



Modelamiento, simulación y control de posicionamiento automático de un robot móvil con tracción diferencial como herramienta para apoyar la formación en robótica en ambientes de aprendizaje SENA

Modeling, simulation and control of automatic positioning of a mobile robot with differential traction as a tool to support training in robotics in SENA's learning environments

Adrián F. Chávarro Chávarro

MSc en Ing. de Control Industrial
Ing. Electrónico
Líder de Electrónica y
Telecomunicaciones Tecnoparque
Neiva
achavarroc@sena.edu.co

Liseth K. Ramírez Antolínez

MSc(c) Ingeniería. Ing. Mecánica
Facilitadora de Mecánica en
Tecnoacademia Neiva
lramireza@sena.edu.co

Karol Johana Zambrano Cruz

MSc en Educación. Matemática
Facilitadora de Matemática Aplicada
en Tecnoacademia Neiva
kzambrano@sena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Regional Huila
Centro de la Industria,
la Empresa y los Servicios



Resumen

El presente artículo evidencia una solución teórico-práctica para el modelamiento, simulación e implementación didáctica de un sistema de control automático de localización de un robot móvil para ser utilizado como herramienta de aprendizaje.

El desplazamiento del robot está basado en la configuración de tracción diferencial cuyo modelo matemático aproximado fue simulado con la herramienta Matlab - Simulink como apoyo teórico. La construcción y ejecución del robot requiere de procesamiento de imágenes para validar la posición del prototipo en un plano cartesiano dentro del aula. El sistema es utilizado como estrategia de transferencia de conocimientos para apoyar el programa de Formación Tecnológica en Integración de Automatismos Mecatrónicos del Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios del SENA Regional Huila.

Palabras Clave:

Robot móvil, modelamiento, tracción diferencial, control de posición, procesamiento de imágenes.

Abstract

This article demonstrates a theoretical and practical solution for modelling, simulation and the didactic implementation of an automatic control system locating of a mobile robot to be used as a learning tool.

The displacement of the robot is based on the differential traction configuration whose approximate mathematical model was simulated with the Matlab-Simulink tool as a theoretical support. The construction and design of the robot requires image processing to validate the position of the prototype in a cartesian plane in the classroom. The system is used as a strategy of knowledge transfer to support the program of technological training on "Diseño e Integración de Automatismos Mecatrónicos del Centro la Industria, la Empresa y los Servicios - SENA Regional Huila".

Keywords:

Mobile Robot, modelling, differential traction, image processing, position control.

Introducción

Los robots son sistemas formados por mecanismos que permiten hacer movimientos y/o realizar tareas determinadas programables, implementando conceptos de las ciencias como la electrónica, la mecánica, las matemáticas, entre otras. El campo de la robótica se puede diferenciar entre robots de manipulación y robots móviles, este último se caracteriza por poseer locomoción como una ventaja trascendental para llevar a cabo funciones de desplazamiento específicas.

La creciente necesidad de automatización en la industria genera oportunidad para la construcción e implementación de robots móviles como una herramienta para apoyar la productividad. Existen empresas que ofrecen robots móviles en tareas como la limpieza de los hogares, monitoreo y vigilancia de instalaciones, exploración de ambientes naturales, remoción

de bombas y explosivos, agricultura, entre otros. Como ejemplo la empresa Amazon creada por Jeff Bezos, líder mundial en venta de productos online, implementa dentro de su estrategia de productividad el despacho de mercancías con ayuda de robots móviles KIVA: "estos robots ayudan a reducir en un 20 por ciento el costo de las operaciones" (ABC Tecnología, 2014), reafirmando la importancia de la implementación de estas plataformas móviles.

