciclo (*Mucho trasto, 2015*)

DIRECCIONAMIENTO DIFERENCIAL:

Este sistema consta de dos ruedas en las cuales el direccionamiento está dado por la diferencia de velocidades de las mismas, es decir, es uno de los sistemas más sencillos y de más fácil control del desplazamiento.

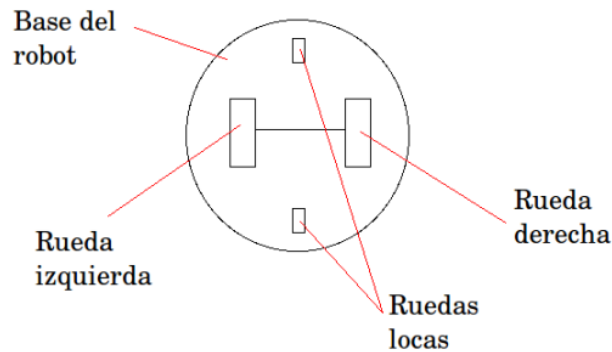


Figura 10 Estructura tipo diferencial (*Cuentos cuanticos, 2015*)

PISTAS DE DESLIZAMIENTO:

Es un vehículo tipo oruga el cual utiliza las pistas de desplazamiento para la desplazarse y dar una dirección, funcionan de manera similar a los sistemas diferenciales.

DESPLAZAMIENTO OMLIDIRECCIONAL:



Figura 11 Estructura tipo oruga (*Makerblock, 2015*)

Se utilizan unas ruedas denominadas “ruedas suecas” las cuales se pueden mover en múltiples direcciones, de esta manera el robot se puede desplazar en cualquier dirección sin tener una orientación determinada, también posee una rotación que se puede combinar para que el robot llegue con el ángulo deseado a la posición.

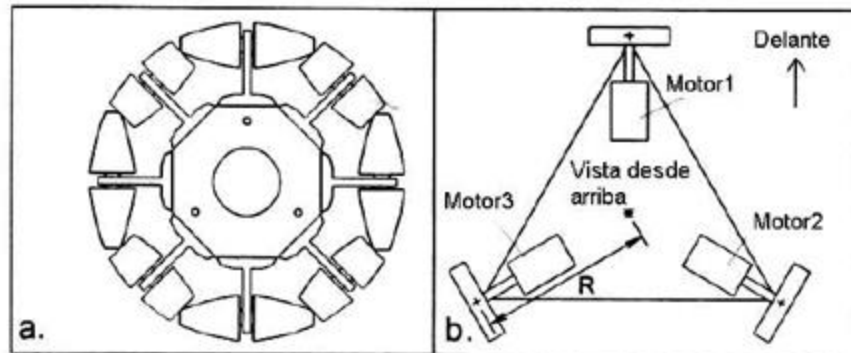


Figura 12 Figura 12 Rueda omnidireccional y Estructura tipo omnidireccional (Mucho trasto, 2015)

1.7 Motores

Luego de múltiples revisiones a la documentación encontrada respecto a los robots SSL tanto de proyectos universitarios como a los equipos participantes en la Robocup 2015, se encontró predilección por los motores de marca Maxton en tres referencias en específico EC 45 flat brushless 50 Watt with Hall sensors, EC 45 flat brushless, 30 Watt with Hall sensors y A-max Precious Metal Brushes CLL, 2 Watt with terminals. Los dos primeros tipos de motores son utilizados para las ruedas de los robots y el último es utilizado para el dribbling del mismo.

A propósito del tema en un par de documentos explicaban que utilizaron el EC45 de 30W en uno de los casos decidieron realizar una reducción 2:1 con piñones para disminuir la

velocidad del motor e incrementar su torque, lo cual les ocupo mayor espacio dentro de la estructura del robot.

Por otro lado en uno de los documentos realizaron el control de velocidad del motor por medio de PWM. Allí describían múltiples ventajas respecto a los motores como el poco espacio que ocupan al poseer una tecnología que no utiliza escobillas y por ende no se requiere mantenimiento de las mismas.

En este mismo orden de ideas, acerca del dribbling, en uno de los documentos explicaron que contaban con un motor A-max 16 y lo implementaron al sistema de dribbling con una relacion 1:1 de piñones, lo cual no les dio la velocidad deseada, y cambiaron los piñones por uno de 34 pines y el otro de 12 lo cual les dio una relación de 6:17.

Teniendo en cuenta el presente trabajo de grado se utilizaron micromotores 30:1 con eje expandido, estos motores se utilizan para las ruedas del robot ya que cumplía con las características para su uso en esta estructura, también se utilizó un motor con las mismas características para el dribbling del robot.

A continuación se presenta una tabla con las características de los motores

	EC 45flat 50W	EC 45flat 30W	A-MAX 16	Micro Motor
Voltaje nominal	24 V	12 V	12 V	6V
velocidad sin carga	6710 rpm	4360 rpm	12300 rpm	1000 rpm
corriente sin carga	185 mA	163 mA	9.54 mA	120mA
velocidad nominal	5240 rpm	2910 rpm	6660 rpm	
torque nominal	83.4 mNm	54.9 mNm	2.17 mNm	

corriente nominal	2.33 A	2.02 A	0.243 A	
Stall torque	780 mNm	247 mNm	4.77 mNm	63,55mNm
Stall current	23.3 A	9.69 A	0.52 A	1600mA
Max. Efficiency	83%	76%	76%	

Tabla 2 Características de motores categoría SSL

1.8 Controladores

1.8.1 ARQUITECTURA DE CONTROLADORES:

Se define como la representación de un sistema comenzando por los componentes básicos y como estos últimos se articulan para crear el conjunto.

Requerimientos

- Integración de hardware y software
- Múltiples niveles de funcionalidad.
- Ciclo: Sensar, planificar, actuar

Sensar: recolección de información del entorno a través de los sensores.

Planificar: análisis de los datos recolectados para decidir qué acción se llevara a cabo.

Actuar: seleccionar las acciones que se le van a enviar a los actuadores del robot.

Arquitectura descomposición horizontal (paradigma deliberativo) Ciclo SMPA (sense. Model. Plan. Act.)

El paradigma deliberativo es el más antiguo predominó entre 1967 y 1990, según el paradigma los robots deben cumplir primero con sensor su entorno, planear la acción y ejecutarla. De esta manera el ciclo se repite hasta completar todas las tareas. Por tal motivo en este paradigma se deben explicitar todas las acciones que debe realizar el robot, a partir de lo capturado por los sensores intenta crear un modelo interno del mundo real lo más exacto posible.

En este mismo orden de ideas el profesor Willson Infante Moreno de la Universidad Distrital realiza un análisis del Ciclo SMPA (INFANTE MORENO, 2012) y establece unas ventajas y desventajas del mismo.

Ventajas:

- Adecuada organización en cuanto a su estructura y su funcionalidad
- Aplicación en entornos estructurados y predecibles

Desventajas:

- Poco robustos
- Planificación en lazo abierto y no manejo de incertidumbre

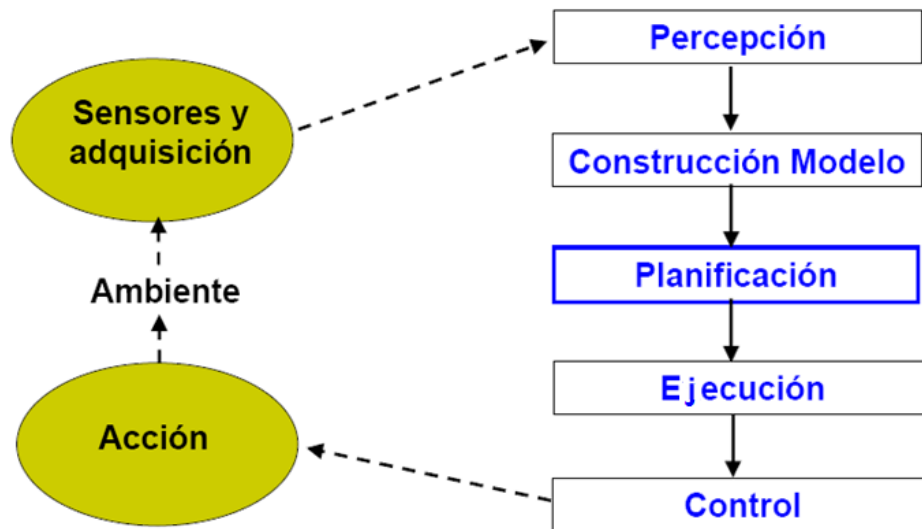


Tabla 3 Paradigma deliberativo (INFANTE MORENO, 2012)

Arquitectura descomposición vertical (paradigma reactivo)

Paradigma inspirado en el comportamiento reactivo de los animales como una solución a los problemas del paradigma deliberativo, la organización de esta arquitectura es sentir-actuar, donde la lectura de los sensores puede indicar dos cosas diferentes al mismo tiempo, lo que realiza el control es unir esas dos acciones y surge un comportamiento emergente.

Al igual que la arquitectura anterior el profesor Willson Infante Moreno de la Universidad Distrital también establece unos parámetros que definen ventajas y desventajas de la Arquitectura de descomposición vertical.

Ventajas:

- Modularidad y ejecución en paralelo
- Robustez y tolerancia a fallos

Desventajas:

- Establecer conjunto de comportamientos básicos
- Coordinar comportamientos e integrar acciones
- Sin modelos no se pueden planificar las tareas

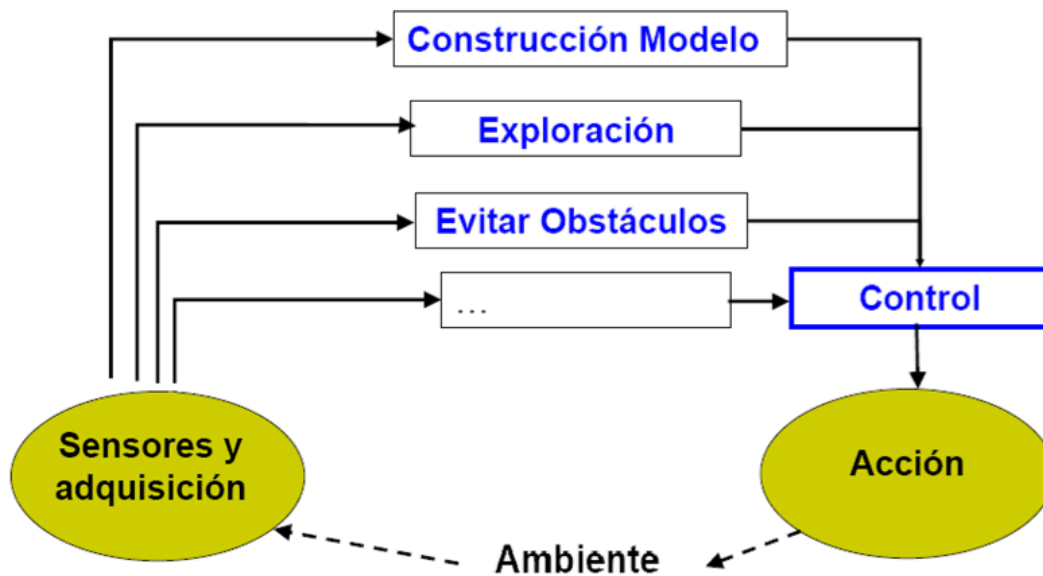


Tabla 4 Paradigma reactivo (INFANTE MORENO, 2012)

Arquitectura mixta

Esta arquitectura se basa en el paradigma reactivo por su velocidad de ejecución y en el paradigma deliberativo incorpora un nivel de razonamiento basado en modelos internos. Entonces lo que realiza este paradigma es planear la mejor manera para dividir las tareas en sub tareas para posteriormente ejecutarlas y lograr el objetivo.

Al igual que la arquitectura anterior el profesor Willson Infante Moreno de la Universidad Distrital también establece unos parámetros que definen ventajas y desventajas de la Arquitectura mixta.

