

Sistema de control y arquitectura de un robot seguidor de línea

Mariano Carrillo Romero¹, Jorge Antonio Cardona Soto¹, Gabriel Axel Arvizo Gutiérrez¹,
Francisco Rodríguez Rico¹

¹Universidad Tecnológica de Chihuahua.

mcarrillo@utch.edu.mx

Resumen

En este trabajo se muestra una descripción de los componentes físicos y sistema de control que integran un robot seguidor de línea velocista, desarrollado en la Universidad Tecnológica de Chihuahua como resultado de los proyectos realizados por el club de mini robótica en las competencias nacionales e internacionales en las que ha participado desde el año 2013 hasta la actualidad y donde se han obtenido los primeros lugares a nivel mundial.

Dentro de los componentes físicos se describen los principales elementos que forman parte del robot seguidor de línea, así mismo se comprarán diferentes algoritmos empleados como sistemas de control en el robot, como es el caso del control por estados, control proporcional y el control PID.

Palabras Clave: Seguidor de línea, Robótica, Control PID, Arquitectura, Algoritmo, mini robótica

INTRODUCCIÓN

El club de Mini Robótica de la Universidad Tecnológica de Chihuahua UTCH inicio en el año 2010, actualmente el equipo de robótica de la UTCH, es reconocido como uno de los mejores a nivel nacional, puesto que desde el 2013 ha obtenido los primeros lugares en diversas competencias nacionales e internacionales. El objetivo del Club es involucrar a jóvenes estudiantes en una

actividad extraescolar que fortalezca todos los conocimientos adquiridos en clases, así como el desarrollo de diversas habilidades, capacidades, aptitudes y valores que fomenten un mejor desarrollo integral de los estudiantes.

El término mini robótica se refiere a la robótica aplicada a pequeña escala, con

los beneficios que esto implica, como un menor costo en la creación del robot, en cuanto al tamaño y peso representa una mejor manipulación y manejo más cómodo, pero con la tecnología y complejidad en cuanto a componentes y sistema de control que representa un robot de gran escala. Dentro de la mini robótica de competencia existen diferentes categorías en las que los estudiantes pueden participar y poner a prueba sus proyectos robóticos como lo son robots seguidores de línea, sumos, humanoides, de combate, entre otras.

Los robots seguidores de línea son máquinas móviles capaces de detectar y seguir una línea, la cual se encuentra ubicada en el suelo de una superficie. [7] Normalmente, el camino que el robot

debe de seguir es marcado por una línea negra sobre una superficie blanca, lo cual permite obtener un enorme contraste entre los dos colores. En algunos otros casos se pueden llegar a utilizar planos negros con líneas blancas, para que de igual manera se pueda detectar mediante la diferencia de contraste la trayectoria que el robot debe de seguir. Los seguidores de línea capturan la posición en la que se encuentran mediante sensores ópticos, para poder seguir la línea correctamente se utilizan diferentes tipos de algoritmos de control, que logren mantener el robot sobre la línea y recorrer la trayectoria completa en el menor tiempo posible.

En este trabajo se describen diversos algoritmos de control así como las partes principales que conforman un robot seguidor de línea como el empleado en las competencias de carácter mundial.

Arquitectura del Robot Seguidor de Línea

Las partes principales que conforman a un robot seguidor de línea son el chasis o carcasa, sensores, microcontrolador, motores, llantas y componentes

electrónicos, buscando tener como resultado un modelo que sea ligero, compacto y de bajo consumo de energía como el mostrado en la figura 1.



Figura 1. Robot Seguidor de Línea

Chasis

Existen gran variedad de materiales para el diseño de los robots seguidores de línea como lo son el plástico, aluminio, aleaciones de latón y en algunas ocasiones se puede llegar a utilizar madera. Es necesario poner atención a la resistencia, peso y capacidades mecánicas del material a utilizar. Para el diseño de este robot se utilizó como material la misma placa impresa de circuitos *PCB* la cual es de baquelita de 0.8 mm de

espesor, presenta una alta resistencia a la temperatura, al fuego, a la abrasión, agentes químicos, estabilidad dimensional, resistencia al choque y excelentes características eléctricas [3].