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA está en la búsqueda de una academia de robótica que desarrolle el talento integral en el aprendiz fortaleciendo proyectos innovadores y tecnológicos pertinentes con las necesidades productivas de la región. Tecnoparque Neiva, es una red para el desarrollo integral del talento humano, que con ambientes de aprendizaje especializados para la apropiación de

innovación y tecnología, complementa la formación e integra actores adicionales de los sectores público, privado y educativo (SENA, 2010). La metodología de diseñar y construir un robot estimula en los aprendices la comprensión de nociones relacionadas con mecatrónica, matemáticas, electrónica, entre otras, teniendo en cuenta como referencia a Bravo (2005) que enuncia los principios de Piaget resaltando que todo proceso de aprendizaje es realizado a través de la manipulación y construcción de objetos. Existen sistemas didácticos para la enseñanza de robótica como VEX (System, 2002), LEGO (LEGO, 1932) utilizados por ejemplo en Tecnoacademia SENA, mejorando así la formación tecnológica e innovación de los estudiantes de las instituciones educativas de la ciudad de Neiva. Según Muñoz C, Andrade, & Londoño Ospina, una plataforma robótica móvil es un robot para experimentación e investigación

en ambientes reales, se emplean para examinar algoritmos de navegación autónoma o semi-autónoma y con diferentes tipos de sensores, actuadores y demás dispositivos electrónicos. Como ejemplos mencionan: Robot Khepera (K - Team S. A., 2002), robot Nomad 200, robot Magellan y robot B21R (interface, 2006). (Muñoz C, Andrade, & Londoño Ospina, 2006).

La complejidad de entender el funcionamiento del robot está ligada a la comprensión de las siguientes propiedades físicas: posición, velocidad, desplazamiento, orientación, velocidad angular y su descripción geométrica, que requieren una metodología diferente a las cotidianas en un ambiente de aprendizaje para facilitar la visión de dichos conceptos.

La construcción de un robot móvil, incluye definiciones de mecánica clásica, comprendida por problemas de cinemática que pueden ser asimilados

cuando un aprendiz interactúa en la construcción de un prototipo. De esta manera utilizar herramientas de simulación como Matlab, permite comprender con mayor facilidad el modelamiento matemático de estos fenómenos, “esta aplicación permite al estudiante tanto simular como ejecutar en tiempo real, un esquema de control sobre un determinado sistema físico” (Jiménez, Puerto, Reinoso, Fernández, & Ñeco, 2005).

La simulación por software muestra la descripción de los procesos como la automatización del desarrollo de sistemas de control, por esta razón la Red Tecnoparque Neiva, apoya el fortalecimiento de la formación con ambientes especializados a través del desarrollo de proyectos articulando el programa Diseño e Integración de Automatismos Mecatrónicos, estrategia que permite la ejecución práctica sobre cómo construir modelos de entornos

físicos y cómo incorporar los sistemas de control de robots móviles en los ambientes de aprendizaje, (SENA, 2010).

Este artículo presenta inicialmente el modelamiento matemático del robot móvil con tracción diferencial, junto con la implementación de un algoritmo de control utilizando la herramienta Matlab-Simulink. En la práctica fue propuesto el algoritmo con el uso de la plataforma LEGO para la construcción del robot móvil. Los resultados de la simulación e implementación práctica fueron comparados utilizando odometría para medir y controlar la posición del robot, y el procesamiento de imágenes fue utilizado para observar el recorrido real realizado por el robot en un plano cartesiano.

1. Marco Teórico

Los robots móviles describen una complejidad matemática

que está representada mediante la cinemática del movimiento a través de ecuaciones diferenciales. Un modelo dinámico simplificado relaciona los ejes de coordenadas sin hacer referencia a las restricciones de las dinámicas internas del robot, cuerpo y actuadores, como cita Vieira, Medeiros, Alsina, & Araujo a Yamamoto, Pedrosa, & Medeiros en la Figura 1 muestra cómo un robot móvil puede referenciarse en un plano cartesiano, partiendo de su centro de masa, se pueden establecer dos variables físicas importantes para cualquier robot móvil: la velocidad de movimiento y la dirección. El modelo es ampliamente representado como unicycle, el cual simplifica que la mayoría de los robots móviles pueden ser interpretados de la misma forma.

