

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBÓT MÓVIL QUE SIMULE EL COMPORTAMIENTO INDIVIDUAL BÁSICO DE UN ARQUERO DE FÚTBOL

DEVELOPMENT AND COSTRUCCION OF AN MOBILE ROBÓT THAT EMULATE THE INDIVIDUAL BEHAVIOR OF GOALKEEPER SOCCER.

Fabian A. Gallego* Willson Infante**

Resumen: El siguiente documento describe el desarrollo y construcción de un robot móvil tipo diferencial elaborado con el kit lego MINDSTORMS NXT 2.0 y la programación del algoritmo en el software LABVIEW, con el fin de simular el comportamiento básico individual de un arquero de fútbol. El proyecto se desarrolló en un entorno controlado con el fin de limitar las variables y conseguir mejores resultados, ya que se observó un buen desempeño el funcionamiento del comportamiento el cual el robot móvil estaba ejecutando. Los resultados logrados servirán como base para la puesta en desarrollo de un equipo de fútbol robot con Lego MINDSTORMS NXT 2.0.

Palabras clave: Robótica, entorno controlado, robot móvil, fútbol robótico, comportamiento.

Abstract: The following document describes the development and construction of a mobile robot with the Lego MINDSTORMS NXT 2.0 kit and the programming of the algorithm in the

* Estudiante Tecnología Electrónica. Lugar de trabajo: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico e-mail: fagallegov@correo.udistrital.edu.co

** Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor Investigador Grupo de Investigación ROMA adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico e-mail: winfantem@udistrital.edu.co

LABVIEW software, in order to simulate a basic individual behavior of a soccer goalkeeper. The project was developed in a controlled environment to limit the variables and obtain better results, which caused the mobile robot to be executing. The results achieved serve as the basis for the development of a robot soccer team with Lego MINDSTORMS NXT 2.0.

Key Words: Robotic, Controlled environment, Behavior, Robotic soccer, strategy of game.

1 INTRODUCCION

Trabajar con robots que jueguen al fútbol es interesante, por lo que este deporte representa a nivel mundial ya que es en sí un idioma universal y sus reglas son de fácil entendimiento en la mayoría de los países; además provee un campo de testeo para múltiples robots autónomos que, a través de una tarea en común como lo es el fútbol, estimula la investigación de problemas que involucran robots moviéndose rápidamente y cooperando entre sí para cumplir objetivos específicos en entornos dinámicos y bajo situaciones adversas [1]. Por lo cual se buscan soluciones en la robótica basada en comportamientos la cual surge alrededor de los años 80 como necesidad de buscar un comportamiento autónomo en un robot, es decir este no actúa bajo una orden planificada, lo hace según el entorno en el cual se desempeña de manera autónoma [2]. Por otro lado, con el propósito de mostrar los resultados de las investigaciones hechas alrededor del mundo por diferentes universidades y centros de investigación, desde los años 90 se crearon dos ligas importantes [3] FIRA (The Federation of International Robot-soccer Association por si siglas en inglés) creada en 1997 [4], y la Federación de la Robo-copa (Robocup Federation, nombre original en inglés) establecida en 1996 [5] Además, para que un equipo de robots pueda participar en competencias de esta

envergadura, debe ser capaz de tomar decisiones lo cual se puede alcanzar con la robótica basada en comportamientos ya que es un sistema que pretende alcanzar un conjunto de objetivos en un entorno dinámico y complicado en el que está ubicado, a través de la percepción obtenida por sus sensores y de sus acciones ejecutadas por sus actuadores; la decisión de como relacionan su información sensorial con sus acciones motoras, de acuerdo con los objetivos que se deben cumplir, recae sobre ellos mismos.[2].

El rol que el robot adquiere dentro del campo de juego influye en la percepción que tiene del entorno y su comportamiento dentro del mismo. Ya que cada robot tiene objetivos diferentes se decide trabajar el comportamiento básico individual de un arquero de fútbol.

Alrededor del fútbol robótico se han realizado proyectos, tales como: El trabajo realizado en la Universidad Nacional del Comahue escrito por Campagnon, “MODELANDO EL COMPORTAMIENTO DEL ARQUERO PARA UN EQUIPO DE FÚTBOL CON ROBOTS” [6]; se puede apreciar que el comportamiento que el arquero adopta dependerá de los siguientes factores: la posición en la que se encuentre el agente, la posición de la pelota, si esta se encuentra en la zona de riesgo (área chica) y la estructura física del agente robótico. Se observa que fue necesario hacer una delimitación imaginaria en la cancha de juego para poder controlar el comportamiento del agente, ya que inicialmente es de carácter reactivo lo cual significa que el robot selecciona las acciones que deberá ejecutar sobre la base de las percepciones del entorno, ignorando el resto de percepciones históricas, por último el fútbol es un juego que requiere una composición de equipo, para lo cual se requiere la elaboración de

un sistema multi-agente que cumpla con un rol en específico y así poder desarrollar estrategias de equipo.

Por último, en el grupo de investigación de robótica móvil autónoma (ROMA), de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; el trabajo realizado por Moreno, Rodríguez & Romero (2016), titulado “EMULACIÓN DEL VIDEOJUEGO “PONG”, USANDO ROBOTS MÓVILES CON HERRAMIENTAS LEGO MINDSTORMS NXT 2.0.”[7], propuso la creación de dos plataformas móviles con el fin de emular en forma física el videojuego “Pong”, con la finalidad de implementar las acciones de atajar y rechazar la pelota en el fútbol robótico, los robots cumplen con dos tareas dependiendo si la pelota viene o va, el robot realizará dos funciones las cuales son: tapar (arquero) o delantero (lanzar), además de realizar esas funciones los robots seguían una trayectoria lateral paralela a su arco, moviéndose a lo largo de esta trayectoria según la posición de la pelota (IRball).

Este artículo se divide de la siguiente manera, primero se da una introducción a la problemática en la que se basa el proyecto, después se presentan algunas de las consideraciones que se deben tener en cuenta para la elaboración de un arquero de fútbol de robots, luego se expone el desarrollo del proyecto, así como el entorno controlado, diseño del robot y después se explica el algoritmo desarrollado y por último se muestran los resultados obtenidos en la realización de este proyecto.

