

Diseño, Construcción e Implementación de un Prototipo de Robot Móvil para el Recorrido de Trayectorias Definidas por Computador para el Laboratorio de Robótica Industrial del DECEM

**DIEGO MOYOLEMA
PATRICIO PEREIRA**

Universidad de las Fuerzas Armadas – “ESPE”
Sangolquí, ECUADOR

moyolemad@gmail.com
patitopereira@hotmail.es

RESUMEN

El presente proyecto muestra el diseño, construcción y validación del prototipo de robótica móvil denominado “ROMOV”, el mismo que tiene como objetivo trazar trayectorias planificadas por computador a través de un HMI diseñado en Matlab; dicho robot móvil consta de tracción posterior, dirección mediante mecanismo Ackerman, una tarjeta electrónica Arduino para adquisición de datos, velocidad variable, detección de obstáculos y percepción de inclinación del terreno. Presenta dos tipos de trabajo, un Modo Manual donde se controla al robot a través de botones de movimiento y un Modo Automático para realizar las trayectorias de circunferencia, parábola y hélice mediante estimación odométrica de las mismas.

ABSTRACT

This work presents the design, construction and validation of a mobile robot prototype named "ROMOV", it aims to draw trajectories planned by a computer via an HMI designed in Matlab; this mobile robot has rear wheel drive with Ackerman steering mechanism, an Arduino board for data acquisition, variable speed, obstacle detection and perception of sloping terrain. It has two types of modes, Manual Mode where the robot is controlled through movement buttons and an Automatic Mode to make trajectories such as circle, parabola and propeller by odometric estimate.

Palabras Claves: Robot Móvil, Mecanismo Ackerman, Arduino, Matlab, HMI (Human Machine Interface), Odometría.

1. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones que existen hasta ahora dentro de la robótica móvil se encuentran en crecimiento de una manera acelerada, por lo que resulta sencillo imaginar que este tipo de tecnología cada día sea más común; no solo en los diferentes tipos de industrias sino también en tareas específicas como el reconocimiento de terreno, inspección y vigilancia, misiones de búsqueda y rescate de personas.

Dada la necesidad de equipar al Laboratorio de Robótica Industrial con diferentes dispositivos que abarquen el estudio y la investigación de la Robótica Móvil, se considera realizar el proyecto de prototipo de robot móvil para el recorrido de trayectorias definidas por computador; el mismo que contará con locomoción mediante 4 ruedas utilizando la configuración Ackerman, capacidad de carga de 10 kilogramos (carga extra) y capacidad de recorrer trayectorias previamente definidas sobre superficies duras y libres de deslizamiento, ya sean estas planas o inclinadas hasta un ángulo de pendiente máximo de 30 grados.

Este prototipo de robot móvil está controlado por un computador portátil, mediante el cual se comunica las instrucciones de movimiento al robot y donde se encuentran las trayectorias programadas. Este prototipo presenta una tarjeta Arduino que recoge la información de todos los sensores presentes, procesa dicha información y la envía al computador en tiempo real; al igual que recepta las ordenes enviadas por el computador para el movimiento del robot. La comunicación entre el robot y el computador portátil es inalámbrica a través de módulos Wireless de radio frecuencia con un alcance de 10 metros.

La acción de control desarrollada en Matlab (Interfaz gráfica HMI) es realizada mediante programación por puntos y con ello formar cada trayectoria que el robot realizará. La trayectoria real del robot es estimada mediante un encoder incremental que mide el desplazamiento longitudinal (odometría), mientras que el movimiento angular de las llantas es calculada mediante un potenciómetro rotatorio.

Mediante sensores para percepción del entorno se detecta la presencia de obstáculos que obstruyan el camino y con ello provocar el paro del robot (Sensores Ultrasónicos) y se determina la inclinación del terreno y con ello variar la potencia con que trabaja el motor de tracción (Acelerómetro).

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL

Para realizar el diseño del prototipo se establecen los requerimientos que el prototipo de robot móvil debe tener, ya sean estos mecánicos, electrónicos o de control como se observa en la Figura 1.

El esquema de bloques del sistema del prototipo se presenta en la Figura 2, donde los objetivos de control son: detección de obstáculos, regulación de la velocidad del robot y trazado de la trayectoria escogida en el HMI del computador. Se presenta las variables controladas y manipuladas del sistema, las controladas obtenidas de sensores tanto externos como internos, los cuales sensan la

distancia a obstáculos, la dirección del mecanismo Ackerman, la velocidad del robot móvil e inclinación de la superficie de desplazamiento.

