



“ Simulación y control ” el secreto detrás de los robots seguidores de línea destreza

"Simulation and control " the secret behind dexterity line-following robots

Carlos Damián Asencio Suarez^{1*}

¹Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones. Carrera de Electrónica y Automatización

La Libertad-Santa Elena. Ecuador

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8502-724X>

Correo: carlosasenciosuarez@gmail.com

*Autor para correspondencia: carlosasenciosuarez@gmail.com

Resumen

En el mundo de la robótica, existen varios tipos de robots que realizan diferentes funciones y han demostrado que pueden imitar y superar las capacidades humanas, el robot seguidor de línea con destreza es un ejemplo claro de cómo actualmente la tecnología va avanzando, al punto de que un robot es capaz de seguir con precisión una ruta enfrentándose a varios desafíos en su recorrido como las curvas o perturbaciones que se le presentan en el instante, permitiéndole tener un desplazamiento rápido y eficiente a lo largo de su recorrido. El propósito de este artículo es demostrar como un robot puede tener todas estas capacidades tomando en cuenta cada uno de sus aspectos importantes como el diseño, su configuración mecánica y el control que se le aplica, con la finalidad de conocer como el robot puede recorrer con destreza y agilidad, se analizara la elección de sus componentes como los motores, sensores, chasis etc. Las ecuaciones matemáticas que se presentaran tienen un papel muy importante en el movimiento del robot ya que permiten desarrollar el controlador que garantiza un seguimiento de línea preciso. El diseño de un robot seguidor de línea con destreza se destaca por su habilidad para recorrer o seguir una línea trazada en una pista con precisión, a medida que se profundice cada aspecto de este robot se lograra entender el funcionamiento de los algoritmos de control que determinan la velocidad y la dirección del movimiento para lograr optimizar su rendimiento y la eficiencia que tiene para recorrer un circuito preestablecido con destreza y agilidad, evitando oscilaciones bruscas y ajustándose a curvas y desvíos. Este tipo de robots fusiona la percepción inteligente con el control efectivo demostrando el poder de la robótica en la consecución de movimientos controlados y adaptativos dando como resultado una maquina capaz de recorrer con habilidad y agilidad las rutas definidas.

Palabras claves: robótica; ecuaciones matemáticas, control, precisión

Abstract

In the world of robotics, there are several types of robots that perform different functions and have shown that they can mimic and surpass human capabilities, the line follower robot with dexterity is a clear example of how technology is currently advancing, to the point that a robot is able to accurately



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons de tipo (CC-BY-NC-SA).

E-mail: editorial@ecosur.gopsapp.com



follow a route facing several challenges in its path as curves or disturbances that are presented at the time, allowing it to have a fast and efficient displacement along its route. The purpose of this article is to demonstrate how a robot can have all these capabilities taking into account each of its important aspects such as design, mechanical configuration and control that is applied, in order to know how the robot can travel with dexterity and agility, the choice of its components such as motors, sensors, chassis etc. will be analyzed. The mathematical equations that will be presented have a very important role in the movement of the robot since they allow the development of the controller that guarantees an accurate line following. The design of a line-following robot with dexterity stands out for its ability to travel or follow a line drawn on a track with precision. As each aspect of this robot is studied in more depth, the operation of the control algorithms that determine the speed and direction of movement will be understood in order to optimize its performance and efficiency to travel a pre-established circuit with dexterity and agility, avoiding abrupt oscillations and adjusting to curves and deviations. This type of robot fuses intelligent perception with effective control demonstrating the power of robotics in achieving controlled and adaptive movements resulting in a machine capable of traversing defined routes with skill and agility.

Keywords: robotics; mathematical equation; control, precision

I. Introducción

Un robot seguidor de línea destreza es un robot de tipo diferencial completamente autónomo, tiene como propósito seguir una línea con bifurcaciones desde un punto inicial hasta un punto final en el menor tiempo posible, la línea generalmente es de color negro y el fondo es de color blanco. Tradicionalmente este tipo de prototipo robótico usa una hielera de al menos dos o más sensores reflectivos o infrarrojos que por lo general se los instala en el frente del chasis y paralelamente al piso permitiendo que el robot móvil siga la línea [1].

El robot móvil seguidor de línea destreza tiene como diseño cinemático más común y eficiente el de arquitectura o tracción diferencial, esta configuración es la más frecuente en robots móviles para movilizarse dentro de interiores, en este prototipo se emplean dos ruedas con sus respectivos motores de forma paralela entre si y una rueda de apoyo sin tracción como tercer punto de apoyo ubicada en el centro del lado opuesto del lugar donde se encuentran ubicadas las ruedas [2].

La capacidad de desplazamiento y rotación de este tipo de robots de locomoción diferencial se logra controlando de forma independiente el movimiento de cada una de las ruedas modificando la velocidad, esto permite tener ventajas en cuanto a su movilidad como por ejemplo les permite girar sobre su propio eje, así como también le permite realizar varios tipos de giros para una mejor respuesta durante la trayectoria del robot móvil [3].