Ventajas:

- Lo mejor de ambos paradigmas.
- Organización en capas: abstracción datos, orden
- Tareas, ejecución independiente, desacopladas

Desventajas:

- Integración de niveles: existen varias propuestas

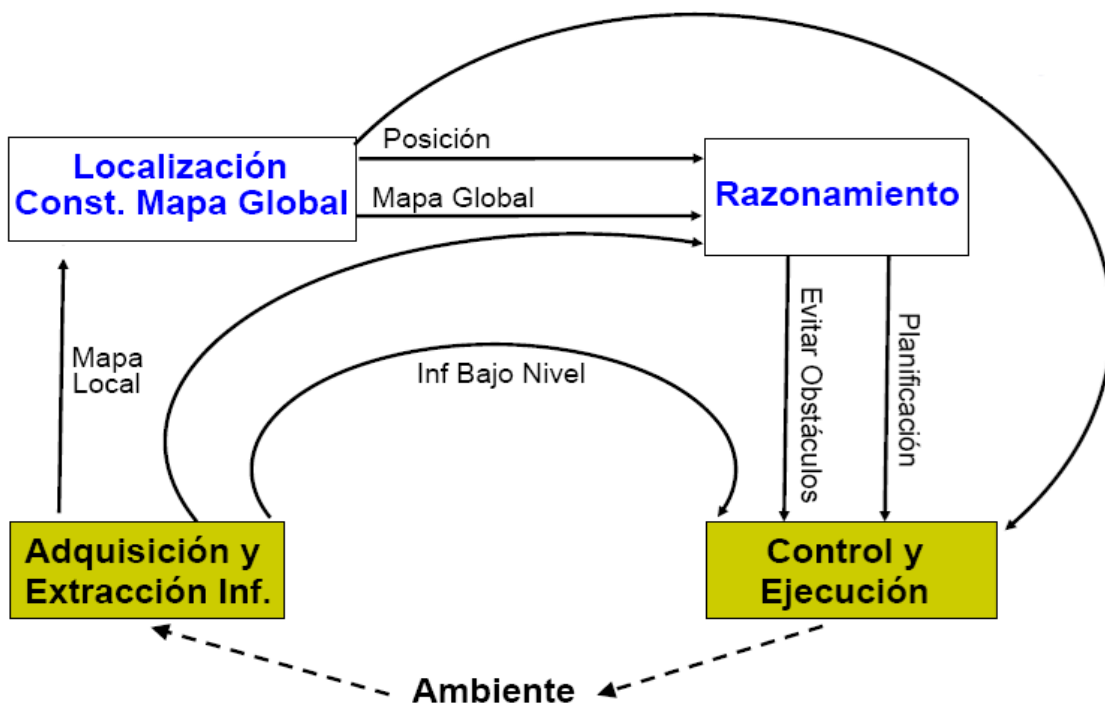


Tabla 5 Arquitectura mixta (INFANTE MORENO, 2012)

1.9 Odometría para robots móviles

Con la odometría se pueden realizar los cálculos en los desplazamientos de robots móviles, en este caso se utilizará la odometría para robots de tipo diferencia. De esta manera, para los desplazamientos de este tipo de robots se fija su trayectoria teniendo en cuenta la diferencia

de velocidades en sus ruedas y así saber si va en línea recta, para girar, en este caso se puede hacer girar una sola rueda o que giren en sentido contrario.

CAPÍTULO 2: DISEÑO ELECTRÓNICO

2.1 Selección de componentes

La construcción del proyecto ha sido ardua y dispendiosa; debido a su complejidad se han realizado diferentes pruebas piloto y se han hecho diferentes modificaciones que retroalimentan el presente proyecto de grado.

A continuación se desglosa una descripción minuciosa de las dos etapas que ha tenido la elaboración del mismo. La primera de éstas referente a la selección de los componentes empleados y su justificación. La segunda se refiere al diseño de los Robots F180.

De esta manera, la primera etapa de la construcción del proyecto de grado se deriva de la selección de los componentes óptimos y adecuados.

Los primeros componentes que se eligieron fueron los reguladores de voltaje, ya que es de vital importancia tener los intervalos de voltaje de funcionamiento de los componentes debido a que algunos son muy sensibles a los mismos, por tal motivo se eligieron reguladores de bajo consumo LDO por sus siglas en inglés, (Low Drop Out) para poder utilizar las baterías el máximo tiempo posible.

Igualmente se utiliza la tarjeta TEENSY 3.1, ya que, posee un plugin para poder ser programada con la interfaz y lenguaje de programación de Arduino. Las características principales para seleccionar la tarjeta fue la cantidad de pines de PWM, por sus siglas en

inglés, (*pulse-width modulation*) que posee y la *velocidad del reloj*, a continuación se encuentra una tabla en cual se compara la tarjeta Arduino mega y Teensy 3.1

MICROCONTROLLER	ATMEGA2560	TEENSY 3.1
OPERATING VOLTAGE	5V	3.7V -5.5V
INPUT VOLTAGE (RECOMMENDED)	7-12V	3.7V -5.5V
INPUT VOLTAGE (LIMIT)	6-20V	3.7V -5.5V
DIGITAL I/O PINS	54 (of which 15 provide PWM output)	34 (of which 12 provide PWM output)
ANALOG INPUT PINS	16	21
DC CURRENT PER I/O PIN	20 mA	
DC CURRENT FOR 3.3V PIN	50 mA	
FLASH MEMORY	256 KB of which 8 KB used by bootloader	256 kbytes
SRAM	8 KB	
EEPROM	4 KB	2 kbytes

CLOCK SPEED	16 MHz	72 MHz
LENGTH	101.52 mm	
WIDTH	53.3 mm	
WEIGHT	37 g	

Tabla 6 Comparación Arduino mega vs Teensy 3.1

De esta manera por prestaciones y tamaño se utilizó la tarjeta Teensy 3.1, se realizaron las pruebas básicas como lectura y escritura de los pines análogos y digitales. Así pues, la tarjeta respondió de manera correcta, luego se realizaron pruebas enviando y recibiendo datos por medio del puerto serial en diferentes velocidades. Al realizar la recepción de datos por medio de interrupción en Arduino Serial Event, la tarjeta no funcionaba con esta instrucción. Luego de consultar múltiple información en la página y foros del fabricante (PJRC, 2015) se encontró que esa instrucción no era compatible; gracias a los aportes de los mismos miembros del foro se encontró una librería con la cual se puede utilizar la instrucción Uart Event que funciona como interrupción.

En este mismo orden de ideas en segundo lugar se realizaron las pruebas con los módulos de radiofrecuencia NFR24L01, con el cual se realizaron las pruebas iniciales de comunicación transmitiendo datos de manera bidireccional entre dos tarjetas Arduino, se realizó la prueba en línea de vista a una distancia aproximadamente de 20 metros. Pero surgieron inconvenientes al momento de realizar la comunicación en paralelo de un módulo maestro hasta múltiples esclavos, sin embargo después de un mes de realizar pruebas en busca de tutoriales e información al respecto no se pudo comunicar más de dos módulos, por tal motivo

se optó por realizar pruebas con los módulos XBEE, ya que se habían utilizado en proyectos a lo largo de la carrera. A continuación se expondrá una tabla en la cual se compararan las características de cada módulo.

CARACTERÍSTICAS	NRF24101	XBEE S1
VOLTAJE DE OPERACIÓN	1.9V - 3.6V	2.8V - 3.4V
BANDA DE OPERACIÓN	2.4 GHz	2.4 GHz
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	2 Mbps	256 Kbps
VOLTAJE PINES DE ENTRADA	5V	2.8V - 3.4V
CONEXIÓN MULTICERVER	6 módulos	65535 módulos
COMUNICACIÓN	SPI	UART
COBERTURA	150 metros	1 milla

Tabla 7 NRF24L01 vs XBEE S1

De esta manera se llevaron a cabo las pruebas con los módulos XBEE configurando el canal y la velocidad de transmisión; la prueba inicial fue configurarlos en modo transparente, esto quiere decir que lo que se encuentre en el pin de recepción de uno de los módulos se refleja la información en el pin de transmisión del otro.

Luego se realizó la conexión de los módulos por medio del puerto serial utilizando MATLAB para transmitir los datos, se probó la distancia de cobertura del módulo en línea de vista, la comunicación se efectuó sin pérdidas de datos, comenzando en el laboratorio de electrónica moviendo el carro hasta el departamento de física y en seguida el emisor comenzó a alejarse hasta llegar al CIDUP, 30 metros aproximadamente, lo cual concluyó que su alcance es más que suficiente para la cobertura de la cancha del trabajo de grado. Por lo anterior se configuraron los módulos para tener un módulo coordinador y tres esclavos.

De esta manera el protocolo se realizará por comunicación serial a 115200 baudios, 8 bits, sin bit de stop y sin paridad, en la tarjeta Teensy se efectúa la recepción de 10 bytes los cuales se concatenaran de a 2 bytes para poder obtener un número de 0 a 65535. Así, los primeros 2 bytes se utilizarán para seleccionar el carro, los siguientes 8 bytes se utilizarán para recibir dos coordenadas en el eje X y otras dos coordenadas en el eje Y; asimismo se puede saber en qué posición se encuentra el robot y a qué posición debe llevar.

2.2 Mecanismos de disparo

Por otro lado la selección de la forma para patear la pelota se decidió al analizar cuatro posibles opciones que se describirán a continuación:

2.2.1 MUELLE:

Este mecanismo consta de un resorte y un motor que lo comprime, la fuerza de la patada varía dependiendo del tipo de resorte y la cantidad de compresión que este tenga; así con el motor se puede variar la fuerza de la patada. También depende de la velocidad del motor y

la carga batería, el tiempo que tardara entre patadas y la cantidad de las mismas. Una desventaja es que va cambiando las características del resorte al paso de las contracciones y elongaciones del mismo, por lo cual variaría la fuerza de las patadas.

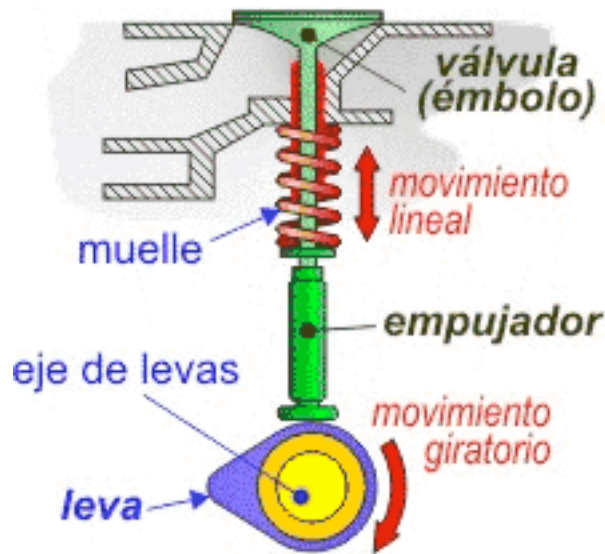


Figura 13 Pateo usando resorte (CEJAROSU, 2015)

2.2.2 NEUMÁTICO:

Este sistema consta de un tanque de aire comprimido y un cilindro neumático, la fuerza de la patada es directamente proporcional a la presión con la que esté cargado el cilindro, la cantidad de disparos está limitada por el tamaño del tanque. El tanque posee una gran limitación al utilizar este tipo de dispositivos y es el espacio que ocupara dentro del robot, en este aspecto es importante aclarar que es limitado y el peso que se le agregara al mismo.

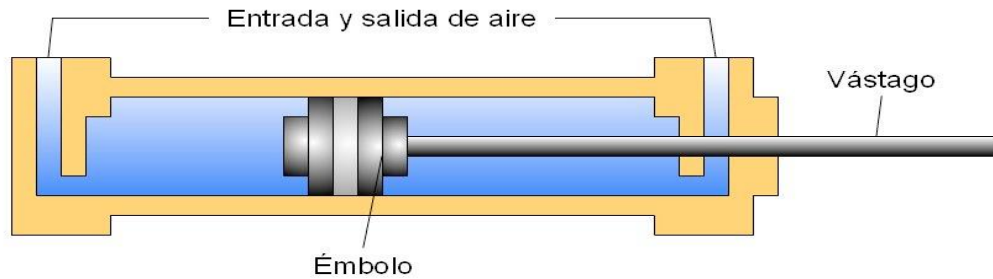


Figura 14 Pateo neumático. (Informes Mk2013A Eduardo Rdz Zarate. 174, 2015)

2.2.3 SERVOMOTOR:

Este sistema se compone de un servomotor que tiene un piñón y una cremallera, esta unión convierte el giro del piñón en un movimiento lineal. Con este sistema se lograría variar la fuerza del disparo con la variación del giro del servomotor, obteniendo más disparos con menos consumo de energía, sin embargo se vería limitada la velocidad del disparo por la velocidad del servomotor o el tamaño del piñón.

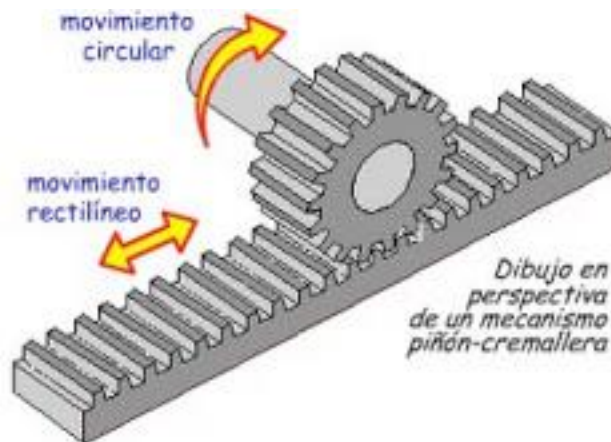


Figura 15 Pateo con servomotor (nefergallego, 2015)

2.2.4 SOLENOIDE:

El solenoide consta de un embobinado, en su núcleo se encuentra un vástago de material ferromagnético. De esta manera al momento de hacer circular una corriente por el

embobinado se genera un campo magnético el cual desplaza en vástago fuera del mismo, y así se genera el disparo.

