

CONFIGURACIÓN DE MOTOR CORRIENTE DIRECTA PARA CAMBIO DE VELOCIDAD EN UN VEHÍCULO AUTÓNOMO A ESCALA

Abisai Antonio Madera

Estudiante de noveno semestre de Ingeniería en mecatrónica. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Km 2.5 carretera Huajuapán-Acatlilma. 69000, Huajuapán de León, Oaxaca, México. E-mail: aoma971003@gs.utm.mx

RESUMEN

Los vehículos autónomos han cobrado más importancia en los últimos años. Sin embargo, aún tienen problemas en el sistema de control. Ante esta situación se presenta este proyecto cuyo objetivo es **configurar un sistema de control con el fin de regular eficientemente la velocidad de un vehículo autónomo a escala**. El control del sistema que se propondrá, será de tipo proporcional, integral y derivativo (PID). Los componentes electrónicos que conforman el sistema de control se instalará en una placa de circuito impreso (por sus siglas en inglés, PCB). El circuito se colocará dentro del carro, en una zona protegida. La placa PCB se fijará con tornillos de 1/8 de pulgada. Las ranuras de los tornillos se ubicarán de la siguiente manera: 1 en cada esquina, y 2 en el centro. En las esquinas, las ranuras tendrán una distancia de 3mm hacia adentro con respecto los bordes; las del centro se colocarán a una distancia de 1/3 del ancho de la placa entre ellas, y con un 1/3 del mismo modo con respecto al borde. Además la placa PCB incluirá ranuras de repuesto con sus respectivas

pistas en caso que se dañe un componente electrónico. Cada componente electrónico se establecerá con base en el resultado final que se obtendrá en las simulaciones. El sistema completo se alimentará con una batería recargable de 12V corriente directa (CD), que se ubicará a un costado de la placa PCB para la conexión del puerto de carga. La batería dispondrá de un tiempo de alimentación al sistema de 5 horas. Su costo se estima alrededor de 10 mil pesos y un tiempo de construcción de 4 meses. Una vez finalizada su construcción, este generará una visión amplia del aprovechamiento a escala que se dispondrá para los automóviles.

Palabras claves: carro autónomo, control de motores CD, control PID, estabilidad de Lyapunov, regulación de velocidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVERIGACIÓN

Los vehículos autónomos han cobrado más importancia en los últimos años

Según lo explicado en López (2020), se estima que para el año 2025 los vehículos de conducción autónomo saldrán al mercado de manera masiva en el mundo, mientras que en América Latina se estima hasta 2030. Con base en lo referido en Muños (2017), Un coche autónomo es un vehículo que no necesita una persona para que lo conduzca. Es decir, imita las capacidades de un humano en cuanto a manejo y control de automóvil. Con base en lo explicado en Pérez (2012), una gran mayoría de automóviles autónomos presenta problemas en el control longitudinal a bajas velocidades. Según lo explicado en Calatayud *et al.* (2020), se exponen los distintos niveles de automatización de los automóviles autónomos:

- Nivel 1: Asistencia al conductor
- Nivel 2: Automatización parcial de conducción
- Nivel 3: Automatización condicional de conducción
- Nivel 4: Automatización alta de conducción
- Nivel 5: Automatización completa de conducción

Con base en Cirret y Torres (2016), la tasa de crecimiento del parque vehicular de 2005 y 2010 alcanzó niveles superiores a 40%, mientras que en 2014 registra un crecimiento de tan sólo 22% contra 2010, mostrando un incremento de casi 5 millones de unidades en menos de 4 años. Sin embargo, continúa mencionando que al mismo tiempo se presentan algunos problemas tales como: el control de tráfico, los accidentes provocados por la impericia, alta velocidad o distracción de los conductores y la contaminación del medio ambiente por los

gases de escape de los vehículos de combustión interna, sobre todo, cuando los autos no avanzan o lo hacen lentamente por encontrarse en un embotellamiento.

Los vehículos autónomos tienen problemas en el sistema de control

Según en lo mencionado en Luna (2007), la estabilidad del automóvil autónomo se ve afectado cuando superan una cierta velocidad comprometiendo de igual manera la estabilidad direccional. Además, continúa explicando que algunos circuitos de los sensores, son dañados por las altas temperaturas provocando que el automóvil pierda hasta cierto punto su estabilidad. Según lo enfatizado en Tiana (2017), se han presentados muchas fallas en algoritmos de control, que han implementado algunas empresas en sus vehículos autónomos, tales como: Google, Tesla, Nissan, Cruise Automation entre otras, a tal grado que, si no hubiesen sido vigilado sus automóviles, podrían haber ocasionado algún accidente.