El diseño de la placa *PCB* mostrado en la figura 2 se realizó en el software *Altium Design*, incorporando en su mayoría componentes de montaje superficial, buscando de la mejor manera un acomodo óptimo y cuidando espesores adecuados para líneas de control y de potencia.

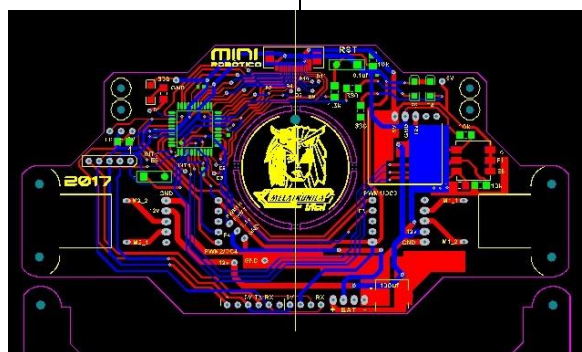


Figura 2. Diseño del *PCB* en *Altium Design*

La fabricación física del diseño *PCB* fue realizada por una empresa de origen Chino, que se especializa en estos trabajos con resultados terminales de tipo profesional.

Sensores

Este tipo de robot utiliza sensores ópticos *KTIR0711S* los cuales se encargan de detectar la cantidad de luz reflejada por

una superficie. El sensor está conformado por un LED emisor infrarrojo, el cual genera luz en el espectro infrarrojo, este emisor hace rebotar la señal sobre la superficie que se encuentra sensando mientras que un optotransistor es el encargado de recibir la luz reflejada. Este sensor posee un filtro de luz con la finalidad de evitar perturbaciones por luz ambiente. [1]

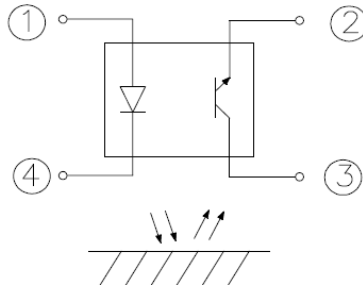


Figura 3. sensor infrarrojo KTIR0711S

La conexión de los sensores se realizó en circuitos de tres sensores obteniendo de cada uno su respectiva salida, como se muestra en la figura 4.

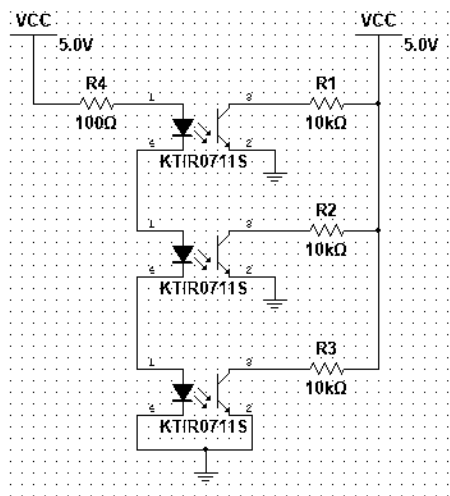


Figura 4. Circuito con 3 sensores en serie

Comparadores de Señal

Las señales que envían los sensores son análogas y estas deben de ser convertidas a su forma digital, para que el microcontrolador pueda hacer el manejo de las señales de una manera más sencilla. Es por ello que se utilizan comparadores de señal, capaces de convertir una señal análoga en una señal digital, en función de una señal de

referencia. El circuito integrado LM339 es un amplificador operacional cuádruple, el cual está específicamente diseñado para funcionar como un comparador de alta precisión, rápida respuesta y bajo consumo. [4]

El circuito utilizado es el mostrado en la figura 5, donde se toma como entrada la señal proveniente de los sensores y se compara con una referencia proveniente

de un potenciómetro, obteniendo como salida una señal digital la cual será

procesada por el microcontrolador.