La estructura mecánica, el sistema electrónico y de control para la fabricación del robot móvil seguidor de línea destreza generalmente es libre de imaginación no tiene ninguna especificación ha excepción de que se trate de alguna competencia que tenga ciertas normas o reglas establecidas. Este tipo de robots participa en varios tipos de concursos de robótica que se realizan cada año normalmente son organizados por instituciones de educación de orden superior en todo el Ecuador y en algunos torneos a nivel mundial. Estos eventos promueven el desarrollo de la robótica competitiva e innovadora, especialmente en la categoría de seguidor de línea con destreza.

En la configuración de un robot seguidor de línea un controlador PID en primer lugar determina su posición actual, posteriormente calcula su error, y de esta manera da un orden a los micro motores de





realizar un giro dependiendo de su error, en consecuencia, si su error es alto dará un giro grande y si su error es bajo dará un giro pequeño, la magnitud del giro tomado será proporcional al error, después de esto, si el error no disminuye o lo hace lentamente el controlador aumenta la magnitud del giro conforme pase el tiempo hasta que el robot se centre sobre la línea [4].

Un controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) es una técnica comúnmente empleada para el control de robots seguidores de línea con destreza, este controlador es capaz de ajustar la velocidad y dirección del robot en función del error, la integral del error y la derivada del error entre la posición deseada y la posición actual del robot

II. Materiales y métodos

Para realizar la implementación de un robot seguidor de línea con destreza se deben tener en cuenta varios aspectos importantes tanto en la parte del hardware y software, ya que involucra la parte mecánica, electrónica y la programación para lograr una mejor optimización y el robot pueda seguir su recorrido sin importar los desafíos que se le presenten. Primero se presentará la parte mecánica del robot seguidor de línea con destreza, en el cual se analizarán cada una de sus características necesarias para que el robot funcione correctamente.

Diseño mecánico del robot

Motores: encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS (MOTORES, MOTOR REDUCTORES)
Modelo	HS-311
Marca	HOTEEC
Voltaje	4.8v y 9v
Torque	3.7 kg-cm
Velocidad	0.15 seg - 60 seg
Peso	43 gr
Dimensiones	40x20x37

Chasis: Es la parte del robot que debe soportar todos los elementos, comúnmente el chasis debe ser liviano y se los puede fabricar con plástico, aluminio, acrílico, etc.

Sensores: Son muy importantes ya que por medio de estos se puede controlar las acciones de los actuadores, Los sensores usados en este tipo de robots son los ópticos refractivos de corto alcance basados en una foto diodo emisor de luz y una foto transistor receptor.

Características	CNY70	QRD 1114	TCRT5000
Distancia reflectora	0 mm- 0.5 mm	0.8 mm	25 mm
Voltaje alimentación	5v	5v	5v

Control del robot

Con la información de los sensores infrarrojos se realiza un control PD, que ayuda a corregir los errores que pueden existir en el entorno, es por eso muy importante realizar diferentes pruebas hasta que el





robot funcione adecuadamente.

Ecuaciones diferenciales

La dinámica de un robot seguidor de línea se puede modelar mediante una ecuación diferencial que relaciona su velocidad angular (w) y velocidad lineal (v). Esta ecuación diferencial depende de parámetros como la masa del robot (M), coeficiente de fricción (B), momento de inercia (I), fuerza aplicada a las ruedas (F) y distancia entre ruedas (L). Manipulando esta ecuación diferencial es posible diseñar controladores que permitan al robot seguir la línea negra sobre la pista de madera estable y óptima

$$m * a = F_{total}$$

Donde:

m	La masa del robot
a	La aceleración del robot
F_{total}	La fuerza total que actúa sobre el robot, incluyendo la fuerza de tracción de las ruedas, la fuerza de inercia, fricción, etc.

Ecuaciones que describen su movimiento

Ecuaciones de movimiento en el eje X.

$$m * a_x = F_{traccion_x} - F_{friccion_x} - F_{inercia_x} - F_{externa_x}$$

Donde:

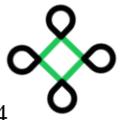
m	La masa del robot
a_x	La aceleración del robot en el eje X
$F_{traccion_x}$	La fuerza de tracción ejercida por las ruedas en el eje X
$F_{friccion_x}$	La fuerza de fricción que actúa en el eje X, considerando la resistencia del suelo u otras fuentes de fricción
$F_{inercia_x}$	La fuerza de inercia que surge debido a la aceleración del robot en el eje X
$F_{externa_x}$	Representa cualquier otra fuerza externa que se aplique al robot en el eje X

La ecuación diferencial del robot en el eje (y), solo debemos expresar la aceleración, el movimiento con respecto al tiempo

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = F_{traccion_x} - F_{friccion_x} - F_{inercia_x} - F_{externa_x}$$

Para hacer la transformada de Laplace, consideramos que representa la posición con respecto al eje X quedando





$$Ms^2y(s) = F_{traccion_{x(s)}} - F_{friccion_{x(s)}} - F_{ineracia_{x(s)}} - F_{externa_{x(s)}}$$

Esta ecuación representa la relación entre la masa, la posición y las fuerzas aplicadas del objeto en la dirección X en el dominio de Laplace.

