

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 instalarán 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.

INTRODUCCIÓN

La innovación de sistema de control de motores en vehículos autónomos, aporta múltiples beneficios. Con base en lo expuesto en Godoy (2013), los beneficios que se obtienen al realizar configuraciones de control son: ahorrar energía y dar mayor seguridad al usuario. En el año 2016 los casos de accidentes fueron de un 90% por errores humanos. Por lo tanto, se estima que cuando se use el nivel 5 de automatización [estimación para el año 2050] (automatización completa, no requiere de un conductor) en la sociedad, los casos de accidentes podrían reducirse a un 80%; ya que se tendría un mejor control en la velocidad, en los adelantamientos incorrectos salidas de vías etc. (Fernández, 2018). Además, como todo robot o máquina programada, presentan errores en su funcionamiento, y entre ellas se tiene a la correcta toma de decisiones y la condición en situaciones que se requiere procesar mucha información (Fernández, 2018). Según lo enfatizado en Jue (2020), aun hay muchas personas con desconfianza de dar uso a vehículos autónomos. Además, demuestra que en el año 2019 en Estados Unidos se presentaron alrededor de 36,000 personas fallecidas por accidentes automovilísticos. Lo anterior nos hace pensar que como personas es difícil tomar decisiones en momentos o situaciones frustrantes. Según lo enfatizado en Gutiérrez *et al.* (2017), la frustración y la agresión durante el manejo de un vehículo, son factores importantes que constituyen respuestas erróneas en la toma de decisiones; obteniendo muchas veces como resultado un accidente automovilístico. En la misma fuente explica que “la teoría de la regulación de la agresividad propone que la agresividad sería un instinto localizado en una estructura fisiológica y, por tanto, innato, regulado por otra estructura fisiológica, y, en consecuencia, también innata, donde reside la conciencia”.

La aplicación de sistemas de control a un vehículo para crearlo autónomo, es un proceso que conlleva aplicar muchas teorías y conocimientos; que en este caso lo que conviene aplicar son conocimientos que mejor resuelva el problema. Incluso una de las innovaciones que se ha realizado la empresa Ford con sus vehículos autónomos es la conducción sin luz (Moré, 2020). Cabe mencionar que esta aplicación puede ser útil en fallos del sistema de alumbramiento, ya que realizar esto a propósito provocaría un sinnúmero de accidentes con quienes usen vehículos de nivel 0 u 1. Por lo tanto, en este proyecto se estudiará distintas formas de control existentes, enfocado únicamente en el control de los motores con el fin de variar la velocidad del automóvil. La importancia de esta aplicación es reducir los errores de un sistema de control PID que al mismo tiempo se obtendrá una mayor eficiencia tanto en funcionamiento como en el bajo consumo de energía. En este contexto se realizará este proyecto que tiene como objetivo configurar un sistema de control con el fin de regular eficientemente la velocidad de un vehículo autónomo a escala. Los resultados serán de utilidad para incrementar la eficiencia del sistema de control de velocidad de un vehículo autónomo, evitando así decisiones erróneas por el usuario o conductor durante el manejo. Además, esto conllevará a reducir casos de accidentes automovilísticos, proporcionando una mejor seguridad al conductor como a terceros; sin olvidar que de igual manera se tendrá un mejor cuidado del automóvil.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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.

MARCO CONTEXTUAL

Factores tecnológicos

En la actualidad la tecnología que lleva un automóvil en general, es mucho mayor a lo que posiblemente se esperaba unos años atrás. Las pruebas de conducción autónoma se vuelven

cada vez más común y llamativa; y sobre todo están obteniendo un gran éxito. Entre las características más comunes de estos vehículos son: conducción autónoma, aparcamiento automático, Escudo de protección (es un sistema de alerta para avisar al usuario de objetos cercanos con posible riesgo de accidente), luces LED, conectividad con dispositivos móviles, entre otros (Chuquirima, 2018). Según lo explicado por Christophe Koeming, representante de medios de BMW modelos X en Bureau (2018), la tecnología con mayor importancia para sus usuarios mexicanos de un vehículo, es la conectividad que brinda sistemas como Android Auto y Apple Car Play incluyendo los sistemas de navegación. Además, los vehículos modelos X tienen implementados cámaras que permiten a los usuarios una visión de 360°, teniendo un mejor control de manejo y reduciendo riesgos de accidentes.