Según lo explicado en Onieva (S.F.), algunos de los sistemas de control llegan a sufrir cierta inestabilidad en bajas velocidades. Esto implicaría un mayor análisis y consideración para las bajas velocidades en un automóvil autónomo.

Justificación

Por mucho tiempo se ha tenido una gran preocupación por los accidentes automovilísticos. Según lo explicado STCONAPRA (2015), en el año 2010 se presentó en México 455,628 accidentes registrados en algunas zonas urbanas, mientras que en el año 2014 396,254. En los últimos años ha aumentado considerablemente la cantidad de accidentes y defunciones (STCONAPRA, 2015). Por lo tanto, con ayuda de este proyecto se pretende dar una nueva

solución a sistemas de control, para tener un mejor manejo en las decisiones que debe tomar un automóvil autónomo.

Viabilidad para realizar la investigación

Según lo enfatizado en Nieblas (2018), que en el 2017 42% de los mexicanos, pensaba que el uso de los carros autónomos sería más seguro, mientras que el 2018 aumenta a un 78%. Sin embargo, aun no se presenta una ensambladora que este dedicado completamente en los vehículos autónomos. Además, según lo explicado en Cirett y Torres (2016), se ha reducido la tasa de accidentes en un 10% en el 2014 respecto al 2013. Así que en este proyecto se pretende obtener el mayor provecho a cada material y herramienta que se tenga disponible para su construcción.

Evaluación de las deficiencias en el conocimiento del problema.

En México muy pocas instituciones, empresas o universidades realizan proyectos, para nuevas implementaciones o mejoras hacia los automóviles autónomos. Según lo explicado en Reyes (2019), la empresa de Uber ofrece mas de 100 vacantes para ingenieros de México en distintas sedes de Canadá y Estados Unidos, con la finalidad de desarrollar nuevas tecnologías para vehículos autónomos.

Definición del problema de investigación

Con base en el análisis de información y conocimiento generados sobre los automóviles autónomos en México; con un sistema de control PID usando la ecuación de Lyapunov, se considerará que la estabilidad y manejo del vehículo será una excelente alternativa. Además, se dará una mejor alternativa para evitar incremento en los casos de accidentes automovilísticos en el país.

Formulación de las preguntas de investigación

Con base en lo descrito anteriormente el problema de investigación implica plantearse las siguientes preguntas: ¿Qué tan complejos son los sistemas de control que recientemente se han utilizado en vehículos autónomos?, ¿Cuáles son los beneficios de los vehículos autónomos?, ¿Cómo funciona el sistema de control aplicado a los motores de un vehículo autónomo?, ¿Qué características tiene un vehículo autónomo?, ¿De qué componentes se construye un vehículo autónomo?, ¿Cuáles son los principales componentes de un vehículo autónomo?, ¿Qué relevancia tiene cada componente en un vehículo autónomo?, ¿Cuáles son las diferencias de sistemas de control en un vehículo autónomo convencional a un vehículo autónomo a escala?, ¿Cómo se conforma un diseño de sistema de control de los vehículos autónomos?, ¿Cuál es el funcionamiento de un sistema de control en los vehículos autónomos?, ¿Cómo debería funcionar el sistema de control de un vehículo autónomo?

OBJETIVOS

Objetivo general

Configurar un sistema de control con el fin de regular eficientemente la velocidad de un vehículo autónomo a escala.

Objetivos específicos

1. Explorar el estado de conocimientos de los sistemas de control aplicados en vehículos autónomos
2. Describir el funcionamiento de sistemas de control de un vehículo autónomo

3. Analizar la composición de un sistema de control de un vehículo autónomo
4. Comparar sistemas de control de un vehículo autónomo convencional con un vehículo autónomo a escala.
5. Explicar el funcionamiento de un sistema de control de vehículo autónomo
6. Predecir el funcionamiento del sistema de control de vehículo autónomo.
7. Diseñar un sistema de control con el fin de regular eficientemente la velocidad de un vehículo autónomo a escala.

