

Modelo Cinemático de un robot móvil implementado con LEGO NXT para un sistema de localización indoor diseñado en Labview

Kinematics model of a mobile robot implemented with LEGO NXT for an indoor localization system developed in Labview

GIOVANNI R. BERMÚDEZ BOHÓRQUEZ

Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia, Magíster en Ingeniería Electrónica y de Computadores, Universidad de los Andes. Profesor Asociado adscrito al proyecto curricular de Tecnología Electrónica de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Director del Grupo de Investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA). Bogotá, Colombia. Contacto: gbermudez@udistrital.edu.co

MIGUEL R. PÉREZ PEREIRA

Ingeniero en Control e Instrumentación Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Especialista en Pedagogía y Docencia Universitaria de la Universidad San Buenaventura. Profesor adscrito al proyecto curricular de Tecnología Electrónica de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Investigador del grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA). Bogotá, Colombia. Contacto: mrperezp@udistrital.edu.co

EDWIN A. BELTRÁN GONZÁLEZ

Tecnólogo en Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estudiante de Ingeniería en Control Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Auxiliar de investigación adscrito al grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA). Bogotá, Colombia. Contacto: eabeltrang@correo.udistrital.edu.co

LEIDY Y. LÓPEZ OSORIO

Tecnóloga en Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estudiante de Ingeniería en Control Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Auxiliar de investigación adscrita al grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA). Bogotá, Colombia. Contacto: lylopezo@correo.udistrital.edu.co

JONATHAN E. CRUZ ORTÍZ

Tecnólogo en Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estudiante de Ingeniería en Control Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Auxiliar de investigación adscrito al grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA). Bogotá, Colombia. Contacto: jecruzo@correo.udistrital.edu.co

Fecha de recepción: 5 de Julio de 2012

Clasificación del artículo: Investigación

Fecha de aceptación: 1 de Octubre de 2012

Grupo de Investigación: ROMA

Palabras Clave: Plataforma Diferencial, Cinemática, LabVIEW, LEGO NXT, Odometría, WMR.

Keywords: Differential Platform, Kinematics, LabVIEW, LEGO NXT, Odometer, WMR

RESUMEN

El estudio de la cinemática de una plataforma móvil establece el desarrollo de modelos matemáticos que permite conocer el comportamiento de las velocidades relacionadas con las características de los motores usados en el móvil. Por lo general, en la gran cantidad de artículos consultados, el proceso de validación de los modelos no son especificados ni detallados pero la importancia de su implementación permitiría conocer su comportamiento real y los errores sistemáticos que están presentes. Este trabajo presenta el proceso de validación del modelo cinemático y odométrico para una plataforma diferencial construida con LEGO NXT que permita la implementación de algoritmos de planificación de rutas y sistemas de navegación en zonas desconocidos dentro de un entorno cerrado, que son necesarios para el desarrollo de un sistema de localización para un sistema multirobot.

ABSTRACT

The study of the kinematics of a mobile platform provides the development of mathematical models that allow understand the behavior of the velocities related with the motor's features used in the mobile. Usually, in the many works consulted, the process of model's validation is not specified or detailed, but the importance of their implementation would allow knowing their real behavior and systematic errors that are present. This paper presents the validation process of kinematic and odometer model for a differential platform built with LEGO NXT that enables the implementation of algorithms for path planning and navigation systems in unknown zones within an enclosed, that are necessary for the development of a tracking system for multi-robot system.

* * *

1. INTRODUCCIÓN

Para el estudio del comportamiento físico de un robot móvil se hace necesario desarrollar modelos matemáticos que permitan determinar, inicialmente, el comportamiento teórico del móvil a partir de la relación de sus velocidades y posiciones que implemente algoritmos de posicionamiento en espacios 2D, planificación de rutas, planificación de tareas o simplemente desarrollar un sistema de localización que son necesarios para la implementación de un sistema robusto que cumpla con objetivos claramente definidos por los equipos de investigación.

En la actualidad se cuenta con desarrollo de modelos cinemáticos desarrollados para diferentes tipos de plataformas [1], [2], [3], [4], [5], [6] y en donde se presentan modelos teóricos que han sido simulados para comprobar su funcionamiento, pero que no ofrecen información de procesos de validación

mediante experimentación real que permitan la implementación de modelos odométricos para el estudio de los errores sistemáticos propios de la plataforma. En [2] y [4] se presentan evidencias experimentales de modelos matemáticos sobre comportamientos cinemáticos y dinámicos para robots móviles.

En este sentido, los avances que se presentan se encuentran relacionados con la implementación de un modelo cinemático y odométrico para la localización de la plataforma Tankbot (figura 1) que ha sido construida utilizando el kit LEGO MINDSTORMS NXT como parte del proyecto de investigación “*Diseño e implementación de agentes robots, actuando de manera cooperativa, en una zona colapsada simulada, como apoyo a organismos de búsqueda y rescate urbano*”, financiado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico – CIDC de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.



Figura 1.Plataforma móvil Tankbot.
Fuente: Elaboración propia

2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS.

La implementación de la cinemática de una plataforma móvil relaciona dos problemas fundamentales. El primero consiste en poder determinar expresiones matemáticas que permitan conocer la posición y orientación final del móvil a partir de los parámetros físicos de la plataforma. El segundo consiste en poder determinar expresiones matemáticas que permitan conocer el comportamiento físico del móvil a partir de la posición y orientación final [7]. Estos dos problemas son conocidos, dentro del estudio de la robótica como la cinemática directa y cinemática inversa.