Como se sabe, la empresa Tesla de igual manera ha desarrollado grandes avances en la tecnología de sus automóviles. Esta empresa es muy conocida por sus coches totalmente eléctricos. Según lo referido en García (2020), Tesla modificó el software del sistema eléctrico, para reducir el consumo de energía y alargar el tiempo de conducción. Por lo tanto, los resultados del automóvil pasaron de realizar un recorrido de 316 millas (equivalente a 508 Km) a 402 millas (equivalente a 647 Km). Además, Tesla ha mejorado la climatización de algunos modelos, para evitar calentamiento y fallos en los componentes electrónicos.

Factores ambientales

Según lo explicado en Pérez (2020), existen 7 tipos de contaminación ambiental; estos son los siguientes: contaminación atmosférica, contaminación hídrica, contaminación de suelo, contaminación acústica, contaminación lumínica, contaminación visual y contaminación térmica. Según lo enfatizado en Carchipulla *et al.* (2015), existen otros dos tipos de

contaminación que son: la contaminación química y la radioactiva. Así que, los vehículos en general que usan como combustible gasolina o Diesel afectan en gran manera la atmosfera; ya las emisiones procedentes de los escapes contienen monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (grupo de fórmulas químicas referente a los Alcanos) y óxidos de nitrógeno (N_2O [puede variar los valores de Oxígeno]).

Según la Organización Mundial de Salud (OMS) [2012], la contaminación del aire fue responsable de 3.7 millones en el planeta. 11% de las muertes causado por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 6% por cáncer de pulmón, 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidente cerebrovascular y aproximadamente el 3% por infección respiratoria aguda.

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.

Según lo enfatizado en Perat (2006), un accionamiento para motor de reluctancia autoconmutado permite de igual manera controlar la velocidad de un motor. La solución más factible para esta aplicación es usando componentes discretos analógicos y digitales. Este método aun sigue siendo de gran utilidad; en cambio se han desarrollado nuevas formas para obtener una mejor eficiencia del control, un mayor alcance de vida útil para el motor y lo más importante cuidar el sistema en general y al usuario quién lo maneje.

Con base en lo expuesto en Canelles (2017), uno 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.

Según lo explicado en Godoy (2013), muchos de los controles que se han desarrollado en los últimos años, son utilizando controladores de tipo PID; este controlador permite ajustar la

velocidad del motor en un sistema de lazo cerrado. El sistema de control PID recibe una señal o señales de algún tipo de sensor y calcula la acción correctiva a través de un algoritmo computacional con base en el error (este corresponde a la parte proporcional), la suma de todos los errores anteriores (este corresponde a la parte integral) y la tasa de cambio de error (correspondiente a la parte derivativa del sistema).

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

Vehículo 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 está el automóvil, y este pueda tomar una decisión a qué 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 la asistencia de un conductor hasta el manejo completo automatizado.

Marco legal

Este proyecto se sustenta con base en las normativas oficiales mexicanas.

NMX-J-599/1-ANCE-2007 (06/03/2008) ILUMINACIÓN – COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA – EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS DE LOS EQUIPOS DE ILUMINACIÓN Y SIMILARES - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.

Establece la cantidad de iluminación tanto en faros, linternas, equipos de radiación, así también para los vehículos en general. Sin embargo, la normativa se actualiza en el año 2015 como: NMX-J-599/2-ANCE-2014 (16/04/2015) EQUIPOS CON PROPÓSITOS DE ILUMINACIÓN EN GENERAL – REQUISITOS DE INMUNIDAD ELECTROMAGNÉTICA, que establece más requerimientos para dispositivos actuales incluyendo los vehículos.

NMX-J-044-ANCE-2017 (06/06/2017) INTERRUPTORES DE ENCENDIDO PARA VEHÍCULOS – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. Establece los límites de tensión de alimentación para los interruptores de encendido de un vehículo; estableciendo valores en corriente directa de 6V, 12V y 24V.

NMX-J-050-ANCE-2017 (13/09/2017) BOCINAS ELÉCTRICAS PARA VEHÍCULOS – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. Establece los niveles de tensión de alimentación, para bocinas eléctricas de vehículos.