MARCO DE CONOCIMIENTOS

Marco teórico

Con base en lo expuesto en Museo Virtual de la Ciencia (2017), Hans Christian Oersted estudio en el año 1820 la relación que existía entre la electricidad y el magnetismo, demostrando empíricamente que un hilo conductor de corriente podía mover la aguja imantada de una brújula.

Según lo expuesto en Martín *et al* (S.F.), el Frances André-Marie Ampère describe cómo es posible obtener fuerza mecánica al interactuar la corriente eléctrica con el campo magnético, desarrollando una integral para calcular campos magnéticos de un sistema.

Con base en lo referido en Cultura Científica (2016), en 1821 el investigador Michael Faraday logró los primeros intentos fallidos de la construcción de un motor. Sus experimentos consistían en colocar un alambre de mercurio cerca de un imán permanente, que al pasar corriente por el alambre lograba pequeños movimientos. Luego de muchos intentos, Michael Faraday se da cuenta que el campo magnético realiza “trayectorias

circulares”; así que coloca un recipiente de vidrio parecido a un tubo, para colocar en él un alambre rígido. En la superficie ponía imán permanente; y con esto logra los primeros movimientos circulares en sentido a las agujas del reloj.

En la misma fuente se explica que, en el año 1827 el húngaro Áyos Jedlik comenzó a experimentar con las bobinas electromagnéticas. Su finalidad era eliminar errores con la rotación continua, creando el actualmente llamado conmutador. Sus primeros dispositivos creados los llamo Auto-rotores electromagnéticos.

Con base en lo referido en Godoy (2013), en finales del siglo XIX, Harry Ward Leonard utilizó un reóstato para controlar la corriente del devanado de campo, logrando ajustar la tensión de salida del generador de corriente continua y a su vez ajustar la velocidad del motor. Este diseño permaneció hasta el año 1960, que fue sustituido por controladores de estado sólido que fue desarrollado por Company's Thyristor Devices.

Marco referencial

Según lo explicado en Godoy (2013), realizar configuraciones de control de velocidad, se obtienen dos beneficios, el primero es el ahorro de energía y el segundo, control de velocidad o posición.

Para el primer caso, de toda la electricidad que se tiene, solo dos tercios están enfocados para la alimentación de los motores. En algunas aplicaciones es posible reducir este gasto a un 50% o mas mediante el uso de variadores de velocidad. En la misma fuente explica que una mejor opción para ahorrar energía es utilizando un controlador de velocidad ajustable.

Para el segundo caso, el controlador de velocidad y posición también se encarga de manipular la aceleración y sus derivados. Sin embargo, cuando se usa el controlador de velocidad ajustable, es posible contener varios controladores independientes para cada eje independiente.

En la actualidad se pueden observar muchas aplicaciones de control de velocidad, no solo enfocado a los vehículos autónomos; si no también en aplicaciones como: trenes eléctricos, escaleras eléctricas, ascensores, elevadores, incluso en muchas herramientas de trabajo para facilitar procesos de trabajo, etc.

Con base en lo expuesto en Canelles (2017), una de los mejores métodos de control en los motores es controlando el voltaje en las terminales de armadura, con una configuración de tensión constante de CD con modulación de ancho de pulso de una sola polaridad. En la misma fuente explica que para este control se puede utilizar un microcontrolador, para generar los pulsos PWM, por sus siglas en inglés *pulse-width modulation*. La variación de frecuencias, determinaran distintos valores de ciclo de trabajo, obteniendo como resultado distintos valores de voltajes en las terminales de armadura del motor; y al mismo tiempo cambiando la velocidad.

Marco conceptual

Para evitar confusiones con algunos términos o malas interpretaciones de las mismas, es pertinente discutir y dejar en claro los conceptos que se emplearan en el proyecto.

Motor corriente directa

Según lo explicado en Fritz (2017), un motor de corriente directa es un dispositivo que consiste de un estator, una armadura, un rotor y un colector de escobillas, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Además de los motores de CD, se pueden hallar los motores de corriente alterna (CA), que como su nombre lo indica, los valores de voltaje y corriente oscilaran en algún rango específico; estos emplean la misma función que los motores CD, pero con aplicaciones distintas. Así mismo, como sigue explicando en Fritz, hay distintos tipos de motores CD. Algunos presentan cambios en su armadura, en la forma de distribuir las escobillas entre otros.