De otra forma, la configuración con tracción diferencial es una configuración básica para un robot móvil que presenta una compleja característica. Los grados de libertad controlables

no son igual al número de grados de libertad, y se denominan estados de libertad a las coordenadas referenciadas x, y, U que simplifican el modelamiento del robot en el plano cartesiano (X, Y) de la Figura 2.

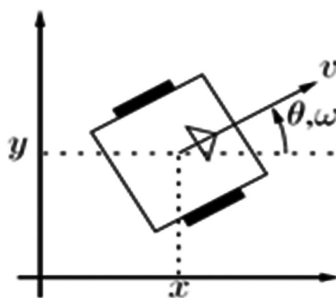


Figura 1. Esquema de un robot móvil en el plano cartesiano. Copyright (Vieira, Medeiros, Alsina, & Araujo, 2004)

El robot ubicado en el plano presenta una geometría que depende de la relación entre su centro de masa con el plano cartesiano, en el que se destaca el punto de partida (X_0, Y_0) y el punto de llegada (X_G, Y_G). La relación entre las coordenadas de movimiento del robot en referencia con los puntos de

inicio y de llegada, conforman el modelo matemático de la Ecuación 1.

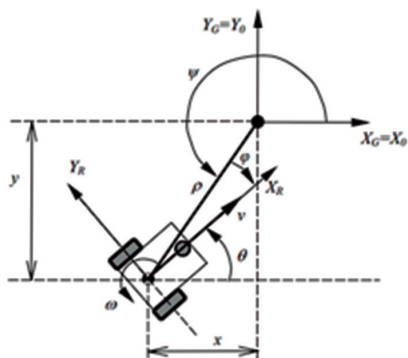


Figura 2. Esquema del robot móvil de dos ruedas Copyright (Siegwart & Nourbakhsh, 2004)

Ecuación 1. Modelo cinemático representando las limitaciones del cuerpo del robot.

(Siegwart & Nourbakhsh, 2004)

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ W \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 1}$$

Es claro identificar que para los estados de libertad X , Y , θ , representada por la Ecuación 1, el modelo es simbolizado por una matriz de ecuaciones diferenciales, que dependen de las entradas V , W , es decir, existen menos entradas que salidas en el sistema.

Modelamiento cinemático del robot móvil con configuración de tracción diferencial

El comportamiento cinemático del robot en configuración diferencial es caracterizado por el movimiento que se realiza empleando dos ruedas acopladas cada una a un sistema con motor, y adicionalmente cuenta con una o dos ruedas más de apoyo (R. Ramos & Morales, 2010). El robot se mueve en una superficie plana, referenciada por un sistema de coordenadas cartesianas, el deslizamiento de las ruedas izquierda y derecha es despreciable. Las ecuaciones descritas han sido objeto de robóticos móviles.

El movimiento del robot diferencial en el plano X Y está descrito por las ecuaciones que representan la relación geométrica entre los desplazamientos de cada rueda que están dadas por el ángulo U y las velocidades angulares de las llantas izquierda - derecha (W_i, W_d), el radio de las llantas R y la distancia que las separa l (R. Ramos & Morales, 2010), como lo representa la Figura 3.

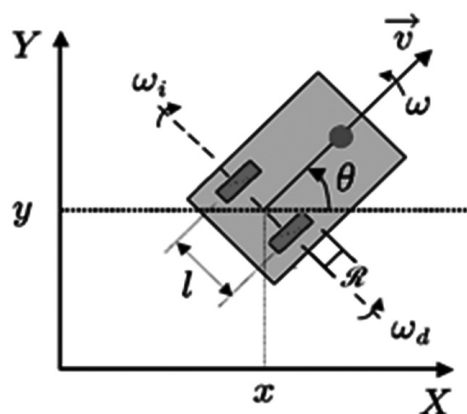


Figura 3. Esquema del Robot Móvil, Copyright (R. Ramos & Morales, 2010)

Las ecuaciones de desplazamiento cinemático pueden describirse mediante un ejercicio de trigonometría y análisis de las ecuaciones físicas del movimiento, (R. Ramos & Morales, 2010).