El sistema objeto de estudio denominado Tankbot (ver figura 1) fue desarrollado basado en la configuración típica de una plataforma diferencial [6], [8] y [9], en donde el movimiento del móvil en un plano está dado por la ecuación (1). Este vector contiene los valores necesarios para definir la localización del móvil en un espacio de configuraciones 2D y que representan el par coordenado y el ángulo de orientación de la plataforma (figura 2)

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

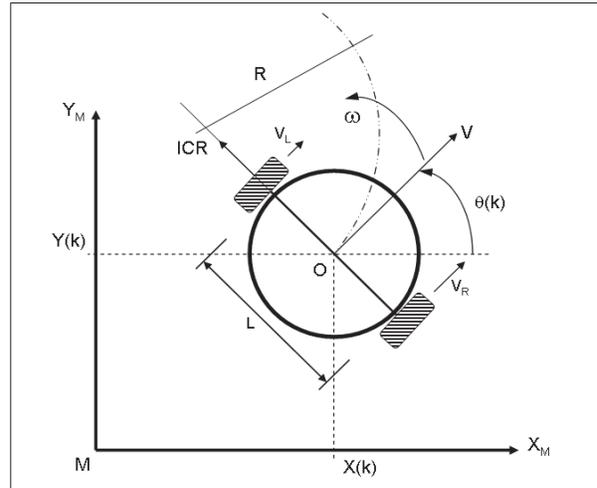


Figura 2.Esquema de una plataforma diferencial en el espacio [6].

Fuente: Elaboración propia

En [6] se desarrolló una primera aproximación a un modelo cinemático para una plataforma diferencial tomando como base estudios realizados por otros autores y de donde se toman la ecuación (2) y ecuación (3).

$$\omega(t) = \frac{(V_L(t) - V_R(t))}{b} \quad (2)$$

$$v(t) = \frac{(V_L(t) + V_R(t))}{2} \quad (3)$$

En donde V_L y V_R son las velocidades de cada una de las ruedas de la plataforma. Para el proceso de validación desarrollado fue necesario implementar los parámetros físicos de la plataforma tales como: eje de tracción (11.5cm), radio de ruedas (2.8cm). Asimismo, como variable medida se tuvo en cuenta los datos registrados por cada uno de los encoders con que cuentan los servomotores NXT.

Como resultado principal de la implementación de los modelos cinemáticos desarrollados, se obtuvo la distancia total recorrida por cada motor a partir de la ecuación (4) en donde se identifica la distancia lineal de cada motor dada por Xm_n y θ que es el ángulo dado por cada encoder. El desplazamiento total de la plataforma esta dada por la ecuación

(5) en donde se presenta la expresión general en forma simple o en forma vectorial aplicando todas las constantes correspondientes para la plataforma Tankbot.

$$Xm_n = 2\pi \cdot r \cdot \Theta \quad (4)$$

$$X = \frac{(Xm_L + Xm_R)}{2} = 0.0244 \cdot (\theta_L + \theta_R) = \Delta D = [0.0244 \quad 0.0244] \cdot \begin{bmatrix} \theta_L \\ \theta_R \end{bmatrix} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta el proceso de integración que tienen la plataforma LEGO Mindstorms y el software LabVIEW, se decidió realizar el proceso de validación mediante la implementación de todas las expresiones matemáticas del modelo sobre este software que permite la sincronización entre el PC y el ladrillo NXT mediante Bluetooth (figura 3). El tener la posibilidad de registrar la información de los procesos de experimentación realizados permitió obtener una serie de información que fue

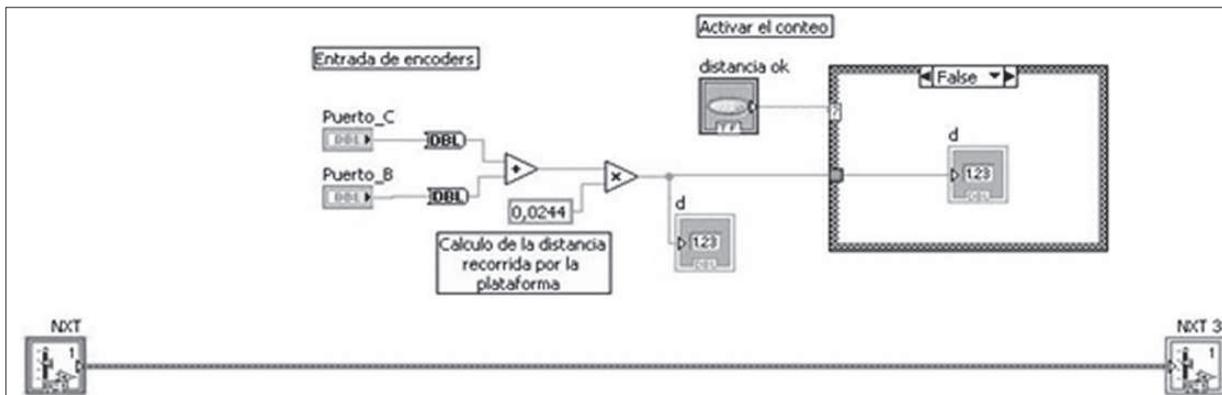


Figura 3. Determinación de la distancia lineal recorrida por Tankbot, implementado en LabVIEW.

