

DEVELOPMENT A ROBOTIC PLATFORM FOR EDUCATIONAL USE

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA ORIENTADA A LA EDUCACIÓN

Recibido: 25 de marzo 2013- aceptado: 19 de junio 2013

Carlos Romero.¹
Universidad Simón Bolívar.

John Nieto.²
Universidad Simón Bolívar.

Fernando Méndez.³
Universidad Simón Bolívar.

Carlos Ochoa.⁴
Universidad Simón Bolívar.

Keywords:

Education, Mobile Platform, Robotic, Motion Control

Abstract

This paper presents the design and implementation of an autonomous mobile platform for the research of intelligent algorithms, focused on training in computer science through robotics. The prototype was made on an acrylic structure supported with an omnidirectional wheel and two wheels coupled to the corresponding DC motors provided with reduction box, each with speed sensors to allow motion control system. As a central unit was configured and programmed the Arduino Leonardo card, which interconnects the motion system, sensors obstacle detection and an array of sensors that make up the line follower module. All these components are distributed in the structure such that allow interoperability of these and coordinate their functions.

Palabras clave:

Educación, Plataforma móvil, Movimiento

Resumen

Este artículo presenta el diseño e implementación de una plataforma móvil autónoma para la investigación de algoritmos inteligentes, enfocada a la formación en ciencias de la computación a través de la robótica. El prototipo se elaboró sobre una estructura en acrílico soportada con una rueda omnidireccional y dos ruedas acopladas a sus correspondientes motores de DC dotados de caja de reducción, cada una con sensores de velocidad para permitir el control de movimiento del sistema. Como unidad central se configuró y programó la tarjeta Arduino Leonardo, la cual interconecta el sistema de movimiento, los sensores de detección de obstáculos y un arreglo de sensores que constituyen el módulo seguidor de línea. Todos estos componentes se encuentran repartidos en la estructura de tal forma que permiten la interoperabilidad de los mismos y la coordinación de sus funciones.

1. Estudiante. Universidad Simón Bolívar. Barranquilla, Colombia. Email: cromero@unisimonbolivar.edu.co

2. Estudiante. Universidad Simón Bolívar. Barranquilla, Colombia. Email: jnieto@unisimonbolivar.edu.co

3. Profesor de tiempo completo. Universidad Simón Bolívar. Barranquilla, Colombia. Email: fmendez1@unisimonbolivar.edu.co

4. Profesor de tiempo completo. Universidad Simón Bolívar. Barranquilla, Colombia. Email: cochoa1@unisimonbolivar.edu.co

*Este artículo es el resultado del proyecto: Diseño e implementación de una Plataforma Robótica con fines educativos

I. INTRODUCCION

La incorporación de contextos y herramientas de diseño propios de la robótica tales como dispositivos mecánicos, eléctricos y electrónicos controlados por programas, y su interacción con las ciencias de la computación permiten crear un ambiente de gran motivación en el ingeniero en formación. Esta integración de elementos pertenecientes a múltiples disciplinas brinda un escenario adecuado para el aprendizaje de un conjunto importante de temas tales como programación, redes, procesamiento de imágenes, telemetría e inteligencia artificial [13]. Durante las últimas décadas tanto las industrias como la academia han desarrollado un cierto número de kits para la construcción de robots con el fin de estimular el aprendizaje de conceptos y métodos relativos a áreas como las matemáticas, física, informática y mecánica [1]. Productos como LEGO Dacta, LEGO CyberMaster se encuentran en el mercado y se usan con frecuencia en universidades e instituciones educativas. Estas herramientas constituyen un insumo esencial para el planteamiento de que el centro de todo aprendizaje está en el proceso activo de quien aprende, ampliando su conocimiento a través de la manipulación y construcción de objetos, tal y como lo indica Piaget [2]. Adicionalmente este tipo de actividades permite a los estudiantes a asimilar conceptos que de otro modo serían abstractos y confusos.

Este artículo muestra el desarrollo paso a paso de la implementación de una plataforma robótica describiendo cada aspecto relevante de su desarrollo. La plataforma cuenta con dispositivos electrónicos y electromecánicos de bajo costo controlados por un conjunto de algoritmos que permiten obtener las señales de los sensores e implementar las acciones de control sobre los motores. Esto posibilita que el sistema quede abierto a la programación de nuevas rutinas basadas en técnicas de control moderno o de inteligencia artificial aplicadas a problemas típicos de la robótica móvil tales como: la evasión de obstáculos, los seguidores de línea, y la navegación, entre otros. De esta forma se logra desarrollar un sistema escalable e interactivo que funcione como herramienta de entrenamiento real para algoritmos inteligentes.