Ecuación 2. Modelo cinemático robot móvil con tracción diferencial.

$$\dot{X} = \frac{R}{2} (V_d + V_i) * \cos(\Theta)$$

$$\dot{Y} = \frac{R}{2} (V_d + V_i) * \sin(\Theta) \quad V_i = R * W_i + V_d = R * W_d; \text{ Ecuación 2}$$

$$\dot{\Theta} = \frac{R}{2} (V_d - V_i)$$

El modelo representado en la ecuación (2) relaciona las velocidades de cada rueda V_d , V_i con las variables del sistema x , y , U , y determina el modelo cinemático inicial del robot con tracción diferencial. Los parámetros de diseño del modelo son R , l que pueden ser simulados en conjunto para entender la geometría de sus movimientos.

Relación de transformación

Para poder interpretar los movimientos que realiza el robot en las variables físicas v , w , es necesario utilizar una transformación lineal que permite relacionar el eje de simetría con el cual el robot móvil rota con respecto al sistema de referencia XY, (Silva Ortigoza, Molina Vilchis, Marciano Melchor, & Portilla Flores, 2008), la relación de la ecuación (3) representa la rotación que puede ser fácilmente implementada. La correlación puede ser recíproca e interpretar la velocidad y orientación del móvil en función de las velocidades angulares de las ruedas o viceversa. El sistema puede ser obtenido, relacionando el modelo de robot unicycle con el modelo del robot en configuración diferencial.

$$\begin{bmatrix} V \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R/2 & R/2 \\ R/2l & -R/2l \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_d \\ W_l \end{bmatrix}; \text{Ecuación 3}$$

Topología de retroalimentación para el control de posición del robot móvil con tracción diferencial

Un sistema de control de posición por retroalimentación, puede ser descrito como lo muestra la Figura 4, en el diagrama representa una configuración que permite llevar el robot a una posición específica sin importar la orientación final de este (Vieira, Medeiros, Alsina, & Araujo, 2004).

El diagrama de bloques sugiere que el sistema puede ser controlado usando las referencias angulares U_{ref} es y lineales, entonces si el controlador asegura que el error converge a cero, el problema de control de posicionamiento del robot se resuelve, (Vieira, Medeiros, Alsina, & Araujo, 2004). El resultado es posible siempre y cuando exista un error de distancia (ϵ), por la restricción de los sistemas de robots no holonómicos limitan la solución en lazo cerrado hasta

una posición cercana alrededor del punto de posición final.

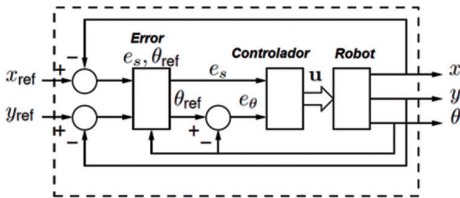


Figura 4. Sistema de control para posicionamiento de robot móvil, Copyright Vieira, Medeiros, Alsina, & Araujo, 2004

En el sistema de control por retroalimentación propuesto por Lee, para poder llevar a cabo el sistema de control, es necesario formular el movimiento en unas nuevas coordenadas R, W, para lograr esto es necesario describir la distancia entre la posición deseada actual y el ángulo entre la dirección hacia el punto objetivo y el eje XO.

$$\rho = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\varphi = 180 + \theta - \psi \quad \text{Ecuación 5}$$

