

# DISEÑO EXPERIMENTAL DE VEHÍCULO AUTÓNOMO UTILIZANDO REDES NEURONALES

**Morris William Díaz Saravia**

Ingeniero Electricista. Docente Investigador Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central.  
Email: wsaravia@itca.edu.sv

Recibido: 28/03/2019 - Aceptado: 02/07/2019

## Resumen

Este artículo está relacionado con el diseño experimental e implementación de un vehículo autónomo para el transporte de mercancías o materias primas en el interior de una industria o comercio. El proyecto fue desarrollado y coordinado por la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de ITCA-FEPADE. Este vehículo es accionado a través de un conjunto de sensores, tales como infrarrojos, ultrasónicos y sensor LIDAR; el vehículo es capaz de detectar su entorno, y basados en ellos, alcanzar su destino mediante decisiones de un Raspberry, que, ejecutando un programa basado en red neuronal da las instrucciones a un microcontrolador Arduino, el cual impulsa los motores eléctricos utilizando una etapa de potencia basada en transistores MOSFETs. La red neuronal es un tipo de control adaptativo, que viene a sustituir a los controladores tradicionales; al igual que el ser humano, la red neuronal debe ser entrenada para un funcionamiento óptimo utilizando inteligencia artificial, tal como el método de retropropagación, en la cual la red neuronal aprende de manera supervisada, en base a patrones de entrada y salidas conocidas. El vehículo es capaz de transportar un peso de hasta 30 Kg y las tareas de carga y descarga serán realizadas por un operador humano. Debido a los componentes electrónicos a bordo del vehículo, se recomienda su operación en ambientes secos y una superficie plana. El nivel de autonomía del vehículo, se refiere a transportar la carga de un punto a otro sin acción humana directa durante su desplazamiento. Entre los campos de aplicación, se puede considerar el área logística e industrial, para el transporte de materia prima, herramientas, componentes electrónicos, telas y alimentos enlatados, entre otros.

## Palabras clave

AGV, redes neuronales, algoritmos, sensores remotos, microcontroladores, Arduino

## EXPERIMENTAL DESIGN OF AUTONOMOUS VEHICLE USING NEURAL NETWORKS

## Abstract

This article is related to the experimental design and implementation of an autonomous vehicle for the transport of goods or raw materials within an industry or trade. The project was developed and coordinated by Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica of ITCA-FEPADE. This vehicle is driven through a set of sensors, such as infrared, ultrasonic and LIDAR sensor; the vehicle is able to detect their environment, and based on them, reach their destination through decisions of a Raspberry, which, executing a program based on neural network, gives instructions to an Arduino microcontroller, which drives the electric motors using a stage of power based on MOSFETs transistors. The neural network is a type of adaptive control, which replaces traditional controllers; Like the human being, the neural network must be trained for optimal functioning using artificial intelligence, such as the backpropagation method, in which the neural network learns in a supervised manner, based on known input and output patterns. The vehicle is capable of carrying a weight of up to 30 kg and the loading and unloading tasks will be carried out by a human operator. Due to the electronic components on board the vehicle, its operation is recommended in dry environments and a flat surface. The level of autonomy of the vehicle, refers to transporting the load from one point to another without direct human action during its displacement. Among the fields of application, the logistics and industrial area can be considered, for the transport of raw materials, tools, electronic components, fabrics and canned foods, among others.

## Keyword

AGV, neural networks, algorithms, remote sensors, microcontrollers, Arduino.

## Introducción

El propósito principal de este trabajo, es desarrollar un Vehículo Autónomo Guiado AGV, para el transporte de mercancías y materias primas en un ambiente industrial, capaz de tomar decisiones en tiempo real y evitar obstáculos estáticos y en movimiento, se basa en redes neuronales, que otorgan la capacidad de aprendizaje profundo y que lo hará adaptable a múltiples ambientes.

