

Diseño e implementación de un sistema para el desplazamiento en forma de Convoy de plataformas móviles MINDSTORMS NXT 2.0 de LEGO

Design and implementation of a system for travel in the form of mobile platforms Convoy of LEGO MINDSTORMS NXT 2.0

WILLSON INFANTE MORENO

Ingeniero en control electrónico, estudios de maestría en electrónica y computadores. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: winfantem@udistrital.edu.co

CHRISTIAN ANDERSON MANCIPE

Estudiante de Tecnología en Electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: crm_angrfst@hotmail.com

JOAN EMMANUEL ORTIZ

Estudiante de Tecnología en Electrónica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: joan_ud@hotmail.com

Fecha de recepción: 20 de Julio de 2012

Clasificación del artículo: Investigación

Fecha de aceptación: 1 de Octubre de 2012

Grupo de Investigación: ROMA

Palabras clave: *Brick, Comunicación Inalámbrica, Convoy, Programación, Robótica Cooperativa, Sensores.*

Key words: *Brick, Wireless Communication, Convoy, Programming, Robotics Cooperative, Sensors.*

RESUMEN:

El desarrollo de sistemas robóticos móviles y autónomos se encuentra actualmente en una etapa en la cual se hace importante la interacción de diversos dispositivos para el cumplimiento de una labor, es por esto que se ha planteado la necesidad de desarrollar sistemas que permitan la integración y la cooperación de varios agentes robóticos para realizar una tarea conjunta, mejorando la eficiencia y precisión de la misma. En este artículo se expone el trabajo realizado, basado en la implementación de un sistema de robótica cooperativa, en el cual

tres plataformas móviles de arquitectura LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 realizan un desplazamiento en forma de convoy a través de una ruta determinada sobre un escenario controlado.

Estas plataformas cuentan con sensores y servomotores que permiten diferentes mediciones y desplazamientos, también cuentan con elementos que les permiten mantener una comunicación inalámbrica en todos los puntos del recorrido. Los robots están programados bajo un sistema centralizado y cooperativo en el cual uno de ellos está en capacidad de guiar a los demás e indicarles anomalías

durante el trayecto.

ABSTRACT:

The development of mobile robotic systems is actually very important due the interaction of many devices that works to accomplish a task, for these reasons it's necessary to develop systems of integration and cooperation between multiple robotic agents for joint work, improving the efficiency and accuracy of a system. This article explains the development of a cooperative robotic system, using

* * *

1. INTRODUCCIÓN

La robótica cooperativa se define como aquella rama de la robótica que busca un tipo de coordinación entre diversos dispositivos que un principio son independientes. En diversos sistemas robóticos, la utilización de cada dispositivo está determinada por las decisiones y acciones que cada robot pueda ejecutar, ya que el grado de éxito de la cooperación se mide por la capacidad de cada integrante de mantener sus objetivos y permitir que otros agentes puedan alcanzar los suyos. Cuando se habla de robótica cooperativa o colectiva, cada agente que participe en un proceso debe estar en capacidad de percibir su medio y tomar decisiones apropiadas. [1]

Dado que el grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma “ROMA”, de la facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, busca el desarrollo de sistemas móviles autónomos y que a su vez respondan a funciones de tipo cooperativo, se realiza este proyecto con el objetivo de que interactúen tres plataformas móviles mediante un desplazamiento controlado para así simular una caravana o convoy, en el que cada integrante realiza un recorrido de manera controlada. Este proyecto se origina gracias a los avances realizados en el proyecto SARTRE (*Safe Roads Trains ForThe Environment*) protodinado por la multinacional Volvo [2], el cual busca generar un

three mobile platforms LEGO MINDSTORMS NXT 2.0 moving as a convoy through an established route.

These robotics platforms have sensors and servo motors that allow their displacement and different measurements, also include elements that allow them to establish a wireless communication on the route; the robots are programmed for a centralized and cooperative system, the principal platform is able to guide and alerts about some anomalies along the way.

sistema eficiente de seguridad para varios vehículos, en las carreteras, que van dentro de una caravana. El sistema funciona cuando el vehículo se adhiere a un tren conformado por otros vehículos, que se reconocen entre si y siguen un camino a una velocidad de 90 Km/h aproximadamente. Este tren es dirigido por un camión manejado por un profesional que va al frente de todos y que actúa como el líder de la caravana (Figura 1).

Esta motivación sirvió para realizar una implementación similar utilizando plataformas robóticas LEGO NXT 2.0 que puedan ofrecer alternativas de solución para ciertos problemas que se presentan durante el recorrido de vehículos en forma de convoy y como una introducción al desarrollo sistemas de robótica cooperativa en varios dispositivos móviles.