II. METODOLOGIA

La metodología empleada para el desarrollo de la plataforma es una metodología por fases tomando el modelo de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, en su publicación "Diseño y desarrollo de productos", en

donde se contemplan 6 fases de desarrollo. Comenzando por la primera fase correspondiente a la planeación, la fase dos donde se desarrolla el concepto, la fase tres donde se hace el diseño a nivel sistema, por tratarse de un proyecto donde hay presencia de electrónica esta fase se adapta bien debido a la importancia de integrar las diferentes etapas de diseño, ensamble y prueba de cada componente tanto electrónico, mecánico o de computación. La fase de detalle es todo lo relacionado con la distribución correcta de cada uno de los componentes mecánicos y electrónicos. La correcta nivelación de la base principal, la distancia entre las ruedas y la correcta ubicación de cada uno de los sensores.

Debido al propio desarrollo del proyecto se hicieron pruebas durante la implementación de cada etapa elaborada para poder verificar el cumplimiento de los diseños previos, adicionalmente se realizó una sintonización previa al ensamblaje de todos los componentes, esto facilitó considerablemente la integración, ya que los resultados obtenidos en cada ejecución evitaron cuellos de botella al final de la implementación. Por último está la fase de implementación y puesta en marcha en el cual se prueba la plataforma y se analizan los resultados obtenidos.

I. Fase de planeación

El diseño de la plataforma se realizó en base a una revisión del estado del arte e investigaciones previas en diferentes áreas de la robótica educativa, donde se recopiló parte de la información para la planeación y desarrollo del concepto de la plataforma robótica.

Las especificaciones técnicas y de operación que se proyectaron para el mismo y elementos claves como los motores, las ruedas, los componentes electrónicos a utilizar definen el macro diseño de la misma y los requerimientos adicionales a tener en cuenta.

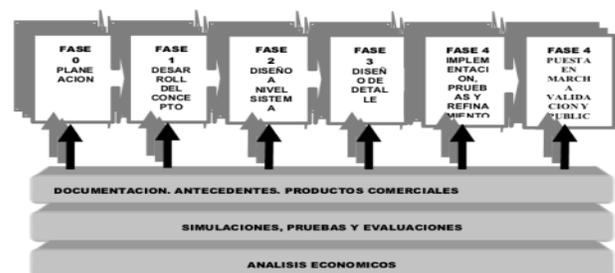


Figura 1. Metodología implementada

II. Sistema de Componentes

Tomando como base las investigaciones previas se escogió diseñar la plataforma usando una configuración inicial basada en tracción diferencial debido a que es una de las más eficientes a la hora del costo, tiempo de desarrollo y complejidad, ya que basta con un par de actuadores acoplados a las ruedas para lograr todo el movimiento, esto trabajando en conjunto con una rueda omnidireccional permite tener estabilidad bajo una superficie plana, un mecanismo ideal para plataformas educativas [4]. En la siguiente imagen observamos la plataforma, donde se evidencia el diseño basado en tracción diferencial.



Figura 2. Configuración básica de la plataforma

Cada motor con capacidad de 6kg x centímetro cuadrado esta acoplado a una rueda de 50mm de diámetro hecha en material de Tivar (Polietileno de ultra alto peso molecular) conectados a un disco elaborado en acero con 60 ranuras, las cuales sirven de ventana de pulsos para los encoders tipo barrera. La fijación del disco a la rueda se realizó acoplándolo a una segunda rueda esto hace que quede el disco en el centro. Como se muestra en la figura 3.

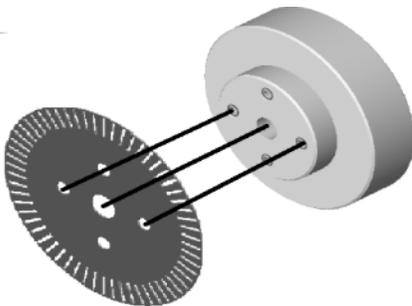


Figura 3. Ensamble de la rueda al disco

La configuración descrita anteriormente de la rueda y el disco se garantiza la protección contra golpes ya que

este elemento debe tener una mínima excentricidad posible para garantizar la estabilidad de los pulsos del encoder enviados a la tarjeta Arduino. La unión de cada par de llantas se realizó mediante 4 tornillos cabeza allen en acero inoxidable de 3mm de rosca x 50mm de longitud.

