

---

## SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIA MEDIANTE LA SOLUCIÓN DEL ERROR LATERAL EN UN ROBOT TIPO DIFERENCIAL

C. Y. Sosa-Cervantes<sup>1</sup>,

J. J. Gálvez-Gamboa<sup>2</sup>,

C. Márquez-Sánchez<sup>1</sup>,

M. Marciano-Melchor<sup>1</sup>,

R. Silva-Ortigoza<sup>1</sup>

y E. Hernández-Márquez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, CIDETEC. Área de Mecatrónica.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional, CIDETEC. Área de Computo Inteligente. Unidad Profesional Adolfo  
López Mateos.

### **Abstract**

*Este trabajo presenta los resultados obtenidos de la implementación de un control para la posición lateral y de orientación de un robot tipo diferencial para el seguimiento de trayectorias. Este control es diseñado en base al modelo cinemático del robot y es implementado en un móvil Neato. La implementación experimental se realiza mediante Matlab/Simulink.*

### **I. Introducción**

El desarrollo de la robótica tuvo sus inicios en robots manipuladores debido a su fuerte presencia en el campo industrial, sin embargo, a medida que la tecnología avanzaba, los robots móviles, sobre todo los robots móviles de ruedas (RMR), empezaron a ganar un amplio terreno dada la simplicidad de su construcción y sus variadas aplicaciones. Por medio de la robótica, se ha logrado impulsar el desarrollo económico, científico y social de la humanidad. Como consecuencia, el control de este tipo de robots comenzó a ser el tema de múltiples estudios de investigación, sobre todo en aquellos cuya autonomía hacen posible que la supervisión humana sea la mínima posible, tal es el caso de aquellos enfocados en el seguimiento de trayectoria. Cabe destacar que el control de RMR generalmente es basado en el modelo cinemático siendo la velocidad lineal y angular del robot las entradas de control. Sin embargo, existen técnicas de control que solo utilizan la velocidad angular, de tal manera que se logra estabilizar al robot a un ángulo deseado, consiguiendo así, regular la postura del móvil a la trayectoria deseada. La estructura de este trabajo es de la siguiente manera: En la sección II se muestra el modelo cinemático del robot, posteriormente en la sección III se presenta la ley de control utilizada, en la sección IV se observa la implementación de la ley de control para posteriormente concluir en la sección V con las conclusiones del presente artículo.

## II. Modelo del RMR

El modelo cinemático de un RMR tipo diferencial relaciona la posición, velocidad y aceleración del robot sin tomar en cuenta las fuerzas involucradas [1]-[2]:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v \cos \theta, \\ \dot{y} &= v \sen \theta, \\ \dot{\theta} &= \omega,\end{aligned}$$

donde (x,y) representan las coordenadas del robot en el espacio de trabajo,  $\theta$  representa el ángulo de orientación del robot, mientras que  $v$  y  $\omega$  representan la velocidad lineal y angular, respectivamente, del robot. Como se puede observar, para aquellos métodos de control que hacen uso del modelo cinemático las entradas de control son las velocidades lineal y angular, ( $v, \omega$ ). Estas velocidades están a su vez asociadas con la velocidad angular de cada rueda, es decir,

$$\begin{aligned}v &= \frac{(\omega_d + \omega_i)r}{2}, \\ \omega &= \frac{(\omega_d - \omega_i)r}{2b}.\end{aligned}$$

Siendo  $\omega_d$  y  $\omega_i$ , las velocidades angulares de la rueda derecha e izquierda, respectivamente del Neato y  $r$  el radio de las ruedas.

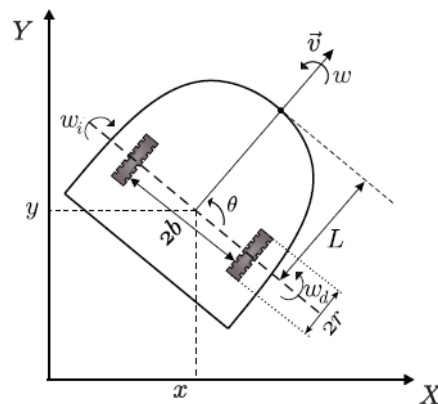


Figura 1. Robot Neato

### III. Ley de control

En el seguimiento de trayectoria existen dos posturas [1], la postura real  $(x,y,\theta)$  y la postura deseada  $(x^*,y^*,\theta^*)$  por lo que, cuando el móvil está fuera de la trayectoria, se generan dos errores, el error vertical  $e_y$  y error de orientación  $e_\theta$ . En la Fig. 2 se pueden observar estos errores.