Ecuaciones de movimiento en el eje Y.

$$m * a_y = F_{traccion_y} - F_{friccion_y} - F_{ineracia_y} - F_{externa_y}$$

La ecuación diferencial del robot en el eje (y), solo debemos expresar la aceleración, el movimiento con respecto al tiempo

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = F_{traccion_y} - F_{friccion_y} - F_{ineracia_y} - F_{externa_y}$$

Para hacer la transformada de Laplace, consideramos que represente la posición con respecto al eje Y quedando

$$Ms^2y(s) = F_{traccion_{y(s)}} - F_{friccion_{y(s)}} - F_{ineracia_{y(s)}} - F_{externa_{y(s)}}$$

Esta ecuación representa la relación entre la masa, la posición y las fuerzas aplicadas del objeto en la dirección Y en el dominio de Laplace.

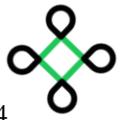
Donde:

m	La masa del robot
a_y	La aceleración del robot en el eje X
$F_{traccion_y}$	La fuerza de tracción ejercida por las ruedas en el eje X
$F_{friccion_y}$	La fuerza de fricción que actúa en el eje X, considerando la resistencia del suelo u otras fuentes de fricción
$F_{ineracia_y}$	La fuerza de inercia que surge debido a la aceleración del robot en el eje X
$F_{externa_y}$	Representa cualquier otra fuerza externa que se aplique al robot en el eje X

Ecuación de voltaje del motor:

El parámetro de salida proporcionales dependerá del fabricante pertenecen a la salida de transformar engranes, se reducirá el momento inerte del objeto, estos serían las ecuaciones diferenciales de la parte eléctrica por la ley de voltajes.





$$V = L * \frac{di}{dt} + R * i + K * \omega$$

Transformada de Laplace en un motor Ac, podemos pasar la ecuación en dominio de Laplace donde:

$$L(V) = L \left(L * \frac{di}{dt} + R * i + K * \omega \right)$$

Donde L denota la transformada de Laplace:

Donde

$$V(S) = L(S * I(S) - I(0)) + R * i(S) + K * \omega(S)$$

Entonces la transformada de Laplace:

$$V(S) = L * S * I(S) - I * I(0) + R * i(S) + K * \omega(S)$$

Donde:

V	El voltaje aplicado al robot
L	La inductancia del motor
$\frac{di}{dt}$	La derivada temporal de la corriente del motor
R	La resistencia del motor
i	La corriente del motor
K	La constante de torque electromagnético del motor
ω	La velocidad angular del motor

Ecuación de torque del motor

$$T_m = K_t * i$$

Donde:

T_m	Es el torque desarrollado por el motor
K_t	Es la constante de torque del motor

La relación con el motor y la corriente i puede considerarse como el flujo magnético ϕ con respecto al tiempo

$$T_m = K_t * \frac{d\phi}{dt}$$

Entonces la transformada de Laplace

$$T_m(S) = K_t * s * \phi(s)$$

Ecuación de sensor infrarrojo:

El modelo matemático de un sensor infrarrojo depende del tipo específico de sensores y de la función que se desea modelar, en este caso para un seguidor de línea utilizamos una variable X, como la distancia.





Podemos modelar la salida del sensor como una función exponencial de la variable X de la siguiente forma:

$$y = Ae^{(-B*X)} + C$$

Donde:

y	Es la salida del sensor
A, B y C	Son constantes de ajustes que depende del sensor específico y de las características y tiene una señal de retorno
X	Es la variable controlada
e	Es la variable controlada

Ecuación diferencial del sensor infrarrojo en función del tiempo. Primero expresamos la función en términos de X(t):

$$y = Ae^{(-B*X)} + C$$

Luego, aplicamos la regla de la cadena:

$$\frac{Dy}{dt} = \frac{Dy}{dX} * \frac{DX}{dX}$$

Calculamos la derivada parcial

$$\frac{Dy}{dt} = -A * B * e^{(-B*X)}$$

Transformada de Laplace

$$sY(s) = -A * B * \left(\frac{1}{s + B}\right) + y(0)$$

Transformada de Laplace de las ecuaciones de movimiento en el eje X:

$$m * s^2 * X_x(s) = F_{traccion_x}(s) - F_{friccion_x}(s) - F_{ineracia_x}(s) - F_{externa_x}(s)$$