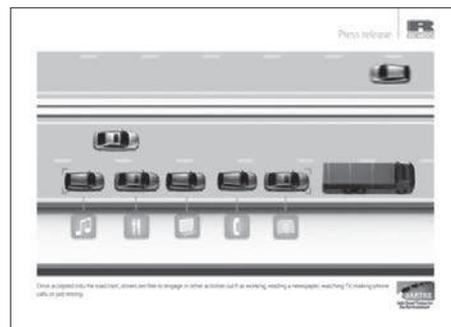


Figura 1. Simulación del proyecto SARTRE

Fuente: Tomado de [2]

2. METODOLOGÍA

2.1 Bloque NXT 2.0

El elemento principal de las plataformas móviles es el bloque programable NXT 2.0, (Figura 2); se compone de un Microcontrolador ARM7 de 32 bits, con 256 Kb de memoria Flash y 64 Kb de memoria RAM, lo cual permite ejecutar programas de mayor magnitud, evitando errores en la ejecución del software; así mismo este bloque puede conectarse al computador por medio de protocolo USB 2.0 y por medio de Bluetooth entre otras características [3].

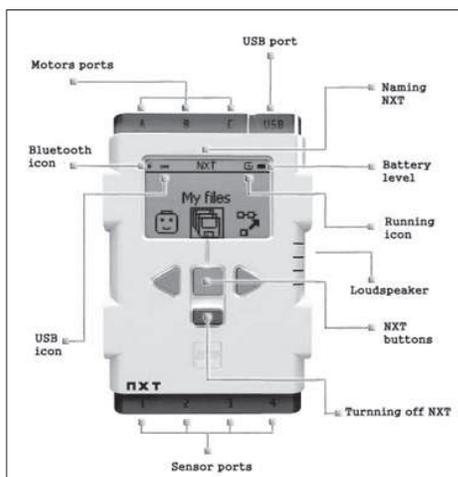


Figura 2. Bloque programable NXT 2.0
Fuente: Tomado de [3]

2.2.1 Sensores

Entre los diferentes sensores que ofrece el kit de Lego MINDSTORMS® NXT 2.0 se implementó el sensor de ultrasonido para medir distancias, tiene un rango de 0 a 255cm con una precisión de +/- 3cm.

2.2.2 Sensores HiTechnic

Adicionalmente, el bloque programable puede utilizar sensores HiTechnic, los cuales son compati-

bles con los dispositivos de LEGO, los sensores utilizados fueron:

NXT EOPD: Usado como detector de proximidad electro óptico, el cual utiliza la luz visible como parte de su funcionamiento, utiliza la luz emitida para eliminar la interferencia de la luz ambiente y dar una respuesta más precisa que los demás sensores de luz. [4].

NXT IRLINK: Usado para establecer una comunicación de tipo infrarrojo entre los diferentes bloques NXT, ya que genera una señal infrarroja de medio alcance que puede variar entre 600 HZ y 1200 HZ [4].

NXT IRSEEKER: Detecta las señales de infrarrojo a partir de diversas fuentes, opera en dos modos AC o modulado y DC o sin modular, está configurado para detectar señales a 1200 HZ, en el modo no modulado el sensor detecta cualquier señal infrarroja [4].

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Se estableció un sistema de robótica cooperativa, en el cual las plataformas móviles actúan con base a las órdenes o acciones que realice el dispositivo maestro. El grado de dependencia es notorio, ya que los vehículos que siguen al maestro no podrían realizar la labor sin el seguimiento al dispositivo principal. Se deduce que el primer robot es autónomo ya que sigue el camino por sus propios medios y no necesita otros vehículos para actuar, es el líder de la caravana aunque para que el sistema simule un convoy necesita otros vehículos que sean capaces de imitar su comportamiento. El recorrido que hacen es controlado, ya que se mantiene una velocidad constante, se conserva un espacio mínimo entre cada plataforma y se alerta al momento de encontrar un obstáculo.

3.1 Sistema de cooperación

El objetivo principal, es la implementación de un

sistema articulado en el que tres plataformas robóticas actúan de forma cooperativa para cumplir una tarea que en este caso es el desplazamiento en forma de caravana o convoy. Para lograr este propósito se definieron ciertos lineamientos que debe cumplir un sistema para considerarse cooperativo y se realizó una programación de forma secuencial en LabView para que las plataformas actuaran de forma dependiente respecto a un dispositivo principal, pero también manejando cierto nivel de autonomía para la ejecución de tareas secundarias. Los lineamientos básicos que se tuvieron en cuenta para el sistema cooperativo fueron:

Centralización: Obtener un comportamiento de grupo a partir del comportamiento individual de una plataforma, esto hace que las acciones a ejecutar se proyecten a imitar el comportamiento de un agente principal, de esta forma se obtiene un sistema centralizado en el que un grupo determinado de agentes robóticos buscan emular el comportamiento de un maestro o líder [5].

Diferenciación: Se definen las funciones de cada uno de los agentes que participan en la cooperación como homogéneos, si cada uno de los robots cumple con las mismas funciones, aunque el rol de estas puede cambiar a medida que se desarrolle una tarea que exige mayor grado de complejidad. [5]

Estructuras de comunicación: Principalmente se definen tres tipos de interacción: con el ambiente, con patrones sensitivos y con protocolo de comunicaciones. Para este caso lo primero que se hace es una percepción detallada del entorno, la cual se logra con la acción del dispositivo maestro que indica al agente esclavo las características de la zona y como deben moverse. La comunicación entre estos robots se logra con la transmisión de una señal infrarroja que los agentes secundarios siguen dependiendo la dirección en que se encuentre esta señal, por lo cual no existe un sistema de comunicación definido [6].