NMX-J-056-ANCE-2017 (06/06/2017) MEDIDOR Y RECEPTOR DEL NIVEL DE GASOLINA ELECTROMAGNÉTICO PARA VEHÍCULOS – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. Esta norma establece las especificaciones para los medidores y receptores electromagnéticos de gasolina de los vehículos.

NMX-J-067-ANCE-2017 (23/05/2017) TRANSMISOR Y RECEPTOR DE TEMPERATURA ELECTROMAGNÉTICO DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR PARA VEHÍCULOS – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA. Esta norma establece las especificaciones para los medidores electromagnéticos del refrigerante del motor para vehículos. Además, establece rangos de alimentación de voltaje de los mismos.

NMX-J-668/1-ANCE-2013 (01/04/2014) VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (VE) - SISTEMAS DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN – PARTE 1: REQUISITOS GENERALES, establece requisitos para dispositivos que son recargados eléctricamente, para evitar riesgo de choque eléctrico al usuario.

Norma Oficial Mexicana NOM-079-ECOL-1994, establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de los vehículos nuevos. Además, establece métodos de medición del mismo.

Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006, establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes proveniente del escape de los vehículos que usan gasolina como combustible.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-121-SCFI-2004, INDUSTRIA HULERA-CÁMARAS PARA LLANTAS NEUMÁTICAS DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES Y BICICLETA-ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD Y MÉTODOS DE PRUEBA (CANCELA A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-121-SCFI-1996, INDUSTRIA HULERA-CÁMARAS PARA LLANTAS NEUMÁTICAS DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES Y BICICLETA-ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD Y MÉTODOS DE PRUEBA, PUBLICADA EL 11 DE JUNIO DE 1997). Esta norma especifica los tipos de neumáticos y condiciones que deben de tener, para los vehículos, motocicletas y bicicletas.

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.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estado de Oaxaca, es uno de los 32 estados que conforma a la república mexicana. Con base en lo explicado en Oaxaca.gob.mx (2020), “Oaxaca se localiza al Suroeste del territorio mexicano. Al Norte limita con los estados de Veracruz y Puebla, al Sur con el océano Pacífico, al Este con el Estado de Chiapas y al Oeste con Guerrero.” Según lo explicado en db-city.com (2020), las coordenadas geográficas de la capital de Oaxaca, Oaxaca de Juárez, se encuentra a una latitud de 17.0669 y longitud de -96.7203; o también ubicado a 17° 4' 1" Norte, 96° 43' 13" Oeste. En la misma fuente, muestra que la extensión del territorio oaxaqueño es de 85.48 km². Según lo mencionado en INEGI (2015), Oaxaca tiene 3,967,889 habitantes de los cuales 47.6% son hombres y 52.4% mujeres. Según lo explicado en Secretaría de Economía (SE) [2016], las principales fuentes de trabajo son: “comercio (15.0%); construcción (14.8%); industria del plástico y del hule (6.9%); servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (18.1%) y servicios educativos

(5.7%). Juntas representan el 60.5% del PIB (Producto Interno Bruto) estatal”. Según lo expuesto en Díaz *et al.* (2018), de los 32 estados de la república mexicana, el estado de Oaxaca ocupa el último lugar en educación básica, ciencia, tecnología e innovación. Además, en la misma fuente se menciona que Oaxaca ocupa el puesto número 31 en investigación científica, lo que significa que se tiene muy pocos investigadores.

Proceso de desarrollo de sistema de control para motor CD de imán permanente en un vehículo autónomo a escala

Para el desarrollo adecuado de un sistema de control en motores CD de imán permanente, y aprovechar una máxima eficiencia del mismo. Se utilizarán los pasos, fórmulas y métodos descritos en Ogata (2010), ya que este trata de realizar sintonización automática en línea del sistema, con retroalimentación de estados en lazo cerrado. Además, se usa en casos que el modelo matemático de la planta o del sistema es desconocido y para ello se pueden emplear métodos de diseños analíticos.