Fuente: Elaboración propia

tabulada y usada para el desarrollo de un proceso de caracterización de los errores sistemáticos relacionados con la plataforma móvil mediante la utilización de modelos de aproximación cuadrática (figura 4).

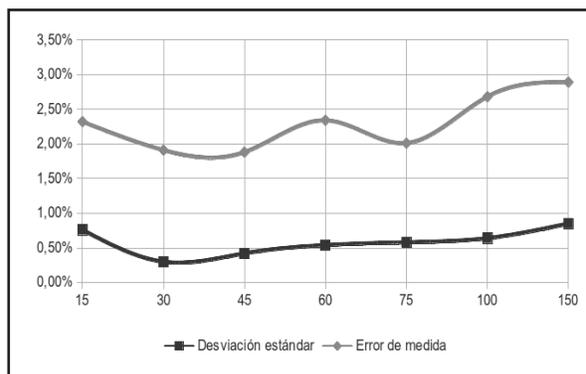


Figura 4. Resultados experimentales

Fuente: Elaboración propia.

Para un movimiento en línea recta se obtuvo que para desplazamiento de 15cm la desviación estándar fue de $\pm 0,76\%$ con un error de medida de $\pm 2,32\%$ y para desplazamiento de 45cm fue de $\pm 0,57\%$ con $\pm 1,88\%$. Para la distancia seleccionada se obtuvo una desviación estándar de $\pm 0,30\%$ y un error de medida de $\pm 1,91\%$.

Del proceso de experimentación, validación y caracterización de la plataforma realizado para un desplazamiento lineal, se pudo determinar que el menor error sistemático se presentó con un ciclo útil de PWM aplicado a los servomotores NXT igual a 30% para desplazamiento no superiores a 35 cm. Como conclusión de este primer proceso de validación para desplazamientos lineales se toman el ciclo útil para los servomotores del 30% y un

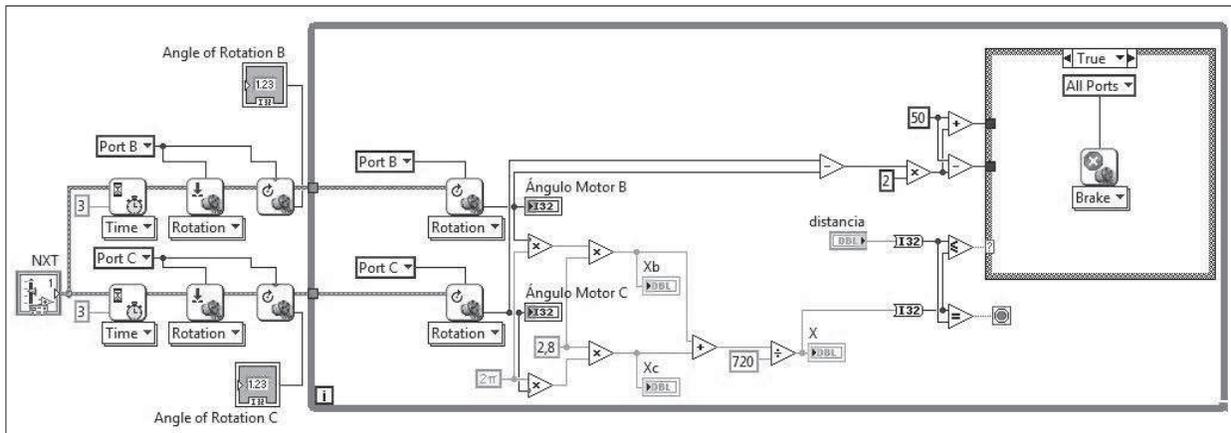


Figura 5. Ángulo de orientación tomado por la plataforma robótica, implementado en LabVIEW.

Fuente: Elaboración propia

desplazamiento igual a 30cm para evitar el aumento de los errores sistemáticos de la plataforma y la disminución de los errores acumulativos que se presentarán cuando sean acoplados movimientos más complejos.

A partir de la ecuación (2) se pueden modelar desplazamientos angulares de la plataforma que permitan determinar el ángulo de orientación final y el sentido de giro de la misma teniendo en cuenta un sistema de referencia asociado al centro de gravedad de la plataforma y que es presentado en la ecuación (6), en donde b es la distancia del eje de tracción de las ruedas.

$$\theta = \frac{(Xm_L - Xm_R)}{b} = k \cdot (\theta_L + \theta_R) \quad (6)$$

El proceso de validación para el desplazamiento angular de la plataforma implementado en LabVIEW se presenta en la figura 5. Al igual que para los desplazamiento lineales, se realizó un proceso de caracterización de la plataforma que permitió conocer los errores sistemáticos presentes con las condiciones de prueba y en donde se pudo determinar que el menor error se presenta con giros no superiores a 90° cuando el ciclo útil de PWM es del 30% (figura 6).

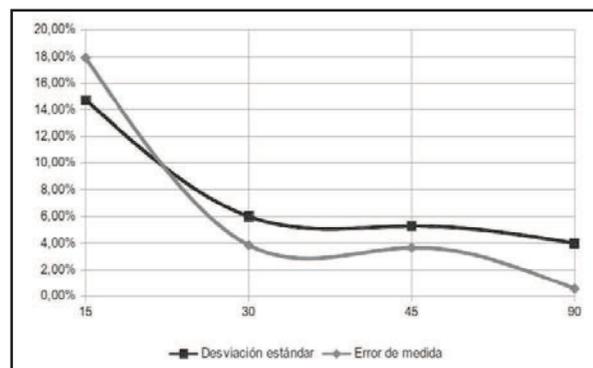


Figura 6. Resultados experimentales

Fuente: Elaboración propia.