Comportamiento cooperativo: Se debe detectar el potencial de cooperación que este puede llegar a tener, así como la dependencia entre cada uno de los agentes y su interacción con factores externos para solucionar problemas, ya que cualquier tarea por mas imple que sea, contiene infinitas situaciones debido a cambios en el entorno y a los propios movimientos de los robots [7]

3.2 Construcción de plataformas móviles

Se uso en el kit Mindstorms NXT 2.0 de LEGO, ya que se ajustan a los requerimientos necesarios para el diseño del sistema. Este sistema además de ser

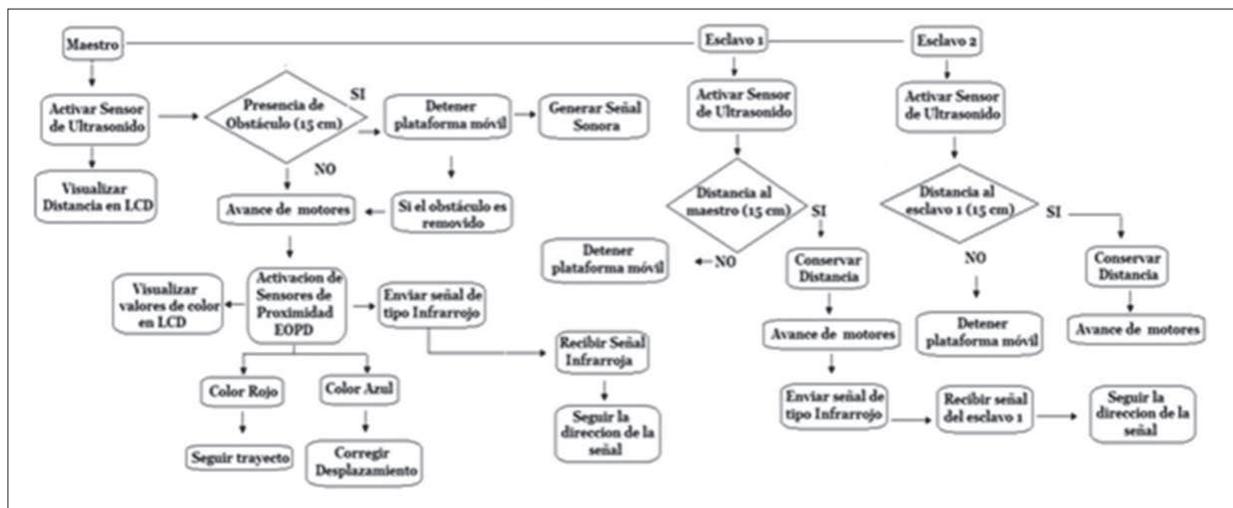


Figura 3. Diagrama General del sistema Implementado
Fuente: Elaboración propia

cooperativo, es centralizado, es decir, que dos de estos dispositivos (esclavos) obedecen las órdenes que se les asigne por la plataforma que lidera el recorrido gracias a los algoritmos implementados para cada robot en el toolkit del programa Labview. El sistema utilizado para el funcionamiento y ejecución de cada función se visualiza en la figura 3.

3.2.1 Dispositivo maestro

Está programado para seguir una ruta de manera controlada y continúa, la estructura básica se compone de una secuencia que contiene la forma While Loop, la cual permite que un programa se ejecute durante un tiempo determinado o de forma permanente. Así mismo, se utilizaron constantes que determinan el punto de partida del sistema.

El algoritmo cumplió con ciertas necesidades como lo fueron la ejecución continua de una tarea, la medición de variables externas, la conservación de una distancia y finalmente la transmisión de una señal que permitiera establecer un convoy acercándose a un tipo de cooperación básica entre las plataformas móviles. [8]

El dispositivo maestro (Figura 4) que presenta una configuración diferencial posee las siguientes características físicas: Peso 694 gr. Largo: 26 cm. Ancho: 20 cm. Alto: 8 cm.

Conformado por un Brick programable NXT 2.0, dos servomotores, dos sensores EOPD, un sensor de ultrasonido y un sensor Infrared Link.

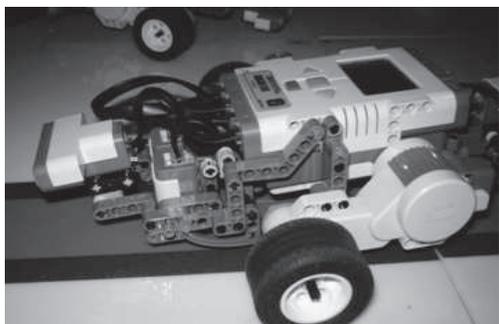


Figura 4. Dispositivo maestro siguiendo la ruta establecida. Fuente: Elaboración propia

El sensor EOPD permitió determinar la variación de color en la pista para así hacer que el robot se moviera hacia adelante y/o corrija su trayectoria. Dicho sensor funciona dentro de una escala numérica de 0 a 100, valores que dependen de la luz reflejada en el emisor y en el receptor que se encuentran en el mismo; Este valor se compara y se obtiene un dato booleano que permite la activación posterior de los motores dependiendo la respuesta de la comparación. Se implementó un segundo sensor EOPD con el fin de que el primer robot conozca la dirección de una curva para seguir la pista correctamente.

