

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN ROBOT DIFERENCIAL ALIMENTADO CON UN PANEL FOTOVOLTAICO

Roberto Sánchez Sánchez^{1,2}, Alfredo Roldán Caballero¹, Edgar Alfredo Portilla Flores¹

¹UPIIT ²CIDETEC

Instituto Politécnico Nacional

Boletín No. 101, 1o. de marzo de 2024

Resumen

En el presente trabajo, se realiza un análisis del funcionamiento de un robot móvil diferencial alimentado con dos diferentes fuentes de energía de forma independiente. Específicamente, se utiliza una batería o una celda fotovoltaica como fuente de alimentación aplicadas a un robot móvil diferencial. Se compara el funcionamiento de los efectos que estas fuentes de alimentación tienen en aspectos como la velocidad angular de las ruedas, el desplazamiento y la velocidad del vehículo. Para llevar a cabo el comparativo se realiza una simulación numérica utilizando Matlab-Simulink.

1. Introducción

El uso de tecnologías eficientes en la robótica móvil es importante para mejorar su autonomía y operatividad. En la misma línea, la eficiencia y autonomía energética representan limitantes significativas de los robots móviles actuales (Aubin, Choudhury, Jerch, Archer, Pikul, y Shepherd, 2019). En este sentido, uno de los principales aspectos a considerar es la fuente de energía utilizada para su alimentación, dentro de las cuáles se encuentran celdas fotovoltaicas y baterías.

Cada una de estas fuentes de energía tiene ventajas y desventajas, la elección entre ellas depende en gran medida de las necesidades específicas del robot móvil. En el caso de las baterías, son una fuente de energía más versátil y confiable, pero aumentan el peso e incluso se requieren modificaciones para mantener el rendimiento general (Kim y Kim, 2007). Mientras que, en el caso de los sistemas que utilizan energía solar, ofrecen la ventaja de utilizar energía renovable y limpia para convertir la luz solar en electricidad, esta energía puede alimentar un robot móvil de manera sostenible. Sin embargo, existen limitaciones en términos de disponibilidad de luz solar y eficiencia energética.

2. Modelo del robot móvil diferencial

Para los fines de este trabajo el sistema de un robot móvil de ruedas con tracción diferencial (DDWMR, por sus siglas en inglés de "Differential Drive Wheeled Mobile Robot"), se considera en 3 partes (García-Sánchez, et al., 2018) como se muestra en la Figura 1:

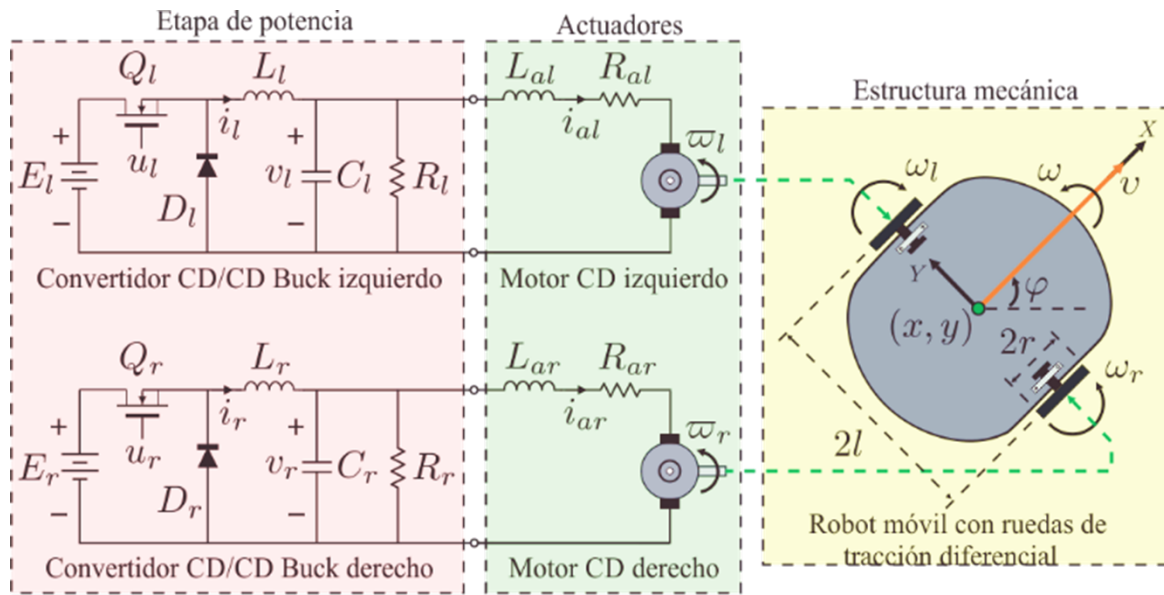


Figura 1 Diagrama de robot móvil diferencial con ruedas de tracción diferencial.