Para un movimiento rotacional se obtuvo que para giros muy pequeños la desviación estándar fue de $\pm 14,72\%$ con un error de medida de $\pm 17,9\%$ y para giros de 90° fue de $\pm 3,99\%$ con $\pm 0,55\%$. Como conclusión de este proceso, los giros cortos se deben evitar y se deben realizar giros no superiores a 90°.

Con base en los procesos realizados para la validación de desplazamientos lineales y angulares, en la ecuación (7) se presenta el modelo cinemático en representación matricial para la plataforma Tankbot en donde el ángulo φ relaciona el ángulo de dicha plataforma teniendo en cuenta un sistema de referencia global.

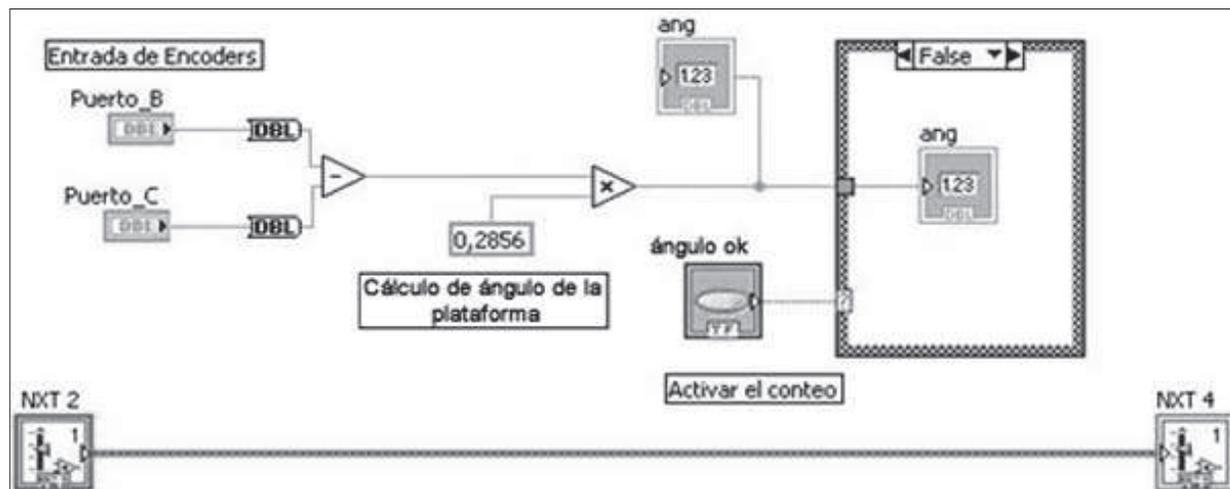


Figura 7. Modelo construido en LabVIEW para validar el desplazamiento de la plataforma.

Fuente: Elaboración propia.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0244 \cdot \sin \varphi & -0.0244 \cdot \sin \varphi \\ 0.0244 \cdot \cos \varphi & 0.0244 \cdot \cos \varphi \\ -0.2856 & 0.2856 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_L \\ \theta_L \end{bmatrix} \quad (7)$$

El ángulo φ es determinado a partir la lectura de un compás magnético (α) que es implementado en la plataforma y que permite conocer el ángulo de ésta con respecto al norte magnético de la tierra como se muestra en la ecuación (8) y en donde θ es el ángulo de la plataforma calculado a partir de la ecuación (8).

$$\varphi = \alpha - \theta \quad (8)$$

Con base en los modelos cinemáticos obtenidos se desarrollo la implementación final de cada uno de ellos (desplazamiento y rotación) en LabVIEW como son presentadas en las figuras 7 y 8. Con estos sistemas implementados se obtuvo una primera aproximación a un sistema de posicionamiento de la plataforma en el espacio de configuración 2D.

Con la fabricación de estos dos modelos cinemáticos básicos, se construyó uno odométrico general que permitió la integración con las rutas predeterminadas, que el robot fue desarrollando en su conjunto. Esto permite evaluar el modelo construido

y todo su comportamiento dentro de un contexto real. Para mejorar los modelos mostrados en las figuras 7 y 8, se implementaron controladores PID sobre los motores que permitieran mantener una velocidad constante que permitiera obtener un resultado favorable [10].

Dado que el sistema implementado en LabVIEW va aumentando su complejidad, se fueron construyendo subprogramas con niveles de jerarquía que ayudaran a mejorar la organización de todo lo desarrollado. Para nuestro caso, y a manera de ejemplo, la figura 9 muestra un subprograma que permite la incorporación de una ruta de prueba.

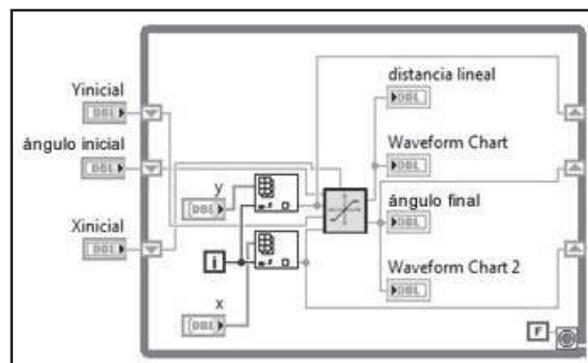


Figura 9. Modelo construido en LabVIEW para la incorporación de una ruta de prueba.