Las ruedas son el elemento encargado de proporcionar la movilidad a una plataforma, se clasifican en tres tipos, las de rueda fija en las cuales el desplazamiento de la plataforma va en dirección de la rueda. Las de orientación centrada en donde la dirección depende de la orientación de la rueda [5]. Por último las de rueda seca en donde la dirección depende de las velocidades de las ruedas, es decir si se tiene una plataforma de dos ruedas con dos motores independientes a diferentes velocidades obtenemos una dirección en x-y para el desplazamiento como resultado de la mencionada diferencia, esta última configuración es la utilizada en la plataforma, En la figura 4 podemos apreciar el diseño utilizado.

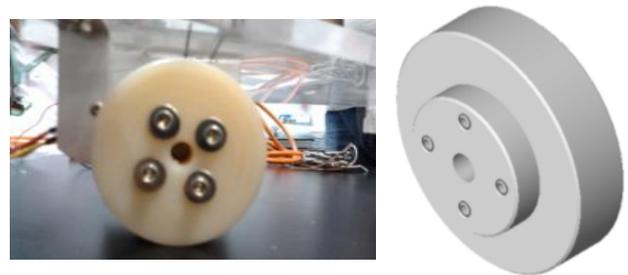


Figura 4. Modelo de las ruedas

Característica de las ruedas.

- Material: Tivar.
- Bajo coeficiente de fricción.
- Diámetro 50.8 mm.

Para el montaje de las ruedas en la plataforma se usó una base de aluminio resistente pero ligero para evitar el sobrepeso en la plataforma, en la figura 5 se observa el montaje final del par de ruedas a la plataforma.

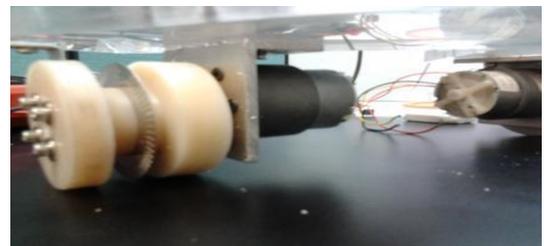


Figura 5. Montaje final de la rueda

Los motores por su parte constituyen el elemento de control principal, están encargados de producir el movimiento de la plataforma y son capaces de cambiar su velocidad y sentido de giro para producir las trayectorias y movimientos deseados por el usuario. Se usaron dos motores de corriente continua (DC) equipados con cajas de reducción, cada uno de ellos cuenta con las siguientes características:

- Torque: 6kg x cm.
- Voltaje 12V DC.
- Rango Corriente 200 - 600mA.
- Velocidad: 60RPM.
- Diámetro: 37mm.
- Peso: 144g.

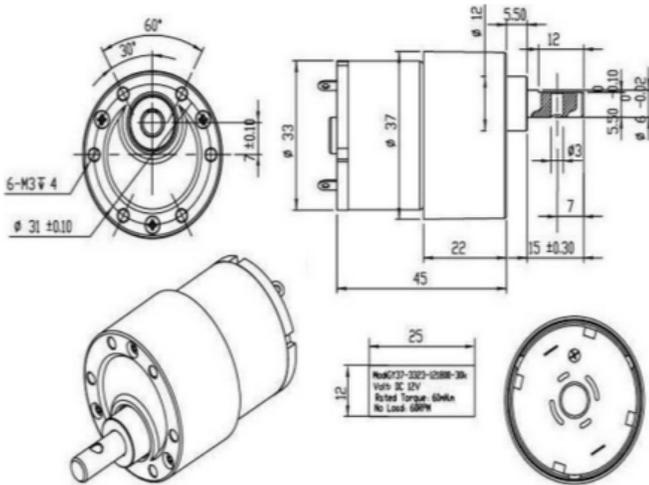


Figura 6. Vista del motor tomada de la pagina del



Figura 7. Motor usado para la plataforma

Calculo del desplazamiento:
 $60 \text{ RMP} \times 2\pi \times (1\text{min}/60\text{seg}) = 3,14 \text{ rad/seg.}$

Desplazamiento rueda = velocidad motor x radio rueda.
 Desplazamiento rueda = $3,14 \times 25\text{mm} = 157\text{mm}$ en 1 segundo.