El sensor de ultrasonido se implementó para detectar obstáculos en la vía que tengan una distancia horizontal de aproximadamente 15cm, al detectar un obstáculo, el robot se detiene y genera una alarma sonora.

La plataforma móvil presenta una velocidad aproximada de 6,3cm/s durante el recorrido, se determinó al hallar un promedio entre varios recorridos; se estableció que la plataforma gasta aproximadamente 16,5s en recorrer una línea recta de un metro y gasta 1,4min en recorrer un óvalo establecido, por lo tanto la ecuación 1 permite hallar la velocidad promedio de la plataforma móvil al avanzar 1m:

$$v \approx x \div t \quad (1)$$

El resultado de esta ecuación es de 6cm/s. Gracias al Multímetro Digital de NXT que posee el Toolkit de Mindstorms para Labview, también se pueden visualizar los grados que giran las llantas para así conocer la distancia que recorre el robot por cada giro de la rueda; Utilizando estos datos y la ecuación 2:

$$l = 2\pi * R \quad (2)$$

Para dar una vuelta completa de la llanta, el dispositivo recorre 15,7cm aproximadamente y para recorrer la recta más larga del circuito que tiene un metro, son necesarias 6,37 vueltas. El algoritmo utilizado para controlar el funcionamiento de la

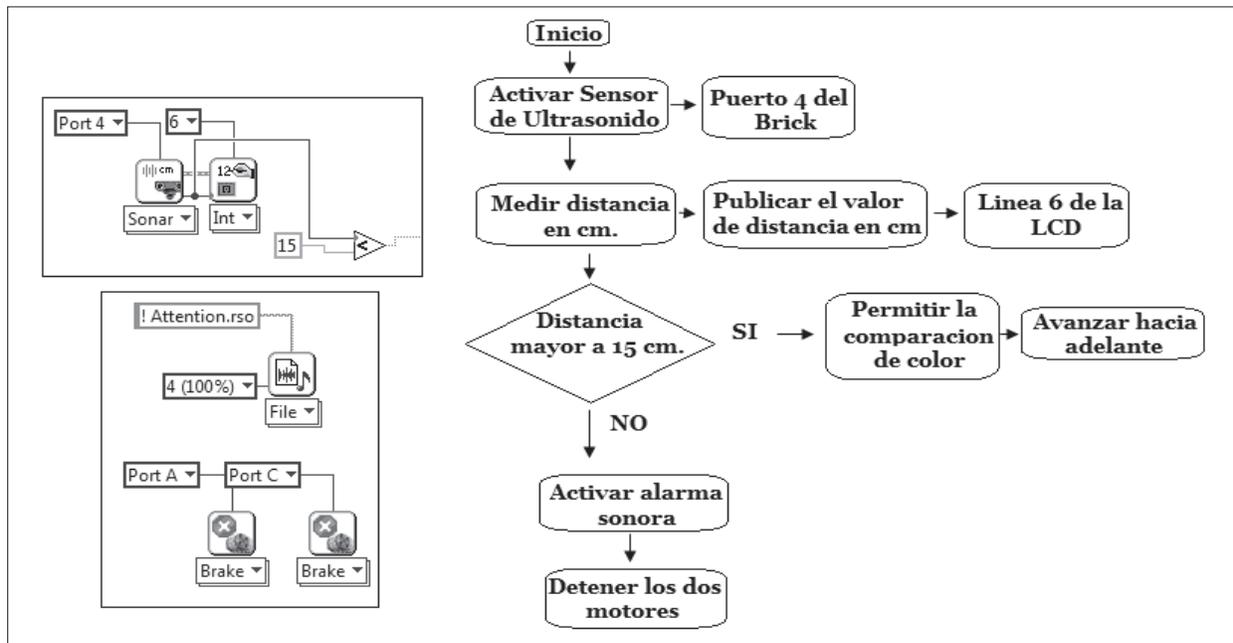


Figura 5. Diagrama de bloques para el funcionamiento del sensor de ultrasonido

Fuente: Elaboración propia

primera plataforma se muestra en la figura 5.

En este dispositivo no hay un sistema completo de comunicación, no fue necesario ya que con el uso de los sensores HiTechnic se pueden hacer rutinas básicas para transmitir una señal y recibirla de manera simultánea con una frecuencia definida y durante el tiempo que se desee.

Se realizó un algoritmo, que permite activar el sensor IRlink, para que actúe como un faro de luz. Este es una señal infrarroja que se transmite de manera constante gracias a al envío de 13 Bytes a una velocidad de 2400 BPS. Internamente el sensor permite hacer un arreglo de bits y utilizar comunicación I2C para así direccionar la señal y que pueda ser reconocida por el sensor IRseeker que actúa como un buscador de señal dentro del programa.