Estructura mecánica: constituido por el chasis o plataforma y las ruedas. En este sentido, la geometría y disposición de estas partes son fundamentales para determinar las velocidades y el movimiento del móvil. Con base en lo anterior, el modelo cinemático del DDWRM dado por (Sira-Ramírez y Agrawal, 2018), es:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos \varphi, \\ \dot{y} &= v \sin \varphi, \\ \dot{\varphi} &= \omega, \end{aligned} \quad (1)$$

con

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{2l} & -\frac{r}{2l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (2)$$

donde (x, y) es la posición cartesiana del centro de masa del DDWRM; φ es la orientación del DDWRM; v es la velocidad en línea recta, ω es la velocidad angular; ambas son entradas del DDWRM, r es el radio de las ruedas, $2l$ es la distancia entre las ruedas y ω_r, ω_l son las velocidades angulares de la rueda derecha e izquierda respectivamente. En estas ecuaciones, y en el resto de este artículo, la derivada con respecto al tiempo t se denotará por un "punto." por d/dt .

Actuadores: conformado por motores CD. Los motores CD son necesarios para el desplazamiento del DDWRM debido a que controlan el movimiento de las ruedas, para realizar dicho movimiento se requieren como señales de entrada a ω_r y ω_l . El modelo matemático del motor se expresa mediante el siguiente sistema (García-Rodríguez et al., 2018):

$$L_a \frac{di_a}{dt} = v - R_a i_a - k_e \omega, \quad (3)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_m i_a - b \omega, \quad (4)$$

Donde v es el voltaje de entrada, R_a es la resistencia, i_a la corriente, ω es la velocidad angular del motor, b la constante de fricción, k_e y k_m son las constantes contra electromotriz y del motor respectivamente, L_a la inductancia y J la inercia.

Etapa de potencia: en la cual se encuentran los convertidores CD/CD Buck. Los voltajes de salida de los convertidores son utilizados como entradas para los motores CD para lograr ω_r y ω_l , que se describieron

en la subsección anterior. El modelo matemático de un convertidor Buck, está dado por (Sira-Ramírez y Agrawal, 2018):

$$\begin{aligned} L \frac{di}{dt} &= -v + Eu, \\ C \frac{dv}{dt} &= i - \frac{v}{R'} \end{aligned} \quad (5)$$

se considera que en el circuito el valor promedio de la corriente del inductor nunca cae a cero, debido a variaciones de carga, es decir, está en modo de corriente continua. El modelo promedio del convertidor está representado por el modelo matemático (5) en el cual la variable de control u toma valores en el intervalo cerrado $[0, 1]$.

3. Implementación

Para llevar a cabo el análisis del comportamiento del DDWRM con la batería o con la celda fotovoltaica como fuente de energía, se emplea una simulación numérica utilizando Matlab-Simulink. Con base en lo anterior, se observarán aspectos importantes en el funcionamiento del DDWRM tales como: la velocidad angular de las ruedas, el desplazamiento y la velocidad del vehículo. Es importante señalar que la simulación se realiza con el método numérico de Runge-Kutta de cuarto orden con un tamaño de paso fijo de $T = 1/450000$ en un intervalo de tiempo $[0, 10]$. Para la simulación se utilizará lo siguiente:

- Para la estructura mecánica, es decir, el modelo (2), se seleccionan los siguientes valores: $r = 0.075$ m, $l = 0.19$ m.
- En el caso de los modelos (3) y (4) o actuadores (Roldan-Caballero et al., 2023) se utilizan las siguientes constantes:

$$\begin{aligned} L_a &= 1 \times 10^{-4} \text{ H}, \\ R_a &= 1.6 \Omega, \\ J &= 320 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2, \\ k_m &= 1.5 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A}}, \\ k_e &= 1.5 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{rad}}, \\ b &= 210 \times 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{rad}}. \end{aligned}$$

Para este trabajo se utilizó una celda fotovoltaica del tipo Topsun TS-S410 y debido a que esta celda puede generar 61 V, entonces se eligió una batería con la misma capacidad.