Así pues, si se quiere incrementar la fuerza del disparo se debe incrementar la corriente al embobinado o incrementar el número del espiras del mismo.

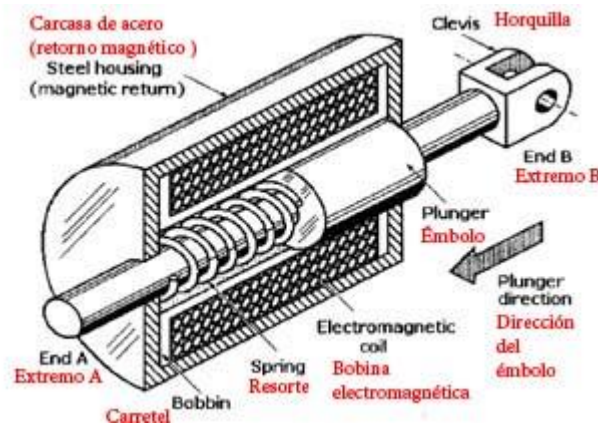


Figura 16 Pateo con solenoide (tecnoficio, 2015)

A continuación se observa una tabla con algunas ventajas y desventajas de los sistemas de pateo.

	MUELLE	NEUMÁTICO	SERVOMOTOR	SOLENOIDE
VENTAJAS	Fuerza del disparo, tamaño	Menor tiempo entre disparos, fuerza del disparo.	Variación de la fuerza del disparo, fácil implementación	Poco espacio, velocidad entre disparos, alta fuerza de disparo.
DESVENTAJAS	Tiempo entre disparos, deformación del resorte, implementación.	Ocupa mucho espacio el tanque de aire comprimido y	Velocidad entre disparo	Altos voltajes para cada disparo

		agrega peso al robot.		
--	--	-----------------------	--	--

Tabla 8 Comparación de sistemas de pateo

Por otro lado, se adquirieron los solenoides con las siguientes características voltaje 12V DC, corriente 400mA, fuerza 45N/4.5Kg, tamaño del marco 51 x 30 x 25mm, tamaño de la bobina 40 x 23mm, longitud total 88mm, diámetro del embolo 20mm, al realizar las mediciones de la corriente al momento de activarlo se observó que la corriente no correspondía a las características ofrecidas por el fabricante, ya que, superaba los 3A pico y luego se mantenía en 2A, valor muy lejano de los 400mA ofrecidos por el fabricante.

Asimismo, los puentes H se eligieron teniendo en cuenta los costos y que cumplieran con las corrientes requeridas por los motores al momento de ponerse en marcha, se realizaron las pruebas pertinentes de los mismos variando la entrada de PWM, midiendo la variación de corrientes a los motores al momento de estar con carga y sin carga estas son sus características:

- Puente H doble : Puede manejar dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar
- Tensión del motor
- Voltaje recomendado (VMOT) : 4,5 V a 13,5 V (puede operar hasta 2,5 V), Voltaje lógico (VCC) : 2,7 V a 5,5 V
- Corriente máxima de salida: 3 A por canal

- Corriente de salida continua : 1 A por canal (puede ser en paralelo para suministrar 2 A continuos)
- Máxima frecuencia PWM : 100 kHz
- Incorporado circuito de apagado térmico
- Condensadores de filtrado para ambas líneas de suministro

Al momento de energizar los Puente H se tomó en cuenta que el voltaje necesario era menor al suministrado por la batería, por tal motivo se eligió un elevador reductor de marca Pololu con las siguientes características:

- Voltaje de entrada: 2,7 V a 11,8 V
- Voltaje de salida ajustable de 2,5 V a 8 V corriente de salida 500 mA a 1 A través de la mayoría de las combinaciones de tensiones de entrada y de salida
- Integrado de exceso de temperatura y protección contra cortocircuito.
- Tamaño : 0.45 "× 0.65 " x 0.1 " (11 × 17 × 3 mm)

El Puente H soportaba nuestro voltaje de entrada y suministraba el voltaje de salida necesario con una corriente suficiente para el movimiento de dos motores.

Una vez que se definieron los componentes a utilizar a lo largo del trabajo de grado los componentes se articularon de la siguiente manera y se efectuaron las subsiguientes pruebas:

La primera conexión que se realizo fue el regulador de 5 voltios y de 3,3 voltios para energizar la tarjeta, los puentes H y el módulo de comunicación. seguidamente la conexión entre la tarjeta TEENSY 3.1 y el módulo XBEE, la prueba que se llevó a cabo constaba en

enviar un numero con el cual se encendía el led del pin 13 que tiene la tarjeta y si se enviaba un numero diferente el led se apagaba, se realizó utilizando el puerto serial con y sin interrupción.

Seguidamente se realizó la conexión de los elevadores, ajustando el voltaje de salida a 9 voltios, luego se colocaron las resistencias de protección en caso de que la batería se descargue y el nivel de voltaje sea muy bajo el elevador se apague y no se quememe.

Posteriormente se conectaron los puentes H y se energizaron con la salida de los elevadores, se utilizaron los pines digitales de la tarjeta y se conectaron a las entradas de los puentes H y se conectaron led's a las salidas para visualizar el correcto funcionamiento. Se realizó un programa con el cual se envían valores desde el PC y se visualiza en las salidas de los puente H, luego se cambiaron los led's por los motores y se configuro el movimiento se los motores para observar el desplazamiento de manera correcta del carro.

En efecto hasta este punto las pruebas se realizaron con la batería de 7,4 voltios, al momento de ejecutar las pruebas del solenoide la batería no ofrece el suficiente voltaje para la activación del mismo. Se repitieron las respectivas pruebas al solenoide con la batería de 11,4 voltios y los resultados fueron satisfactorios.

Se implementaron dos transistores para la activación del dribbling y el solenoide para patear la pelota y para la activación del solenoide se utiliza un relé.

En tercer lugar que se realizaron las últimas pruebas de todos los componentes conectados en la protoboard previo a la fabricación del circuito impreso, se observó que el regulador de 5 Voltios se calentaba al momento de ser energizado con la batería de 11,4 Voltios, por tal

motivo se decide utilizar 2 baterías, de 7,4 Voltios y 11,4 Voltios. Con la primera se energiza el regulador de 5 Voltios el cual energiza la tarjeta TEENSY, el puente H y el regulador de 3,3 Voltios. La otra batería energiza el solenoide, los elevadores.

2.3 Diseño de los circuitos impresos

En lo que respecta al diseño de los circuitos impresos se utilizó el software PROTEUS 8, en el cual se crearon varios empaquetados que no se encontraban en las librerías de PROTEUS, como la tarjeta TEENSY, los Puente H, elevadores para crear los esquemáticos e impresos de cada circuito.

Así pues, el diseño se hizo de manera modular, componiéndose de cinco módulos y otro circuito impreso que los une; todos los circuitos impresos se fabricaron doble capa para reducir el tamaño. En este caso, los circuitos se describirán a continuación:

2.3.1 MÓDULO DE REGULACIÓN:

Una batería de 7,4 voltios se conecta a la tarjeta que posee un jumper para abrir o cerrar el circuito, esto se puede observar por un led que tiene de color azul. De esta batería se conecta el regulador de 5 voltios y de éste se conecta el regulador a 3.3 voltios.

Por otro lado se conecta la batería de 11,4 voltios que también tiene la posibilidad de abrir o cerrar el circuito (esto se puede observar por un led que tiene de color rojo); por medio de un jumper o en su lugar se puede utilizar un interruptor, esta batería se conecta a los dos elevadores reductores para obtener la salida de 9 voltios. También posee una regleta de la cual obtenemos de salida los siguientes voltaje, 11,4V, 5V, 3,3V, tierra 1, tierra 2, voltaje elevador 1, voltaje elevador 2.

Por último se tienen dos jumper más para realizar el acople de tierras y para deshabilitar la salida de 5 voltios de la tarjeta, para cuando se vaya a programar la tarjeta no retorne voltaje al regulador y tener daños del mismo. A continuación se observa el circuito esquemático.

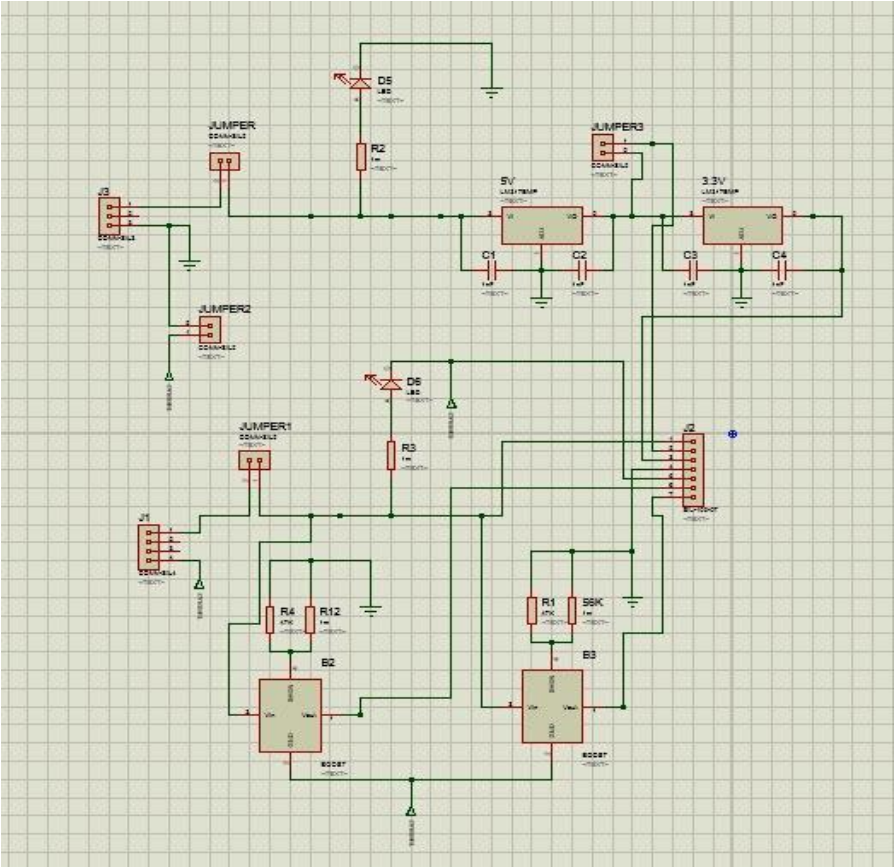


Figura 18 Esquemático módulo de regulación

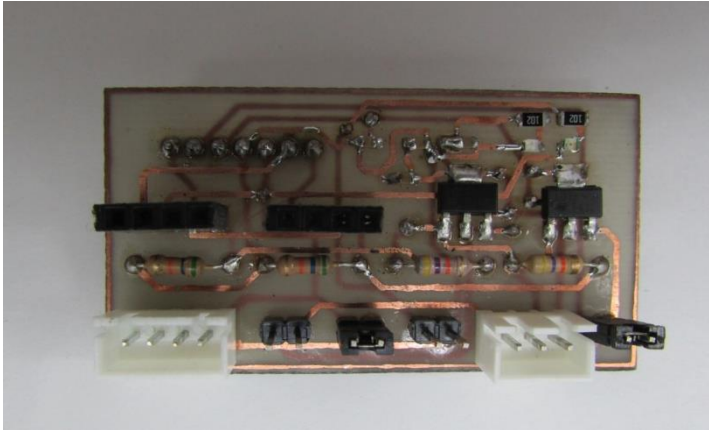


Figura 17 Pcb módulo de regulación

2.3.2 MÓDULO TEENSY:

En este módulo se encuentran las entradas de voltaje de 5 voltios y tierra, con las cuales se energiza la tarjeta, 2 led y 2 pulsadores, estos dos últimos están por si se requieren en algún momento. También se halla la tarjeta Teensy, de la cual se utilizan 27 pines, los cuales se emplean para la activación de los Puente H y la variación del PWM de estos últimos, la lectura de los Encoder, la recepción del módulo de comunicación, la activación del solenoide y el Dribbling. De este modo el circuito esquemático se presenta a continuación.