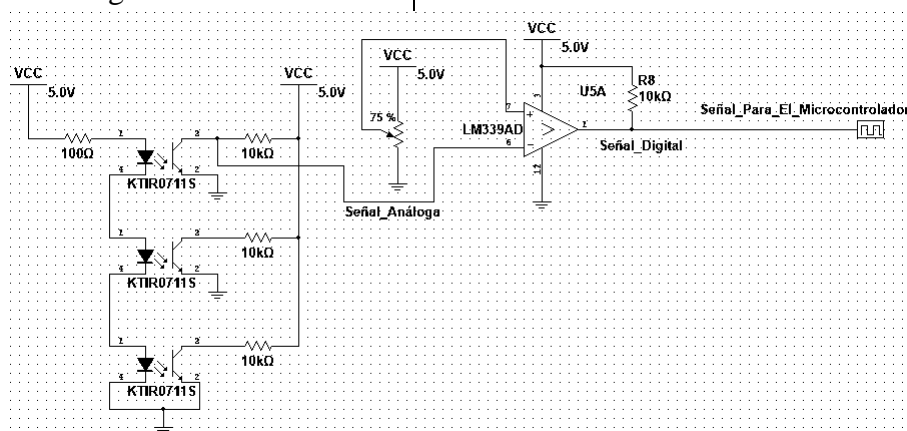


Figura 5. Conexión del Comparador LM339

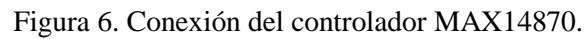
Microcontrolador

El dispositivo utilizado en el robot encargado de realizar todo el procesamiento es un microcontrolador dsPIC30F4011 de la marca Microchip, el cual es un controlador digital de señales de 16 bits, de alto desempeño, adecuado para aplicaciones de control de potencia, motores, y similares, además cuenta con un conjunto de instrucciones reducido (RISC). [2]

La velocidad de operación del microcontrolador está configurada para que trabaje a 117.92 MHz, es decir 29.5 MIPS (Millones de Instrucciones Por Segundo), esto le permite al microcontrolador ejecutar fácilmente todas las tareas de procesamiento, algoritmos de control y generación de señales en el robot.

Controlador de motores (Drivers)

El robot requiere de circuitería capaz de controlar y suministrar la potencia necesaria a los motores del robot, esa es la función principal de los Drivers, se encargan de recibir las señales de control provenientes del microcontrolador, entregando a su salida una señal equivalente pero de mayor potencia capaz de controlar al motor. El controlador utilizado para este robot seguidor de línea fue el MAX14870, ya que este nos permite trabajar con una tensión de funcionamiento de 4.5 V a 36 V y puede entregar una corriente continua de 1.7 A (2.5 A pico) a un solo motor DC.



La programación de los algoritmos de control empleados en el robot se llevaron a cabo en lenguaje C, empleando el compilador PIC C compiler para microcontroladores PICs. En esta sección

Este tipo de algoritmo es uno de los más básicos y sencillos con los cuales se puede comenzar a competir en las pruebas de los seguidores de línea, consiste en la creación de una máquina de estados o decisiones donde en función del estado de las señales digitales provenientes de los sensores, se generan las dos velocidades para los motores del robot, el diagrama de flujo se muestra en la figura 7.