Además, trabajar en este proyecto contribuirá en disminuir la cantidad de accidentes automovilísticos de forma estatal, nacional e internacional. Al mismo tiempo, se logrará una mejor estabilidad en el vehículo, provocando al usuario mejor comodidad y confianza. El diseño del sistema de control PID en motor CD de imán permanente en un vehículo autónomo a escala, consta de las siguientes etapas:

- 1) **Eficiencia del motor CD imán permanente.** El uso de este tipo de motor presenta una mayor eficiencia ya que, estos no requieren devanados de campo. Además, no tienen pérdidas de cobre en el circuito de campo (Illustrationprize, 2018). Por otro lado, los motores CD imán permanente poseen un menor entrehierro, por lo que se

obtiene un mayor campo magnético dando un mejor aprovechamiento de la energía eléctrica (Domínguez *et al.*, 2007).

- 2) **Estabilidad del motor CD imán permanente.** Según lo explicado en Martínez (2009), alcanzar la estabilidad de este tipo de motor al aplicar algún sistema de control es relativamente simple. Según lo expuesto en Tejeda (2010), la inestabilidad de un motor CD se puede presentar por una carga demasiado grande; pero además de ello, explica que la solución a este problema es aplicar un control en lazo cerrado.
- 3) **Relación entre funcionamiento de motor CD imán permanente y otros.** Cada motor CD poseen características que se distinguen entre sí. Según lo explicado en Jimbo (2015), el motor de imán permanente a diferencia del resto de motores CD, puede perder propiedades magnéticas debido a altas temperaturas. Además, según lo enfatizado en de Andrés (2014), este motor al no ser afectado por temperaturas altas, el campo magnético se produce en un espacio de aire sin devanado de excitación y sin disipación de energía eléctrica. Asimismo, en la misma fuente muestra diferentes imanes permanentes y hasta qué temperatura pueden ser desmagnetizado. En este proyecto se usará el motor CD imán permanente por la facilidad de controlarlo, la estabilidad que se obtiene incluyendo la eficiencia entre otras características no menos importante como su accesibilidad y precio.
- 4) **Relación entre otros sistemas de control y el PID.** A diferencia de otros sistemas de control, este se enfoca en realizar retroalimentación de estados en lazo cerrado (Ogata, 2010). Además, se encarga de determinar los parámetros de sintonización de diseño del sistema. En la misma fuente se explica que Ziegler y Nichols sugirieron algunas reglas para sintonizar los controladores PID; esto significa que sirven para

hallar los valores de K_p (ganancia de la parte proporcional), K_I (ganancia de la parte integral) y K_D (ganancia de la parte derivativa).

5) Complejidad de desarrollo de control PID en motor CD de imán permanente.

Según lo explicado en Hoyos *et al.* (2010), desarrollar control PID con ayuda de un software de simulación como Matlab/Sim

6) ulink® es relativamente simple; ya que se obtienen cada una de las ganancias rápidamente.

Por otro lado, según lo planteado en Pérez (2017), construir un circuito de forma físico, consta de mucho tiempo o problemas para lograr los valores de ganancias deseados con componentes electrónicos.

Metas

- Para el 20 de febrero de 2021 conocer el diagnostico zonal donde se abordará dicho proyecto.
- Para el 1 de marzo de 2021 contar con el capital necesario para los materiales requeridos durante el desarrollo del control para el prototipo del automóvil autónomo a escala.
- Para el 27 de marzo de 2021 adquirir un vehículo a escala del cual se estudiará para hacer el sistema de control, para su autonomía.
- Para el 29 de marzo de 2021 dar comienzo al análisis del modelado matemático del vehículo a escala (que en este caso es el sistema).
- Para el 30 de abril de 2021 contar con el diseño de control con sus respectivas pruebas verificadas en softwares de simulación.

- Para el 15 de mayo de 2021 contar con los materiales y herramientas necesarias para la construcción del sistema de control de velocidad del motor CD en el vehículo autónomo a escala.
- Para el 5 de junio de 2021 haber finalizado la construcción y correcciones de errores del sistema de control de velocidad del motor CD de imán permanente de un vehículo autónomo a escala.

Actividades

Las principales actividades a realizar para el diseño del sistema de control para un vehículo autónomo a escala son las siguientes:

1. Tener un orden definido de las actividades a realizar para la ejecución del proyecto.
2. Contar con el capital adecuado para la adquisición de herramientas y materiales que se usaran durante el proyecto.
3. Establecer un lugar de trabajo fijo, para el desarrollo completo del proyecto.
4. Realizar análisis y estudio de mercado de forma estatal, nacional y posiblemente internacional.
5. Adquirir un vehículo a escala, para el diseño y desarrollo del sistema de control.
6. Obtener el modelo matemático del vehículo a escala.
7. Diseñar el sistema de control de velocidad del motor CD para el vehículo autónomo a escala.
8. Encargar los materiales y herramientas para la construcción del sistema de control de velocidad del motor CD de imán permanente del vehículo a escala.