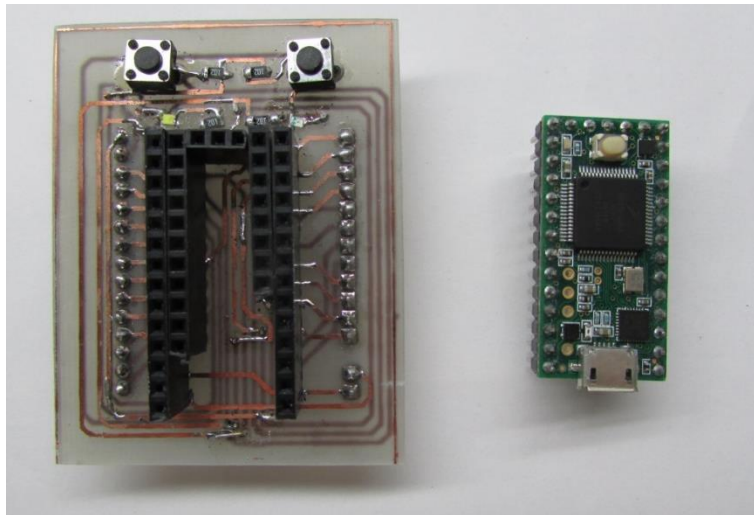


Figura 19 Pcb módulo de la tarjeta Teensy y tarjeta Teensy

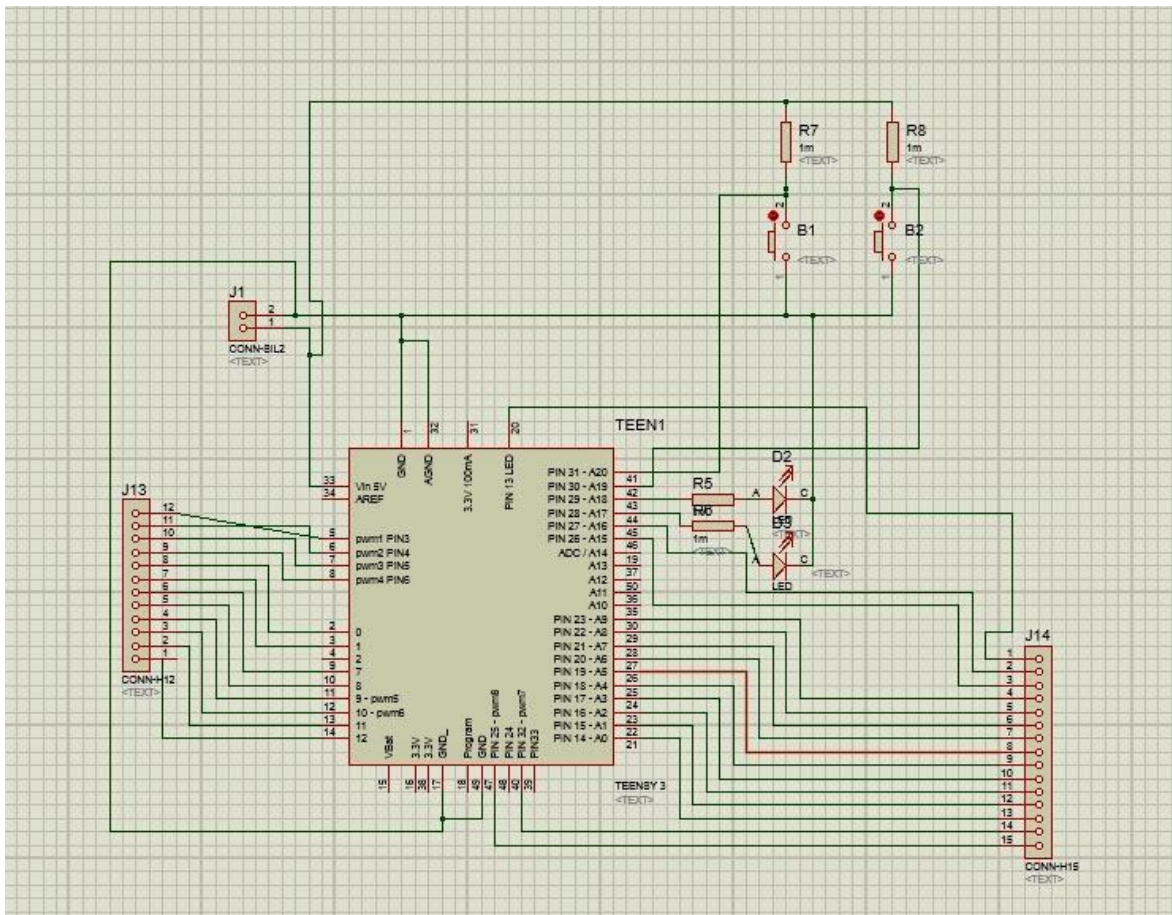


Figura 20 Esquemático modulo tarjeta Teensy

2.3.3 MÓDULO SOLENOIDE:

Este módulo tiene dos transistores conectados de manera que al recibir voltaje en la base se comporte en saturación, el primer transistor tiene el emisor conectado a 5 voltios con una resistencia y en paralelo un diodo en inverso, entre los dos pines del diodo se conecta un relé normalmente abierto con este se realiza la activación del solenoide. El segundo transistor tiene la misma configuración pero el colector esta energizado con 3,3 voltios y se toma el voltaje de salida directamente de los pines del diodo. En la regleta que posee tiene la entrada de 11,4 voltios, 5 voltios, 3,3 voltios, tierra, activación solenoide y activación del Dribbling.

A continuación se encuentra el circuito esquemático:

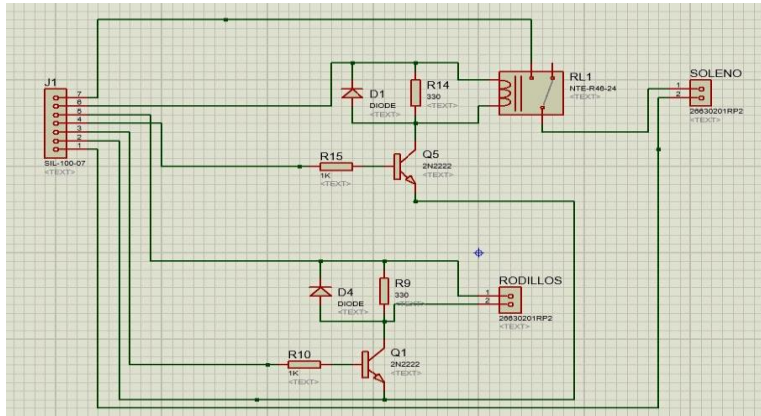


Figura 22 Esquemático modulo solenoide y dribbling

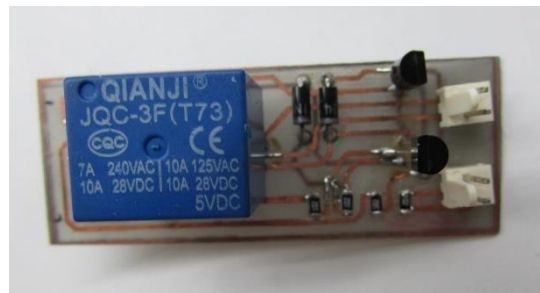


Figura 21 Pcb modulo solenoide y dribbling

2.3.4 MÓDULO ENCODER:

En este módulo se conectan directamente con los pines de energización de los Encoder, las entradas de los Encoder y los motores. La tarjeta tiene dos regletas en una de ellas entran los 5 voltios, tierra y las salidas de los Encoder. En la otra regleta está la salida de los motores.

A continuación se halla el circuito esquemático:

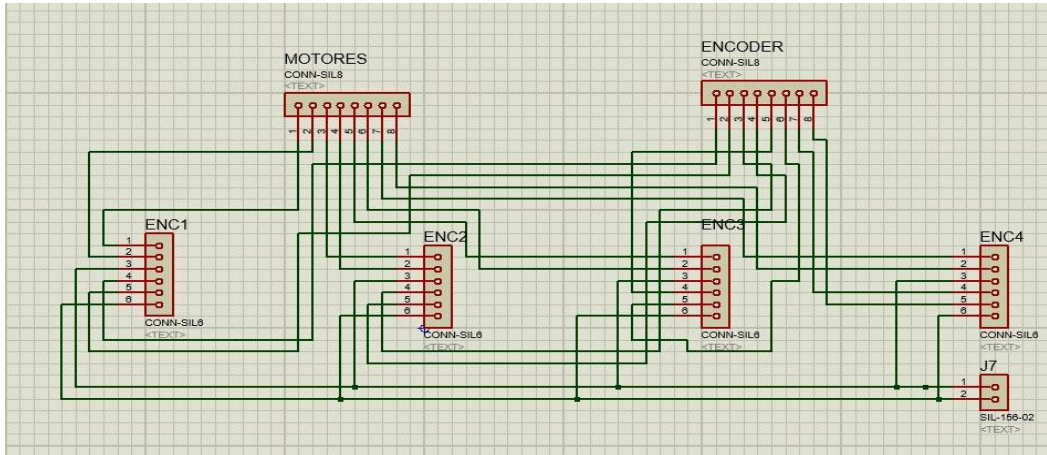


Figura 24 Esquemático módulo encoder

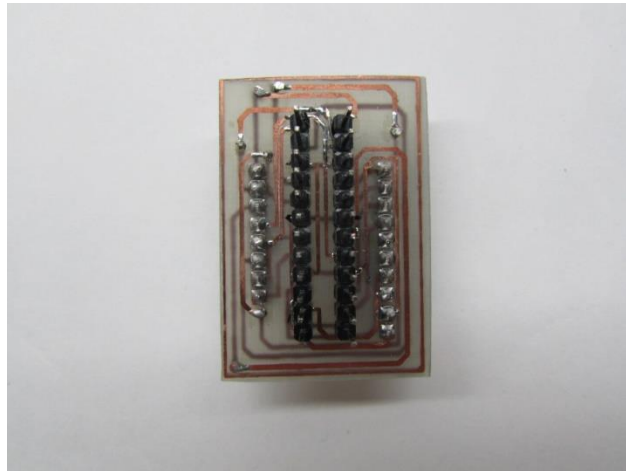


Figura 23 Pcb módulo encoder

2.3.4 MÓDULO PUENTES H:

En este módulo se conectan los dos puentes H y se encuentran las entradas de 5 voltios, tierra, voltajes para los motores, las entradas de activación. Por otro lado la salida a los motores. A continuación se descubre el circuito esquemático:

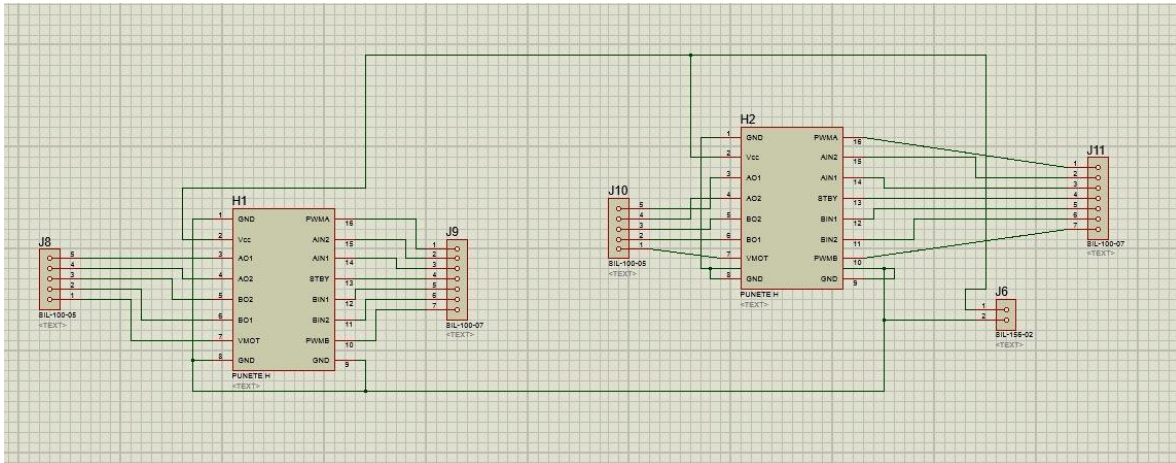


Figura 26 Esquemático modulo puentes H

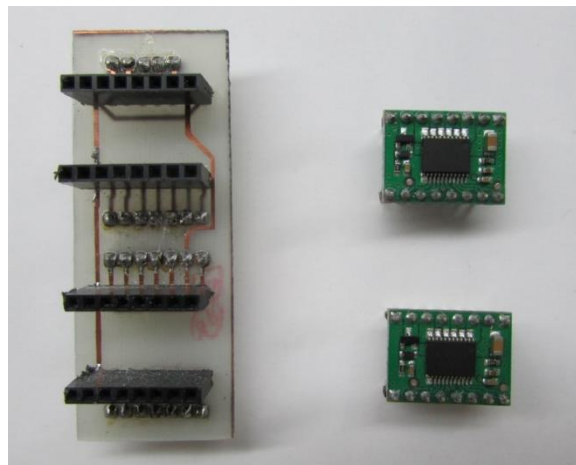


Figura 25 Pcb modulo Puentes H y Puentes H

2.3.5 MÓDULO XBEE:

Este módulo realiza la adaptación ya que los pines de separación de los Módulos Xbee con de 2mm y se cambian a 2.54mm.