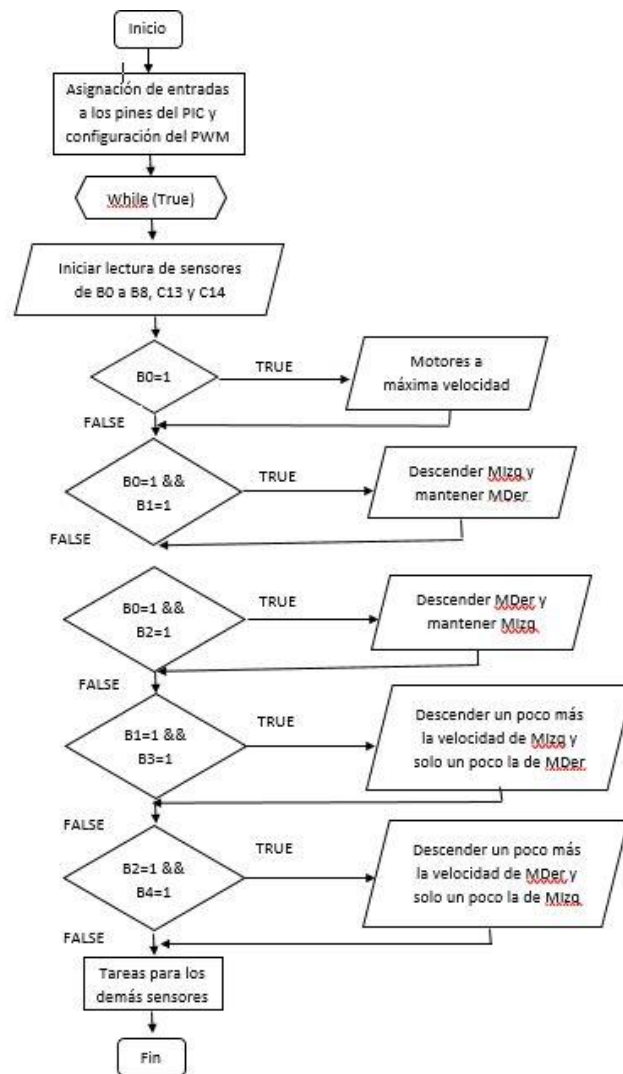


Figura 7. Diagrama de flujo con decisiones

Algoritmo de control proporcional.

Para la aplicación del control proporcional, se utilizó la ecuación 1

$$Proporcional = K_p * e(t)$$

Donde K_p es la constante proporcional que afecta directamente a una señal de error en un instante de tiempo, la señal de error queda definida como la diferencia

entre el valor de posición deseado o setpoint (SP) y el valor de posición medido para un instante de tiempo, para mantener el robot sobre la línea el valor deseado de posición determinado por los sensores es cuando la línea se encuentra sobre el sensor B0, de esta manera es posible generar un error distinto para los diferentes casos como se muestra en la tabla 1

Sensor	Error
B9	-10
B7 & B9	-9
B7	-8
B5 & B7	-7
B5	-6
B3 & B5	-5
B3	-4
B1 & B3	-3
B1	-2
B0 & B1	-1
B0	0
B0 & B2	1
B2	2
B2 & B4	3
B4	4
B4 & B6	5
B6	6
B6 & B8	7
B8	8
B8 & B10	9
B10	10

Tabla 1. Asignación de Errores

De esta manera y considerando los 11 sensores que posee el robot, es posible obtener valores de error en un rango de -10 a 10.

El valor de control que se obtiene por la ecuación 1, es el valor que se utilizará para generar las señales de PWM

destinadas a cada motor, el método para obtener el valor de K_p estará determinado mediante experimentación, iniciando con valores arbitrarios y observando el comportamiento del robot. El diagrama de flujo correspondiente a este método de control se presenta en la figura 8