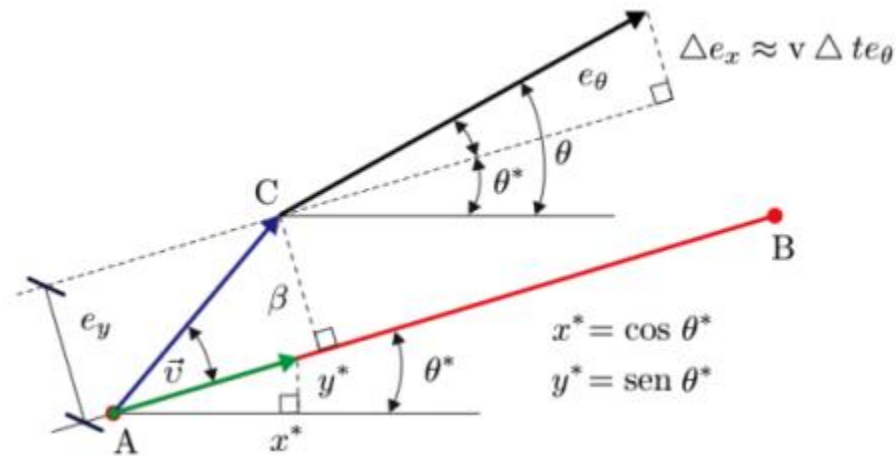


Figura 2. Error de vertical y de orientación

Siendo  $\overline{AB}$  la trayectoria deseada y C la posición actual del robot. Por lo que de esta manera es posible encontrar el error vertical de la siguiente forma,

$$e_y = \begin{pmatrix} x^* \\ y^* \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} x_C - x_A \\ y_C - y_A \\ 0 \end{pmatrix} = \Delta y \cdot x^* - \Delta x \cdot y^*,$$

Mientras que el error de orientación,  $e_\theta$  queda definido de la siguiente manera,

$$e_\theta = \theta - \theta^*,$$

Para recuperar la trayectoria deseada se controlará el ángulo de orientación mediante el siguiente algoritmo de control,

$$\dot{\theta}_C = -ae_y - be_\theta$$

Los valores de a y b quedan definidos de la siguiente manera:

$$b = 2\xi\omega,$$

$$a = \frac{1}{v}\omega^2,$$

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau}$$

siendo  $\omega$  la frecuencia de oscilación y  $\xi$  el factor de amortiguamiento. Con la variación de estos de parámetros es posible lograr que los errores tiendan a cero de una manera correcta evitando cambios bruscos.

#### IV. Simulación

Las simulaciones se llevaron a cabo con ayuda del software Matlab\Simulink, este software permite programar modelos matemáticos por medio de bloques, lo cual hace transparente y sencillo al usuario la forma de programar las leyes de control. Una estructura general del algoritmo de control presentado en la Sección II se muestra en la Fig. 3. Para la implementación de este control, se considera que la velocidad es constante.