9. Preparar el manuscrito de artículo científico, para dar a conocer los resultados obtenidos en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
10. Presentación del artículo científico en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Cronograma de actividades

Cronograma de actividades para el diseño del sistema de control de velocidad para un motor corriente directa de imán permanente de un vehículo autónomo a escala, usando métodos de control detallados en Ogata (2010).

[illegible]

Costo

El costo estimado para desarrollar el proyecto es de \$45,100.00 (cuarenta y cinco mil cien pesos 00/100 M.N.) distribuidos en los siguientes conceptos: gastos menores de utilerías como: transporte, impresiones de documentos, formatos, etc., alimentos etc.: \$3,000.00; costos de materiales y herramientas necesarias: \$3,000.00; gastos para la adquisición de un vehículo autónomo a escala sin el sistema de control de motores CD: \$30,000.00; gastos para el estudio y análisis zonal en Oaxaca, México y países cercanos: \$2,000.00; y gastos de emprendimiento del desarrollo del sistema de control para motor CD de imán permanente de un vehículo autónomo a escala: \$7,100.00. La disponibilidad del capital deberá tomarse conforme se marca el cronograma de actividades.

Cronograma de actividades con la distribución de costos correspondiente en pesos 00/100 M.N.

Actividades	Febrero		Marzo				Abril				Mayo				Junio
	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°
1	\$500.00														
2			\$1,000.00												
3	\$3,500.00														
4	\$2,000.00														
5					\$30,000.00										
6						\$2,000.00									
7								\$2,500.00							
8										\$3,000.00					

[illegible]

I. Bibliografía

- Asociación de Normalización y Certificación, A. [. (Febrero 2020). Catálogo de normas 2020. En *Catálogo de normas 2020*. México. Obtenido de <https://www.ance.org.mx/Ance/media/2436/cata-logo-normas-2020.pdf>
- 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
- Bureau, M. (22 de Junio de 2018). *Motorpasion*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/asi-ha-evolucionado-tecnologia-autos-ultimas-decadas>
- 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>
- Carchipulla Illescas, C. E., & Quizhpi Barbecho, G. B. (Mayo 2015). Análisi de la recaudación de impuesto ambiental a la contaminación de vehículos motorizados en la ciudad Cuenca durante el periodo 2013. En C. E. Carchipulla Illescas, & G. B. Quizhpi Barbecho, *Análisi de la recaudación de impuesto ambiental a la contaminación de vehículos motorizados en la ciudad Cuenca durante el periodo 2013* (pág. 22 y 53). Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21882/1/TESIS.pdf>
- Chuquirima, L. (21 de Julio de 2018). *Los mejores avances tecnológicos para autos actuales*. Obtenido de carburando.ec: <https://www.carburando.ec/noticias/actualidad/mejores-avances-tecnologicos-autos-actuales.html>
- 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.
- db-city.com. (28 de Mayo de 2020). *DB city.com*. Obtenido de es.db-city.com: <https://es.db-city.com/M%C3%A9xico--Oaxaca--Oaxaca-de-Ju%C3%A1rez>
- de Andrés García, M. C. (Febrero del 2014). Influencia de la frecuencia sobre las fuerzas que intervienen en un motor lineal síncrono de imanes permanentes. En M. C. de Andrés García. Leganés.
- Díaz Gómez, E., Castro del Ángel, C., Santamaría Hernández, E., & Flores Montiel, D. (2018). *Índice Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2018*. México.
- Domínguez Álvarez, D., Ulua Tegoma, R., Valencia García, D., & Zaragoza Fernández, D. (17 de Mayo de 2007). Control de un motor por medio de PWM para procesos de velocidad. En D. Domínguez Álvarez, R. Ulua Tegoma, D. Valencia García, & D. Zaragoza Fernández. México.
- Fernández, E. (14 de Enero de 2018). *ontheroadtrends*. Obtenido de <https://www.ontheroadtrends.com/coches-autonomos/>
- Fernández, I. (20 de Marzo de 2018). *clicacoches*. Obtenido de <https://www.clicacoches.com/problemas-coches-autonomos/>
- Fritz, C. (21 de Julio de 2017). *puromotores*. Obtenido de Puro Motores: <https://www.puromotores.com/13098838/definicion-de-un-motor-de-corriente-directa>
- García, G. (08 de Agosto de 2020). *hibridosyelectricos*. Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/tecnologias-tesla-model-coche-electrico-avanzado-mundo/20200807134927037230.html>
- 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>
- Gutiérrez Quintanilla, J. R., Williams Martínez, Ó., & Lobos Rivera, M. E. (2017). El comportamiento agresivo al conducir asociado a factores psicosociales en los conductores salvadoreños. En J. R. Gutiérrez Quintanilla, Ó. Williams Martínez, & M. E. Lobos Rivera, *El comportamiento agresivo al conducir asociado a factores psicosociales en los conductores salvadoreños*. San Salvador. Obtenido de <https://www.utec.edu.sv/vips/uploads/investigaciones/el-comportamiento-agresivo.pdf>