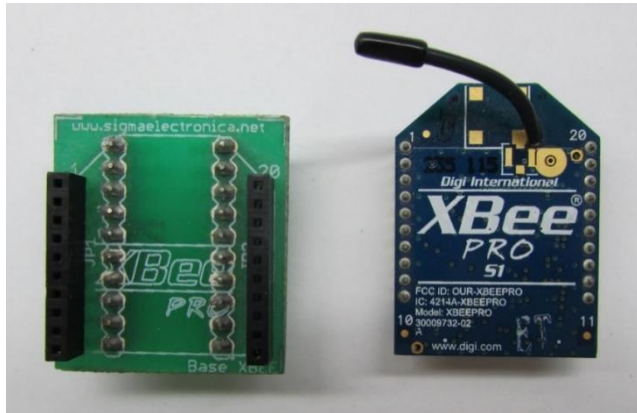


Figura 27 Pcb module Xbee y Xbee S1

2.3.6 TARJETA DE ENSAMBLE:

En esta última tarjeta se realiza el ensamble de todos los módulos anteriormente nombrados para realizar las conexiones necesarias entre las mismas y su correcto funcionamiento en conjunto.

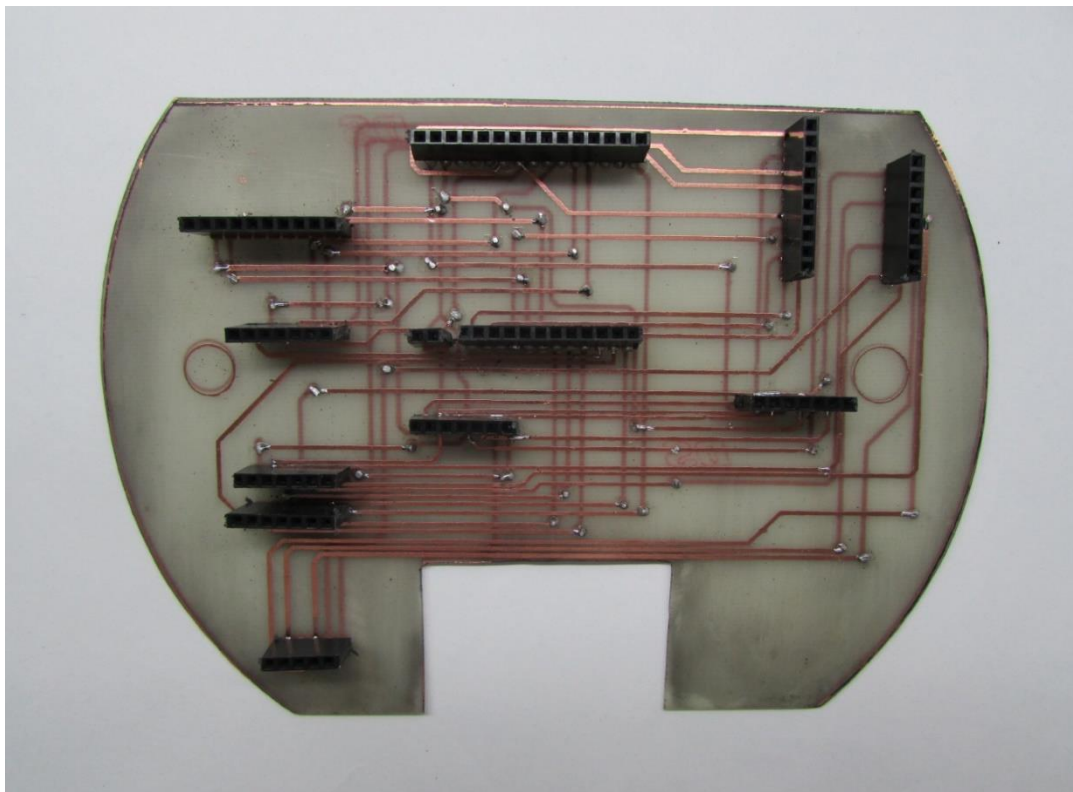


Figura 28 Pcb tarjeta de ensamble

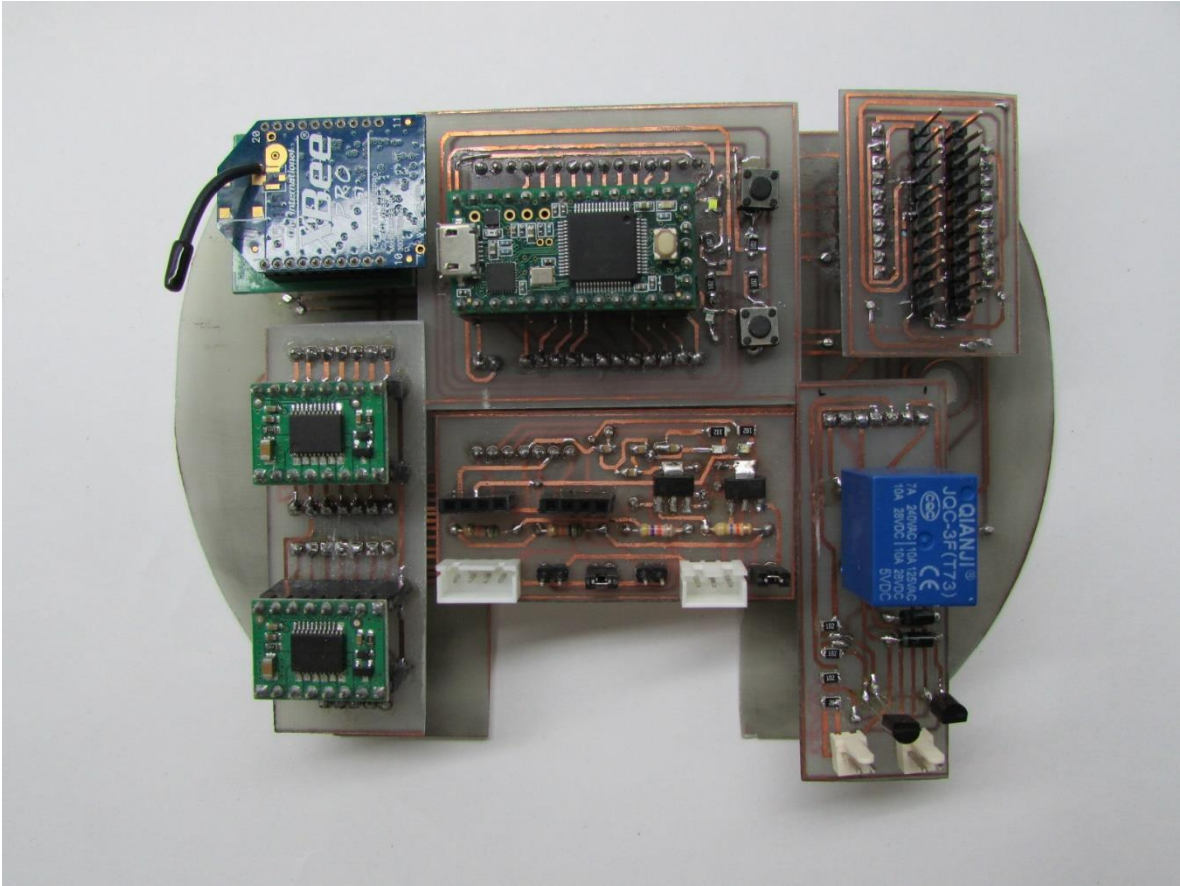


Figura 29 Módulos conectados en la tarjeta de ensamble

CAPÍTULO 3: PRUEBAS

En esta medida se tuvo en cuenta la lectura del reglamento F180 de RoboCup (RoboCup, 2015) para tener claras las dimensiones de las estructuras y así poder realizar las pruebas con los tamaños reales de las estructuras. De esta manera, se cortó la primera estructura en acrílico de forma circular de diámetro 178mm, se recortaron 4 cuadrados de 61 x 30,6 mm en los extremos del círculo separados cada 90° como muestra la figura, se imprimieron los acoples de los motores a las ruedas en una impresoras 3D, la primera prueba de locomoción se activaron 2 de los 4 motores al tiempo, para observar el comportamiento de las ruedas omnidireccionales y poder decidir si servían o se debían cambiar por otras ruedas de diferentes características.

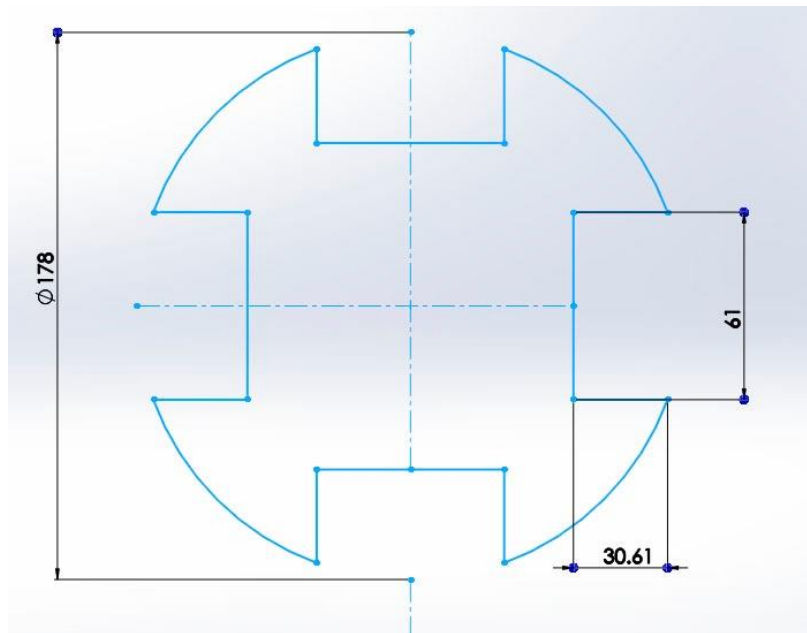


Figura 30 Croquis estructura de prueba 1

Posteriormente al observar que el desplazamiento de se efectuaba de manera correcta se realizó la variación del PWM para encontrar el valor con el cual el movimiento del robot era más fluido.

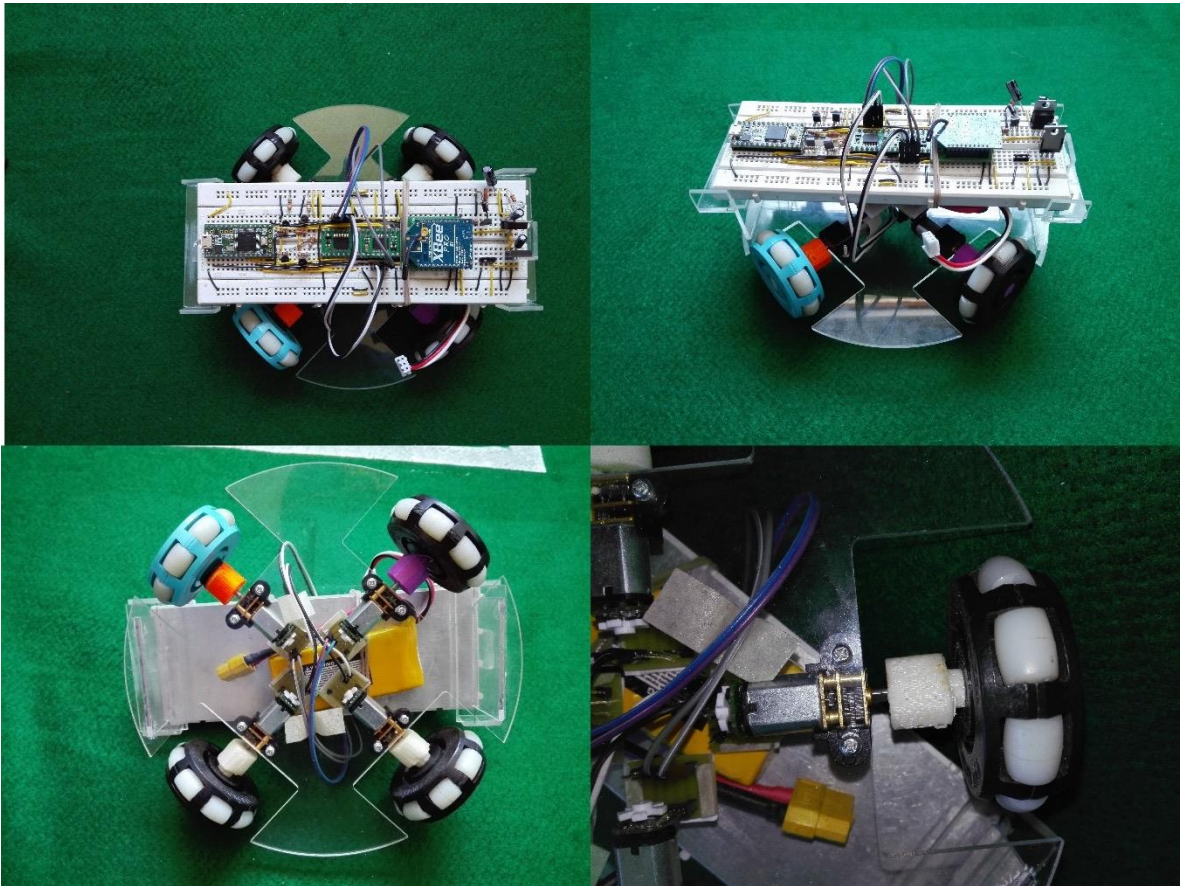


Figura 31 Fotos estructura de prueba 1

A continuación se encuentra una tabla con los pesos de los componentes del carro:

CANTIDAD	COMPONENTE	PESO (GRAMOS)
1	Batería 7,4V	55
1	Batería 11,4V	75
1	Peso 1	135
1	Peso 2	730
4	Ruedas con motor	100
1	Base	100
1	Solenoide	480
1	Protoboard	100

Tabla 9 Peso de los componentes de las estructuras de prueba

La primera prueba piloto la cual se dividió en dos partes; primero se le agregó 135 Gramos de peso al robot; luego se incrementó el PWM y los motores recibían 2,05 voltios y su corriente era 0.75 Amperios. En la segunda parte se incrementó el peso a 730 Gramos, el voltaje de alimentación del robot era 3.8 Voltios y la Corriente 1.56 Amperios, se observó dificultades en el movimiento del robot dado que tenía un peso excesivo y la versión final pesará mucho menos, pero era pertinente comprobar que los motores resistieran dicha carga.

A continuación algunos videos de las pruebas realizadas:

Video 1. Medición de voltaje sin peso.

Video 2. Medición de corriente sin peso.

Video 3. Movimiento sin peso.

Video 4. Medición de voltaje con peso 1.

Video 5. Medición de corriente con peso 1.

Video 6. Movimiento con peso1.

Video 7. Medición de voltaje con peso 2.

Video 8. Medición de corriente con peso2.

Video 9. Movimiento con peso2.

En la segunda versión de la estructura se redujo la distancia entre el motor y la rueda, por tal motivo se cambiaron los acoples y se redujo el tamaño del orificio.

Video 10. Movimiento estructura 2

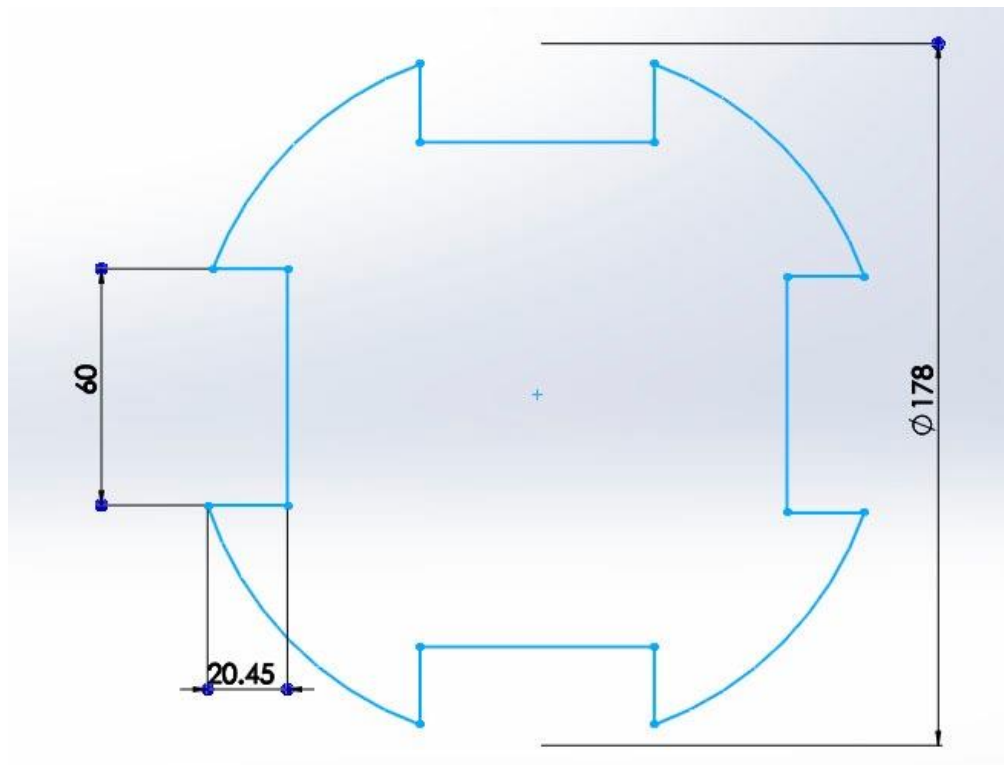


Figura 32 Croquis de la estructura de prueba 2

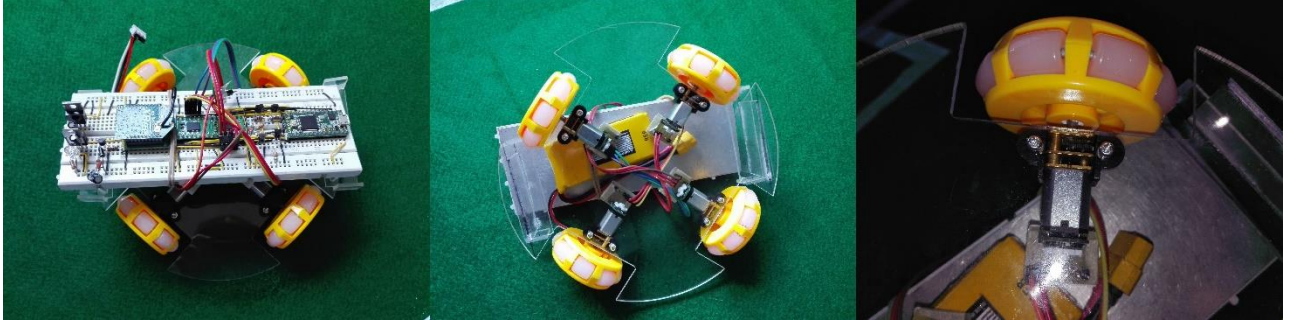


Figura 33 Fotos estructura de prueba 2

En la tercera versión se bajó el centro de gravedad dejando el carro más pegado al piso, se realizó un corte en la parte posterior del robot en la cual se ubicó el solenoide y se realizaron las primeras pruebas del rodillo con el cual se retiene la pelota y comienza a tomar forma la versión final del carro.

Video 11. Movimiento estructura 3

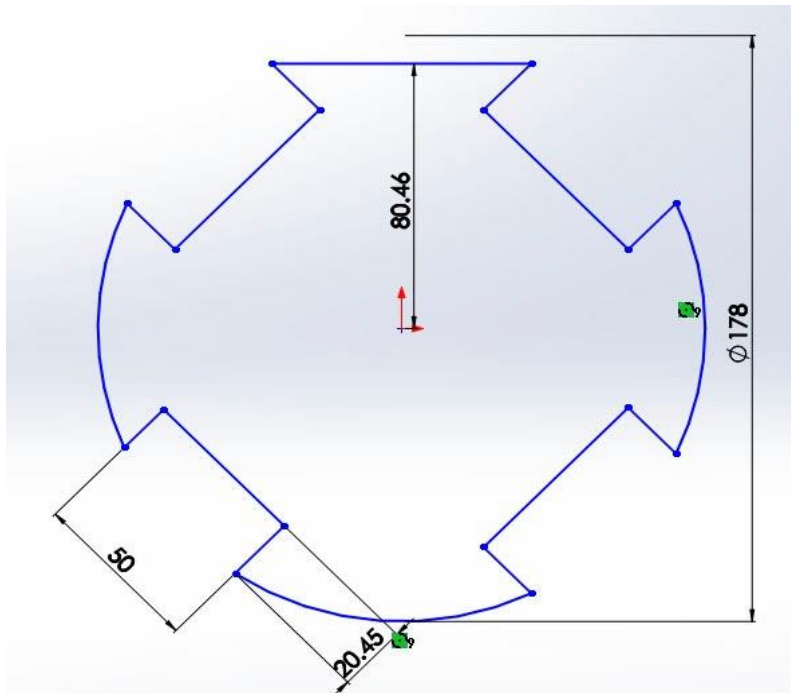


Figura 34 Croquis estructura de prueba 3

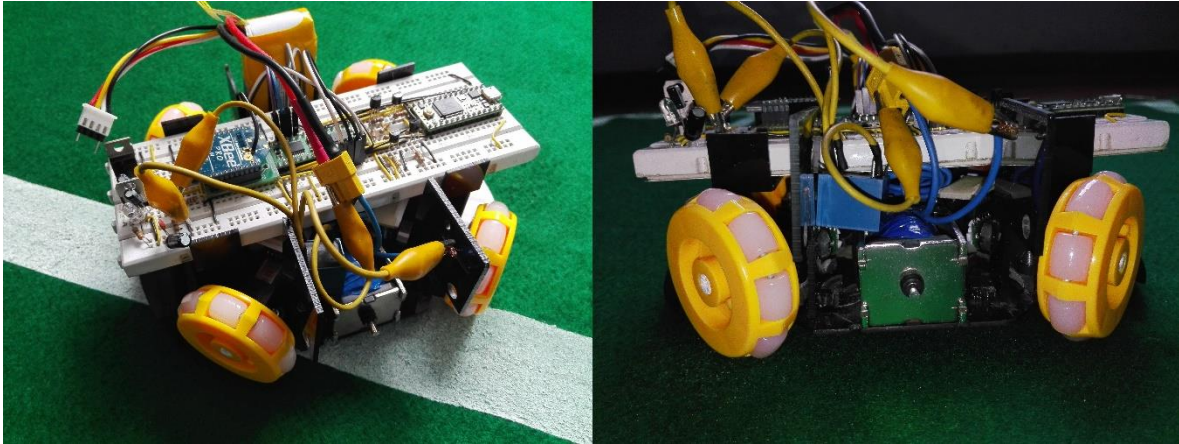


Figura 35 Fotos estructura de prueba 3

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La versión definitiva se diseñó en SolidWorks y se imprimió en múltiples partes con la impresora DaVinci 1.0 y Prusa i3:

4.1 BASE:

Se tomó como referencia la última versión construida en acrílico, como modificación se agregó el espacio para colocar las dos baterías y el solenoide, un soporte como guía para el eje del solenoide, se imprimieron 3 soportes para sostener el solenoide.