2. COMPORTAMIENTO DE UN ARQUERO DE FÚTBOL ROBOTICO.

2.1 Comportamiento básico: Son aquellos comportamientos elementales necesarios para generar cualquier otro comportamiento, los cuales constituyen un conjunto mínimo que el robot

debe tener para alcanzar sus objetivos, en el fútbol con robot son aquellos comportamientos que representan el primer contacto con el entorno y que sirven para desarrollar comportamientos más complejos [1]. Estos comportamientos elementales se enumeran a continuación.

- **Navegar:** moverse de un lugar a otro teniendo en cuenta el entorno.
- **Patear:** Impulsar la pelota (IRball) a hacia un lugar.
- **Rastrear un objeto:** Seguir el movimiento de un objeto, de manera de no perderlo de vista.

2.2 Comportamiento básico complejo: Estos comportamientos son realizados a partir de los comportamientos básicos [1]. En la siguiente lista se enumeran los comportamientos básicos complejos.

- **Interceptar la pelota:** Desplazarse de forma tal que colisione la pelota en movimiento.
- **Bloquear la pelota:** Ubicarse en algún punto de la trayectoria de la pelota (IRball)

2.3 Jugadas: En el fútbol con robots se definen las jugadas como los comportamientos de alto nivel que utilizan uno o más comportamientos complejos para realizarse [1]. A continuación, se enumeran las jugadas que un arquero de fútbol robot debe ser capaz de ejecutar.

- **Atajar:** Acción que tiene a evitar que la pelota ingrese al arco.
- **Despejar la pelota:** Impulsar la pelota(IRball) fuera del área de penal reduciendo la posibilidad de peligro en el propio arco.

3. ROL DE ARQUERO EN FÚTBOL ROBÓTICO.

El rol de arquero se caracteriza por su tarea en la interceptación de balones al proteger su arco y en el desempeño de su función influyen la habilidad, la técnica, rapidez y desplazamiento que este tiene en función de su obligación de cuidar la portería [8], las tareas a desarrollar por el robot son las siguientes:

- Identificar la posición actual de la pelota.
- Interceptar la pelota cuando entre en su área de acción (figura 1).
- Mantenerse cerca de su propio arco.

El primer punto es de gran importancia, ya que el robot debe tratar de detectar en donde se encuentra la pelota (IRball) , ya que si la pierde de vista puede terminar dejándola ingresar al arco, el segundo punto tiene que ver con la tarea más fundamental de un arquero, la cual es evitar que la pelota ingrese a su propio arco y la tercera tiene que ver con adoptar una posición defensiva bajo su propio arco, ya que luego de realizar una tarea debe retomar una posición y orientación cerca del punto medio de la zona penal (posición de reposo) como se muestra en la figura 2a.

3.1 Área de acción del arquero.

La zona de limitada por bordes rojos en la figura 1, en donde el punto de origen (0,0) es en el área de penal ya que es el lugar de mayor interacción del arquero con el juego, es en el área de penal o área grande en donde el arquero además de sus piernas puede hacer uso de sus manos para atajar, rechazar, despejar o realizar pases; La importancia en delimitar esta zona

es con el propósito de mostrar el área de acción del robot móvil y limitar las tareas de mayor importancia con el fin de medir el desempeño que este tiene.



Figura 1. Área de acción del arquero.
(Fuente: elaboración propia)

3.2 Variables en un arquero de fútbol robótico.

Con el fin de medir el desempeño del robot móvil en el rol de arquero de fútbol, se hace necesario definir una serie de variables con el fin de evaluar el desempeño de dicho robot que describan en su totalidad el comportamiento que se espera al momento de ejecutar su rol; Gracias al análisis realizado en las secciones anteriores se pueden extraer 3 características que permiten medir el desempeño del robot móvil en su rol de arquero las cuales son:

3.2.1 Ubicación espacial: Esta variable muestra la capacidad que tiene el robot para retornar a su posición inicial después de haber realizado alguna tarea, (ver figura 2a). Se mide la distancia que el robot tiene respecto a las bandas laterales del área penal la cual debe ser aproximadamente igual, la distancia que hay entre estas dos bandas es de 60 cm, por tanto, el robot debe quedar centrado en su punto de origen (0,0) aproximadamente a 30 cm de cada

una de las líneas laterales del área de penal, mirando hacia el sur donde queda su zona de observación (figura 2a).

3.2.2 Despeje: Esta variable muestra la capacidad que tiene el robot para identificar cuando la pelota (IRball) está cerca al área penal (área de acción del arquero) y de esta manera acercarse y atajarla e impulsarla fuera del área de penal, reduciendo el peligro de gol, se mide haciendo lanzamientos desde diferentes puntos alrededor del área de penal contando la cantidad de despejes realizados y la cantidad de goles que el robot se dejó anotar.

3.2.3 orientación: muestra la capacidad que tiene el robot de orientarse hacia el sur (ver figura 1), esta variable se mide colocando al robot en el punto de origen (0,0) mirando en diferentes direcciones para que posteriormente se oriente hacia el sur; Se considera una buena orientación si el robot queda orientado entre los 175° y 185° en dirección sur, ya que es en ese rango en donde tiene una mejor zona de observación (figura 2a).

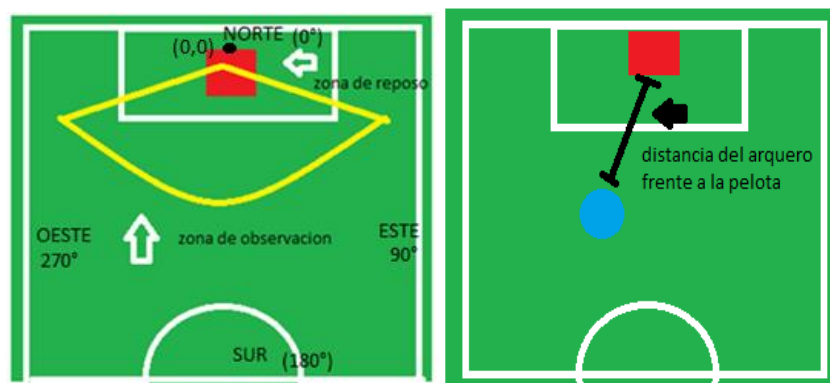


Figura 2. a) Posición de reposo del arquero. b) Distancia del arquero frente a la pelota.

(Fuente: elaboración propia)

4. DESARROLLO DEL PROYECTO.

El proyecto se ha desarrollado en base al diagrama de bloques presentado en la figura 3, el cual indica los pasos secuenciales del desarrollo del proyecto.