Hoyos Vlesco, F., Younes Velosa, C., Cano Plata, E., & S  nches Aristizábal, S. (Diciembre de 2010). Desarrollo de un controlador de velocidad de un motor de imanes permanentes utilizando técnicas de realización rápida de prototipos. *30*(3), págs. 140 - 148.

Illustrationprize. (2018). *Illustrationprize*. Obtenido de illustrationprize.com:
<https://illustrationprize.com/es/551-permanent-magnet-dc-motor.html>

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>

Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía. (2015). *Cuéntame*. Obtenido de
<http://www.cuentame.inegi.org.mx/>:
<http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/oax/poblacion/default.aspx?tema=me&e=20>

Jimbo Tacuri, J. E. (Febrero del 2015). Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas brushless con 1000 Whatts de potencia. En J. E. Jimbo Tacuri. Cuenca.

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>

Martínez Martínez, H. V. (Enero del 2009). Análisis, modelado y simulación en computadora del motor de corriente directa tipo serie. En H. V. Martínez Martínez. México.

Moré, M. (15 de Abril de 2020). *Zemsania Global Group*. Obtenido de
<https://zemsaniaglobalgroup.com/vehiculos-autonomos-iot/>

Muños 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>

oaxaca.gob.mx. (2020). *Oaxaca*. Obtenido de oaxaca.gob.mx/oaxaca/#:~:text=Oaxaca%20se%20localiza%20en%20el,clima%20varía%20según%20la%20región.

Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. En K. Ogata. Madrid: PEARSON.

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>

Perat Benavides, J. I. (Junio 2006). Contribución al control de motores de reluctancia autoconmutados. En J. I. Perat Benavides. Barcelona España. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93619/01Jpb01de01.pdf>

Pérez Martínez, J. A. (Junio del 2017). *Sistema de control de un dispositivo mecánico balanceado por medio de dos hélices*. México.

Pérez Olivares, M. (18 de Marzo de 2020). *Ayuda en Acción*. Obtenido de [ayudaenaccion.org](https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/tipos-contaminacion-ambiental/): <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/tipos-contaminacion-ambiental/>

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>

Secretaría de Economía. (04 de junio de 2004). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-121-SCFI-2004, INDUSTRIA HULERA-CÁMARAS PARA LLANTAS NEUMÁTICAS DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES Y BICICLETA-ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD Y MÉTODOS DE PRUEBA. En Secretaría de Economía. México. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SE/Normas/Oficiales/NOM-121-SCFI-2004.pdf>

Secretaría de Economía. (2016). *Información económica y estatal*. Oaxaca, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (01 de Diciembre 1995). NORMA Oficial Mexicana NOM-079-ECOL-1994. México. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69219.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Martes 6 de marzo de 2007). NORMA Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006. En Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69238.pdf>

SEMARNAT, & Organización Mundial de la Salud. (2018). *apps1.semarnat.gob.mx*. Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap5.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>

Tejeda Núñez, E. E. (Febrero del 2010). Análisis de motores a pasos de fuerza de Lorentz. En E. E. Tejeda Núñez. México.

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