Característica de la rueda.

Para el desplazamiento del robot, se tuvo en cuenta la maniobrabilidad, la eficiencia, la posibilidad del mantenimiento y prueba de cada uno de los componentes. En el Sistema de tracción, uno de los componentes que le brinda estabilidad es su rueda omnidireccional la cual garantiza que no haya bloqueo de movimiento para cualquier dirección de desplazamiento colaborando como apoyo [11] [12].

La rueda omnidireccional es una rueda de bajo coste la cual consta de una rodaja esférica con un Diámetro de 1 1/4" y una capacidad de Carga de 15 a 30kg, la forma de la rueda es la mostrada en la siguiente figura.



Figura 8. Rueda esférica, tomada pagina del fabricante

Sistema de control y procesamiento de la información

Para el sistema de control se uso una tarjeta ARDUINO LEONARDO.



Figura 9. Tarjeta Arduino de Leonardo

El Arduino Leonardo es una placa electrónica basada en el ATMEGA32U4. Dispone de 20 pines de entrada salida digital (de los cuales 7 se puede utilizar como salidas PWM y 12 como entradas analógicas), un oscilador de 16 MHz, una conexión micro USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para el funcionamiento de la plataforma. A continuación se muestra una tabla con sus características principales.

Microcontroladores	ATMEGA32U4
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Pines E / S digitales	20
PWM Channels	7
Canales de entrada analógicos	12
DC Corriente por I / O Pin	40 mA
Corriente CC para Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATMEGA32U4) de los cuales 4 KB utilizado por gestor de arranque
SRAM	2,5 KB (ATMEGA32U4)
EEPROM	1 KB (ATMEGA32U4)
Velocidad del reloj	16 MHz

TABLA 1. Características Principales Arduino Leonardo, construida en base a información del fabricante

Sistema Sensórico

Sensores infrarrojos Tienen similitud a los ultrasónicos y están compuestos por un LED de luz infrarroja como emisor y un Fototransistor o transistor sin base como receptor [3]. El cual es llevado a saturación por medio de luz en su base, esto los hace útil en la robótica móvil a la hora de trabajar con obstáculos ya son muy precisos debido a la alta direccionabilidad de luz reflejada en el receptor. Los hay para muchas aplicaciones, como son para medir distancias, paso de objetos en bandas

industriales y detención de proximidad de objetos y o personas, sensores como el QRD1114 [10] o el CNY70 son ideales para montaje en plataformas robóticas móviles para evasión de obstáculos y seguimiento de trayectoria. Para el sistema desarrollado es posible combinar la tecnología infrarroja usada en los sensores de impacta con ultrasonido de forma complementaria con la finalidad de construir un mapeo o representación más exacta de un área de navegación de un plataforma robótica móvil [7] [8] [9] [10].

Los sensores utilizados en la plataforma son del tipo descrito. Son comerciales, su costo es bajo y de fácil adaptación, consta también de dos sensores de barrera para la codificación de velocidad que son los encargados de enviar las señales en cuadratura para el procesamiento de la velocidad de cada motor.

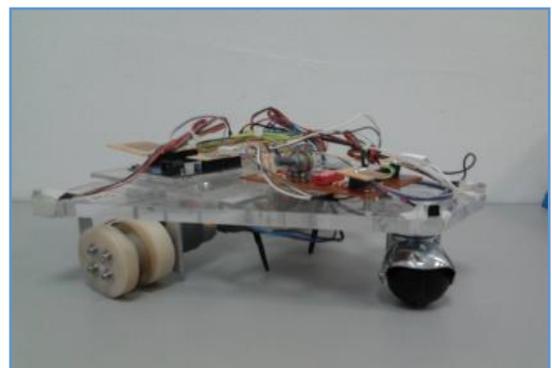


Figura 10. Plataforma robótica Vista Lateral Izquierda.

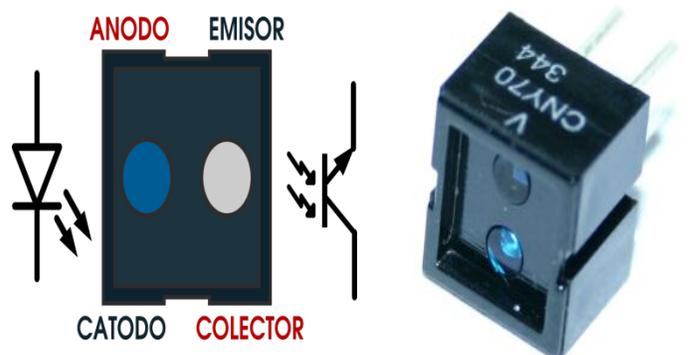


Figura 11. Sensor CNY 70 infrarrojo para detección de obstáculos.