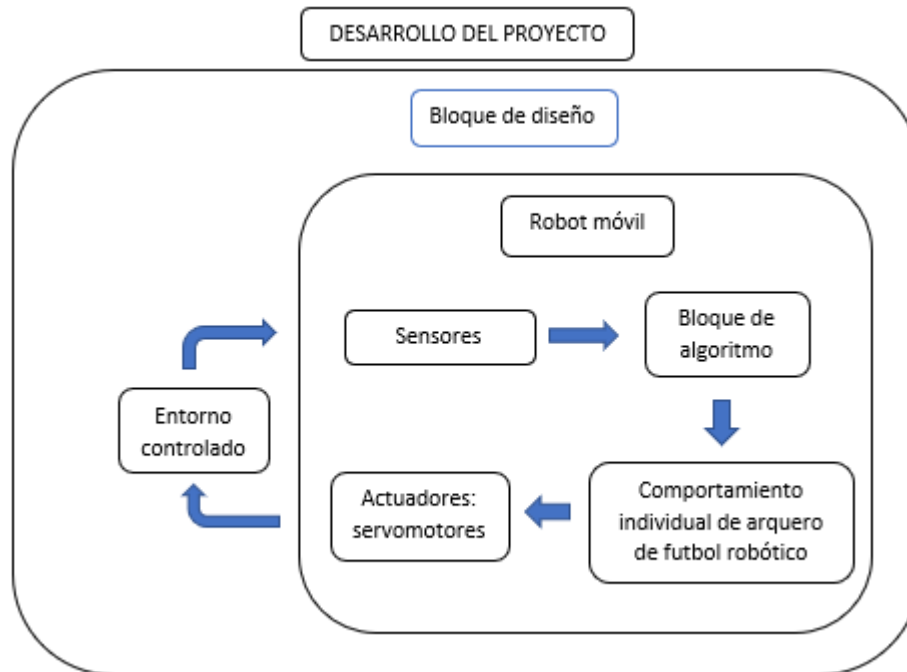


Figura 3. Diagrama de Bloques (Desarrollo del Proyecto).
(Fuente: elaboración propia)

4.1. Diseño del robot.

La construcción del robot móvil se realizó con el uso del kit lego MINDSTORM NXT 2.0 [9], además se incorporaron 2 bandas elásticas en la parte frontal que sirven para despejar la pelota, el robot una locomoción diferencial con una separación entre ellos de 17 cm, un radio de ruedas de 4,2 cm, las medidas del prototipo final se muestran en la figura 4a y 4b, en donde se observa la vista superior y lateral del robot móvil elaborado.

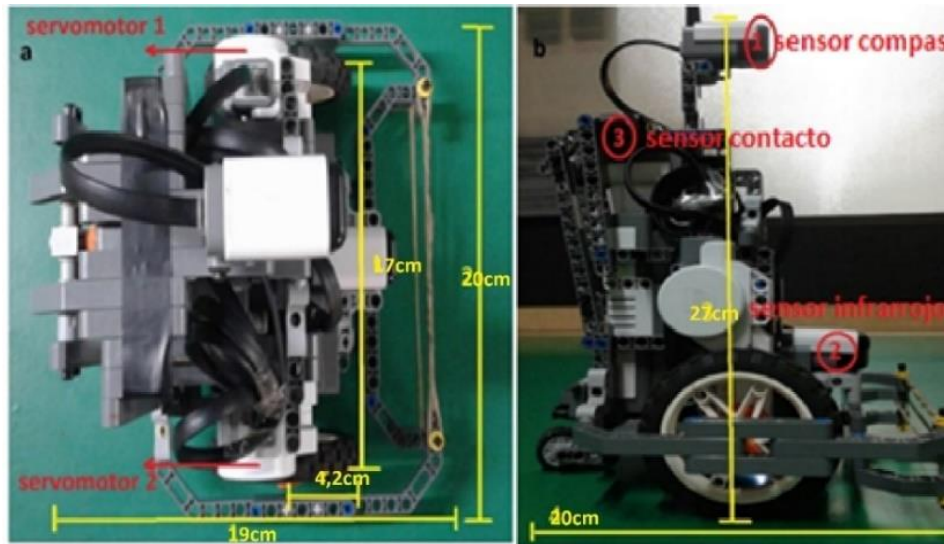


Figura 4. a) vista superior. b) vista lateral. (Fuente: elaboración propia)

4.1.2. sensores

El robot móvil cuenta con 4 sensores que le permitieron al robot llevar a cabo las funciones necesarias para cumplir con el rol de arquero de fútbol, la disposición de estos sensores se puede observar en las figuras 4b y 5a, se usaron estos sensores ya que en conjunto son los sensores utilizados para el funcionamiento de los robots en la categoría Robocup Junior soccer.

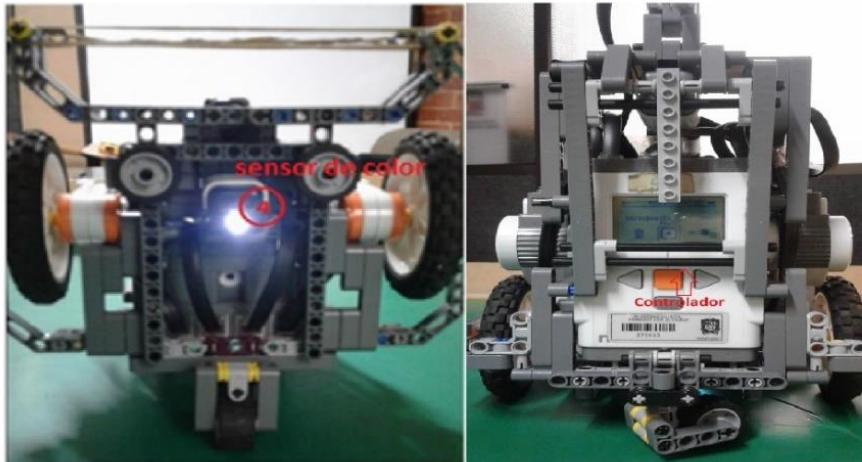


Figura 5. a) Vista inferior del robot. b) vista posterior del robot.

(Fuente: elaboración propia)

sensor de contacto: El sensor de contacto es interruptor que cuando es pulsado devuelve un valor 1 lógico y si no está siendo pulsado da el valor lógico 0.