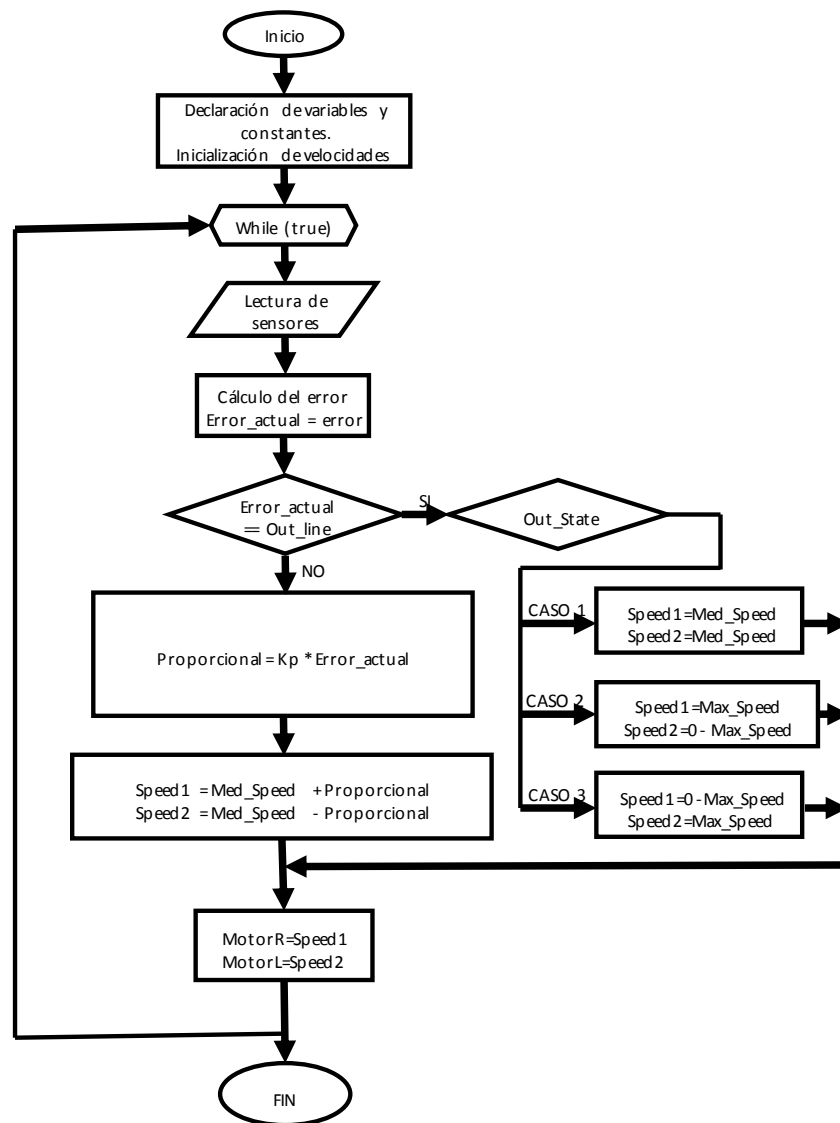


Figura 8. Diagrama de flujo Control Proporcional

Algoritmo de Control PID

El controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) mostrado en la figura 9, está conformado por una parte

proporcional, una integral y una derivativa, la parte proporcional corresponde a la obtenida en el algoritmo de control anterior así mismo el error corresponde al mostrado en la tabla 1.

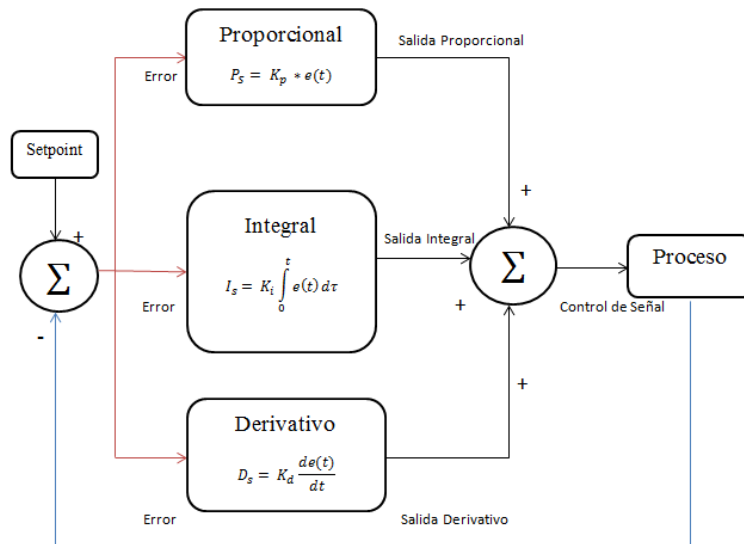


Figura 9. Diagrama de Bloques Control PID

En este algoritmo PID, la parte integral se encarga de acumular errores para fortalecer la señal de control, es decir que, si el robot se encuentra fuera del *set point* y se mantiene en esa posición por varios ciclos, la señal de control integral tenderá a incrementarse en cada ciclo. Por otro lado, la señal de control correspondiente a la parte derivativa presentará valores elevados cuando existan cambios significativos entre el valor del error

actual y el anterior. El conjunto de las tres señales de control será la acción de control que se utilizará para generar la señal de PWM a los motores del robot, para determinar las constantes K_p , K_i y K_d se procede a asignarles valores arbitrarios y de manera experimental se adecuan los valores hasta obtener un desempeño óptimo y estable en el robot.