Características Físicas	
Altura	7 cm
Largo	24.5 cm
Ancho	28.5
Alimentación	
control	5 Vdc
potencia	12 Vdc
Movilidad	
Motores	Con reducción, 60 RPM 12 Vdc
Diámetro Ruedas	50.8 mm
Encoder Diámetro	49.974mm
Encoder # Ranuras	60
Rueda Esférica	Omnidireccional
Unidad Arduino	
Memoria	32 KB
Procesador	ATMEGA32U4
Entradas análogas	12
I/O digitales	20, 7 canales PWM, 12 canales analógicos
Sensores	
Infrarrojos	4, detectores de proximidad rango de 1mm a 10mm aprox
Encoders	2
Comunicación	
USB	

TABLA 2. Características principales de la plataforma

Sistema De Comunicación

La tarjeta posee un número de puertos para la comunicación con un ordenador, otro Arduino y otros dispositivos que manejen un medio de comunicación. Ofrece una transmisión serial que está disponible en los pines digitales (RX) y (TX), adicionalmente permite transmisión serial (CDC) de comunicación a través de USB y aparece como un puerto COM virtual con el software del ordenador. El software de Arduino incluye

un monitor de puerto serie que permite a los datos de texto simples para ser enviados hacia y desde la placa Arduino.

Sistema De Actuadores

El sistema motriz de la plataforma es manejada por dos motores DC acoplados cada uno a tren de engranajes lo que permite bajar la velocidad y aumentar el torque, cada motor es alimentado con una técnica de modulación por ancho de pulso (pwm) que permite un control dinámico sobre la velocidad del motor[6].

Sistema de Alimentación

El sistema de alimentación está compuesto por un pack de baterías recargables con el cual se han hecho las pruebas necesarias para cumplir los objetivos planteado. Diagrama general de los componentes del sistema.

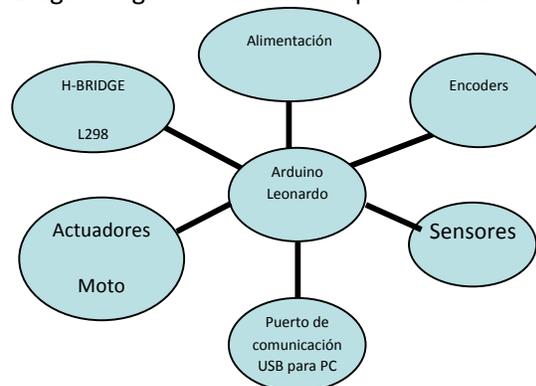


Figura 12. Diagrama general de la plataforma

III. Implementación y ajustes

Se ha desarrollado un sistema versátil y de fácil programación para la realización de pruebas de evasión de obstáculos, pruebas de giro y de programación de algoritmos inteligentes. Cada parte del sistema se interconecta con la unidad principal de control de forma rápida por medio de conectores. El cableado de los sensores y motores se diseño en base a un estándar de colores lo que permite la fácil detección de errores y pruebas en el hardware, el sistema mecánico se ensambla de tal manera que cualquier sección pudiera ser desmontada con facilidad, las ruedas mantienen una excentricidad permisible lo que hace que no se aumente el error en los medios de la captación de la velocidad de las ruedas por parte de los encoders, el peso de la plataforma se diseño acorde a la capacidad de los motores utilizando un 50% de la potencia máxima, dejando la plataforma abierta a mejoras y nuevas implementaciones cumpliendo con uno de los principales objetivos propuestos.

Implementación del software

El programa básico implementado para cada uno de los movimientos de la plataforma fue programado en el software del fabricante de la marca de la unidad de control Arduino, usando software libre, bajo el lenguaje de programación processing, el cual es fácil de entender, programar y desarrollar aplicaciones de tipo embebido. El software se desarrollo de modo que sea portable, se crearon subrutinas para acciones de control de movimiento.