Sensor de compas: contiene un compas magnetico digital que mide el campo magnetico de la tierra y calcula el ángulo de dirección, tiene una precisión de un angulo y se refresca 100 veces por segundo, ademas el sensor debe estar colocado en un plano horizontal, por lo que debe mantener el nivel de la brújula para que se lea correctamente, por otro lado es muy recomendable montar la brújula a una distancia mínima de 6 pulgadas (15 cm) de los motores y a 4 pulgadas (10 cm) del propio ladrillo NXT con el fin de evitar interferencias[10]

Sensor de color: El sensor de color V2 (ver figura 6a) de Hitechnic utiliza un solo LED de color blanco que ilumina la superficie del objeto y analiza el componente de color de la luz que se refleja de la superficie y se calcula el número correspondiente. El sensor obtiene 100 valores

por segundo y da como respuesta un número entre 0 y 17 tal y como lo muestra la Figura 6 [10].

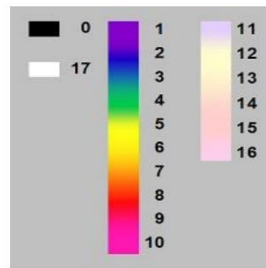


Figura 6. Valores dependiendo el color
(Fuente: Tomado en línea www.hitechnic.com).

Sensor infrarrojo: El sensor infrarrojo IRseeker es capaz de detectar señales infrarrojas como las emitidas por la pelota infrarroja (IRball), para esto cuenta con dos modos de funcionamiento: Modulada (AC) como las producidas por la pelota infrarroja y sin Modular (DC), en el modo (AC) el sensor se sincroniza con señales ya sea de 1200 Hz o 600 Hz e ignora el resto. En la figura 7a se puede apreciar en las áreas de visión del sensor infrarrojo y en la figura 7b la bola infrarroja, la bola usada es la IRball HiTechnic de Lego.

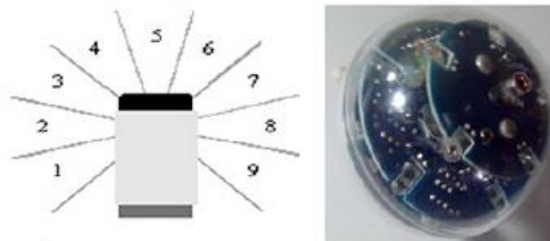


Figura 7. a) Área de visión sensor infrarrojo. b) IRball HiTechnic.
(Fuente: Tomado en línea www.hitechnic.com)

4.1.2.1 Caracterización del sensor IRseeker: En la figura 8 se muestra la caracterización del sensor IRseeker, en el cual se aprecian círculos que aumentan su radio en 10 cm y en el centro se encuentra el sensor IRseeker, del cual salen líneas divisorias que delimitan las 9 zonas de detección del sensor. En las cuales se muestra la intensidad detectada por el sensor según la distancia que se tenga desde el sensor hasta la fuente infrarroja. Se puede observar como las zonas de detección 1,2,8 y 9 presentan poca eficiencia al momento de detectar las señales provenientes de la pelota infrarroja en dichos puntos. Ya que los valores provenientes desde estas zonas son muy pequeños.

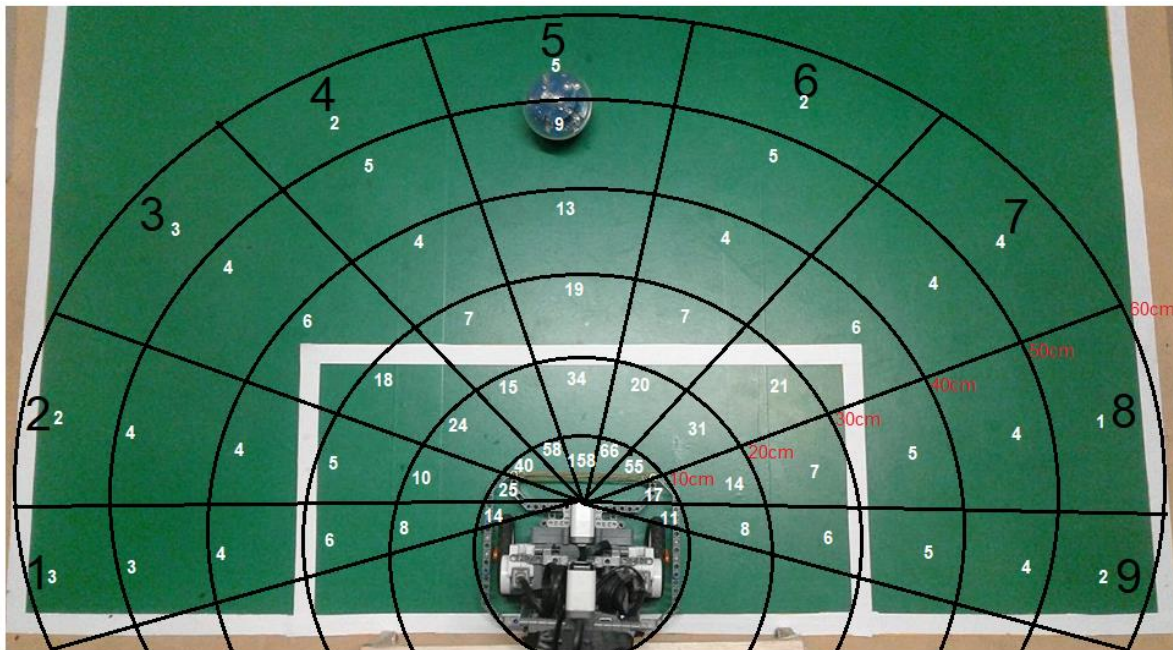


Figura 8. Caracterización sensor IRseeker (Fuente: elaboración propia)

4.1.2.1 Caracterización del sensor de compas: en la caracterización de este sensor se usó como patrón la brújula que usa el celular Huawei Y6 ii (ver figura 9), con la finalidad de comprobar el buen funcionamiento del sensor compas de Lego.



Figura 9. Caracterización sensor compas (Fuente: elaboración propia)

En ese sentido se tomaron datos cada 20 grados, realizándose 10 pruebas por grado (ver anexo), los grados seleccionados y los promedios y resultados se pueden ver en la tabla 1.

grados	promedios	% error
0	0,6	
20	19,6	2
40	39,9	0,25
60	60,3	0,5
80	80,4	0,5
100	100,4	0,4
120	119,9	0,08333333
140	139,9	0,07142857
160	160	0
180	179,6	0,22222222
200	199,5	0,25
220	220	0
240	240,8	0,33333333
260	260	0
280	280,2	0,07142857
300	299,5	0,16666667
320	320,5	0,15625
340	341,3	0,38235294

Tabla 1. Resultados caracterización sensor de compas (Fuente: elaboración propia)

Como se puede apreciar en la figura 10 los datos obtenidos en la caracterización del sensor de compas no varían mucho ya que su error es demasiado pequeño. No superior al 1 % en todos los casos.