Donde:

$X_x(s)$	La transformada de Laplace de la posición del robot en el eje X.
----------	--

Transformada de Laplace de las ecuaciones de movimiento en el eje Y:

$$m * s^2 * X_y(s) = F_{traccion_y}(s) - F_{friccion_y}(s) - F_{ineracia_y}(s) - F_{externa_y}(s)$$

Donde:





$X_y(s)$	La transformada de Laplace de la posición del robot en el eje Y..
----------	---

Transformada de Laplace de la ecuación de fricción estática

$F_{friccion\ estatica}(s)$	La transformada de Laplace de la fuerza de fricción estática
$N(s)$	La transformada de Laplace de la fuerza normal

Inversa de Laplace de las ecuaciones de movimiento en el eje X:

$$m * (s^2 * X_x(s) - s * X_x(0) - X'_x(0)) \\ = F_{traccion_x}(s) - F_{friccion_x}(s) - F_{inerxia_x}(s) - F_{externa_x}(s)$$

Aplicando las técnicas de inversa de Laplace, obtenemos:

$$m * \left(\frac{d^2x}{dt^2} * f_x(t) - \frac{d}{dt} * f_x(0) - f'_x(0) \right) \\ = L^{-1}[F_{traccion_x}(s)] - L^{-1}[F_{friccion_x}(s)] - L^{-1}[F_{inerxia_x}(s)] - L^{-1}[F_{externa_x}(s)]$$

Inversa de Laplace de las ecuaciones de movimiento en el eje Y:

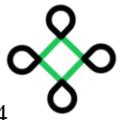
$$m * (s^2 * X_y(s) - s * x_{y(0)} - x'_{y(0)}) = \dots \\ \dots F_{traccion_y}(s) - F_{friccion_y}(s) - F_{inerxia_y}(s) - F_{externa_y}(s)$$

Aplicando las técnicas de inversa de Laplace, obtenemos:

$$m * \left(\frac{d^2x}{dt^2} * f_y(t) - \frac{d}{dt} * f_y(0) - f'_y(0) \right) \\ = L^{-1}[F_{traccion_y}(s)] - L^{-1}[F_{friccion_y}(s)] - L^{-1}[F_{inerxia_y}(s)] - L^{-1}[F_{externa_y}(s)]$$

Inversa de Laplace del comportamiento del Motor DC:





$$V(s) = L * (s * I(s) - i(0)) + R * I(s) + K * \omega(s)$$

Aplicando las técnicas de inversa de Laplace, obtenemos:

$$v(t) = L * \left(\frac{d}{dt} * i(t) - i(0) \right) + R * i(t) + K * \omega(t)$$

Inversa de Laplace de la ecuación de torque del Motor DC

$$T_m(s) = K_t * I(s)$$

Aplicando las técnicas de inversa de Laplace, obtenemos:

$$t_m(t) = K_t * i(t)$$

Inversa de Laplace de la ecuación de fricción estática:

$$F_{friccion_{estatica}}(s) = \mu_{estatico} * N(s)$$

Aplicando las técnicas de inversa de Laplace, obtenemos

$$F_{friccion_{estatica}}(t) = \mu_{estatico} * n(t)$$

Modelado mecánico del robot

El robot seguidor de línea destreza que se implementa es de tipo diferencial y sus parámetros son los siguientes:

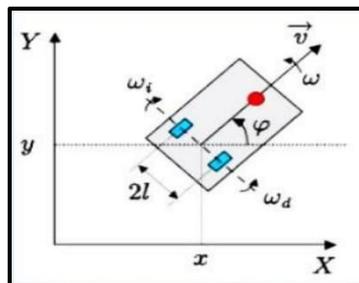


Figura 1. Parámetros físicos del robot





(x, y)	Ubicación del eje del robot
ϕ	Angulo de rotación sobre su propio eje
w	Velocidad de rotación
W_i, W_d	Velocidad de giro de las llantas
$2L$	Longitud entre ruedas
V	Velocidad de avance del robot
r	Radio de las llantas

Velocidad lineal de avance de la llanta derecha

$$V_d = r * W_d$$

Velocidad lineal de avance de la llanta izquierda

$$V_i = r * W_i$$

Velocidad total instantánea de avance V del robot

$$V = V_d + \frac{V_i}{2} = \frac{r}{2} * (W_d + W_i)$$

Este robot debe tener una constante que en este caso es la constante de voltaje que indicara que este moviéndose en forma lineal y generando un valor constante