El sistema implementado en este proyecto tiene como objetivo reducir los costos al agregar nuevas rutas, disminuir los costos en programación y la posibilidad de producir colisiones y accidentes.

En lo que se refiere a los sistemas automatizados, en este caso el AGV, la red neuronal es un tipo de control adaptativo, que viene a sustituir a los controladores tradicionales, como el controlador Proporcional Integral y Derivativo PID, lo cual redundante en una respuesta acorde a un operador humano, pero al igual que el humano, la red neuronal debe ser entrenada para un funcionamiento óptimo, a través de técnicas de inteligencia artificial, en este caso el método de retropropagación, en el cual la red neuronal aprende de manera supervisada, en base a patrones de entrada y salida conocidos. El sistema es capaz de responder a nuevos patrones. La importancia del método consiste en que, a medida que se entrena la red neuronal, las neuronas se organizan a sí mismas, de tal modo que aprenden a reconocer distintas características del espacio total de entrada.

El resultado de este diseño experimental podría tener aplicaciones prácticas en el ámbito empresarial, social y educativo, ver Figura 1.

Este proyecto multidisciplinario fue desarrollado y coordinado por la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de ITCA-FEPADE, con la participación de las escuelas académicas de Ingeniería Mecatrónica, Educación Dual e Ingeniería Automotriz.

Este proyecto permitirá además a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y ramas afines, desarrollar competencias y conocimientos para fortalecer el proyecto en las áreas de mecánica, robótica y programación.

## Desarrollo

Un AGV es un robot móvil controlado por computador, usado para el transporte de mercadería. Un sistema de AGV, es un conjunto de vehículos con capacidad de programación de destino, selección de trayectoria y posicionamiento [1]. Estos

sistemas permiten el manejo de materiales y se caracterizan por ser altamente flexibles, inteligentes y versátiles, transportando carga a lo largo de las instalaciones de una planta o entorno.

Un AGV consta de los siguientes subsistemas [2]: sistema mecánico, sistema de navegación, sistema de seguridad, sistema de baterías y recarga y un sistema de comunicación.

En la metodología del proyecto se definieron las actividades para el diseño experimental:

- » Investigar los principios tecnológicos que conforma un vehículo autónomo y los tipos de algoritmo de una red neuronal.
- » Diseñar los diferentes subsistemas.
- » Construir el chasis que permita realizar las tareas solicitadas al AGV.
- » Implementar la etapa electrónica de control de motores.
- » Ajustar y configurar los diferentes elementos que conforman el AGV.
- » Desarrollar algoritmos para la construcción de mapas de localización de ambientes industriales y comerciales.
- » Realizar pruebas de funcionamiento mecánico.
- » Realizar pruebas del sistema de la red neuronal con aprendizaje profundo.

### A. Concepto del vehículo

El primer paso consistió en determinar el ambiente industrial en el cual se podría utilizar el vehículo autónomo; se definió su diseño electrónico, estructural, mecánico, eléctrico y capacidad de carga de hasta 30 Kg.

### B. Diseño general

El diseño de un sistema AGV es una tarea compleja que cuenta con muchas variables que impactan en el funcionamiento del mismo y que son difíciles de predecir. Las decisiones que se tomen deben estar ligadas a otras variables y todas estas decisiones tienen implicaciones importantes en el sistema, según [1].

Los principales aspectos a tener en cuenta en un diseño de un sistema AGV son las siguientes:

- Trayectorias: están definidas por los pasillos y ambientes por los cuales circulará el AGV.
- Número de estaciones de carga y descarga de materiales.
- Requerimientos del vehículo: un vehículo con cuatro ruedas, tracción en dos de ellas y dimensiones acordes al ambiente de trabajo.
- Enrutamiento del vehículo: de forma autónoma aprenderá las rutas detectándolas por medio de los sensores Light Detection and Ranging, LIDAR.
- Planificación de uso del vehículo: se usará cuando sea requerido en alguna de las estaciones de carga y descarga.