Motor corriente directa de imán permanente

Según lo explicado en Electro Industria (2008), Un motor corriente directa de imán permanente, pertenece dentro de la tecnología de dispositivos síncronos; estos combinan una alta precisión en diseños simples como robustos de un motor de inducción asíncrono jaula de ardilla. Los motores de corriente directa de imán permanente son capaces de entregar un alto par torsional desde una baja velocidad. Además, estos motores requieren de suministro de un convertidor de frecuencia.

Control

Con base en lo referido en Pérez et al. (2008), control también significa: comprobación, inspección, fiscalización o intervención. Además, este puede hacer referencia a dominio, mando o regulación de un sistema. El control con un enfoque a la robótica, se refiere a la

intervención de transmisión de datos para ejecutar distintas tareas determinadas por el desarrollador.

Control de motores

Con base en lo explicado en Buitrón (2000), el control de motores se enfoca en las operaciones de arranque y paro, Con el paso de los años se ha empleado nuevas formas de control usando circuitos apropiados para manejar uno a mas motores al mismo tiempo. Los sistemas de control llegan a ser desde los mas sencillos, hasta los complejos que incluyen tantos componentes sean necesarios incluyendo incluso componentes programables.

Control PID

Según lo explicado en Pardo (2020), es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado que logre alcanzar el estado de salida deseada. Este tipo de control esta conformado por tres partes: parte proporcional, parte integral y parte derivativo. A causa de estas tres partes se conforma el nombre de PID. A continuación, se presentan las funcionalidades de cada uno:

- Proporcional:
 - Aumenta la velocidad de respuesta del sistema
 - Disminuye el error del sistema en régimen permanente
 - Aumenta la inestabilidad del sistema
- Integral:
 - Disminuye el error del sistema en régimen permanente

- Aumenta la inestabilidad del sistema
- Aumenta un poco la velocidad del sistema
- Derivativo:
 - Aumenta la estabilidad del sistema controlado
 - Disminuye un poco la velocidad del sistema
 - El error en régimen permanente permanecerá igual

Automóvil autónomo

Según lo referido en Salgado (2019), un vehículo autónomo es capaz de imitar las capacidades humanas de manejo y control. El funcionamiento de este, es por medio de la combinación de una computadora y una gran cantidad de sensores de diferentes tipos. Por medio de los sensores se obtiene un mapeo de la zona en el que esta el automóvil, y este pueda tomar una decisión a que ruta debe ir. Como se mencionó anteriormente; según lo explicado en Calatayud *et al.* (2020), se tienen 5 niveles de automatización de los automóviles autónomos; desde el desde la asistencia de un conductor hasta el manejo completo automatizado.

Estabilidad de Lyapunov

Variador de velocidad

Marco legal

HIPOTESIS

Hipótesis general

El uso de sistema de control PID desarrollado con la ecuación de estabilidad de Lyapunov, permite un buen dominio de los motores CD para cambios de velocidad.

Hipótesis específicas

El sistema de control PID en los motores en un automóvil autónomo, evita gran número de accidentes.

El sistema de control PID en los motores permite mayor estabilidad en el automóvil.

El sistema de control PID en motores del vehículo autónomo, permite menor gasto de materiales comparado con aplicaciones de control difuso o redes neuronales.

El sistema de control PID desarrollado con la ecuación de estabilidad de Lyapunov, otorga a los motores una mejor vida útil.

El uso de la ecuación de Lyapunov en el sistema de control PID se realiza con menor tiempo y se asegura una mejor seguridad.

Con el sistema de control PID aplicado en motores del automóvil autónomo, se obtiene una mejor eficiencia.