Por otra parte, para que el robot realice todas las tareas necesarias como son la lectura de los sensores y el movimiento de los actuadores, se hace uso de un bloque de control y procesamiento llamado “ladrillo”, el cual es el encargado de realizar todas las funciones que sean impuestas. (véase figura 9).



Figura 9. “ladrillo” Lego NXT 2.0

(Fuente: Tomado en línea www.Legomindstorms.com)

4.1.3 Actuadores: se colocaron 2 servomotores del kit Lego NXT 2.0 que dotan de movilidad al robot y de esta manera ser capaz de desplazarse por el entorno controlado, estos motores DC cuentan con un sensor de posición de un grado de resolución y una velocidad de rotación del eje de 170 rpm que además consume una corriente de 60 mA sin carga [11], (ver tabla 2).


 NXT	Esfuerzo de torsión	Rotación de velocidad	Corriente	Mecánica de energía	Eléctrico de potencia	Eficiencia
4,5 V	16.7 N.cm	33 rpm	0.6 Un	0,58 W	2,7 W	21,4%
7 V	16.7 N.cm	82 rpm	0.55 A	1,44 W	3,85 W	37,3%
9 V	16.7 N.cm	117 rpm	0.55 A	2,03 W	4,95 W	41%
12 V	16.7 N.cm	177 rpm	0.58 A	3,10 W	6,96 W	44,5%

Tabla 2. Características servomotor Lego NXT. (Fuente: Pinto & Bermúdez 2007 [11])

4.1.4 algoritmo: El software usado para el desarrollo del proyecto es “LABVIEW” siendo este un lenguaje de programación gráfico con una extensión que permite programar el ladrillo inteligente de lego MINDSTORMS NXT 2.0, se usó este software debido a que es usado por estudiantes e ingenieros el cual permite diseñar rápidamente proyectos complejos y potentes de robótica, además es el software utilizado en el grupo de investigación de robótica móvil autónoma (ROMA) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. En la figura 11 se observa el diagrama de flujo realizado para este proyecto.

Para las condiciones de juego, la posición inicial del robot debe estar cerca al punto de origen (0,0) en el área de penal; como segunda condición los lanzamientos de la pelota infrarroja se hicieron desde diferentes puntos ubicados alrededor del arco, mientras esta se mantenía estática, como se puede observar en la figura 10.



Figura 10: Condiciones iniciales del comportamiento individual. (Fuente de elaboración propia).

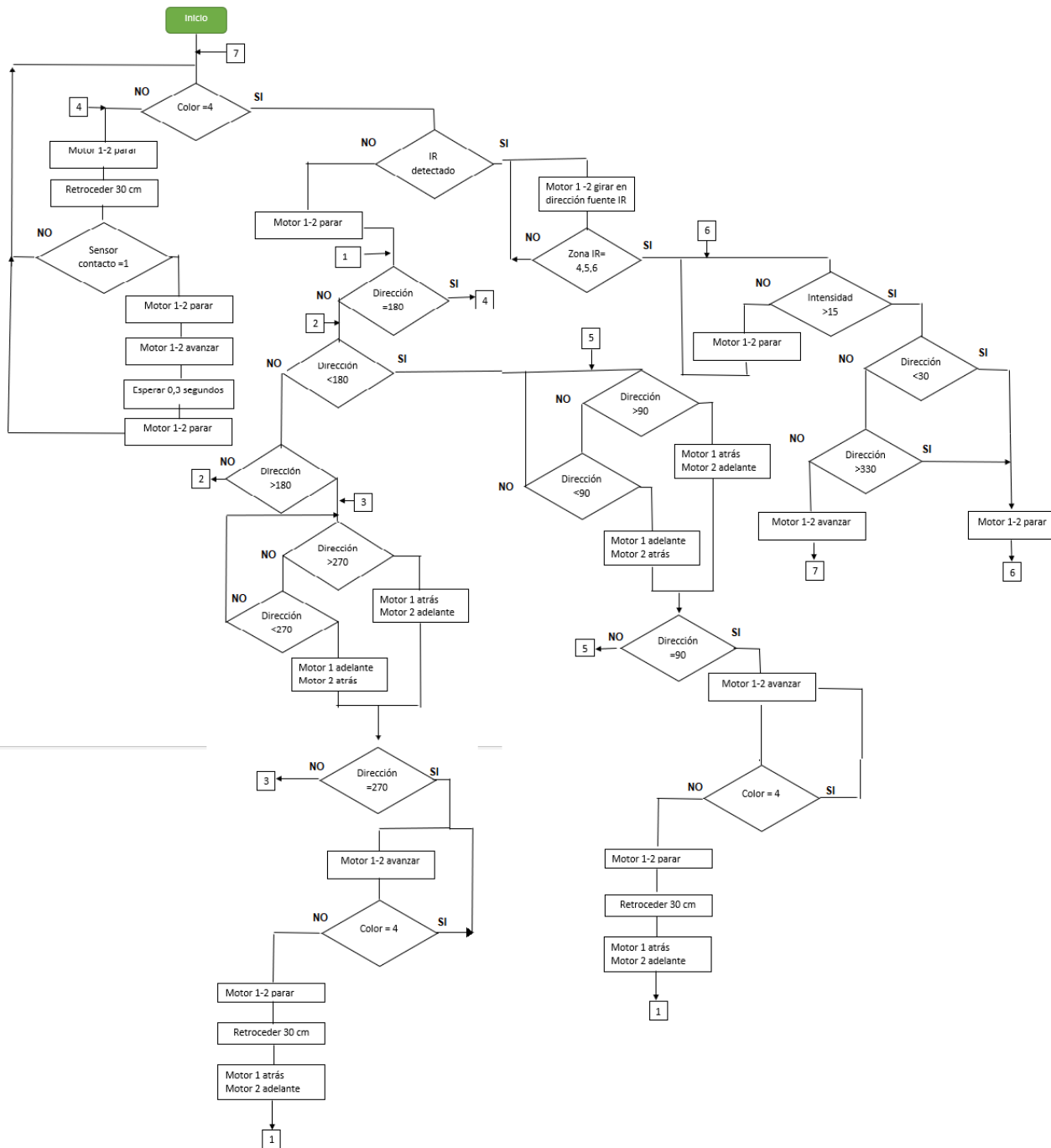


Figura 11. Diagrama de flujo del algoritmo implementado (Fuente: elaboración propia)

4.2 Entorno controlado: La construcción del entorno controlado, fue basado en la competencia Robocup Junior soccer[3], se decide tomar la mitad del área de juego, las medidas de todo el entorno y el arco se pueden observar en la tabla 3; además de tener paredes que encierran el entorno a sus alrededores de 5cm de altura (ver Figura 12), estas dimensiones también son de preferencia porque concuerdan con la máxima distancia a la cual el sensor infrarrojo del kit lego NXT 2.0 puede detectar la señal infrarroja proveniente del balón infrarrojo.