Las librerías de bajo nivel son aquellas que se crearon al inicio del programa las cuales dependen del hardware por defecto y el software Arduino utiliza las librerías necesarias para que el código fuente compile normalmente haciendo que el desarrollo sea más fácil y versátil en comparación a otras unidades de control basadas en Microcontroladores. Las librerías de alto nivel empleadas fueron las de los temporizadores internos, se utilizo una librería adicional llamada TimerONE para el manejo de las interrupciones internas manejando un tiempo determinado entre interrupciones ayudando al hardware para que se ocupara de otras funciones del software. En el siguiente diagrama se muestra las actividades realizadas por la primera subrutina de navegación.

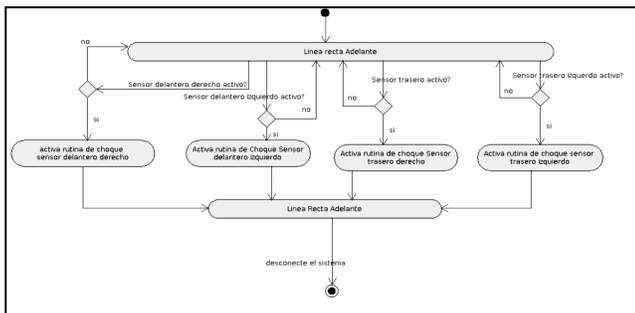


Diagrama 1. Diagrama de actividades Subrutina básica de navegación.

Configuración global del sistema en el software

```
#include<TimerOne.h>Int enc1=3; //pin3 conectado a la salida del encoder No 1 trabajando con la interrupción No0Intvel=0;

Int enc2=2; //pin2 conectado a la salida del encoder No 2 trabajando con la interrupción N01

//motor 1

Int M1Adelante=0;
Int M1Atras=1;
Int Motor1=5; //Salida PWM para el motor No 1 pin No
```

Figura 13. Configuración de variables, entradas y salidas

Implementación de subrutinas

Se desarrollaron las siguientes subrutinas para las funciones de movimiento y evasión de obstáculos. Giro 360° en ambos sentidos, giro 180° en ambos sentidos, giro 90° en ambos sentidos, y de navegación comprobando la respuesta optima de la plataforma en función de los sensores de choque. En la siguiente figura se presenta una porción de código de una de las subrutinas.

```
voidloop(){
  subbasicanavegacion();
  //Llama la subrutina
}
voidsubbasicanavegacion(){
  if(digitalRead(chotrader)==LOW
  &&digitalRead(chotraizq)==LOW){
  reset();
  contgiroder=0;
  while(contgiroder<20){
  lineaAdelante();
  }Subrutina para choque, permite que la
  plataforma no choque con ningun obstáculo.
```

Figura 14. Subrutina de navegación

Puesta en marcha y validación

La puesta en marcha se realizó por etapas debido a que el desarrollo implicó trabajar con componentes electrónicos, se tuvo en cuenta las recomendaciones para el manejo de los mismos cada etapa construida se verificaba su correcto funcionamiento, alineación y ensamblaje en la estructura, las primeras pruebas se enfocaron en el control de velocidad de los motores, los cambios de giro y la respuesta a la acción de control Proporcional.

Probaron los 4 sensores y su configuración electrónica para dar un alcance de aprox 1 cm de distancia de detención lo suficiente para las pruebas. Teniendo los actuadores y los sensores en correcto funcionamiento se probaron cada una de las rutinas establecidas en el software, donde la plataforma respondió satisfactoriamente cumpliendo las expectativas de funcionamiento.

Validación de rutinas

A continuación se muestra una tabla con cada una de las subrutinas:

Subrutina	Característica	Validación
Método Reset	motores apagados navegación, la hace cada que termina una subrutina	OK
Rutina de Línea Recta Adelante Sin PID	motores hacia adelante	OK
Rutina de Línea Recta Atrás Sin PID	motores hacia atrás	OK
SUBRUTINAS DE CHOQUE(Navegación)		
Choque Delantero Izquierdo	Evade obstáculo	OK
Choque Delantero Derecho	Evade obstáculo	OK
Choque Trasero izquierdo	Evade obstáculo	OK
Choque Trasero Derecho	Evade obstáculo	OK
SUBRUTINAS DE GIRO		
Sub-Rutina de Giro 360° Derecha	Giro 360 Grados	OK
Sub-Rutina de Giro 180° Derecha	Giro 180 Grados	OK
Sub-Rutina de Giro 90° Derecha	Giro 90 Grados	OK
Sub-Rutina de Giro 90° Izquierda	Giro 90 Grados	OK
Sub-Rutina de Giro 180° Izquierda	Giro 180 Grados	OK
Sub-Rutina de Giro 360° Izquierda	Giro 360 Grados	OK
Control P(proporcional)	Mantiene la velocidad deseada	OK

Tabla 3. **Tabla de resultados obtenidos.**

III. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema capaz de detectar obstáculos y evadirlos, versátil y sencillo de fácil programación para la realización de pruebas de evasión de obstáculos, pruebas de giro y de programación de algoritmos inteligentes.