3.2.2 Primer dispositivo esclavo

La segunda plataforma móvil actúa como el primer esclavo del sistema que sigue al dispositivo maestro por medio de una señal de tipo infrarrojo que

genera la primera plataforma. El primer dispositivo esclavo (Figura 6) de configuración tipo diferencial, posee las siguientes características: Peso: 698gr. Largo: 26cm. Alto: 8cm. Ancho: 20cm; y está compuesta por: un Brick programable, dos servomotores, un sensor de ultrasonido, un sensor Infrared Link y dos sensores Infrared Seeker.

Se utilizaron dos sensores receptores de infrarrojo para que el primer esclavo siguiera al robot maestro. Se implementó un sensor de ultrasonido para conservar una distancia aproximada de 15cm entre las plataformas, trayecto que se define dentro del programa del segundo robot. La velocidad resultante del primer esclavo fue de 9,2cm/s aproximadamente, para seguir lo más fiable posible a la plataforma principal.

En un principio los sensores IRSeeker tuvieron que ser ajustados, ya que en ocasiones eran afectados con la luz del ambiente. En el modo AC presenta la mejor configuración ya que es inmune a las señales del ambiente y está configurado para recibir señales infrarrojas a una frecuencia determinada. La distancia máxima a la cual los sensores detectan

la señal de infrarrojo es de 75cm y la distancia mínima es de 6cm. En las figuras 7 y 8 se muestra los algoritmos realizados para el primer robot esclavo.

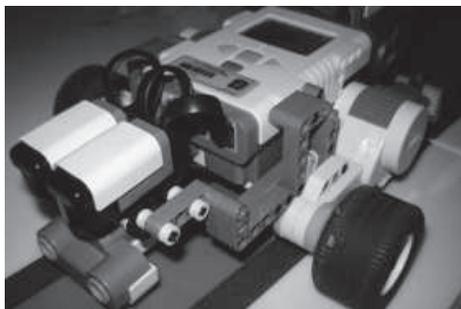


Figura 6. Primer dispositivo esclavo
Fuente: Elaboración propia

Los valores entre los cuales los sensores detectan el infrarrojo se encuentran entre 600Hz y 1200Hz. El sensor IR seeker se establece dentro del programa como un buscador que detecta una señal infrarroja y se acerca hacia ella de acuerdo a los sectores que se quieren manejar. El sensor permite hacer una comparación de valores que después se interpretan como un dato de tipo booleano, tras hacer la comparación y se accionan los motores para el sentido correspondiente de donde provenga la señal. Esto también se rige a través del sensor de ultrasonido pues al haber algún obstáculo o estar muy cerca del maestro, el resto del programa no se ejecutará hasta que la plataforma haga las correcciones para seguir la ruta en la manera que le fue asignada.

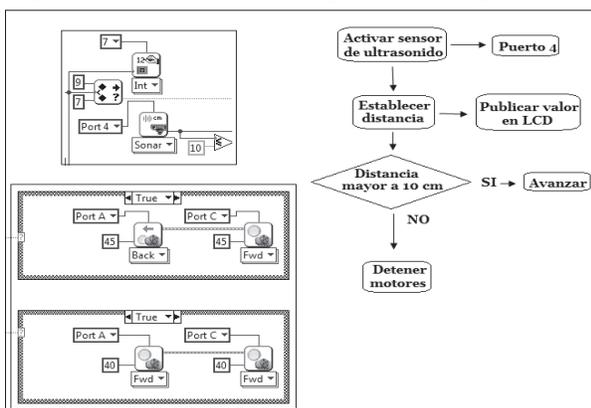


Figura 7. Diagrama que representa el funcionamiento del primer esclavo.
Fuente: Elaboración propia

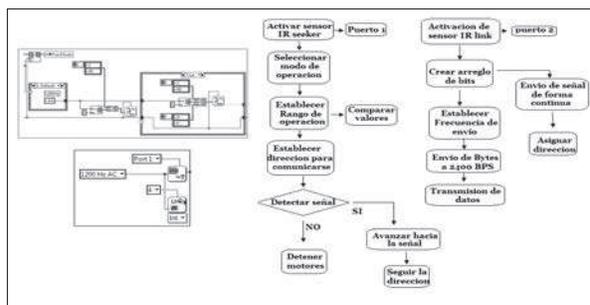


Figura 8. Diagrama que representa la comunicación del primer esclavo.
Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Segundo dispositivo esclavo

Se construyó una tercera plataforma móvil también de configuración tipo diferencial, el segundo dispositivo esclavo, (Figura 9). Este posee las siguientes características: Peso: 640Gr. Largo: 22cm. Alto: 8cm. Ancho: 20 cm. Se compone de: un Brick programable, dos servomotores, dos sensores Infrared Seeker y un sensor de ultrasonido.

Se hicieron los ajustes necesarios a los algoritmos para que esta plataforma pudiera seguir la señal que le enviaba el segundo esclavo, la cual es de 1200 Hz, la velocidad de esta plataforma fue de 9,2cm/s aproximadamente, igual a la segunda plataforma, para que pudiera realizar el recorrido siguiendo el primer esclavo.