El algoritmo de control PID se muestra en la figura 10.

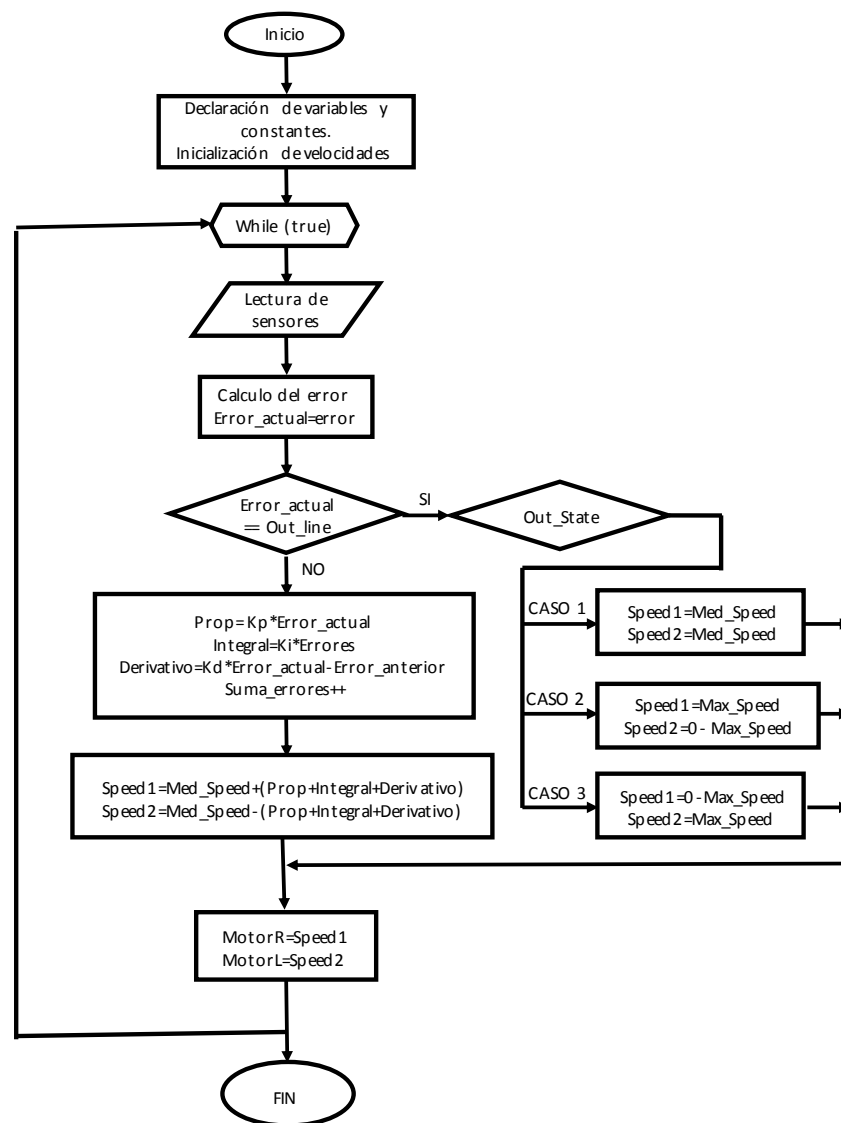


Figura 10. Diagrama de flujo del Control PID

Pruebas y Resultados

Para realizar las pruebas de los diversos algoritmos de control aplicados en el robot seguidor de línea, se utilizó la pista de entrenamiento con línea negra y fondo blanco mostrada en la figura 11, la longitud total del circuito es de 4.95m, las

diferentes pruebas se realizaron bajo las mismas condiciones de iluminación y temperatura así mismo durante cada prueba se procedía a limpiar la pista y las llantas del robot.