Fuente: Elaboración propia.

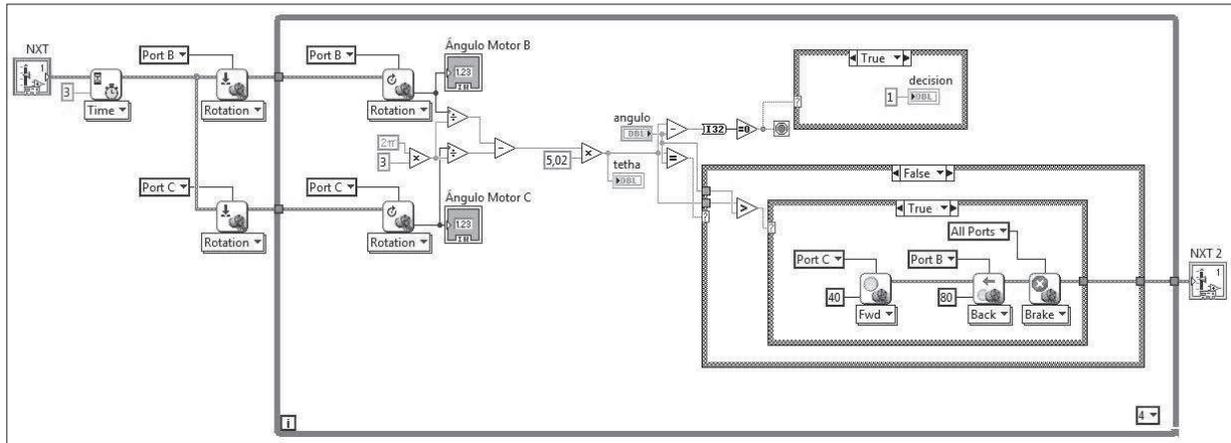


Figura 8. Modelo construido en LabVIEW para validar el ángulo de giro de la plataforma.
Fuente: Elaboración propia.

Para conocer la localización de la plataforma a través de la observación e integración consecutiva del movimiento de sus ruedas motoras en el espacio de configuración 2D, se requiere la integración de un modelo odométrico que es entendido como un sistema que está permanentemente registrando la distancia recorrida por el vehículo con la finalidad de describir la evolución temporal de la localización de una plataforma móvil como una función de sus propias variables [6]. El modelo general de un sistema odométrico está dado por la ecuación (9).

$$X(k+1) = f(X(k), U(k)) + v(k) \quad (9)$$

Donde $X(k+1)$ es la posición estimada, $X(k)$ es la posición actual, $U(k)$ es la entrada del sistema y $v(k)$ es el vector de errores sistemáticos y no sistemáticos que pueden ser asociados a la plataforma móvil. La entrada del sistema $U(k)$ se encuentra determinada por la ecuación (10), donde $\Delta D(k)$ es la distancia recorrida por la plataforma en un intervalo (t_k, t_{k+1}) y $\theta(k)$ la variación de la orientación en el mismo intervalo.

$$U(k) = [\Delta D(k) \ \Delta\theta(k)]^T \quad (10)$$

Para la caracterización del vector de errores de estado para una plataforma móvil, $v(k)$ es asumido como $v(k) \approx N(0, Q(k))$, donde $Q(k)$ es el error

característico de estado de la plataforma [11]. Este error se encuentra dado por la ecuación (11); de ella puede observarse que los errores no son colineales.

$$Q(k) = \begin{bmatrix} Q_1(k) & 0 & 0 \\ 0 & Q_2(k) & 0 \\ 0 & 0 & Q_3(k) \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} Q_{11}(k) &= K_D(\Delta D(k) \cdot \cos\theta(k)) \\ Q_{22}(k) &= K_D(\Delta D(k) \cdot \sin\theta(k)) \\ Q_{33}(k) &= K_{D\theta}(\Delta D(k)) + K_\theta(\Delta\theta(k)) \end{aligned} \quad (12)$$

Donde K_D es el coeficiente de error de traslación de la plataforma relativo a ΔD y expresado en $[m^2/m]$; $K_{D\theta}$ es el coeficiente de error de rotación de la plataforma relativo a ΔD y expresado en $[m^2/m]$; y K_θ es el coeficiente de error de rotación de la plataforma relativo a $\Delta\theta$ y expresado en $[rad^2/rad]$. Teniendo en cuenta los procesos de experimentación realizados para los movimientos individuales y para uno combinado, a partir de una serie de aproximaciones lineales, como mínimos cuadrados, se pudieron determinar que los tres coeficientes con mejores resultados fueron:

$$K_D = 0,5, K_{D\theta} = 0,08, K_\theta = 0,3.$$

Con el modelo cinemático validado y ajustado para las condiciones de pruebas requeridas por el proyecto de investigación “*Diseño e implementación de agentes robots, actuando de manera cooperativa, en una zona colapsada simulada, como apoyo a organismos de búsqueda y rescate urbano*” y un modelo odométrico vectorial mostrado en la ecuación (13) se realizó la validación usando los mismos procesos de experimentación presentados anteriormente (figura 10). Como zona de pruebas fue usado el coliseo de la Facultad Tecnológica d la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en donde se realizará la simulación de una zona colapsada.