- Posición ideal para el vehículo: se establecerá una estación origen para mantener el vehículo.
- Manejo de baterías: se podrá sustituir manualmente o cargarse sin removerla del vehículo.
- Manejo del vehículo: el AGV permite el manejo autónomo y manual, utilizando una tablet conectada vía bluetooth.

### C. Diseño mecánico y construcción de vehículo.

Se diseñó con CAD 3D y Solidworks. El vehículo tiene medidas de longitud 80 cm, ancho 50 cm y de alto 24 cm, con una depresión interna de 16 cm de profundidad para colocar en ella toda la electrónica y la batería. En las figuras 1 y 2 se muestra el vehículo terminado.

Para las etapas realizadas en el diseño y la construcción se tomó como referencia a C. García y R.M Álvarez [2]:



Figura 1. AGV construido.



Figura 2. Área central del chasis, espacio para demás componentes.

### D. Etapa de potencia

Los motores DC utilizados requieren hasta 8 A; el vehículo debe ser capaz de moverse hacia atrás y hacia adelante. Para lograr dicha inversión de giro, se requiere de una etapa electrónica que sea capaz de invertir la polaridad del voltaje en los terminales del motor. La variación de velocidad de los motores, se logró mediante los pines PWM de Arduino.

Se seleccionó una configuración de Puente H basada en MOSFET, circuito que permite la conmutación a grandes velocidades de los transistores y una alta eficiencia. Figura 3 [3].

Se requieren disipadores de potencia para los MOSFETs (Figura 4).

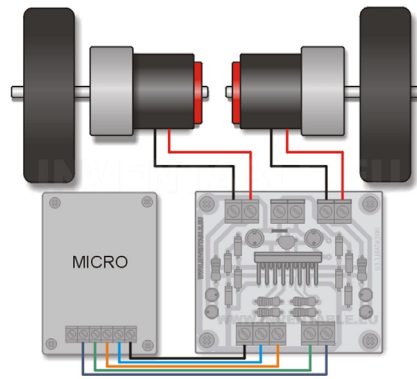


Figura 3. Puente H para dos motores DC con MOSFETs de potencia.

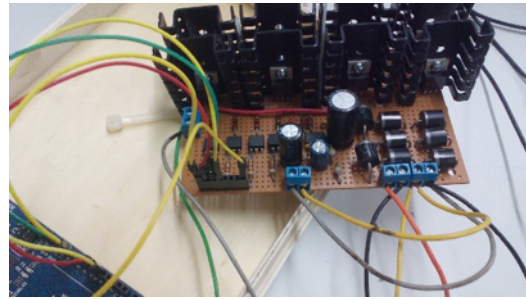


Figura 4. Circuito de la Figura 3 implementado.

### E. Prueba de prototipo mecánico y etapa de potencia

En este punto se hacen las pruebas necesarias para conectar los motores a la etapa de potencia y el Arduino se conectó a las entradas de la etapa de potencia. Por medio de un programa simple se probó que el AGV realizara los movimientos deseados. El vehículo se desplazó según lo esperado al introducir las ordenes a la Tablet: avance lineal, retroceso, giro izquierdo y derecho durante un tiempo definido. Para el funcionamiento se utiliza el código "codigo1.ino", el cual está disponible en: <https://github.com/morrisdiaz/AGV>. Este código recibe cuatro letras por el puerto Bluetooth: A, B, C, D o E; éstas son enviadas por una tablet que ejecuta ArduinoRC. El programa funciona así:

- ▶ Si recibe A de la tablet: se mueve hacia adelante el AGV durante 2 segundos y para.
- ▶ Si recibe B de la tablet: se mueve hacia atrás el AGV durante 2 segundos y para.
- ▶ Si recibe C de la tablet: gira a la izquierda el AGV durante 2 segundos y para.
- ▶ Si recibe D de la tablet: gira a la derecha el AGV durante 2 segundos y para.