Requerimiento	Definición
Modular	Los elementos que conforman el prototipo son desmontables
Robustez Mecánica	Su construcción garantiza durabilidad y resistencia frente al uso
Personalizable	Es compatible con diversos elementos existentes en el mercado y es posible integrarlos
Capacidad de carga	Funcionamiento del prototipo en condiciones normales y con una carga máxima de 10 kg.
Dirección Ackerman	Configuración de dirección utilizada en los automóviles
Tracción Trasera	Eje trasero encargado de transmitir el movimiento
Percepción de entorno	El prototipo puede enviar información acerca de su entorno, obstáculos presentes o si el terreno posee una inclinación hasta de 30°.
Medición de variables internas	Posee instrumentación asociada para conocer el estado de los mecanismos del prototipo (dirección y tracción).
Comunicación inalámbrica	Transmisión y recepción de información entre el prototipo y al computador portátil sin cables, hasta una distancia máxima de 10 metros.
Autonomía	El prototipo puede funcionar durante 1 hora hasta una nueva recarga
Velocidad Variable	El usuario puede manipular la velocidad del prototipo desde 0 [m/min] hasta 12 [m/min]
Trazado de trayectorias	El prototipo puede trazar tres tipos de trayectorias definidas: circunferencia, parábola y hélice
Interfaz amigable	Permite al usuario manejar el prototipo de forma intuitiva sin dificultades.

Figura 1 Requerimientos del Prototipo de Robot Móvil

La información recogida de los sensores es transmitida a la tarjeta controladora Arduino Mega 2560, la misma que hace la función de tarjeta de Adquisición de Datos; dicha información es trasformada y enviada al computador de forma que la entienda, para ser procesada y devuelta al Arduino para el accionamiento de los actuadores (Motor DC y Servomotor) como se muestra en la Figura 2.

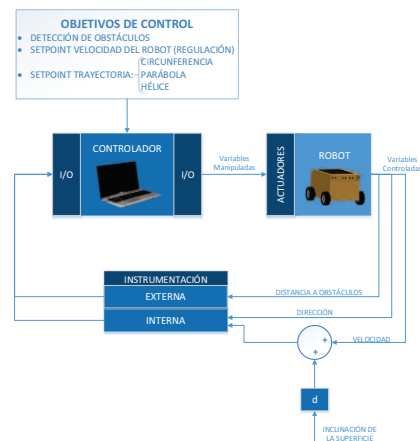


Figura 2 Esquema de Bloques del Sistema

La finalidad del sistema de control es mantener constante la variable de velocidad de desplazamiento en el prototipo y el trazado de la

trayectoria seleccionada en la interfaz gráfica (HMI) del computador a través de un controlador, y mediante la retroalimentación de las variables controladas (Figura 3).

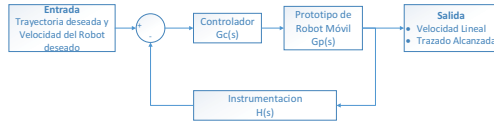


Figura 3 Diagrama de Control del Prototipo

El prototipo estará destinado para el Laboratorio de Robótica Industrial del DECEM, como herramienta de estudio en el campo de la Robótica Móvil.

Diseño Mecánico

El sistema mecánico del prototipo está dividido en tres partes para facilitar su diseño, como se muestra en la Figura 4.

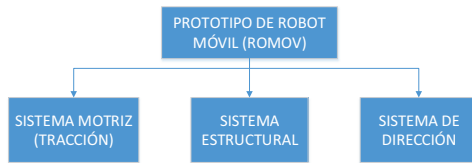


Figura 4 Sistema Mecánico del Prototipo

El actuador encargado del sistema de tracción fue elegido mediante cuadros de selección analizando los criterios más óptimos para el prototipo tales como la velocidad lineal de 12 metros por minuto, su potencia y la alimentación del mismo. Dando como resultado la utilización de un motoreductor para el sistema motriz.

Para la selección del servomotor encargado de la dirección, se toma en cuenta el torque que debe tener para poder mover las llanta en contacto con el piso; por esta razón se propone utilizar el servomotor industrial Torxis i00600, el mismo que cuenta con un torque de 22.6Nm.

El material de la estructura del chasis es hierro, debido a la facilidad para su soldadura, el costo y la disponibilidad en el mercado.

El material de la carcasa es fibra de vidrio, debido a su peso liviano y su resistencia ante una carga; cabe destacar que dicha carcasa es desmontable.

Diseño Electrónico

El sistema electrónico que posee el prototipo, consta de elementos que le permiten al mismo tener la habilidad de percibir su entorno y estimar su ubicación a partir de técnicas de odometría (sensores), y al mismo tiempo de dispositivos que le den al robot la capacidad de moverse (actuadores). Estos elementos deberán enlazarse mediante diferentes etapas hasta llegar al punto del procesamiento de las señales que generen, y a partir de las mismas poder controlar el prototipo. Presenta también una tarjeta controladora Arduino Mega 2560 que servirá para la adquisición de datos, esta fue seleccionada por el número de E/S, pines PWM necesarios para el prototipo.