$$\begin{bmatrix} x(k+1) \\ y(k+1) \\ \theta(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(k) + \Delta D(k) \cdot \cos(\theta(k) + \Delta\theta(k)/2) \\ x(k) + \Delta D(k) \cdot \sin(\theta(k) + \Delta\theta(k)/2) \\ \theta(k) + \Delta\theta(k)/2 \end{bmatrix} + v(k) \quad (13)$$

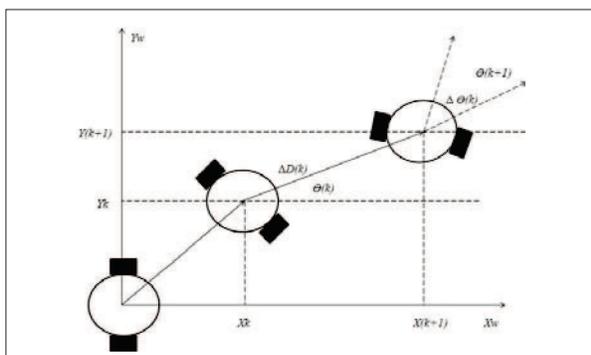


Figura 10. Iteraciones de la plataforma robótica respecto a un marco de referencia global (X, Y).
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la implementación del modelo presentado en (13) se muestran a continuación indicando que lo primero realizado fue conocer los errores sistemáticos de la plataforma. Para ello se realizó un proceso de 10 iteraciones con una ruta típica (cuadrado) que permitiera conocer una posible acumulación de errores por traslación y rotaciones, además de determinar todos los parámetros requeridos (figura 11). Con estas iteraciones, se procedió a constatar a partir de aproximaciones matemáticas, la ruta promedio recorrida por la plataforma (figura 12) y de donde se obtuvo

que el error acumulativo por desplazamiento es de $\pm 1,25\%$ con respecto a la distancia recorrida y el error acumulativo por rotación es de $\pm 2,2\%$ del ángulo girado.

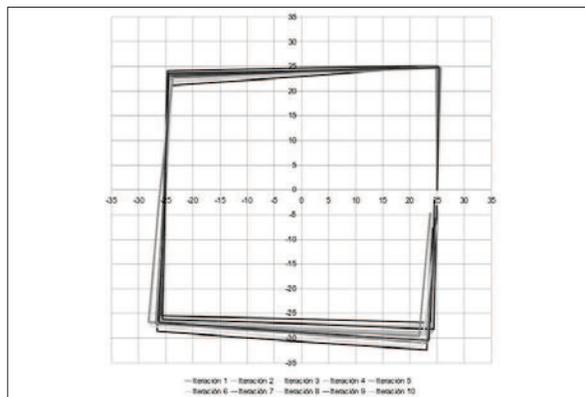


Figura 11. Resultados de cada una de las iteraciones realizadas para el movimiento de un cuadrado.
Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se generó una ruta predeterminada con la finalidad de conocer el comportamiento de la plataforma. Se pudo verificar que el controlador PID implementado permitió que la plataforma siguiera líneas rectas durante los desplazamientos lineales con un margen de error de $\pm 2,55\%$ y que para las rotaciones fueran de $\pm 3,85\%$. Se obtuvo, a su vez, que la plataforma a diferencia de la ruta mostrada en la figura 11, presenta una menor acumulación de errores. Al final la desviación de la plataforma fue de $0,75\%$, teniendo en cuenta que el modelo odométrico implementado por la Ec. (11), ya tiene en cuenta los errores sistemáticos de la plataforma (figura 13).

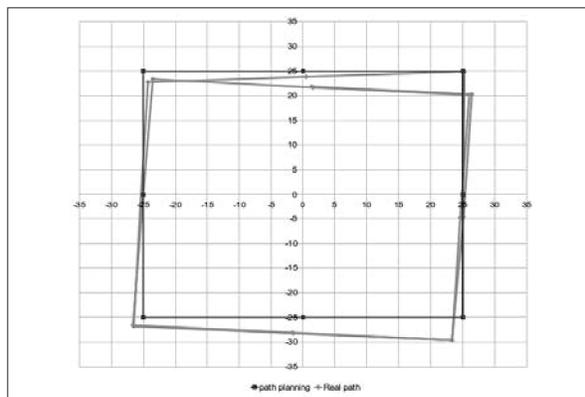


Figura 12. Resultados ponderados al seguimiento de un cuadrado que permitió calcular errores de la plataforma

Fuente: Elaboración propia

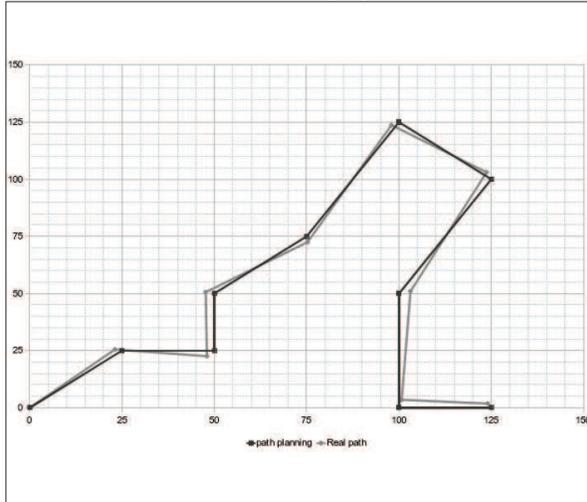


Figura 13. Resultados obtenidos para el seguimiento de una ruta predeterminada teniendo en cuenta los errores odométricos presentes de la plataforma Tankbot

Fuente: Elaboración propia.