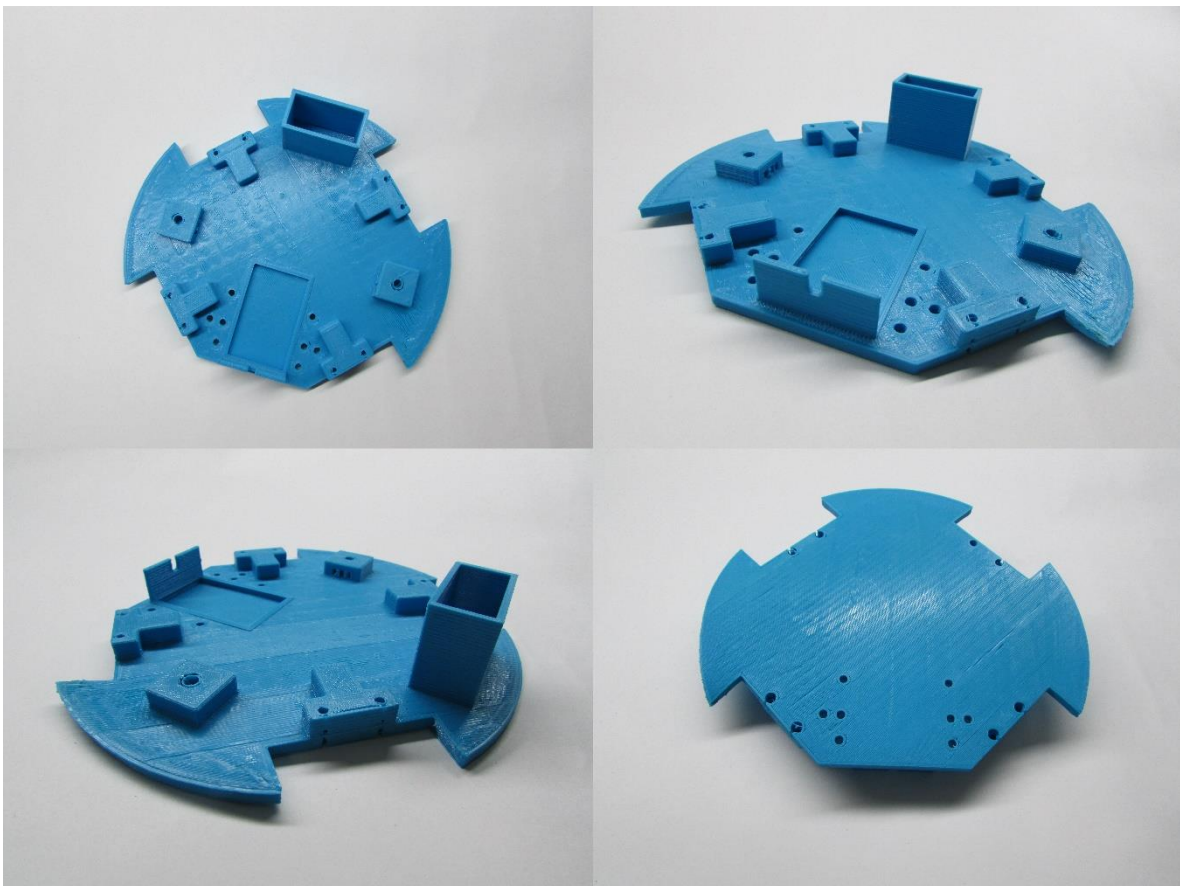


Figura 36 Fotos base impresa en 3D

4.2 Rodillo:

Se compone de 4 partes, el rodillo de goma que se le agrego un piñón con el cuales va a hacer girar por medio de un motor que también posee un piñón, se imprimieron dos estructuras en las cuales entra el rodillo y estas se aseguran mediante tornillos a la estructuras, la última pieza se imprimió y en ella se asegura el motor y se asegura a las dos estructuras anteriores.

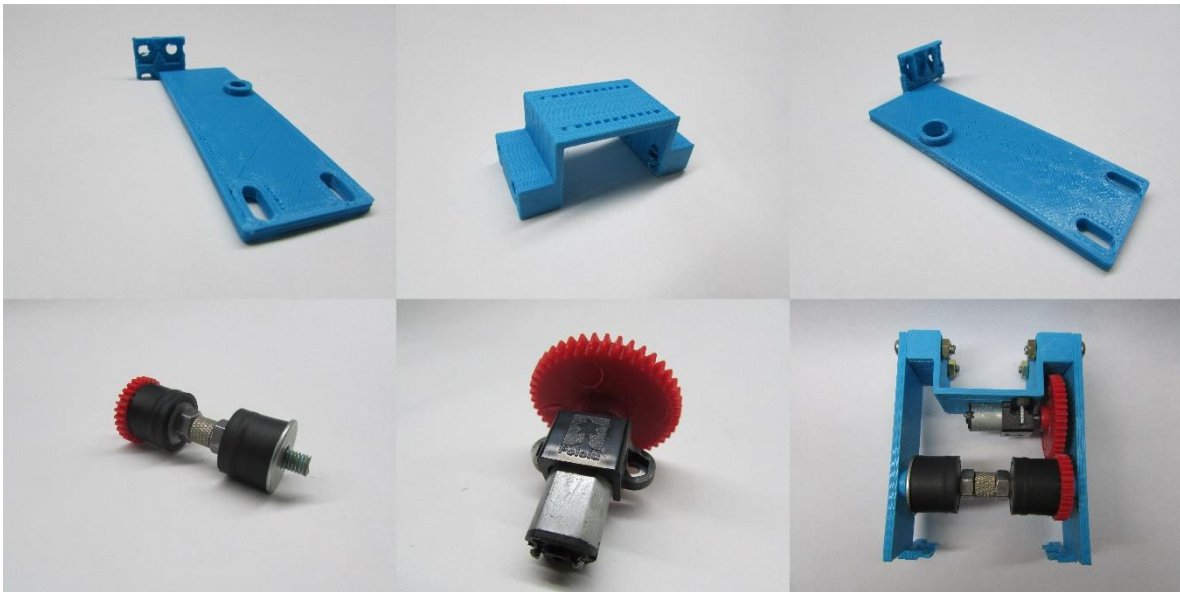


Figura 37 Fotos partes dribbling

4.3 Cubiertas:

Las primera cubierta tapa a los motores y deja 4 aberturas para conectar los enconder y alimentación de cada motos, también deja sobresalir las baterías y los varillas roscadas sobre la que se alinea la estructura. La segunda cubierta cubre los circuitos electrónicos y componentes electrónicos del vehículo.

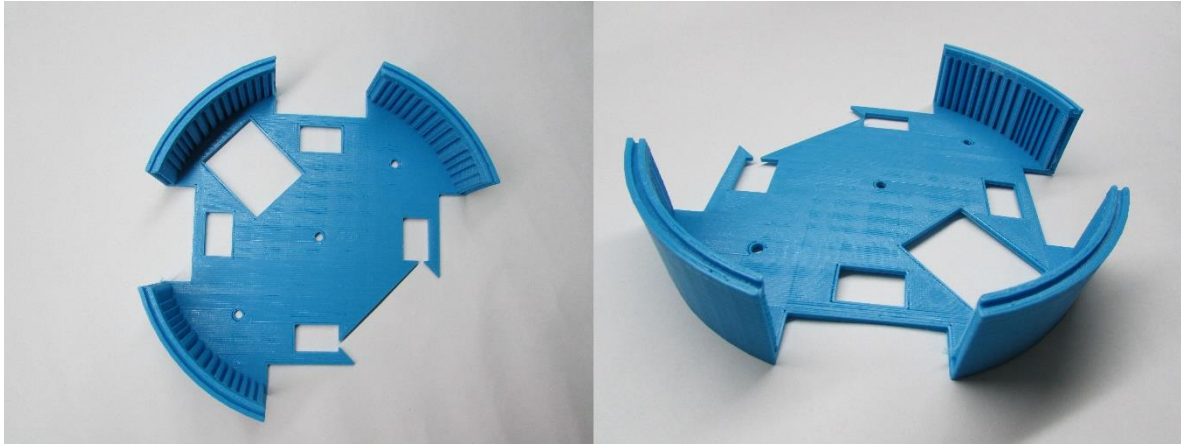


Figura 38 Fotos cubierta 1



Figura 39 Fotos cubierta 2

El proceso de ensamble de la estructura comenzó colocando el soporte de la segunda batería, luego se colocaron los soportes del solenoide y se verificó que la guía del vástago no estuviese frenándolo u obstruyéndolo. Luego se colocaron los soportes laterales del dribbling con el rodillo y se verificó que rodara de manera correcta.

También se aseguraron los dos soportes laterales al soporte superior con el motor y se verificó que los dos piñones estuvieran alienados, se encendió el motor para corroborar su correcto funcionamiento.

Luego se colocaron las varillas roscadas a la base de la estructura, seguidamente se colocaron los motores y la primera cubierta para verificar que encajara de manera correcta.

Adicionalmente, se colocaron las ruedas para observar que no golpearan con la estructura del robot. Posteriormente se colocaron las baterías y los circuitos impresos, conectando los encoder para verificar que se acoplaran de manera correcta en la estructura, se realizaron pruebas de movimiento para observar que todo funcionara de manera correcta. Por último se colocó la segunda cubierta para cubrir los circuitos impresos y dejar la estructura completa.