Se probaron los 4 sensores de choque y su configuración electrónica para dar un alcance de aprox 1 cm de distancia de detención lo suficiente para las pruebas. Teniendo los actuadores y los sensores en correcto funcionamiento se probaron cada una de las rutinas establecidas en el software, donde la plataforma respondió satisfactoriamente cumpliendo con las expectativas de funcionamiento.

La plataforma se evaluó con 12 subrutinas de movimiento y navegación obteniendo los resultados esperados para cada prueba.

Desde el punto de vista económico la plataforma es de bajo coste. Se puede reducir su costo y tiempo de construcción si se adquieren módulos ya ensamblados, como los son el modulo de potencia (H-BRIDGE) con el hardware listo para conectar a cualquier unidad de contra, igual que el sistema de movimiento motor, reducción, ruedas y encoder.

Referencias

Periodicals (Artículos de revista):

[1] G. F. Martin, "Circuits to Control: Learning Engineering By Designing LEGO Robots". Ph. D Thesis. 2000. MIT, Boston.

[2] J. Piaget, B. Inhelder, "La psychologie de L enfant".1966. Paris. P.U.F.

[3] N. D. Hurtado, L. C. García and A. E. Jiménez, "EducationalRoboticsPlatform ROBI", Revista Colombiana de tecnologías de avanzada, vol. 1, no.19, ISSN: 1692-7257, mar. 2010.

[4] N. C. Calle, G. S. Quinde, and E. C. Ortiz, "Diseño y construcción de un robot móvil didáctico para estudios experimentales de robótica cooperativa", Repositorio Digital UPS, Ago. 2007. Disponible: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/175> Acceso Sep 2012 Fast Mobile Robots", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics 19(5), 1179-1187 (1989).

[5] S. R. Ortigoza, J. G. Sanchez, V. B. Sotelo, and M. M. Vilchis "state of the art of the movable wheels robots", Revista Electrónica De Estudios Técnicos, TELEMATIQUE, vol. 6, n.º 3, ISSN 1856-4194. 2004.

[6] N. D. Muñoz. C. A. Andrade and N. L. Ospina. "Diseño y construcción de un robot móvil orientado a la enseñanza e investigación" red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal REDALYC, 2006, No.19, pp. 114-127. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/CTMU01375a.pdf>

[7] J. Borenstein, J. Koren, "Real-Time Obstacle Avoidance for directivity ultrasonic sensor ring", 6th international conference on Intelligent computing Conf, P. 426-433, 2010.

[8] K. Sungbok, H. B. Kim, "High resolution mobile robot obstacle detection using low directivity ultrasonic sensor ring", 6th international conference on Intelligent computing Conf, P. 426-433, 2010.

[9] A. Carullo, M. Parvis. Senior Member IEEE, "An Ultrasonic Sensor for Distance Measurement in Automotive Applications", IEEE Sensor Journal, Vol. 1, No. 2, August 2001.

[10] A. M. Flynn, "Combining Sonar and Infrared Sensor for Mobile Robot Navigation", the international Journal of Robotics Research ACM, Vol. 7, Dec 1988.

[11] KORNYLAK, "Transwheel is a Multidirectional Wheel for Conveyors and Robots" Disponible: <http://www.kornylak.com/wheels/transwheel.html>

[12] T. Soule, R. B. Heckendorn , "COTSBots: COMPUTATIONALLY POWERFUL, LOW-COST ROBOTS FOR COMPUTER SCIENCE CURRICULUMS", Journal of Computing Sciences in Collages ACM , Vol. 27, No 1, P. 180-187, Oct. 2011

[13] Analog Devices, "Low-Cost, Low-Power, complete dual Axis Mems Accelerometer, Disponible:<http://www.analog.com/en/mems-sensors/mems-inertial-sensors/adxl202/products/product.html>