Posición de las llantas

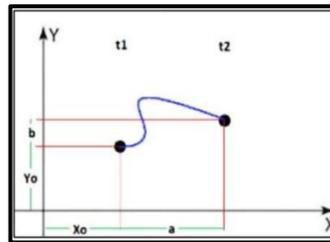


Figura 2. Posición de las llantas en el robot

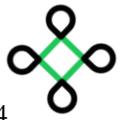
$$X_{pos} = X_o + a$$

$$Y_{pos} = Y_o + b$$

$$a = d * \cos(\phi)$$

$$b = d * \sin(\phi)$$





$$\text{velocidad } V = \frac{\text{distancia } d}{\text{tiempo } t}$$

$$V = Vd + \frac{Vi}{2}$$

Entonces para obtener el desplazamiento con respecto a la (t) utilizamos la siguiente relación

$$d = Vd + \left(\frac{Vi}{2} * (t)\right)$$

$$a = Vd + \frac{Vi}{2} * t * \cos(\phi)$$

$$b = Vd + \frac{Vi}{2} * t * \sin(\phi)$$

Entonces para obtener la función en forma real

$$X_{pos} = X_o + a$$

$$Y_{pos} = Y_o + b$$

Entonces obtenemos:

$$a = Vd + Vi$$

$$2 * t * \cos(\phi)$$

$$b = Vd + Vi$$

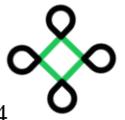
$$2 * t * \sin(\phi)$$

$$X_{pos} = X_o + \left(Vd + \frac{Vi}{2}\right) * t * \cos(\phi)$$

$$Y_{pos} = \frac{Y_o + Vd + Vi}{2} * t * \sin(\phi)$$

Entonces obtenemos 2 entradas con respecto al tiempo en X y Y





$$X = X_0 + r(Wd + Wi)$$

$$2 * t * \cos(\phi)$$

$$Y = Y_0 + r(Wd + Wi)$$

$$2 * t * \sin(\phi)$$

Por lo tanto, el movimiento

$$X = \frac{r(Wd + WI)}{2} * \cos(\phi)$$

$$Y = \frac{r(Wd + WI)}{2} * \sin(\phi)$$

Para el sistema de control de lazo cerrado

$$W = Vr - \frac{Vi}{2L} = \frac{r(Wd - Wi)}{2L}$$

$$\phi = \phi_0 + W * t$$

$$\phi = \phi_0 + \frac{r(Wd - Wi)}{2L} * t$$

Finalmente tenemos la configuración de la cinemática del robot

$$X = \frac{r(Wd + WI)}{2} * \cos(\phi)$$

$$Y = \frac{r(Wd + WI)}{2} * \sin(\phi)$$

$$\phi = \frac{r(Wd + WI)}{2L}$$

III. Resultados

Se realizaron varias simulaciones para el robot seguidor de línea destreza utilizando Matlab-Simulink, en las cuales se pueden observar las diferentes características que se aplican para el control del robot como la velocidad, los movimientos y su orientación, además se realizaron pruebas para ver la





desviación que tiene el robot y el tiempo que demora en llegar a su destino final.