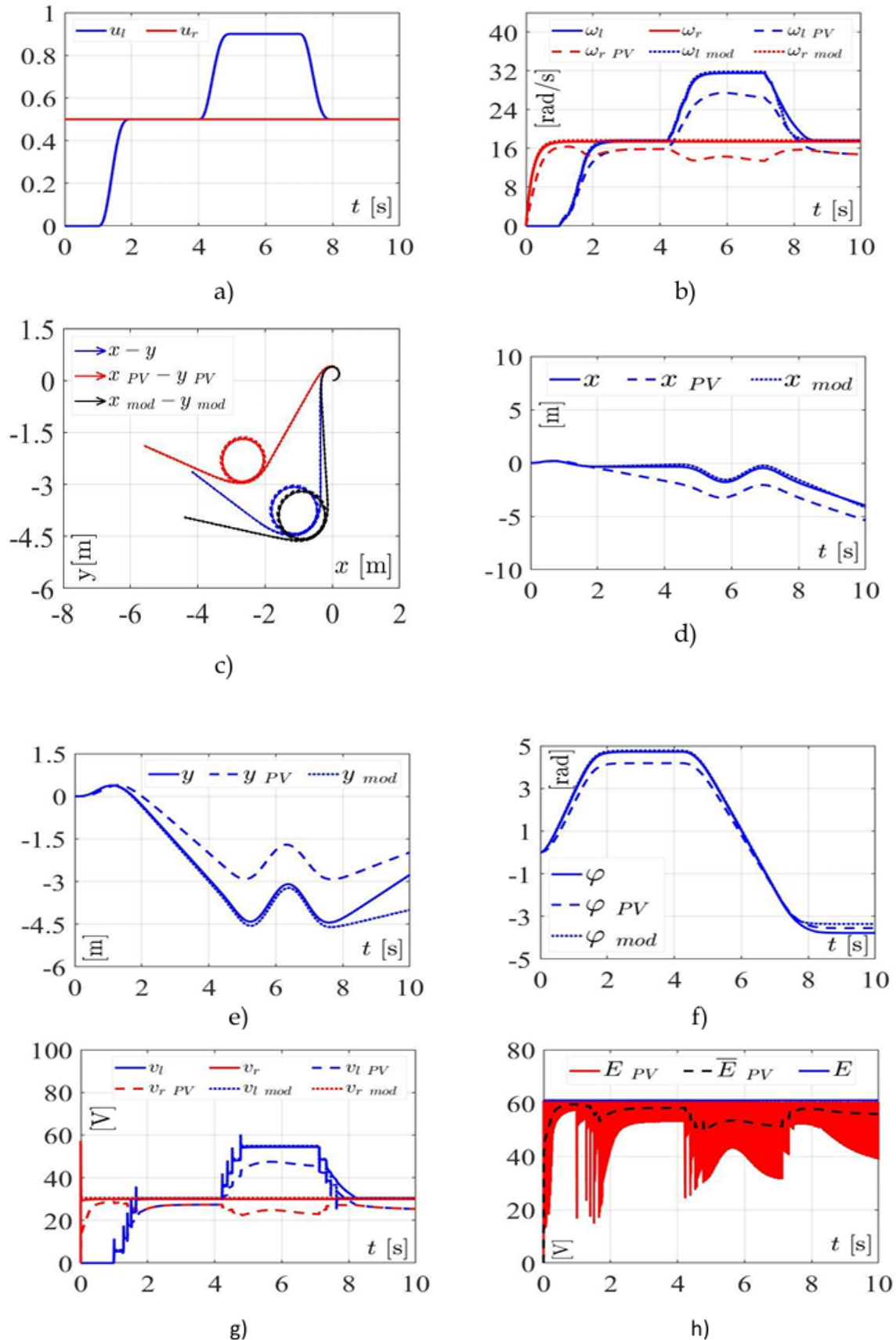


Figura 2 Resultados de la simulación del DDWRM con celda fotovoltaica o batería.

Es importante mencionar que, en la Figura 2, las señales sin subíndice son para aquellas que, para la simulación, se utiliza el circuito con una batería de 61V. Mientras, el subíndice PV se usa para denotar las señales del DDWRM en el que se usó la celda fotovoltaica para la simulación. Por último, el subíndice mod se utiliza en las señales cuando la simulación se realiza mediante los modelos (1-5), con $E = 61V$.