Medidas externas de la cancha	
Ancho	120cm
Largo	110cm
Medidas del área de penal	
Ancho	60cm
Largo	30cm
Medidas del arco	
Ancho	42cm
Alto	16cm

Tabla 3. Medidas del entorno controlado
(Fuente: elaboración propia)

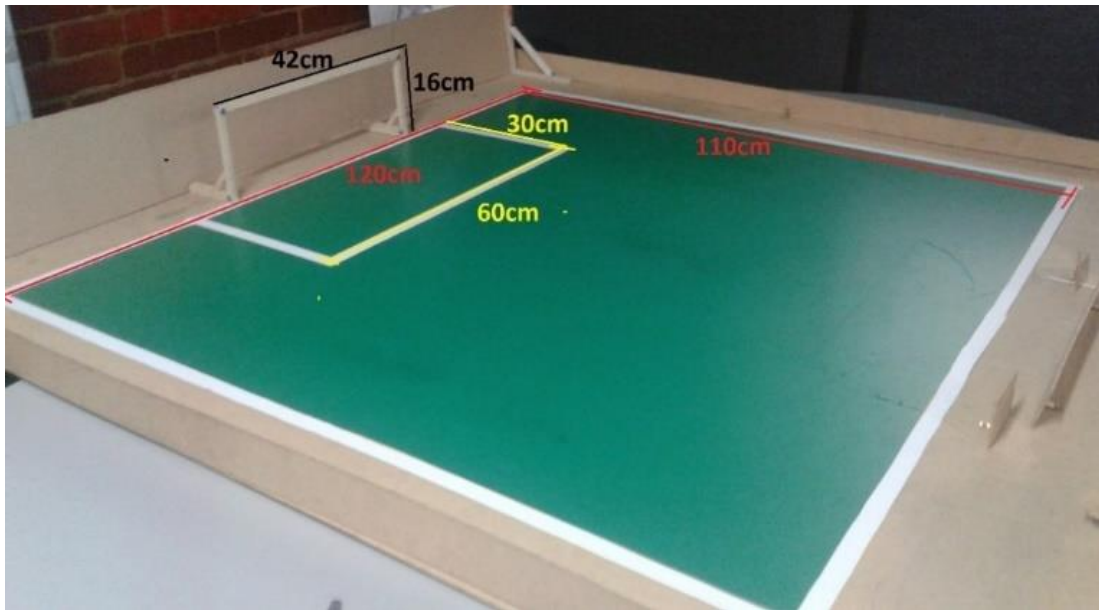


Figura 12. Entorno controlado
(Fuente: elaboración propia)

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

La evaluación de comportamiento individual se realizó con la captación de las 3 variables que se mencionaron en la sección 2 de este documento (ubicación espacial, despeje y orientación), para cada una de estas variables se realizó 1 que permiten medir el desempeño del robot móvil en el rol de arquero de fútbol cumpliendo funciones relacionadas con dichas variables.

5.1 Situaciones de juego

El robot en el rol de arquero de fútbol será el único robot presente en el entorno controlado, ya que en este proyecto no se hace necesario la intervención de otros robots dentro del entorno para evaluar el comportamiento individual de un arquero de fútbol.

5.2 Prueba de ubicación espacial

Para evaluar el error que tiene el robot para retornar a su posición inicial. Se realizaron 10 pruebas (ver anexo) en 10 puntos diferentes paralelos la línea de meta, tomados desde la línea lateral izquierda del área penal (ver figura 13), con el fin de observar la respuesta que tiene el robot para ubicarse en una posición cercana a los 30cm que comprenden la mitad del área de penal midiéndose desde alguna de las líneas laterales de dicha área. Como condición para esta prueba no se hace necesario la presencia de la pelota infrarroja en el entorno controlado, puesto que el robot entrara en un estado de plena vigilancia de la pelota infrarroja. En la tabla 3 se puede observar los puntos seleccionados (distancia de partida), la distancia final promedio obtenida luego de que el robot realiza la prueba de ubicación espacial y los porcentajes de error obtenidos

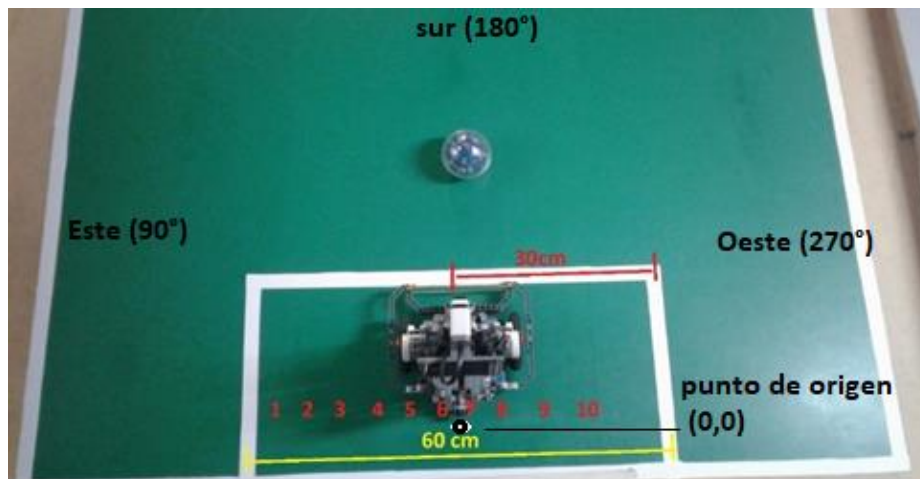


Figura 13. Puntos seleccionados para pruebas de ubicación espacial
(Fuente: elaboración propia)

# prueba	Distancia de partida (cm)	distancia final (cm) promedio	%error
1	8	28,56	4,8
2	13	28,19	6,033333
3	17	28,02	6,6
4	20	28,22	5,933333
5	25	28,24	5,866667
6	30	28,07	6,433333
7	33	29,23	2,566667
8	38	30,43	1,433333
9	45	32,53	8,433333
10	50	32,14	7,133333

Tabla 4. Promedio de la Prueba de ubicación espacial

Como se puede apreciar en la tabla 4, el robot logra ubicarse en promedio cerca al punto de origen (0,0), con un margen de error de más o menos 2 cm, obteniéndose un error menor al 10 % en la realización de todas las pruebas con lo cual se evidencia que el robot puede lograr una buena ubicación espacial dentro del área de penal.