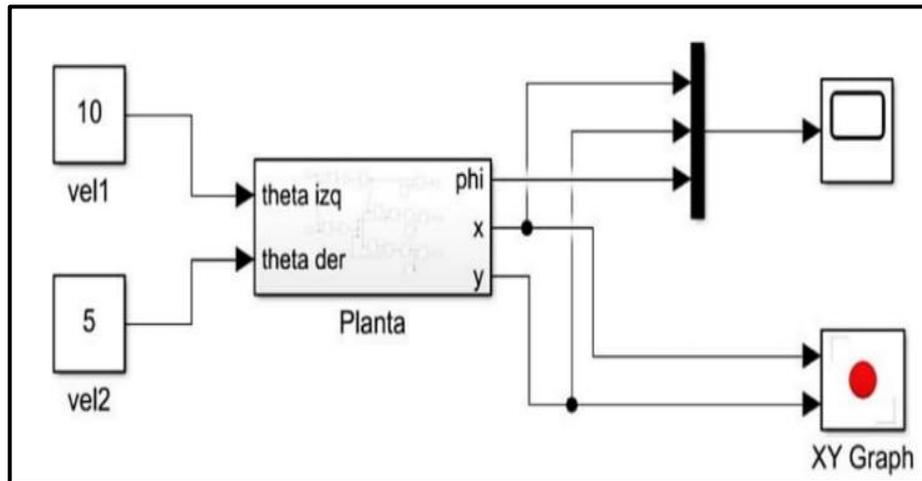


Figura 3. Diagrama del robot en Simulink

Simulación dinámica de un robot seguidor de línea destreza

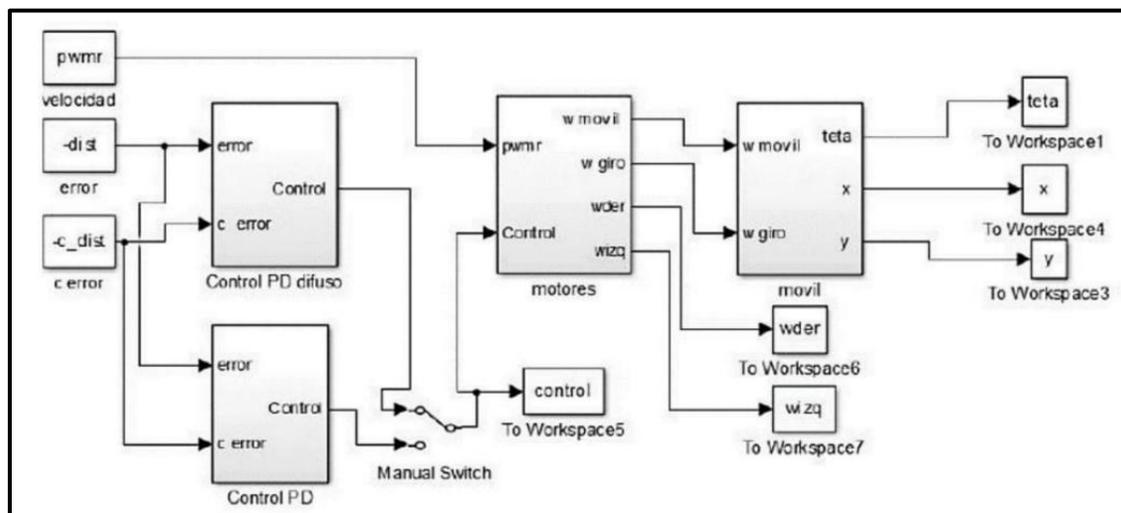


Figura 4. Error y PD





Diagrama del funcionamiento del robot seguidor de línea que es controlado por un diferenciador.