Se muestra en la Figura 2 a) que $u_r = 0.5$ permanece constante y u_l varía en el tiempo, afectando las velocidades angulares ω_l y ω_r de acuerdo con los modelos (2-5). Análogamente, observando (2-5), ω_l y ω_r se ven afectadas por la fuente de alimentación E . Del mismo modo, de acuerdo con el modelo (1), el movimiento del DDWRM está influenciado por las velocidades angulares ω_l y ω_r .

Por consiguiente, cuando estas velocidades se ven afectadas por la fuente de alimentación, como se ilustra en la Figura 2 b), se observa que tanto el desplazamiento XY (Figura 2 c-e) como la variación en la orientación del robot φ (Figura 2 f) son menos pronunciados al utilizar el panel fotovoltaico en comparación con el uso de la batería o los modelos matemáticos. También, se puede notar en la Figura 2 g) que los voltajes de la etapa de potencia son mayores cuando se utiliza la batería o los modelos, comparado cuando se utiliza la celda fotovoltaica.

Se observa en la Figura 2 h) que en el caso de la batería E y los modelos (2-5), el voltaje permanece constante en 61 volts. Mientras, el voltaje de la celda fotovoltaica (E_{PV}), así como su valor promedio (\bar{E}_{PV}), presenta variaciones con respecto del tiempo, dependiendo de los requerimientos energéticos del DDWRM. En este sentido, note que el control promedio u_l está en su máximo en $t = (5, 7]$, lo que provoca que el DDWRM tenga su mayor requerimiento energético. Por lo anterior, el voltaje promedio presenta su nivel más bajo en $t = (5, 7]$. Análogamente, cuando $t = [0, 1]$ se presenta el voltaje promedio más alto debido a que en ese lapso $u_l = 0$.

4. Conclusiones

En el presente trabajo se obtuvo la simulación del funcionamiento de un DDWRM con motores de CD alimentados por dos fuentes de energía diferentes, una por medio de una batería y otra con una celda fotovoltaica, por medio de Matlab-Simulink. Se observó que el funcionamiento del DDWRM es diferente, las velocidades angulares, el desplazamiento y la distancia recorrida depende de la fuente de energía.

Por un lado, se observa que la simulación en la que se utiliza una batería es más similar al comportamiento de la simulación modelo, con respecto a la simulación cuando se utiliza un panel fotovoltaico. Por otro lado, cuando se diseña un control, en la mayoría de los casos, se hace uso del modelo matemático del sistema. Con base en lo anterior, se deja para un futuro trabajo el control del DDWRM con celda fotovoltaica para compensar las disminuciones de voltaje en el panel solar.

Referencias

- [1] Aubin, C. A., Choudhury, S., Jerch, R., Archer, L. A., Pikul, J. H., & Shepherd, R. F. (2019). *Electrolytic vascular systems for energy-dense robots*. Nature, 571(7763), 51-57.
- [2] García-Rodríguez, V. H., Silva-Ortigoza, R., Hernández-Márquez, E., García-Sánchez, J. R., & Taud, H. (2018). *DC/DC Boost Converter-Inverter as Driver for a DC Motor: Modeling and Experimental Verification*. energies, 11(8), 1-15.
- [3] García-Sánchez, J. R., Tavera-Mosqueda, S., Silva-Ortigoza, R., Hernández-Guzmán, V. M., Sandoval-Gutiérrez, J., Marcelino-Aranda, M., & Marciano-Melchor, M. (2018). *Robust switched tracking control for wheeled mobile robots considering the actuators and drivers*. Sensors, 18(12), 4316.
- [4] Kim, C. H., & Kim, B. K. (2007). *Minimum-energy translational trajectory generation for differential-driven wheeled mobile robots*. Journal of Intelligent and robotic Systems, 49, 367-383.
- [5] Sira-Ramírez H.; Agrawal, S.K. *Differentially Flat Systems*; Marcel Dekker: New York, NY, USA, 2004; ISBN 978-0-82475-470-9.

Sánchez Sánchez, R., Roldán Caballero, A., Portilla Flores, E. A. (2026). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN ROBOT DIFERENCIAL ALIMENTADO CON UN PANEL FOTOVOLTAICO. Boletín UPIITA. año XX, (NÚM) 2026.