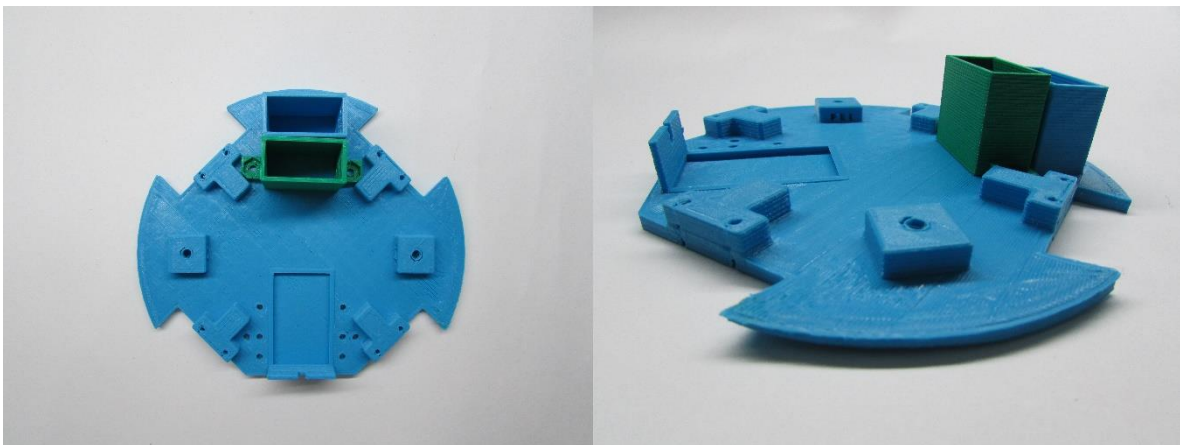


Figura 40 Fotos ensamble porta batería a la base

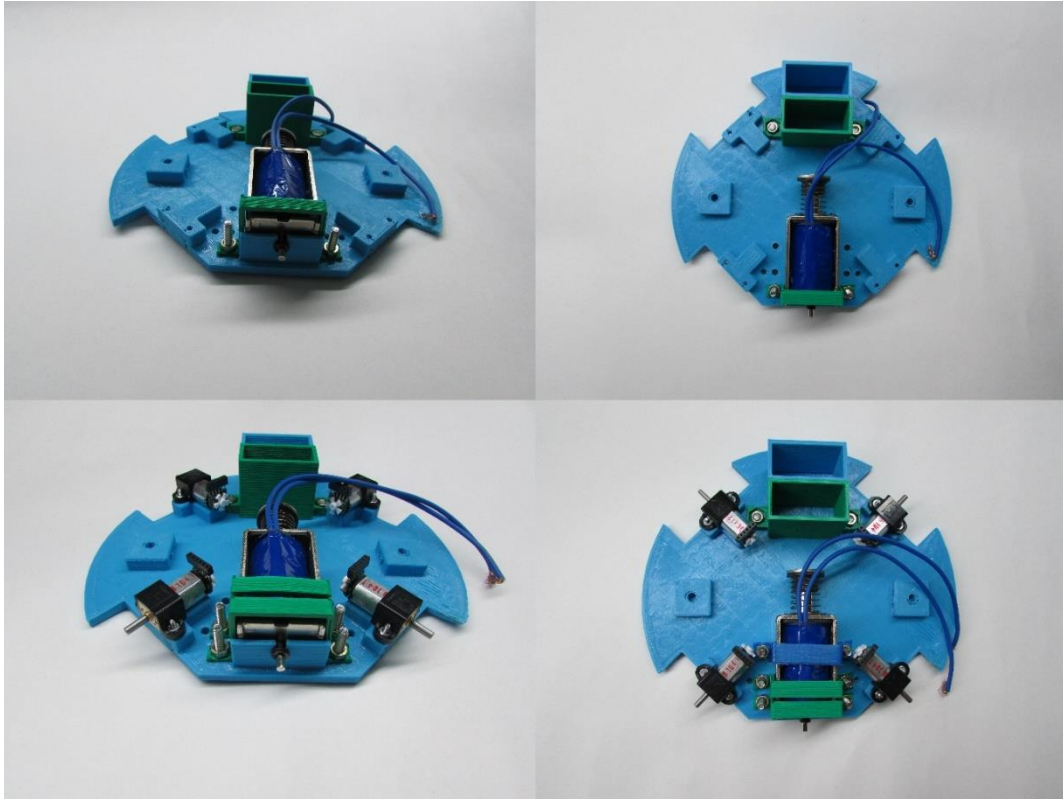


Figura 42 Fotos ensamble solenoide y motores

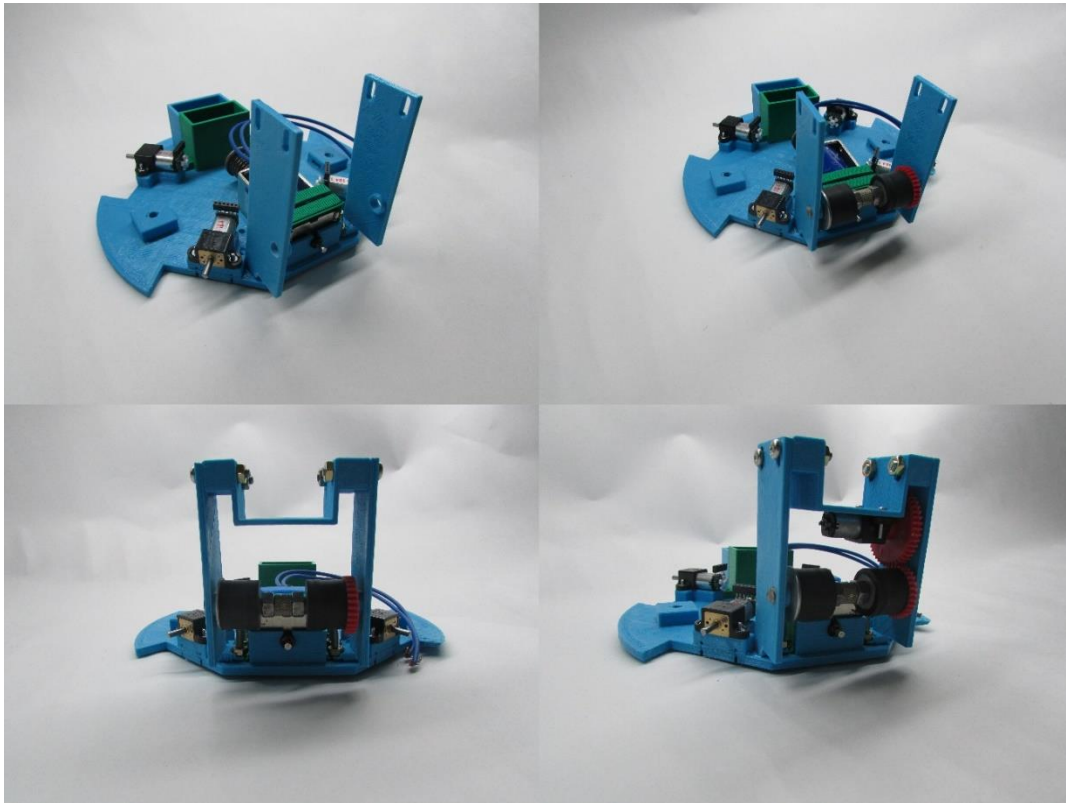


Figura 41 Fotos ensamble partes del dribbling

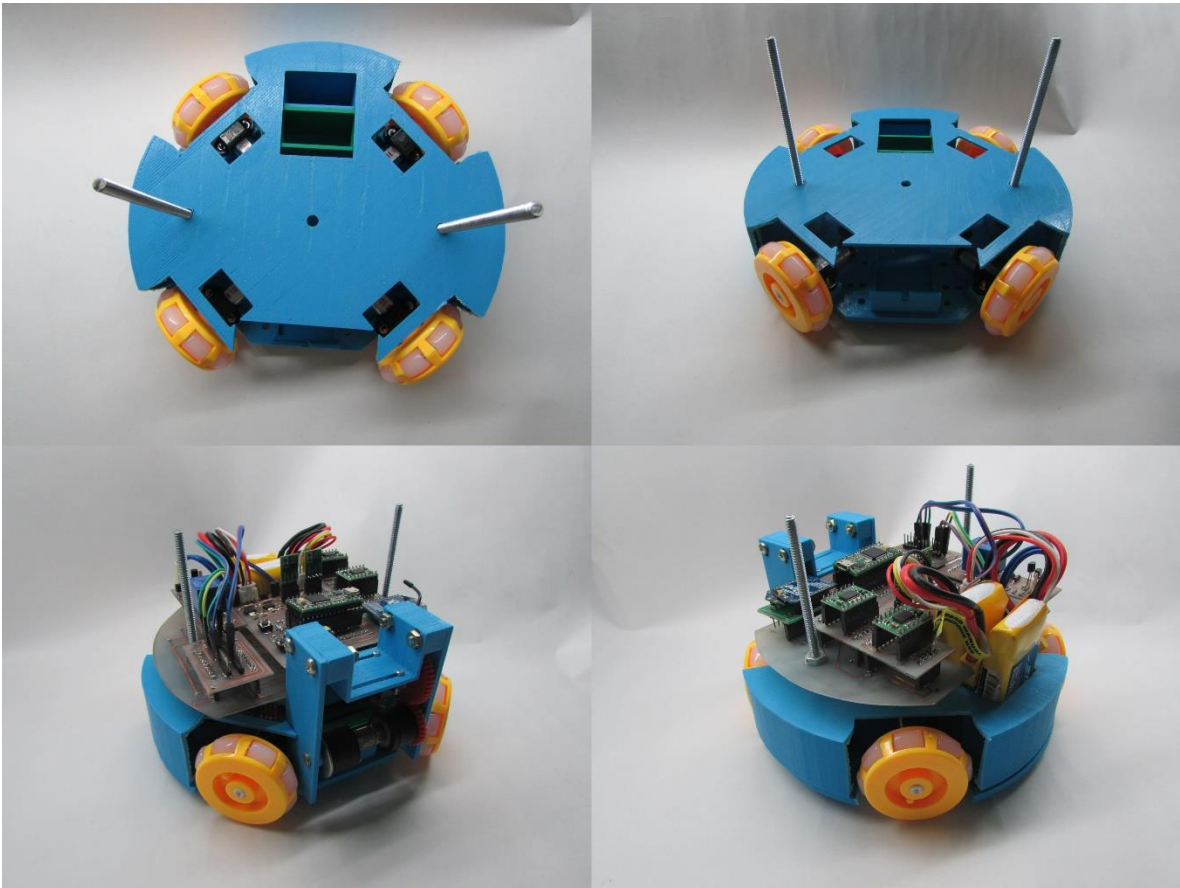


Figura 44 Fotos del robot con la primera carcasa y el circuito impreso

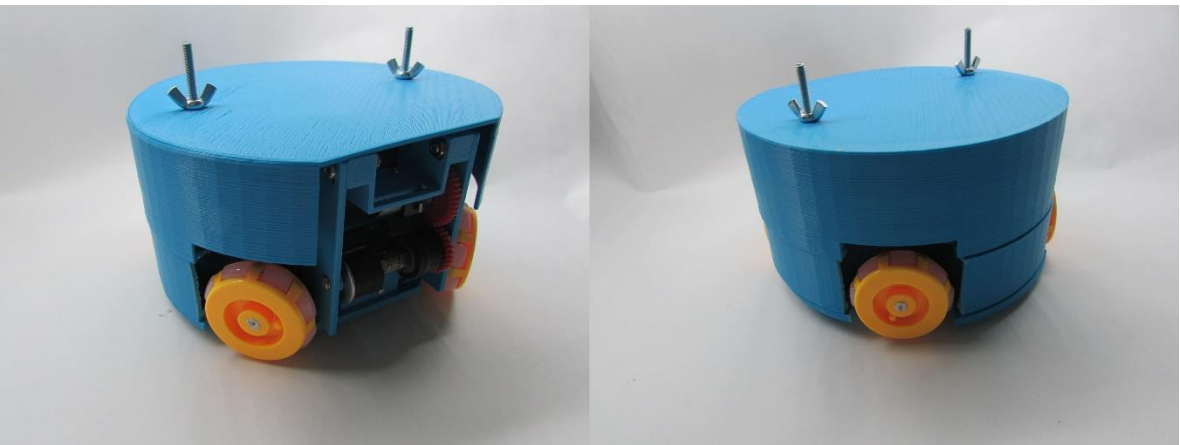


Figura 43 Fotos del robot completamente ensamblado

RECOMENDACIONES

Se establecen unas recomendaciones específicas para futuros trabajos acerca de esta misma línea de investigación. De esta manera, se puede mejorar el tipo de pateo para agregar el lanzamiento englobado de la pelota, también optimizar el motor por una referencia igual o similar a la que utilizan la mayoría de equipos pertenecientes a la RoboCup.

De igual forma, se puede remplazar el Microcontrolador por una FPGA para incrementar la velocidad de procesamiento y poder realizar procesos de forma paralela.

CONCLUSIONES

Para comenzar es importante mencionar que al analizar las múltiples tesis y documentación relacionada con la fabricación de robots F180 se encontró que la mayoría de estos son contruidos con componentes similares, esto quiere decir que los sistemas de locomoción, comunicación, pateo, dribbling son similares.

De igual forma, el prototipado 3D fue una herramienta eficaz al momento de realizar la estructura del robot ya que ofrece una gran precisión en el tamaño de las piezas, dependiendo del tipo de material posee una buena elasticidad, tenacidad, resistencia, resiliencia.

Por otro lado en caso que se debiera modificar una pieza se podía hacer inmediatamente gracias a poseer dos impresoras 3D, también se redujeron significativamente los costos de impresión de las piezas.

Asimismo, dados los materiales de construcción del robot posee una buena calidad de los mismos y cumple con todos los requerimientos para competir con otros robots de la categoría SSL; no obstante dado el presupuesto se puede motivar a realizar versiones alternas con diversos cambios que mejoren el presente trabajo de grado. Por otro lado, el solenoide utilizado a pesar de trabajar solamente a 12V comparado con los 64v de la mayoría de los robot F180, cuenta con una considerable fuerza de pateo y es una opción óptima para ser utilizada en este modelo comparado con los demás sistemas (muelle, neumático, servomotor).

Finalmente, la construcción de estos robots puede ser una buena oportunidad para crear una línea de investigación en el departamento de tecnología o utilizarse como herramienta de enseñanza en la UPN

BIBLIOGRAFÍA

- (2015). Obtenido de tecnoficio: <http://www.tecnoficio.com/docs/doc65.php>
- Adamuz, A. (Octubre de 2010). DESARROLLO DEL CIRCUITO DE UN ROBOT F180 (ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE, SSL). España.
- Ariza Guerrero, H. A., Castiblanco Álvarez, J. A., & Suárez Camargo, J. L. (febrero de 2010). Desarrollo de estrategias en sistemas multiagentes (Robots Futbolistas) con implementacion de vision artificial. Bogota D.C., Colombia.
- Caparrós, A. (Septiembre de 2012). Implementación de Arquitectura de Control 3T en la RoboCup Small Size League: Formación de Defensa. España.
- CEJAROSU. (2015). Obtenido de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_levas.htm#utilidad
- Cuentos cuanticos*. (2015). Obtenido de <http://cuentos-cuanticos.com/2011/12/15/robotica-estimacion-de-posicion-por-odometria/>
- Dynamics, B. (2015). *Boston Dynamics*. Obtenido de http://www.bostondynamics.com/robot_rhex.html
- Electronics Forum*. (2015). Obtenido de <http://www.dutchforce.com/~eforum/index.php?s=34316bac96ae0f983f53793aa60f77a6&showtopic=36193>
- Garcia, A. (Septiembre de 2010). DESARROLLO DEL SISTEMA DE LOCOMOCION DE UNA PLATAFORMA HARDWARE PARA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL). España.
- GED. (2015). *STOX'S*. Obtenido de <http://www.stoxs.org/>
- INFANTE MORENO, W. (2012). ROBOTICA MÓVIL. Bogotá D.C., Colombia.
- Informes Mk2013A Eduardo Rdz Zarate. 174*. (2015). Obtenido de http://infmk2013aeduardordz174.blogspot.com.co/2014_07_01_archive.html
- Lopez, D. (Octubre de 2010). DESARROLLO DE CONTROL Y GOLPEO DE PELOTA PARA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL). España.
- Lozano, P. (Octubre de 2010). DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SOFTWARE PARA UN PROTOTIPO DE LA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL). España.
- Makerblock*. (2015). Obtenido de http://www.makeblock.es/productos/advanced_kit/
- Metodologías de Diseño*. (Agosto de 2015). Obtenido de http://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_md/lic/IC/EA/AM/06/Metodologias_de_diseño.pdf
- Métodos de Diseño*. (Septiembre de 2015). Obtenido de <http://www.ingenieria.unam.mx/~guiaindustrial/diseño/info/3/6.htm>
- Mucho trasto*. (2015). Obtenido de <http://www.muchostrasto.com/TiposDePlataformas.php>
- Murillo, M., & Parra, F. (2013). INCURSIÓN AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCCER DE LA SERIE F180. Bogotá, Bogotá, Colombia.
- nefergallego*. (2015). Obtenido de <https://nefergallego.wordpress.com/2012/04/23/26/>
- PJRC, E. P. (Marzo de 2015). Obtenido de Electronic Projects Components Available Worldwide: <https://www.pjrc.com/teensy/>
- Pris, L. (2012). MEJORA DEL DISEÑO DEL SISTEMA LOCOMOTOR Y DE DISPARO PARA UN MICROROBOT ROBOCUP SOCCER SMALL LEAGUE. España.

RoboCup. (2015). *Laws of the RoboCup Small Size League 2015*. Obtenido de http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/_media/rules:ssl-rules-2015.pdf
SuperDroid Robots. (2015). Obtenido de <http://www.sdrobots.com/wheeled-remcat-1st-run/>