Configuración para controlar los motores de izquierda y derecha

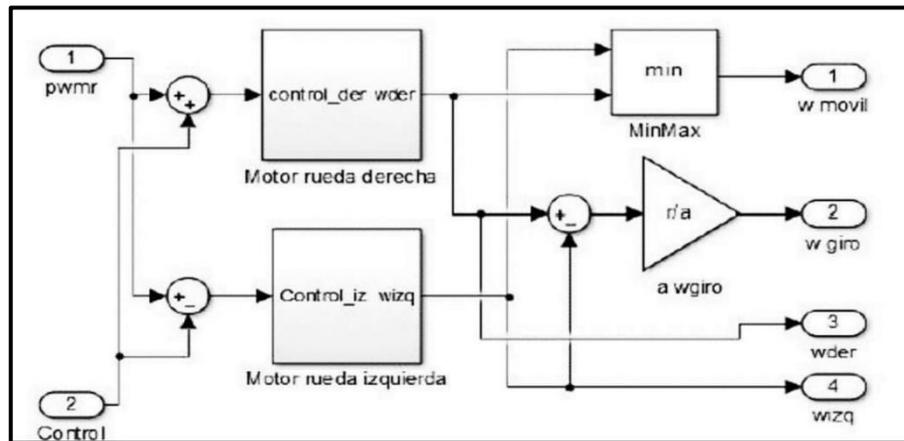


Figura 5. Control de los motores

Aplicamos la configuración para un correcto uso de las ruedas

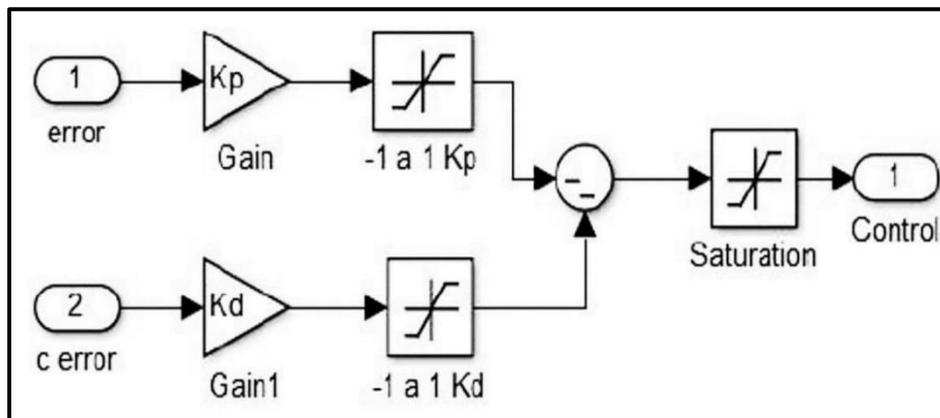


Figura 6. Valores de KP Y KD



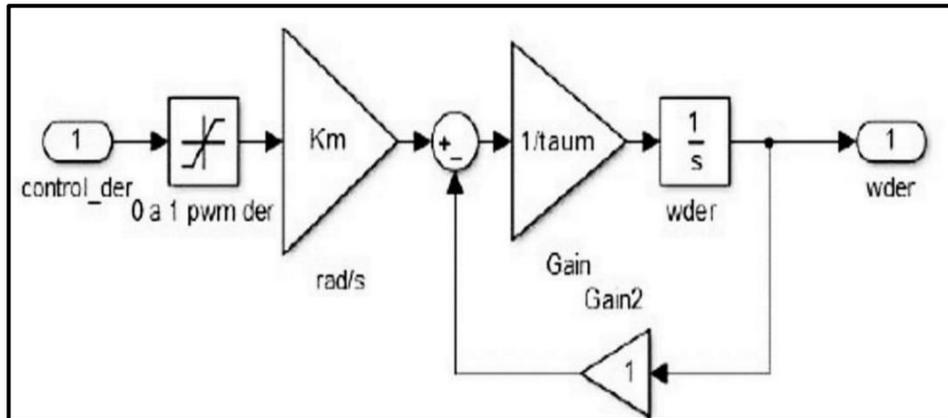


Figura 7. Control de motor derecho

Este es el controlador de clase PD, el cual sirve para controlar los motores previamente configurados para su uso. Suponiendo que tenemos un motor con una velocidad de prueba de 10 y una velocidad de 5, el robot se iría de forma lineal hacia la derecha.

Funcionamiento interno de este movimiento aplicados a el movimiento del motor

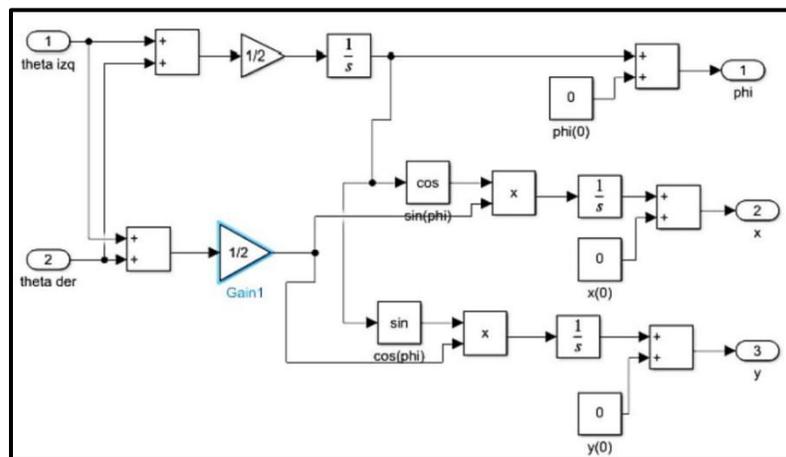


Figura 8. Velocidad angular del motor derecho e izquierdo

Este valor es asumiendo el movimiento de los motores, este movimiento favorece para poder hacer el seguimiento de línea destreza, las cuales se podrán ver a continuación en los resultados de las simulaciones que se aplicaron los diferentes parámetros.





Simulación de la trayectoria y pruebas que se realizaron

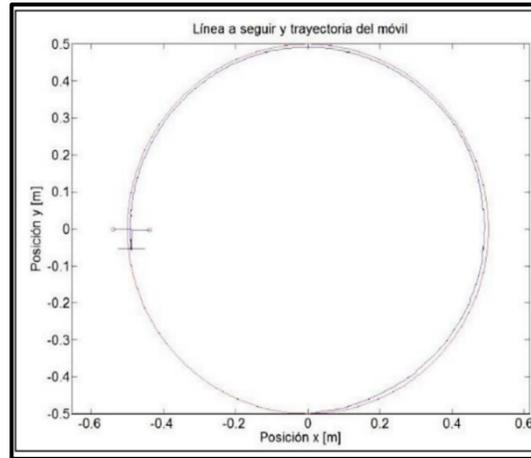


Figura 9. Grafica del recorrido del robot

En esta grafica se puede observar la trayectoria que sigue el robot hasta terminar la pista.

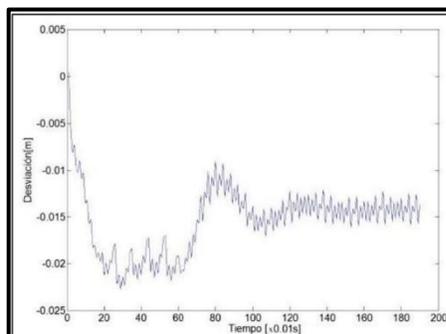


Figura 10. Tiempo recorrido del robot

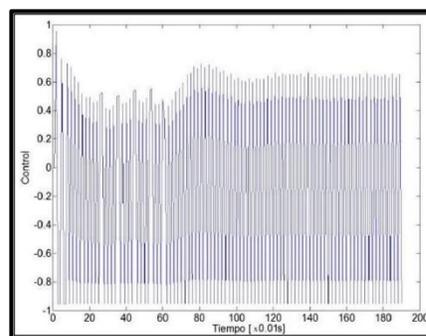


Figura 11. Tiempo tardado del robot linealmente

En estas simulaciones se puede visualizar el tiempo que se tarda el robot en seguir la trayectoria lineal en tiempo real, para el correcto uso de los sensores infrarrojos que se implementaron.