5.3 Prueba de orientación: para evaluar el error que el robot presenta al momento de orientarse frente a su arco se realizaron 50 pruebas (ver anexo), colocando al robot en el punto de origen (0,0) haciendo que mirara en diferentes direcciones, respecto a su propio arco, según se ha explicado con anterioridad una buena orientación es aquella en donde el robot quede orientado hacia el sur entre los 175° y 185°, al igual que en la prueba anterior no se hace necesario la presencia de la pelota infrarroja en el entorno controlado ya que el robot quedara vigilante de esta. Los resultados de esta prueba se pueden observar en detalle en la figura 14.

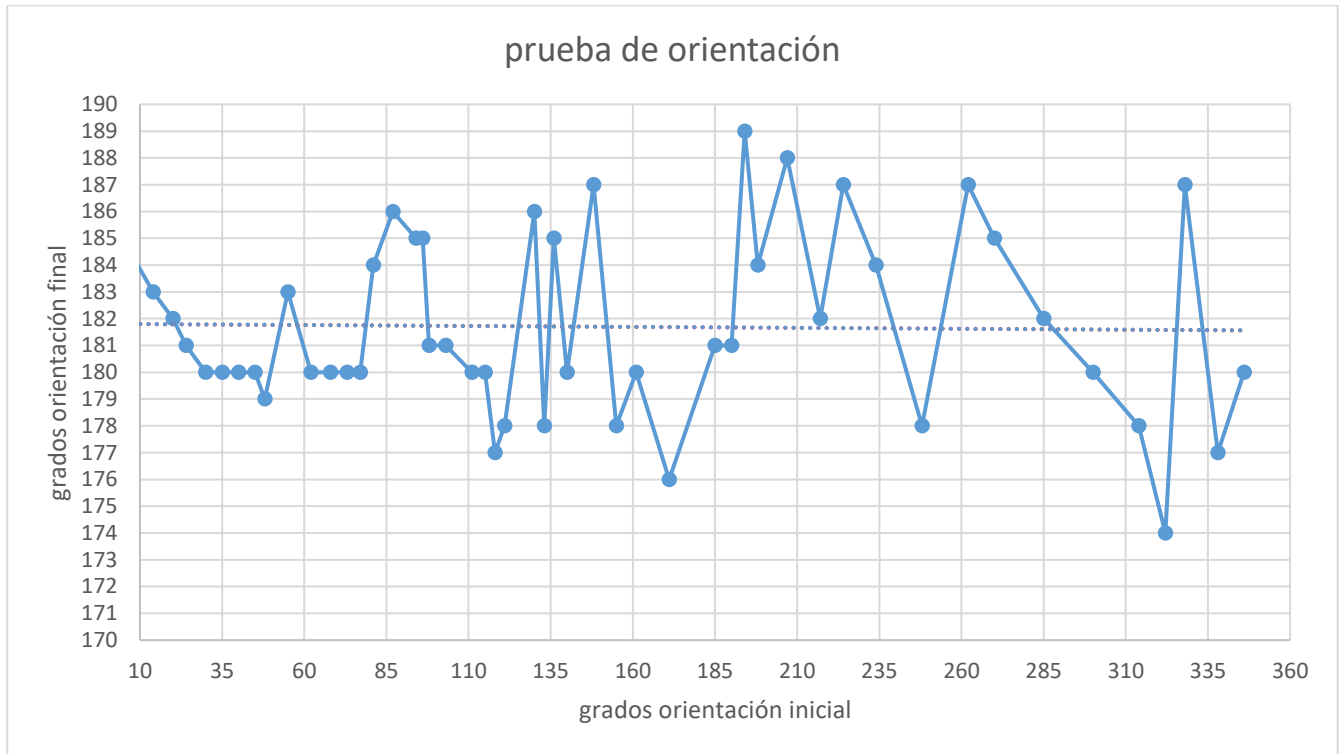


Figura 14. Prueba de orientación (Fuente: elaboración propia)

de acuerdo con la figura anterior, se puede observar que luego de ejecutarse el algoritmo de orientación, el robot tiende a orientarse muy cerca a los 180°, con variaciones entre los 175° y 185° salvo en 9 puntos (0°, 87°, 130°, 194°, 207°, 224°, 262°, 322° y 328°) que corresponden a los grados de orientación inicial, los cuales obtuvieron como resultado (186°, 186°, 186°, 189°, 188°, 187°, 174°, 187° y 187°), pero en general la grafica muestra una tendencia hacia los 182° lo cual es un buen punto de orientación según el margen dado.

5.4 Prueba de orientación: esta prueba consiste en realizar lanzamientos de la pelota infrarroja desde diferentes puntos alrededor del arco (ver figura 10), contando la cantidad de veces que el robot dejo pasar la pelota infrarroja y que cantidad de veces realizo un despeje.

En total se escogieron 15 puntos alrededor del arco y por cada punto se realizaron 10 pruebas para un total de 150 pruebas (ver anexos), 5 de estos puntos están a una distancia de 40cm desde el respecto al centro del arco El segundo grupo de puntos están ubicados a 50 cm y el tercero a 60 cm., los resultados de esta prueba se pueden ver en la tabla 5.