Considerando las coordenadas de las ecuaciones 4 y 5, la descripción del nuevo eje de coordenadas de la ecuación 6, facilita mediante la ley de control de la ecuación 7 definir el sistema de entradas V, W, que aseguran la estabilidad del sistema, (On Lee, Cho, Hwang-Bo, You, & Oh, 2000).

$$\begin{bmatrix} \dot{\rho} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \varphi & 0 \\ \frac{1}{\rho} \sin \psi & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V \\ W \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\begin{bmatrix} V \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho * \cos \varphi & 0 \\ -\sin \psi * \cos \varphi & -\varphi \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} k1 \\ k2 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 7}$$

La ecuación 7 corresponden al problema de control de seguimiento de posición, cuyo objetivo es hacer que el robot móvil siga la meta acercándose suavemente y manteniendo una cierta distancia desde la meta hacia la parte frontal del robot (On Lee, Cho, Hwang-Bo, You, & Oh, 2000) para dar cumplimiento a la tarea de posicionamiento autónomo, cuyo objetivo final es alcanzar una posición dada en la del sistema de control en

lazo cerrado. La solución de la ecuación 7 puede ser hallada, resolviendo el criterio de estabilidad de Lyapunov que satisfaga la restricción de estabilidad, para lograr que la distancia y la orientación entre el robot y la posición final tiendan a cero.

2. Materiales y Métodos

Los materiales utilizados para la simulación e implementación del sistema de robot en configuración diferencial, se desarrollaron con herramientas didácticas en software inicialmente a través de la simulación por computador. Esto para ser validadas posteriormente en el sistema de robot con tracción diferencial en el laboratorio.

Las ecuaciones anteriormente descritas en la sección 2, hacen parte de la metodología utilizada para lograr la programación del algoritmo que permitió maniobrar automáticamente el

robot a una posición deseada y que puede contener actividades de trabajo en grupo para aprendices en sus ambientes de formación.

Simulación del modelo del robot, utilización del software Simulink de Matlab

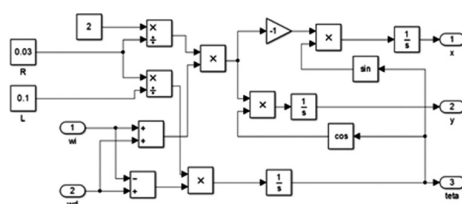


Figura 5. Modelo matemático del robot móvil utilizando bloques de Matlab-Simulink

Como muestra la Figura 5, al implementar las ecuaciones de modelamiento del robot móvil, con la herramienta Matlab - Simulink, es fácil describir la configuración de tracción diferencial con las ecuaciones del sistema. En la simulación representada en la Figura 6 puede ser observado el comportamiento en el plano

cartesiano X, Y frente a las variaciones independientes de cada entrada v_i , v_d . Una leve diferencia en las entradas produce un recorrido circular del robot, expresando la forma en que se comporta en la realidad. El comportamiento del modelo depende de los parámetros L,R definidos en la construcción de un problema real de aplicación con el robot móvil, los resultados de la simulación varían según la configuración de construcción propuestas por los aprendices.

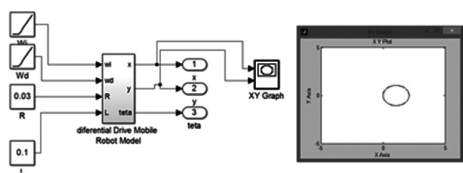


Figura 6. Simulación de las ecuaciones dinámicas del robot móvil, utilizando Matlab - Simulink.

Simulación del sistema en lazo cerrado utilizando la herramienta Matlab-Simulink

Las ecuaciones descritas en la sección 2 son representadas como funciones dentro de los bloques en lazo cerrado del sistema, junto con el modelo matemático del robot móvil realizado anteriormente y las funciones que representan cada una de las ecuaciones 4, 5, 6 y 7. Los parámetros K1 y K2, necesarios para lograr la estabilidad del sistema en lazo cerrado, pueden ser obtenidos mediante simulación, es decir, al escoger diferentes parámetros K1 y K2, la trayectoria del robot móvil puede ser simulada y evaluada como lo muestra la Figura 7 y 8.