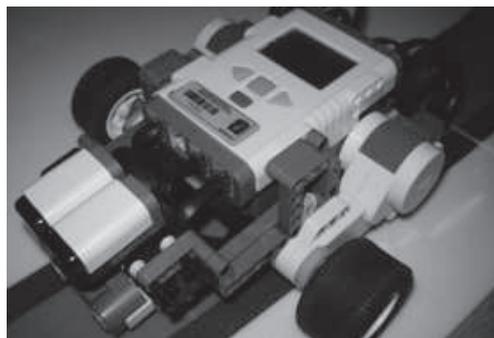


Figura 9. Segundo dispositivo esclavo
Fuente: Elaboración propia

El diagrama de la figura 10 explica el algoritmo de funcionamiento de la tercera plataforma al mo-

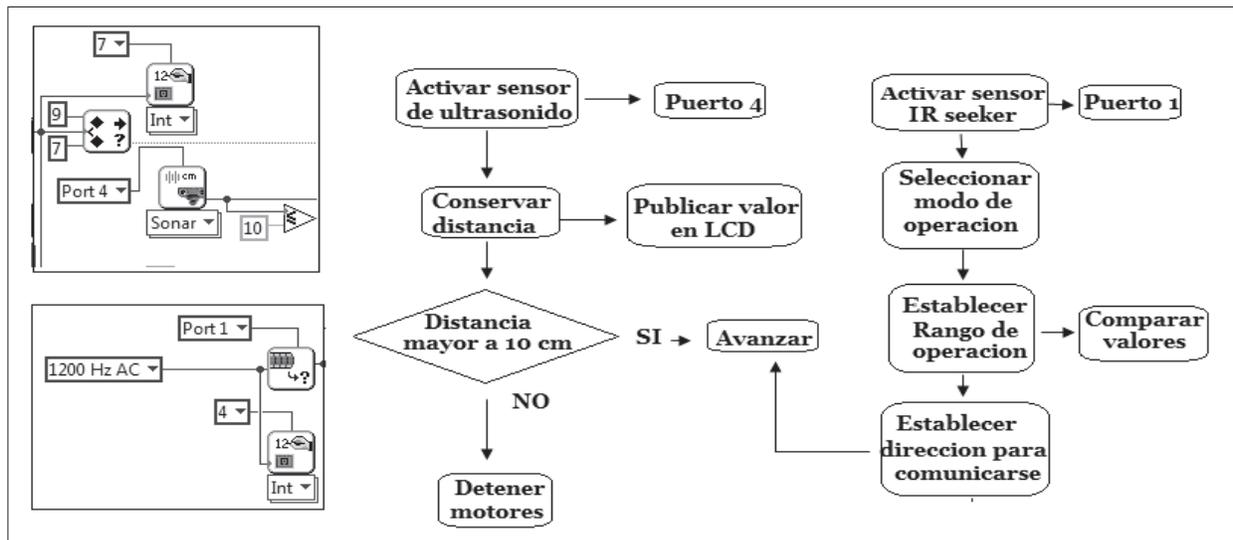


Figura 10. Diagrama que representa el funcionamiento del segundo esclavo.
Fuente: Elaboración propia

mento de incorporarse a la caravana junto con las otras dos plataformas móviles.

3.3 Construcción del escenario

Se diseñó y se ensambló un escenario (Figura 11) que permitió el desplazamiento de las tres plataformas móviles. Para su construcción se utilizó acrílico de color blanco de 3mm de grosor que ofrece resistencia y durabilidad; se utilizaron varias piezas en forma de fichas de rompecabezas, para poder armar y desarmar el mismo.

El camino se diseñó con un material adherente de color azul en los extremos y rojo no reflectivo en el centro. El ancho de la ruta establecida fue de 9cm. El escenario forma una región rectangular de 1,20m por 1,80m.



Figura 11. Escenario realizado
Fuente: Elaboración propia

El escenario diseñado tiene tres niveles de dificultad. En el primero de ellos los robots siguen un óvalo. El segundo nivel consiste en realizar el recorrido de la figura que se encuentra en el interior del óvalo (forma de S) y en el último nivel debe recorrer las dos pistas mencionadas anteriormente en un solo recorrido.

4. RESULTADOS

Recorrido del óvalo por el maestro: El dispositivo maestro realizó el recorrido en un tiempo de 1,42 min, aproximadamente, este tiempo presenta algunas variaciones ya que el robot toma algunas curvas con mayor facilidad, dependiendo de la forma en que los sensores EOPD detecten la superficie y su color. La trayectoria no es constante, ya que la plataforma varía su desplazamiento a medida que detecta el color rojo o el azul, es decir, que hace una corrección permanente para seguir la tonalidad roja. Al aumentar la velocidad se corrige buena parte de la trayectoria, pero se presentan algunos errores, tal como lo muestran los resultados obtenidos (Tabla 1).

Tabla 1. Pruebas de velocidad para el dispositivo maestro.

Prueba	Velocidad	Recorrido Completo	Tipo de falla
Giro 1	4,2 cm/s	SI	Ninguna
Giro 2	6,3cm/s	SI	Ninguna
Giro 3	10,6cm/s	NO	Error al tomar curvas
Giro 4	14,3 cm/s	NO	Recorrido irregular
Giro 5	22,6 cm/s	NO	No determina los colores y se sale de la pista.