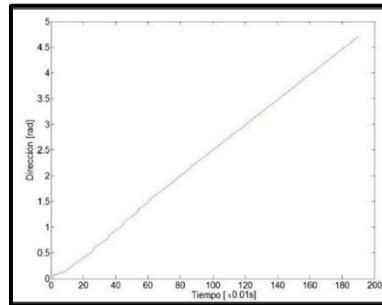


Figura 12. Desviación del robot

Esta grafica muestra la desviación que tiene el robot al momento de realizar el seguimiento de la pista, recordando que este robot está elaborado para seguir una pista en los circuitos continuos o no continuos.

IV. Conclusiones

El control PD que se aplico fue de gran ayuda, ya que permitió al robot seguir su trayectoria lineal de manera exitosa realizando varios ajustes en su velocidad y dirección de los motores, esto es muy eficiente ya que el robot puede seguir la línea con destreza en una forma más suave y constante, además este controlador permitió reducir un poco las oscilaciones al momento de realizar giros en su recorrido reduciendo los movimientos bruscos con la finalidad de que el robot pueda optimizar el consumo de su batería.

Las simulaciones que se realizaron son muy importantes ya que permitieron evaluar el comportamiento del robot en varias trayectorias y se podían apreciar las desviaciones que se presentaban en ciertos tramos del recorrido y esa información permitía corregir los errores que se presentaban en el momento. Con el fin de no cometer tantos errores al implementarlo de forma física el robot, las simulaciones también permitieron conocer el tiempo en que se demora el robot en seguir su trayectoria.

La elección de los componentes como las llantas, sensores, motores entre otros elementos son muy fundamentales ya que de esto va depender la característica de nuestro robot seguidor de línea con destreza al momento de realizar su recorrido y el tipo de respuesta que va tener al momento de que se le presenten perturbaciones. Para concluir si se implementa un buen control y se realizan varias simulaciones se logrará tener un rendimiento eficiente en el robot.

Referencias

- [1] C. D. ENDARA SUMBA y E. J. MAIGUA YÁNEZ, «DESARROLLO DE UN ALGORITMO DE TRAYECTORIA PARA UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA DESTREZA DE COMPETENCIA MEDIANTE VISIÓN E INTELIGENCIA ARTIFICIAL,» Marzo 2021. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19880>.
- [2] A. O. Baturone, «Manipuladores y Robots Móviles,» 2001. [En línea]. Available: <http://el.uv/doc/robotica/Ollero%20Baturone,%20An%C3%ADbal.%202001.%20Rob%C3%B3tica,%20manipuladores%20y%20robots%20m%C3%B3viles.pdf>.
- [3] F. Reyes Cortès, Robótica Control De Robots Manipuladores, ALFAOMEGA, 2011.





- [4] A. F. CAIZA MULLO y A. A. MORALES RONQUILLO, «IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA PARA LA COMPARACIÓN DE UN CONTROLADOR DE LÓGICA DIFUSA Y UN CONTROLADOR PID»,» 2021. [En línea]. Available: <http://dspace.espoeh.edu.ec/handle/123456789/14918>.
- [5] L. . A. ALDAZ ANDRADE y R. D. ORELLANA TORRES, «DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL DE COMPETENCIA»,» Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14538>.
- [6] . B. Balseca Dahua , J. M. Jacome Corrales y C. A. Orozco Cazco, «Efectividad de Controladores PD, PI, PID en Seguidor de Línea Turbinado»,» 20 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4286>.
- [7] S. Turiján Altamirano, S. Torres Méndez, J. Mendoza Vázquez y V. Ramírez Palacios, «Modelado de robot móvil seguidor de línea con tracción diferencial»,» 28 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://progmata.uaem.mx/progmata/index.php/progmata/article/view/2020-12-1-03/2020-12-1-03>.
- [8] M. d. C. Castañeda Barbarán y P. d. R. Chávarry Ysla, «Implementación del Algoritmo de Control Robótico PID Aplicado en la enseñanza de Robótica en los Niños»,» 17 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/1077/918>.
- [9] M. Carrillo Romero, J. Cardona Soto, G. Arvizo Gutiérrez y F. Rodríguez Rico, «Sistema de control y arquitectura de un robot seguidor de línea»,» 23 Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/1570>.
- [10] D. D. Bósquez Granja y D. M. Martínez Rodríguez, «Optimización de algoritmos para seguidor de línea utilizando técnicas de control PID con el robot Pololu 3pi e incorporación de control inalámbrico por radio frecuencia»,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/45487>.
- [11] D. . A. Romo Caicedo y L. E. Toca Trujillo, «Diseño e Implementación de dos Robots de Competencia (Seguidor de Línea Especialidad Velocista, Laberinto),»,» 19 Julio 2016. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16546>.