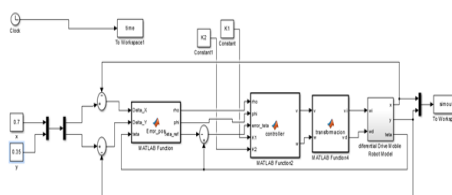


Figura 7. Diagrama de bloques en Matlab-Simulink del sistema de lazo cerrado para el robot móvil

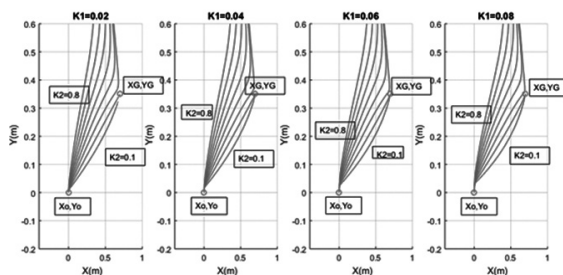


Figura 8. Simulación del desplazamiento XY del robot móvil para diferentes valores de K1 y K2, utilizando el control en lazo cerrado

El desplazamiento del robot simulado, corresponde a la respuesta en lazo cerrado del sistema de control de seguimiento, desde la posición inicial $(X_0, Y_0) = (0,0)$ hacia el punto $(X_G, Y_G) = (0.70, 0.35)$ metros. Diferentes valores de K1 y K2 fueron obtenidos experimentalmente mediante la simulación, al verificar el recorrido ideal que el robot móvil realiza acercándose al punto deseado y la suavidad de su movimiento. De la Figura 8, puede ser observado que para los valores lejanos a $K_2 > 0.2$, el desplazamiento del robot no logra alcanzar el punto final deseado con un mínimo error; además, para valores

de $K_1 > 0.02$ la agresividad de maniobra del robot en su cambio de dirección es menor. Para los valores de $K_1 = 0.04$ y $K_2 = 0.3$ simulados experimentalmente con la ayuda de la herramienta de Matlab - Simulink. La respuesta al movimiento del robot fue satisfactoria. El uso de la simulación por computadora fue utilizado para encontrar los valores experimentales al estabilizar el sistema de lazo cerrado. El anterior procedimiento fue desarrollado para evitar el procedimiento matemático que involucra la resolución de la ecuación de Lyapunov, lo que reduce la complejidad en el desarrollo de la actividad en el aula.

Construcción del robot tipo diferencial usando LEGO

La construcción del robot móvil se realizó empleando la herramienta LEGO, se compone por un módulo de computo llamado CPU, contiene en su interior un procesador de 8 bits programable que interactúa con sus periféricos en los que se encuentran, motores DC con sensores que permiten leer la posición de cada motor, comunicación bluetooth, puerto de comunicaciones USB para intercambio de datos, una pantalla LCD gráfica para acceder al sistema operativo que contiene el LEGO, así como la posibilidad de interactuar con otros periféricos.

Implementación del algoritmo de control para el robot móvil diferencial

El algoritmo de control para el robot físico fue desarrollado en la herramienta RobotC, esta herramienta permite ejecutar

código C transferido al robot, facilitando la implementación de las ecuaciones de control dentro del robot para validar su funcionamiento. La Figura 10 muestra la posición final del robot en un plano cartesiano, realizado en el laboratorio para verificar la posición real de desplazamiento.