I. Bibliografía

- Buitron Sánchez, H. (2000). *Introducción al control de motores* (Segunda ed.). México: AZCAPOTZALCO. Obtenido de http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1749/Introduccion_al_control_de_motores_ALTO_Azcapotzalco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calatayud, A., Benítez, C., Leaño, J. M., Agosta, R., Blas, F., Goytia, C., . . . Rodríguez Touron, F. (Julio de 2020). *Improving Lives*. Obtenido de IDB Improving Lives: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Vehiculos-autonomos-Una-revision-bibliogr%C3%A1fica-sobre-su-impacto-en-la-movilidad-de-las-ciudades-de-la-region.pdf>
- Canelles Muir, M. (2017). Diseño de un sistema de control de velocidad para motor dc de la pulidora metalográfica modelo 3E881M. En M. Canelles Muir. Moa. Obtenido de <https://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1831/CanellesMuir.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ciencia, M. v. (2017). *Museo virtual de la ciencia*. Obtenido de Museo virtual: <http://museovirtual.csic.es/salas/magnetismo/biografias/oersted.htm>
- Científica, C. (7 de Junio de 2016). *Cultura Científica*. Obtenido de culturacientifica.com: <https://culturacientifica.com/2016/06/07/rotor-electro-magnetico-faraday/>
- Cirett Galán, F., & Torres Peralta, R. (2016). Capítulo 4. En F. Cirett Galán, & R. Torres Peralta, *Rumbo al auto del futuro* (págs. 99, 101 y 118). México.
- Fritz, C. (21 de Julio de 2017). *puromotores*. Obtenido de Puro Motores: <https://www.puromotores.com/13098838/definicion-de-un-motor-de-corriente-directa>
- Gody Rodríguez, L. (Agosto 2013). Control de velocidad de un motor sin escobillas de CD. En L. Gody Rodríguez. México D.F. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/17718/1/control%20de%20velocidad%20de%20un%20motor.pdf>
- Industria, E. (Agosto de 2008). *EMB*. Obtenido de Electro industria: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1001&ni=motores-de-iman-permanentes-en-aplicaciones-de-baja-velocidad>

- López, A. (22 de Marzo de 2020). *EL TIEMPO*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/el-mundo-avanza-hacia-los-vehiculos-autonomos-ecologicos-y-compartidos-475712>
- Luna Aguilera, P., & Tenesaca Arpi, T. P. (2007). Diseño e implementación de un emulador para el sistema de diagnóstico de ESP con microcontrolador. En P. A. Luna Aguilera, & T. P. Tenesaca Arpi. Cuenca, Ecuador. Recuperado el 9 de Noviembre de 2020, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/197/1/06615.pdf>
- Martín Blas, T., & Serrano Fernández, A. (S.F.). *Montes*. Obtenido de Montes: <http://www2.montes.upm.es>:
<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/ampere.html>
- Muñoz de Frutos, A. (21 de Enero de 2017). *CH*. Obtenido de ComputerHoy: <https://computerhoy.com/noticias/life/que-es-coche-autonomo-57350>
- Nieblas, M. (2018). *Deloitte México*. Obtenido de Estudio consumidor automotriz 2018: <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/manufacturing/articles/estudio-consumidor-automotriz-2018.html>
- Onieva Caracuel, E. (S.F.). Técnicas difusas y evolutivas para el control de vehículos en entornos reales y virtuales. En E. Onieva Caracuel. España. Recuperado el 9 de Noviembre de 2020, de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/38851/1/TESIS%20Enrique%20Onieva.pdf>
- Pardo, C. (Agosto de 2020). *Picuino*. Obtenido de Picuino: <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2008). *definicion.de*. Obtenido de DEFINICIÓN.DE: <https://definicion.de/control/>
- Pérez Rastelli, J. M. (2012). Agentes de control de vehículos autónomos en entornos urbanos y autovías. En J. M. Pérez Rastelli. Madrid.
- Reyes, E. (30 de Abril de 2019). *Tec Review*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2020, de Uber busca talento mexicano para desarrollar autónomos: <https://tecreview.tec.mx/2019/04/30/liderazgo-1/uber-busca-talento-mexicano-desarrollar-autonomos/>
- Salgado Garciglia, R. (2019). *Saber más*. Obtenido de Revista de divulgación: Saber más: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/196-numero-2462/381-vehiculos-autonomos-iun-vehiculo-que-se-conduce-solo.html>
- STCONAPRA. (2015). Informe sobre la situación de la seguridad vial, México 2015. En STCONAPRA. México. Recuperado el 10 de Noviembre de 2020, de <http://conapra.salud.gob.mx/Interior/Documentos/Informe2015.pdf>

Tiana Gómez, C. (2017). Adaptación de la ciudad de Barcelona para la implantación de vehículos autónomos. En C. Tiana Gómez. Barcelona. Recuperado el 9 de Noviembre de 2020, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111810/FINAL_SIN_ANEXO.pdf?sequence=1&isAllowed=y