Fuente: Elaboración propia

Al aumentar la velocidad de la plataforma, la lectura sobre la superficie no fue óptima, por lo cual se redujo la velocidad para que el vehículo pueda tomar las curvas con facilidad y corrija su desplazamiento. Con una velocidad final de 6,3cm/s, el recorrido del maestro es el que se muestra a continuación (Figura 12).

Giro completo con un esclavo: Al realizar el recorrido con un esclavo ambas plataformas gastaron un tiempo de 1,46 min en recorrer el óvalo, ya que dependiendo la forma en que el maestro tome una curva, en ocasiones, el esclavo se desorienta y toma algunas curvas de forma discontinua. Por más fiel que el primer esclavo sea al maestrosu recorrido es diferente y presenta en ocasiones movimientos descoordinados, por lo cual se concluye que el recorrido hecho por el primer esclavo no es igual al del primer dispositivo, es similar en ciertas partes, lo cual se muestra en la figura 13.

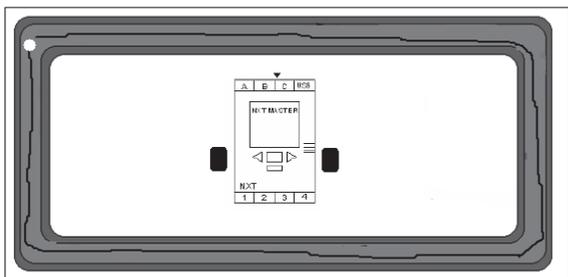


Figura 12. Trayectoria que realiza el dispositivo maestro.
Fuente: Elaboracion propia.

Se obtuvo que la distancia mínima a la cual el esclavo detecta esta señal es de 6cm. Para esta prueba se obtuvo un 75% de efectividad en el recorrido de la pista como se observa en la Tabla 2.

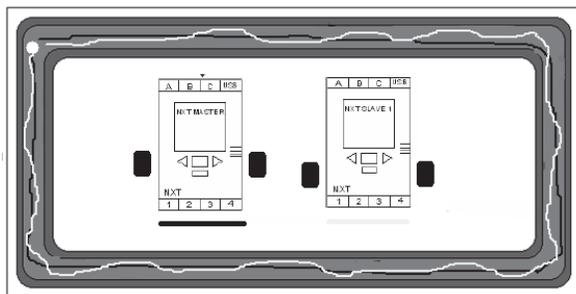


Figura 13. Trayectoria que realiza el dispositivo maestro con el primer esclavo.
Fuente: Elaboracion propia.

Tabla 2. Giro con el dispositivo maestro y el primer esclavo.

Prueba	Recorrido Completo	Tipo de falla
Giro 1	SI	Ninguna
Giro 2	SI	Ninguna
Giro 3	SI	Ninguna
Giro 4	NO	El esclavo se desorienta
Giro 5	SI	Ninguna
Giro 6	SI	Ninguna
Giro 7	NO	Las plataformas chocan
Giro 8	SI	Ninguna

Fuente: Elaboracion propia.

Giro completo con dos esclavos: El recorrido con la totalidad de las plataformas se desarrolla de manera controlada en algunos puntos del óvalo ya que el error presente en la segunda plataforma se refleja en la tercera, haciendo que en ocasiones el sistema no funcione correctamente. Se realizaron 10 giros en los cuales en 4 de ellos se presentaron errores en las plataformas, mientras que los demás fueron realizados adecuadamente con lo cual se obtuvo un rendimiento del 60% en el recorrido (Tabla 3).

Tabla 3. Giros realizados por las tres plataformas móviles.

Prueba	Recorrido Completo	Tiempo de recorrido	Tipo de falla
Giro 1	SI	1,48 minutos	Ninguna
Giro 2	NO	1,49 minutos	El segundo esclavo se desorienta y se sale de la pista
Giro 3	SI	1,54 minutos	Ninguna
Giro 4	NO	1,49 minutos	Los esclavos se chocan
Giro 5	SI	1,50 minutos	Ninguna
Giro 6	SI	1,46 minutos	Ninguna
Giro 7	NO	1,57 minutos	La ultima plataforma hace giros y pierde la formación
Giro 8	SI	1,53 minutos	Ninguna
Giro 9	SI	1,55 minutos	Ninguna
Giro 10	NO	1,49 minutos	El segundo esclavo se desorienta y se sale de la pista

Fuente: Elaboracion propia.

Tras realizar estas pruebas se hace evidente que el segundo esclavo presenta más errores que el primero, ya que sigue la señal infrarroja proveniente pero no imita la ruta que tiene el maestro desde el principio, pues es más irregular y poco continua haciendo evidente la acumulación de errores en las plataformas móviles. Esto se evidencia en la figura 14.

Giro con curva interna: En este recorrido, de las pruebas que se hicieron en ocasiones, se presento poca descoordinación entre las plataformas de tipo esclavo ya que el recorrido es más corto y las curvas son menos pronunciadas. Por su parte, el dispositivo maestro realizo el recorrido sin ninguna dificultad. Fue más fácil reconocer el camino trazado.