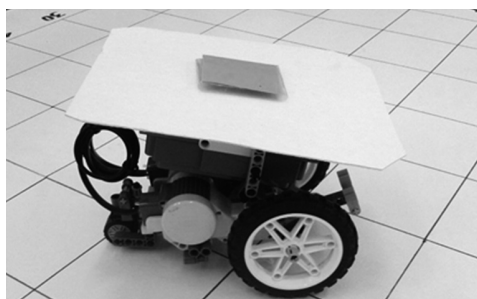


Figura 9. Imagen del robot móvil con tracción diferencial utilizando la herramienta LEGO

El procesamiento de imágenes es utilizado para comprobar el punto céntrico de los colores detectados y empleados para referenciar el robot en el proceso que corresponde a un desplazamiento hacia una coordenada final (X_G , Y_G).

El algoritmo de control desarrollado en lenguaje C contiene las tareas principales, odometría y control, el cual se hace en un ciclo repetitivo hasta que el robot llegue a su posición final deseada. La función odometría descrita corresponde a una técnica muy conocida para medir la posición actual del robot utilizando la lectura de los encoders incrustados en los motores del robot que impulsan cada rueda.

3. Resultados

Los resultados presentados en la simulación permitieron propiciar la construcción del algoritmo de control que fue probado en el robot real utilizando código en lenguaje C. La gráfica de la Figura 11 muestra el desplazamiento real del robot correspondiente a la medida realizada, utilizando visión por Computadora en comparación con el desplazamiento simulado por

el software de la herramienta Matlab-Simulink. Los resultados generan la oportunidad de validar el proceso desarrollado en teoría por los aprendices que corroboraron, de una manera aproximada, lo elaborado en la simulación y con la construcción del robot real en la práctica. El robot real sigue el recorrido realizado, comparado con la simulación y se acerca a un valor final ($x=65$ cm, $y=35$ cm), el error bordea los 3cm, que corresponde al error cercano esperado en la simulación.

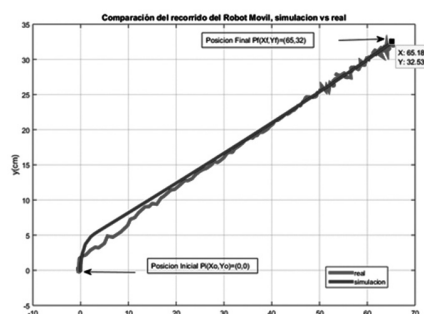


Figura 11. Comparación del desplazamiento efectuado por el robot móvil y el simulado en entorno Matlab-Simulink, Fuente: los autores

4. Discusión y/o Recomendaciones

El diseño robótico propuesto en este artículo, da como resultado satisfactorio un prototipo móvil LEGO, que además, cuenta con diferentes movimientos controlados de forma autónoma.

Se logró simular un modelo matemático implementando herramientas como el Simulink de Matlab y se validó en el mundo real programando una puesta en marcha utilizando RobotC corroborando la teoría con la práctica de una manera didáctica.

Fue observada una diferencia de la respuesta entre la simulación y la implementación práctica del sistema de control para el robot móvil, situación esperada por dos razones: en primer lugar la medición de la posición de robot utilizando odometría no es una técnica exacta debido a las imprecisiones en el deslizamiento de las ruedas. Además, la técnica

de odometría genera errores acumulativos a medida que el robot efectúa su desplazamiento.

En segunda instancia, el cálculo de la posición del robot utilizando visión computacional introduce una variación en la lectura dependiente de la iluminación del lugar, por lo que se puede observar ruido en la medición cercano a la posición final. Otro punto importante a tener en cuenta es la sintonización práctica de los valores cercanos de K_1 y K_2 , por que la diferencia entre el robot real y el simulado es solo una aproximación, lo que pueda incurrir en la realización de reajustes de los valores escogidos finalmente hasta obtener el desplazamiento deseado.

Para que el robot móvil tenga un funcionamiento óptimo se debe considerar las condiciones del terreno en el que se va a desplazar debido a los factores de deslizamiento de las llantas o desniveles en la superficie, estas pueden generar mediciones

erróneas en el momento de aplicar la odometría. Es de recomendar la investigación en el diseño de sistemas de control más robustos, en la medición para mejorar las lecturas del desplazamiento en diferentes terrenos con mayor precisión. Los cuales requieren mayor complejidad en la lectura de la posición de un robot móvil, para lograr exactitud y precisión.