Pruebas de despeje		
#puntos de lanzamiento	Atajado	Gol
1	6	4
2	5	5
3	5	5
4	7	3
5	6	4
6	7	3
7	10	0
8	10	0
9	10	0
10	6	4
11	6	4
12	7	3
13	4	6
14	5	5
15	4	6
Total	98	52

Tabla 5. Prueba de despeje (Fuente: elaboración propia)

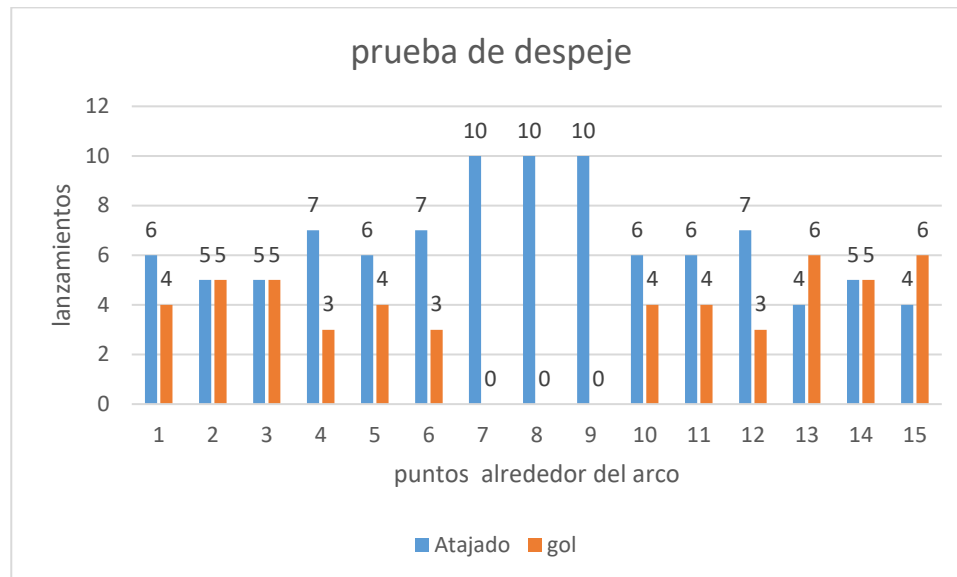


Figura 15. Prueba de despeje (Fuente: elaboración propia)

En la figura 15 se observa que conforme los lanzamientos son realizados desde los puntos cercanos a la línea de meta, el arquero no es capaz despejarlos debido a que estos puntos están ubicados en zonas críticas donde la lectura del sensor de señales infrarrojas es muy débil como se explicó con anterioridad en la caracterización del sensor infrarrojo, pero a medida que los lanzamientos son realizados desde puntos ubicados al sur del entorno controlado, el robot presenta mayor eficiencia ya que el robot solo debe avanzar hasta interceptar el avance de la pelota infrarroja, algo que no sucede en los puntos (1,2,3,13,14,15) en donde el robot debe girar para quedar frente a la pelota infrarroja.

En cuanto al comportamiento básico individual del arquero cumple con lo necesario para cumplir los objetivos propuestos puesto que el robot esta en capacidad de ejecutar el comportamiento básico de navegación, que se observa al momento de realizar funciones

como la orientación y ubicación espacial, adicionalmente, el robot está en capacidad de ejecutar comportamientos básicos complejos al momento de interceptar y bloquear la pelota cuando realiza la prueba de despeje, lo cual a su vez implica que esta realizando comportamientos complejos de mayor nivel al momento en que este aleja la pelota de su arco con el fin de reducir la probabilidad de gol.

6. CONCLUSIONES

- Se desarrollo e implemento un robot móvil que tiene la capacidad representar el comportamiento individual básico de un arquero de futbol, en el cual se destaca primero que puede orientarse y ubicarse, lo cual se logró haciendo uso de un sensor de color y de un sensor de compas y segundo lugar tener la ubicación de la pelota infrarroja usando el sensor infrarrojo IRseeker y por ultimo se incorporo un par de bandas elásticas en frente del robot que simulan la pierda y/o brazo del arquero.
- Se determino un algoritmo para el comportamiento individual del arquero de futbol el cual consiste en bloquear o rechazar la pelota, en el cual el robot siempre ejecutara acciones de ubicación y orientación si no detecta ninguna señal infrarroja.
- De acuerdo con las pruebas de despeje realizadas se concluye que el robot se vuelve mas eficiente al momento de despejar la pelota infrarroja si esta es lanzada desde puntos cercanos al sur del entorno controlado.

7. TRABAJOS FUTUROS

- Como proyecto futuro para la continuación de la investigación se propone incorporar otros tipos de sensores, los cuales puedan brindarle al robot más autonomía al momento de realizar las funciones necesarias en cumplimiento de los objetivos que tenga.
- si bien el objetivo inicial de este proyecto es el desarrollo y construcción de un arquero de fútbol, esta forma de un macroproyecto al interior del grupo de investigación ROMA en conformación de un equipo de fútbol de robots, en el cual se hace necesario incorporar en el robot un conjunto de estrategias que le permitan trabajar de forma colaborativa con diferentes robots

RECONOCIMIENTOS.

Al grupo de investigación de robótica móvil autónoma (ROMA) ya que gracias al préstamo de sus equipos fue posible la realización de este proyecto.

Referencias.

- [1] C. C. Castelo, H. R. Fassi and F. E. Scarpettini, "Fútbol de robots:revisión del estado del arte y desarrollo del equipo ubasot de simulacion," Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 2002.
- [2] S. B. Sánchez, *Desarrollo de robots basados en el comportamiento*. 2004.
- [3] J. Guarnizo, C. Trujillo and n. Diaz,"Fútbol de robots: orígenes, federaciones, ligas y horizontes de investigación", Ingenium,vol. 17, nº 22,pp.54-67, julio de 2015
- [4] FIRA. Sitio oficial. <http://www.firaworldcup.org>

- [5] ROBOCUP. Sitio oficial. <http://www.robocup.org>

- [6] C. Campagnon and L. A. Cecchi, "Modelando el comportamiento del arquero de fútbol para un equipo de fútbol con robots", Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina, 2006.

- [7] W. Infante, J. C. Bautista and E. Berdugo, "Emulación del videojuego "Pong", mediante robots móviles con herramientas LEGO Mindstorms NXT 2.0", Universidad Distrital, Bogotá, Colombia, 2016.

- [8] J. O. Espinosa, B. Aguilar, "Las capacidades físicas condicionales y su incidencia en el desarrollo de los fundamentos técnicos del arquero de fútbol en las divisiones formativas del club liga deportiva universitaria de Loja durante el primer quimestre del campeonato ecuatoriano de fútbol 2014", Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, "015.

- [9] LEGO, "LEGO Mindstorms", [Online]. <https://www.lego.com/eses/mindstorms>

- [10] Hitechnic, <http://www.hitechnic.com/home>.

- [11] Pinto M. & Bermúdez G. (2007). "Determinación de los parámetros para el servomotor NXT LEGO Mindstorms con técnicas de Identificación de sistemas". Recuperado de www.iiis.org/CDs2008/CD2008CSC/CISCI2008/PapersPdf/c098SE.