El sistema electrónico consta de las siguientes etapas: alimentación, comunicación inalámbrica e instrumentación mecatrónica (sensores y actuadores)

Control y Programación

Considerando las características del controlador, se conoce que este debe constar de un computador y una tarjeta electrónica dedicada a la adquisición de datos y por la cual pueda el computador tener acceso a las variables manipuladas y controladas del prototipo, para lo cual debe dotarse al mismo de una interfaz de entradas y salidas (Figura 5).



Figura 5 Estructura del Controlador

La lógica de control del sistema se presenta de manera general en diagrama de flujo de la Figura 7.

Mediante una interfaz gráfica programada en Matlab® (Figura 8), se realiza la Adquisición de Datos del prototipo, para luego hacer una identificación del sistema y obtener la planta con la que se va a trabajar durante todo el proyecto (Figura 6).

$$Gp(s) = \frac{2.457}{(1 + 0.26741s)(1 + 0.12769s)}$$

Figura 6 Funcion de Transferencia del prototipo

$$Gc(s) = \frac{0.004s^2 + 0.28s + 0.007}{s}$$

Figura 9 Función de Transferencia del Controlador

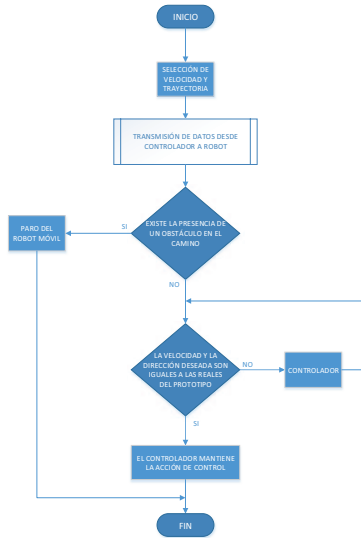


Figura 7 Diagrama de bloques – Lógica de Control

El usuario puede escoger el tipo de funcionamiento del prototipo con que se va a trabajar, ya sea este Modo Manual o Modo Automático, para esto la Figura 10 muestra el HMI del Modo Manual donde se puede operar al Robot Móvil mediante ordenes de movimiento y velocidad a través de botones.

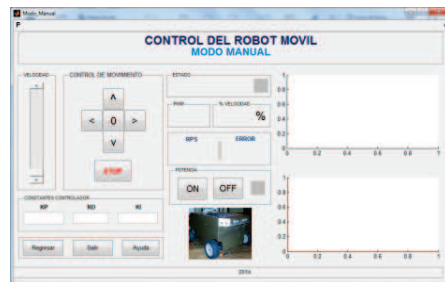


Figura 10 HMI Modo Manual



Figura 8 HMI para Adquisición de Datos

La Figura 11 muestra el funcionamiento del prototipo mediante un Modo Automático, donde se encuentra programado las trayectorias que se realizaran de forma autónoma; y donde se muestra las variables controladas y manipuladas del sistema.

Se realiza un controlador PID para la velocidad con las siguientes contantes (Tabla 1):

Tabla 1 Constantes para el controlador PID

CONSTANTES DEL CONTROLADOR	
KP	0.28
KI	0.004
KD	0.007

Por lo que se obtiene la función de transferencia del controlador (Figura 9):



Figura 11 HMI Modo Automático

3. VALIDACIÓN

Mediante un análisis del modelo cinemático del prototipo se tiene los ángulos de giro cuando el prototipo gira sus llantas a la derecha y a la izquierda (Tabla 2). Con lo cual se denota que existe una diferencia entre los ángulos de giro igual

a 2.51° , debido a errores humanos en la manufactura de las piezas mecánicas.

Tabla 2 Ángulos de giro del prototipo

ÁNGULO DE GIRO PROMEDIO	VALOR
Derecha	20.28°
Izquierda	17.77°

Se sometió al prototipo a varias pruebas en los dos modos de funcionamiento, de las cuales se obtuvo el siguiente resultado en el seguimiento del controlador, en el Modo Manual (Figura 12):

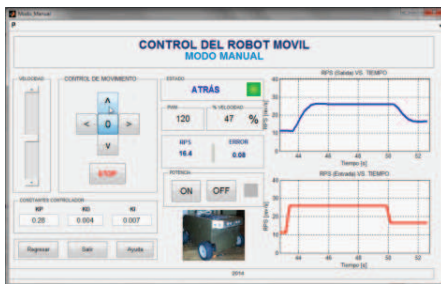


Figura 12 Seguimiento del Controlador

De igual manera, mediante pruebas en el Modo Automático se obtuvo los siguientes errores para cada trayectoria (Tabla 3):