El aprendizaje y el interés en áreas como la robótica, aplicando sistemas dinámicos o automatización, se incrementan cuando se utilizan metodologías didácticas como el caso del diseño y construcción de sistemas de posicionamiento autónomo LEGO; generando en los educandos de la Red Tecnoparque Neiva SENA, trabajo colaborativo, mayor asimilación en temas como mecánica, electrónica, matemáticas, lógica, física, sistemas computacionales, entre otros.

Para lograr que el robot mejore su sentido de orientación y culmine diferentes tipos de trayectorias es necesario incorporar perfeccionamientos en la medición de la posición final y el estudio de otras alternativas de control robustas que se puedan implementar en el laboratorio.

De esta manera se incentiva la creatividad en los aprendices para la solución de problemas en cinemática, creando así bases para la implementación de estudios y competencias en robótica móvil.

Bibliografía

ABC Tecnología. (5 de 12 de 2014). Obtenido de [http:// www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20141204/abci-ejercito-robotsamazon-201412032044.html](http://www.abc.es/tecnologia/informatica-hardware/20141204/abci-ejercito-robotsamazon-201412032044.html)

- Bravo, J. A. (03 de Agosto de 2005). Desarrollo del Pensamiento Matemático en Educación Infantil. interface, R. w. (Enero de 2006). Obtenido de <http://www.rwii.com/>. Enero/2006
- Jiménez, L., Puerto, R., Reinoso, Ó., Fernández, C., & Neco, R. (2005). RECOLAB: Laboratorio Remoto de Control Utilizando Matlab y Simulink. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial.
- K - Team S. A. (Marzo de 2002). Khepera user manual. Suiza.
- LEGO. (1932). LEGO Mindstorms EV3. Obtenido de LEGO Mindstorms EV3: <http://www.lego.com/es-ar/mindstorms/build-a-robot>
- Muñoz C, N. D., Andrade, C. A., & Londoño Ospina, N. (2006). Diseño y construcción de un robot móvil orientado a la enseñanza e investigación. 12.
- On Lee, S., Cho, Y.-J., Hwang-Bo, M., You, B.-J., & Oh, S.-R. (2000). A Stable Target-Tracking Control for Unicycle Mobile Robots. Intelligent Robots and Systems, 6.
- R. Ramos, E., & Morales, R. (2010). Modelado, simulación y construcción de un robot móvil de ruedas tipo diferencial. Physics Education.
- SENA, C. D. (2010). Acuerdo 9 del 2010. Por el cual se establecen políticas para el programa de Tecnoacademias y Tecnoparques, 5. Bogotá, Colombia.
- Siegwart, R., & Nourbakhsh, I. (2004). Introduction to Autonomous Mobile Robots. London: The MIT Press.
- Silva Ortigoza, R., Molina Vilchis, M., Marciano Melchor, M., & Portilla Flores, E. (2008). Modelado y Control de un Robot Móvil Tipo Newt En La Tarea De Seguimiento De Trayectoria. TELEMATIQUE.

Sung-On Lee, Y.-J. M.-B.-J.-R.
(2008). Intelligent System Control
Research Center, Korea Institute
Of Science And. Korea Institute
of Science.

System, V. R. (2002). Obtenido de
[http://www.vexcompetition.es/
index.php/que-es-vex-robotics](http://www.vexcompetition.es/index.php/que-es-vex-robotics)
Vieira, F., Medeiros, A., Alsina,
P., & Araujo, A. (2004). Position
and Orientation Control of a
Two - Wheeled Differentially
Driven Nonholonomic Mobile
Robot.

Yamamoto, M., Pedrosa, D., &
Medeiros, A. (2003). Um simulador
dinâmico para minirobôs móveis
com modelagem de colisão.