Dando cumplimiento a uno de los objetivos del proyecto de investigación fue implementado un algoritmo de búsqueda de obstáculos que permitiera evitar colisiones mediante la utilización de sensores ultrasónicos y, asimismo, mediante los modelos de cinemática y odometría, se pudieran establecer rutas de navegación de la plataforma móvil por su entorno que resulta ser desconocido (figura 14).

Para la implementación de este sistema de navegación con la integración de un sistema de evasión de obstáculos se incorporaron zonas de seguridad que permitieran la detección de los obstáculos y la maniobra sobre ellos no permitiendo a la plataforma superar una frontera límite que pudiera ocasionar el inminente choque con cada obstáculo. Como resultado de este proceso, se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 15, 16 y 17 que muestran registros de información obtenidos en el

panel del software LabVIEW a partir de 3 exploraciones realizadas en la zona de pruebas.

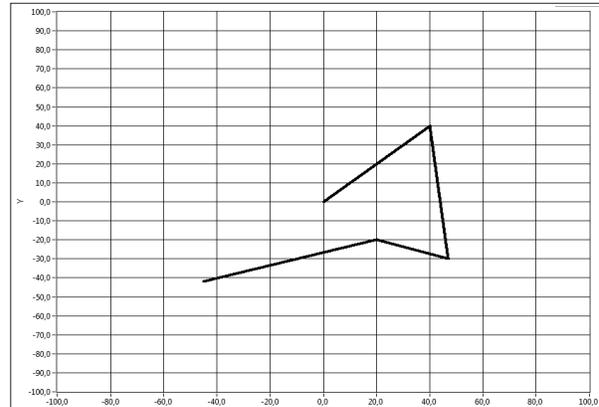


Figura 15. Primera ruta realizada con la plataforma evitando obstáculos presentes implementados en LabVIEW.

Fuente: Elaboración propia.

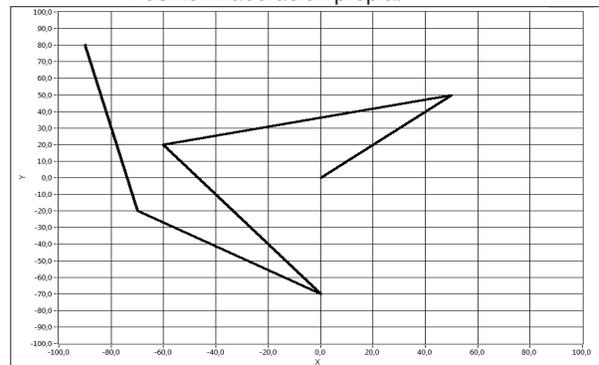


Figura 16. Segunda ruta realizada con la plataforma evitando obstáculos presentes implementados en LabVIEW.

Fuente: Elaboración propia.