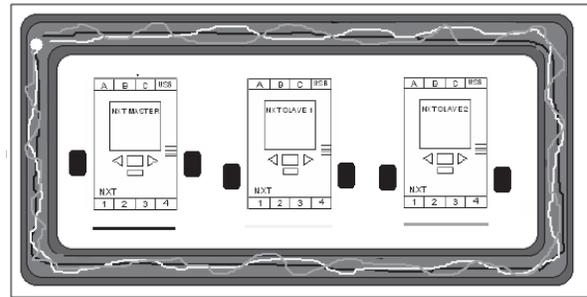


Figura 14. Trayectoria que realizan las tres plataformas móviles.

Fuente: Elaboracion propia.

Detección de obstáculos: Para el primer dispositivo se probaron distintos obstáculos. La altura mínima a la cual el sensor de la primera plataforma detecta dicha barrera y detiene su marcha es de 1,7cm. En cuanto a la distancia de activación del sensor de manera horizontal fue de 15cm. Esta distancia es la misma para las otras dos plataformas. Se puso una pieza rectangular en la parte trasera del maestro y del primer esclavo para que el sensor de ultrasonido, respectivamente, lo detectara mas facil, y así mejorara la lectura del sensor, sobre todo en el momento de tomar una curva.

5. CONCLUSIONES

La cooperación del sistema implementado se evidencia al momento de que el convoy se desplaza, ya que las plataformas esclavo actúan con base a los movimientos y ordenes que son generadas desde el dispositivo principal, lo cual hace de este un sistema centralizado, en cierta medida, pues los robots esclavos no son totalmente dependientes del maestro.

Las plataformas recorren el camino asignado gracias al uso de sensores y actuadores presentes en cada una de ellas y que les permiten tomar mediciones del escenario trazado para así ejecutar una acción y alertar ante algún obstáculo.

Un aspecto muy importante cuando se habla de sistemas de robótica cooperativa es el de la comu-

nicación pues hace que las plataformas interactúen entre sí y trabajen como un equipo. La comunicación implementada en este proyecto se basó en la transmisión de señales de tipo infrarrojo que permitió a los robots cumplir con los requerimientos de trabajo en equipo y cooperación.

Se presentaron algunas dificultades al recorrer el escenario por parte de los robots cuando se utilizaron velocidades altas, lo cual generó desorientación y fallas al momento de establecer la comunicación, haciendo que las plataformas se salieran de la pista o colisionaran entre ellas.

Para que existiera una cooperación, los robots se programaron de tal forma para que cada uno de

ellos pudiera realizar una actividad complementaria y secuencial. Además se ejerció un control centralizado y se estableció un tipo de comunicación entre los dispositivos para determinar las variables que determinarían el progreso de cada robot.

Se escogió el kit Lego Mindstorms NXT 2.0 como la base de las construcciones mecánicas, ya que es fácil realizar prácticamente cualquier mecanismo o estructura mecánica, así como se disminuye el tiempo de desarrollo y ensamble de los mismos. Aunque LEGO tenga una connotación de juguete, se destaca su importancia en el desarrollo de robots móviles como herramientas para la investigación en diferentes áreas de la robótica.

REFERENCIAS

- [1]. The Robotics Institute. Current Projects. Fecha de consulta: 24 de Marzo de 2011. Disponible en http://www.ri.cmu.edu/research_project_view.html?menu_id=261
- [2]. Sartre, the SARTRE Project. Fecha de consulta: 18 de Marzo de 2012. Disponible en <http://www.sartre-project.eu/en/Sidor/default.aspx>
- [3]. Lego, Mindstorms NXT. Fecha de consulta: 23 de Marzo de 2012. Disponible en <http://mindstorms.lego.com/en-us/history/default.aspx>
- [4]. Hitechnic, Hitechnic Products, Fecha de consulta: 28 de Abril de 2012. Disponible en <http://www.hitechnic.com/products>
- [5]. A. Oller, J De la Rosa, B Innocenti. "Uso de parámetros dinámicos para mejorar la cooperación entre robots móviles. Aplicación en un convoy de dos robots". *Seminario Anual de Automática, Electrónica industrial e Instrumentación. (SAAEI '99)* pp. 311-314. Madrid, España. Julio de 1999.
- [6]. Y Cao, A. Fukunaga, A Kahng. "Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions". *Autonomous Robots*. pp. 1-23. California. 1997
- [7]. G Dudek, M Jenkin, E. Milios, D. Wilkes. "Experiments in Sensing and Communication for Robot Convoy Navigation". *Proceedings IEEE/RSJ International conference of Intelligent Robots and systems (IROS)*, pp 268-273, Pittsburgh PA, 1995.
- [8]. M. Gásperi. *Labview For Lego Mindstorms NXT*. 1ra. Edición, California. Editorial NTS. 2008
- [9]. B. Bagnall. *CORE LEGO MINDSTORMS Programming*. 1ra Edición, New Jersey, Editorial Prentice Hall. 2002