Tabla 3 Errores obtenidos para cada trayectoria

TRAYECTORIA	ERROR
Circunferencia	2.07%
Parábola	2.53%
Hélice	2.53%

De varias pruebas realizadas en el Modo Automático con cada una de las trayectorias, se depuro los errores mediante la re-programación tanto en Matlab y Arduino para obtener el trazado de las trayectorias de la siguiente manera:

- Trazado de la trayectoria “Circunferencia”:

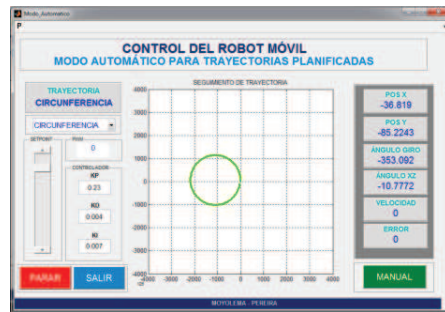


Figura 13 Trazado de la Circunferencia

- Trazado de la trayectoria “Parábola”:

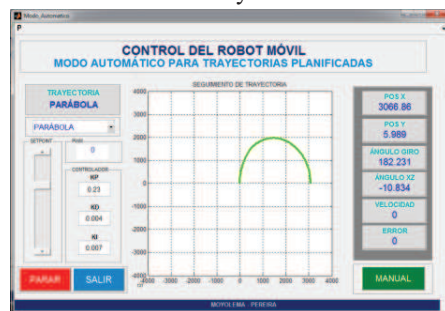


Figura 14 Trazado de la Parábola

- Trazado de la trayectoria “Hélice”:

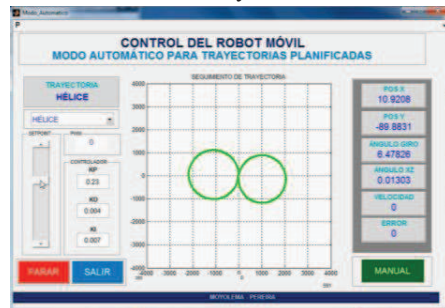


Figura 15 Trazado de la Hélice

4. CONCLUSIONES

- El prototipo de robot móvil ROMOV V1.0 diseñado y construido es capaz de soportar la carga de 10 kilogramos extra al peso propio del prototipo, gracias al correcto diseño y dimensionamiento de los ejes, plataforma, soportes, eje de tracción y mecanismo Ackerman de la dirección.

- A partir del modelado del comportamiento cinemático, es posible generar los algoritmos de programación necesarios para el trazado de trayectorias como circunferencia, parábola y hélice dentro del software Matlab, mediante una interfaz gráfica HMI.
- Los algoritmos de control, implementados para el trazado de las trayectorias como circunferencia, parábola y hélice, satisfacen la condición de odometría, debido a que en función de las señales de los sensores internos se puede monitorear el cumplimiento de las trayectorias implementadas mediante un HMI de monitoreo y control.
- Las trayectorias definidas tales como circunferencia, parábola y hélice son trazadas sin inconvenientes por el prototipo, a una velocidad máxima controlada de 12.5 metros por minuto, con errores de 2.07%, 2.53% y 2.53% para diferentes velocidades seleccionadas.
- Las interfaces gráficas (HMI), diseñadas tanto para la obtención de la planta del prototipo, el control manual y el control automático del robot, coinciden en la facilidad de uso de las mismas para el usuario; así como también entregan información dinámica del estado del robot (velocidad, posición, ángulo de giro, ángulo de inclinación de la superficie y error de la acción de control) y la trayectoria que se encuentre trazando.
- La construcción e implementación del robot móvil, con tracción posterior y dirección Ackerman, sirve como un prototipo didáctico para pruebas dentro del Laboratorio de Robótica Industrial del DECEM de la Universidad de las Fuerzas Armadas, tanto para aplicaciones de robótica móvil como para poder experimentar didácticamente las distintas áreas que conforman la Mecatrónica; esto

debido a las diferentes pruebas experimentales realizadas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMAYA, G. A. (2010). Ambiente Multi-Agente Robótico para la Navegación Colaborativa en Escenarios Estructurados. Medellín.

CABRERA, A. B. (2011). Evolución de la robótica en el mundo. México DF.

MONTAÑO, J. J. (2008). Movil Escalador Autónomo. Puebla.

NORTON, R. (2011). Diseño de Máquinas. Pearson.

OLLERO, A. (2001). Robótica Manipuladores y robots móviles. Barcelona: MARCOMBO S.A.

VARGAS, J. E. (2007). Metodología en Proyectos Mecatrónicos Industriales. Paper, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Querétaro.