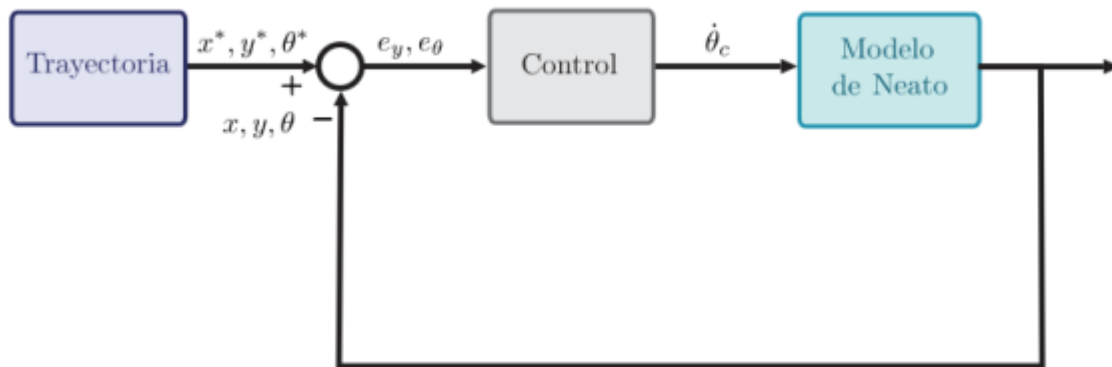
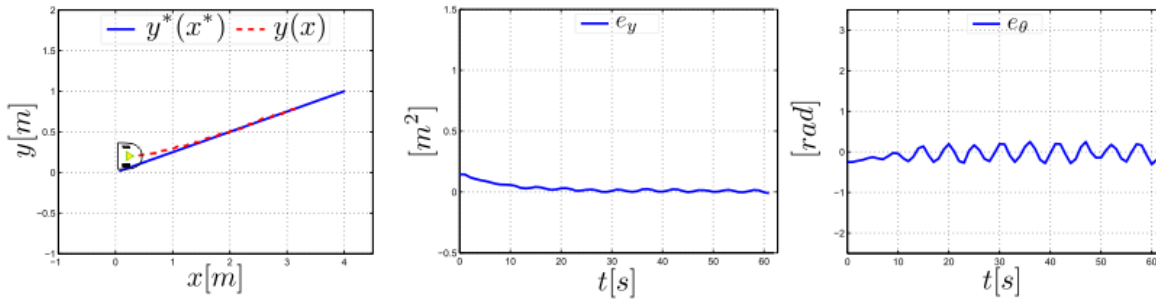


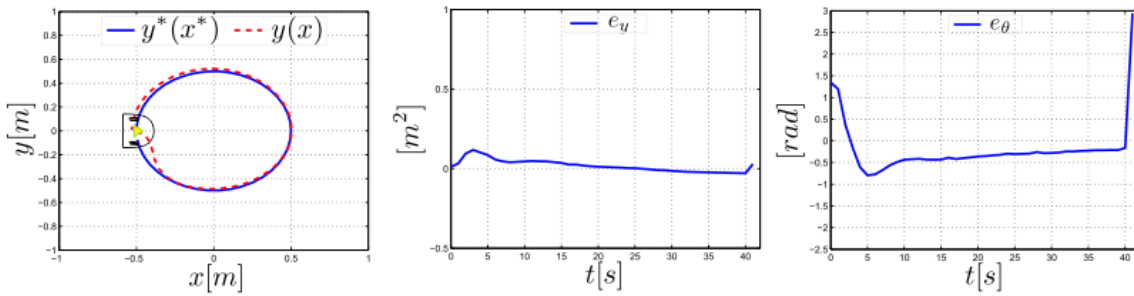
Figura 3. Diagrama a bloques de la ley de control

Para poder comunicar el Neato con Matlab/Simulink, se hace uso de una Raspberry PI, por medio de la cual se obtiene la información del Neato y de esta manera establecer la posición en tiempo real del móvil. En las Figs. 4(a) y 4(b) se pueden observar los resultados experimentales de la ley de control al momento de seguir una recta y un círculo.

SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIA MEDIANTE LA SOLUCIÓN DEL ERROR LATERAL EN UN ROBOT TIPO DIFERENCIAL



a)  $u = 0.09$  m/s,  $\tau = 18$ ,  $\zeta = 1.5$



b)  $u = 0.1$  m/s,  $\tau = 20$ ,  $\zeta = 0.5$

Figura 4. Resultados de la implementación

**V. Conclusiones**

Un algoritmo de control basado en el error lateral fue presentado en este trabajo. Este control fue implementado en un robot Neato tipo diferencial, el cual se comunica con Matlab/Simulink mediante una Raspberry. Para este control la velocidad es considerada constante, mientras que los parámetros  $\tau$  y  $\xi$  son propuestos para lograr que los errores tiendan a cero y de esta manera lograr el seguimiento de trayectoria. Los valores de  $\tau$  y  $\xi$  dependerán en gran medida a la trayectoria requerida debido a que la velocidad con la que se trabaja es constante. Por esto, se busca que en trabajos futuros se implemente un control que considere la velocidad del móvil.

**Referencias**

[1] Corke, P. (2011). Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB (Vol. 73). Springer.  
 [2] Dudek, G., & Jenkin, M. (2010). Computational principles of mobile robotics. Cambridge university press.