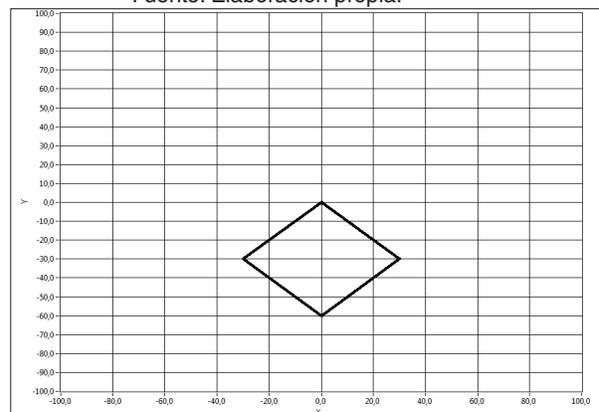


Figura 17. Tercera ruta realizada con la plataforma evitando

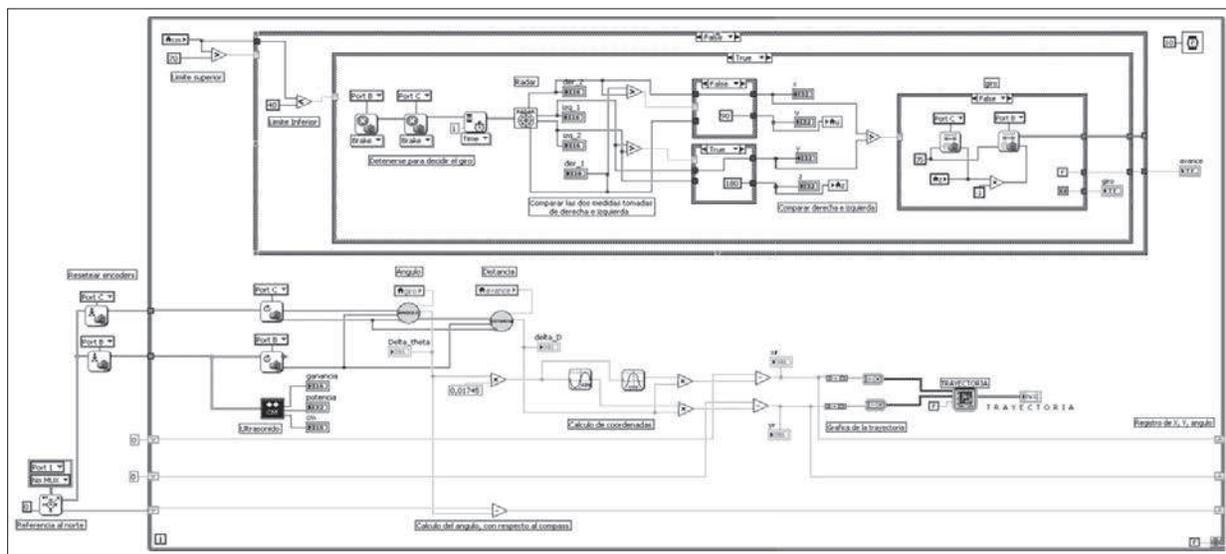


Figura 14. Modelo de exploración de obstáculos a partir de la generación de trayectorias implementado en LabVIEW.

Fuente: Elaboración propia.

do obstáculos presentes implementados en LabVIEW.

Fuente: Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto de investigación “*Diseño e implementación de agentes robots, actuando de manera cooperativa, en una zona colapsada simulada, como apoyo a organismos de búsqueda y rescate urbano*” se hace necesario implementar tres fases claramente definidas en operaciones de búsqueda y rescate urbanas (Urban Search and Rescue Robots – USAR) las cuales son: i) una fase de exploración; ii) una fase de búsqueda; y iii) una fase de rescate [12]. En la construcción del sistema multirobot se hace imprescindible conocer en todo momento la localización de los robots. Dado que un sistema de posicionamiento global (GPS) produciría errores muy grandes y aunque este sería un error mucho menor su costo es elevado. Por esta razón, es preciso utilizar un modelo matemático basado en sistemas odométricos construidos a partir de la lectura de encoders.

En este sentido, se pudo validar el modelo cinemático y odométrico de una plataforma móvil cons-

truido con piezas del kit LEGO Mindstorms NXT y desarrollado sobre el software LabVIEW a través de la utilización de las ecuaciones matemáticas presentadas en este trabajo y la implementación de un sistema de navegación en un entorno interior, lo que permitió llevar a cabo todo un proceso de experimentación realizado en el coliseo de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Con estos modelos matemáticos validados y la implementación de una programación reactiva se pueden obtener algoritmos de comportamiento que permitan, a través de la integración de sensores adicionales, el cumplimiento del objetivo de buscar víctimas en las zonas de desastres. Para ello se requiere del desarrollo de algoritmos de fusión sensorial que se harán sobre LabVIEW y el mismo ladrillo NXT. Asimismo, crear un filtro de Kalman para mejorar los procesos de localización de los robots sobre la zona de exploración.

4. FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad dis-

trital Francisco José de Caldas por la financiación del proyecto “*Diseño e implementación de agentes robots, actuando de manera cooperativa, en una zona colapsada simulada, como apoyo a organis-*

mos de búsqueda y rescate urbano” y a la Facultad Tecnológica por el préstamo del espacio de prueba usado para el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- [1]. Y. Liu, X. Wu, J. Jim Zhu, and J. Lew, “Omni-directional mobile robot controller design by trajectory linearization,” in *Proceedings of the American Control Conference*. Vol. 4, pp. 3423-3428. 2003
- [2]. R. L. Williams II, B. E. Carter, P. Gallina, and G. Rosati, “Dynamic Model with Slip for Wheeled Omnidirectional Robots,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 18, no. 3, pp. 285-293, 2002.
- [3]. L. Almeida, “Modelização de Pequenos Robots Autónomos: um exemplo,” *Revista do DETUA*, vol. 2, no. 1, pp. 133-140, 1997.
- [4]. G. Lazea, E. LUPU, and M. Patko, “Aspects on Kinematic Modelling and Simulation of Wheeled Robots,” in *Int. Symposium on Systems Theory, Robotics, Computers and Process Informatics, SINTES*, vol. 8, pp. 150-153. 1999.
- [5]. M. I. Ribeiro and P. Lima, “Kinematics Models of Mobile Robots,” *Instituto de Sistemas e Robotica*, pp. 1000-1049, 2002.
- [6]. G. Bermúdez, “Modelamiento Cinemático y Odométrico de Robots Móviles: Aspectos Matemáticos,” *Tecnura*, vol. 20, no. 12, 2003.
- [7]. A. Ollero, *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. Marcombo, 2001.
- [8]. M. Pinto and G. Bermúdez, “Determinación de Parámetros de un Robot Móvil de Lego Mindstorms,” *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 5, no. 2, pp. 7-13, 2007.
- [9]. M. Pinto and G. Bermúdez, “Estudio y Modelado de una Plataforma Robótica Diferencial,” *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 5, no. 2, pp. 63-69, 2007.
- [10]. M. L. Pinto and G. Bermúdez, “Determinación de los Parámetros para el Servomotor NXT LEGO Mindstorms® con Técnicas de Identificación de Sistemas,” in *Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI)*, 2008.
- [11]. F. Chenavier and J. L. Crowley, “Position Estimation for a Mobile Robot Using Vision and Odometry,” in *Proceedings in IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Vol 3, pp. 2588-2593 vol.3. 1992
- [12]. D. C. Cooper, *Fundamentals of Search and Rescue*. Jones and Bartlett, 2005.