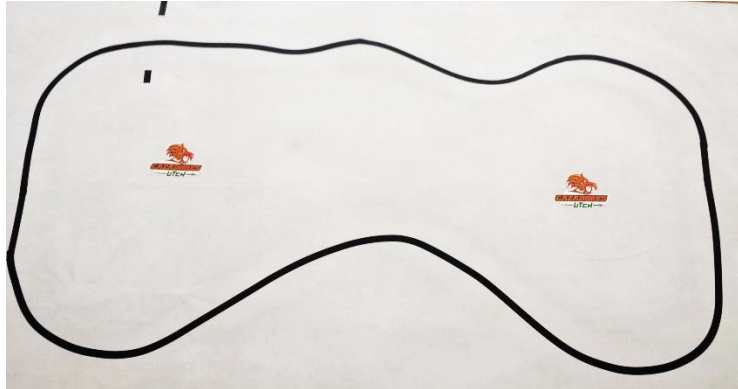


Figura 11. Pista de entrenamiento

Se realizaron 8 pruebas para cada algoritmo, donde se registraron datos como tiempo, velocidad, así como se observó la fluidez y estabilidad con que se recorría el circuito, por último, se obtuvieron promedios para cada algoritmo y se concentró en la tabla 2 para comparar los diferentes resultados.

El robot seguidor de línea fue programado con 3 algoritmos de control diferentes, los cuales permitieron recabar la información mostrada en la Tabla 2, en donde se muestra el tiempo que duró el robot en recorrer la pista (Figura 16) y cuál fue el algoritmo que tuvo un mejor rendimiento en base a tiempo y estabilidad al recorrer el circuito.

Criterios a evaluar	Control PID	Control Proporcional	Control de decisiones
Tiempo en recorrer el circuito	3.15 seg	4.28 seg	5.68 seg
Velocidad	1.6275 m/s	1.2 m/s	0.88 m/s
Fluidez al seguir la línea	Alta	Media	Media
Estabilidad al seguir la línea	Alta	Media	Baja

Tabla 2. Tabla de comparación entre los distintos algoritmos

Conclusiones

Como se aprecia en la tabla, el algoritmo PID y como se esperaba, es el que presenta un mejor desempeño en el robot superando en todos los aspectos a los demás algoritmos ya que es un algoritmo que incorpora más elementos proporcionando más información para la generación de la señal de control. Este algoritmo PID es el que actualmente se utiliza por los diferentes equipos miembros del club de mini robótica UTCH para participar en las diferentes competencias, donde en conjunto con todos los aspectos mecánicos y componentes electrónicos, se logra un balance que ha dado como resultado

posicionarse como un robot campeón nacional y representando a México en eventos internacionales ha logrado colocarse en los primeros lugares.

Como trabajo a futuro siempre se buscan alternativas mejores a implementar dentro del robot, ya sea en la parte mecánica, componentes electrónicos o sistema de control, hablando del sistema de control sería interesante probar algoritmos basados en lógica difusa y redes neuronales, el microcontrolador empleado tiene capacidad suficiente para realizar muchas operaciones más durante cada ciclo de muestreo.

Referencias

[1] 1Ege Technical and Business College, D. E. (s.f.). PATH PLANNING OF LINE FOLLOWER ROBOT. *IEEE Proceedings of the 5th European DSP Education and Research Conference, 2012.*

[2] Caldas, E. (s.f.). *Electronicos Caldas*. Obtenido de <http://www.electronicoscaldas.com/controladores-digitales-de-senales-dspic/110-dspic-30f4011.html>

[3] COSMOS. (s.f.). *COSMOS*. Obtenido de <http://www.cosmos.com.mx/wiki/4r0r/baquelita>

[4] EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de <http://www.ecured.cu/Lm339>

[5] electronicaestudio. (s.f.). Obtenido de http://www.electronicaestudio.com/docs/02_programar.pdf

[6] F Kaiser, S. I. (s.f.). Line Follower Robot: Fabrication and accuracy. *International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT) 2014.*

[7] Mehran pakdaman Computer Department Tabari Institute of Babol, M. M. (s.f.). A Line Follower Robot from design to Implementation.

[8] tdrobótica.co. (s.f.). *tdrobótica.co.* | <http://tdrobotica.co/micromotor-hp-10103-kg-cm3000rpm/102.html>
Obtenido de