### F. Integración de Etapa de sensores

Son varios los tipos de sensores considerados para la implementación del AGV: infrarrojos, ultrasónicos y LIDAR. En principio, los sensores infrarrojos son la base de los detectores de obstáculos atrás y adelante del vehículo. En la fase de aprendizaje, el sensor LIDAR, detectaría el ambiente y generaría un mapa en 2D de la ubicación, para luego, en la

fase de ejecución, navegaría en dicho mapa de un punto A un punto B, ubicado dentro del mapa generado anteriormente. Ante cualquier obstáculo, los sensores infrarrojos y ultrasónico lo detectarían y detendrían el avance del vehículo. En las siguientes figuras se muestran los diferentes sensores utilizados.



Figura 5. Sensor infrarrojo tipo SHARP.



Figura 6. Sensor infrarrojo Line Tracking.



Figura 7. Sensor LIDAR LITE de Garmin.

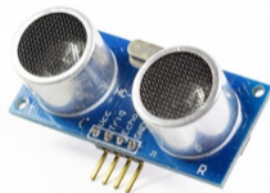


Figura 8. Sensor ultrasónico HC-SR04.

### G. Análisis del sistema de navegación SLAM.

Los sensores infrarrojos y ultrasónicos son utilizados para detectar obstáculos en la trayectoria del vehículo, entre una mayor cantidad de sensores se tienen, la detección en todas direcciones mejora.

En robótica, el problema computacional denominado Localización y Mapeado Simultáneo SLAM, consiste en ubicar la posición de un robot al mismo tiempo que construye mapas del ambiente [4] y ha sido estudiado durante más de tres décadas. Para denominarse autónomo, el vehículo AGV debe realizar estas tres funciones [5]:

- Estimar su posición y orientación

- Mantener actualizado el mapa del entorno y
- Detectar los posibles obstáculos.

Con ayuda del LIDAR se miden distancias y direcciones relativas, con el algoritmo de transformación de Hough [6] se genera un mapa del ambiente, Fig. 14. Se asume que el ambiente debe estar poblado de objetos que poseen características rectilíneas, por ejemplo, paredes, puertas, cajas, o estantes. El sensor de rango láser montado en el robot toma distancias desde su probable ubicación. Las lecturas son captadas en series de rangos y ángulos, de las cuales pueden ser extraídas características lineales, con el algoritmo de Hough. La detección de obstáculos, es realizada por todos los sensores: infrarrojos, ultrasónicos y LIDAR.

Se han planteado muchas soluciones al problema de SLAM, tanto para resolver SLAM en 2D [6] como también en ambientes 3D [7], pero el reto principal consiste en garantizar que la técnica funciona con bajo presupuesto, pues existe siempre un compromiso entre el costo de los sensores (que pueden llegar a miles de dólares) y la exactitud de la localización. Esto se debe a las características inherentes al LIDAR: precisión y exactitud de las mediciones, el amplio barrido en forma de abanico, alta velocidad de muestreo y resolución.

Para efectos de prueba y calibración del sensor, se utilizó el laboratorio de Electrónica de la Institución, con ciertas similitudes al ambiente para el que se diseñó, figura 9.



Figura 9. Ambientes usado para prueba de LIDAR en la Institución.

En esencia, si se usa el LIDAR para generar un mapa, ya sea 2D o 3D, debe hacer un barrido; para ello fue necesario acoplarle un servomecanismo y un adaptador plástico impreso en 3D, como se muestra en la Fig. 10. En la misma figura se muestra uno de los sensores acoplado al AGV.



Figura 10. Izquierda: Sensor LIDAR con Servomecanismo. Derecha: LIDAR instalado en el AGV.



Una vez instalado y conectado, se ejecutó el software de prueba, CodigoTestLIDAR.ino. Ver Figura 11.

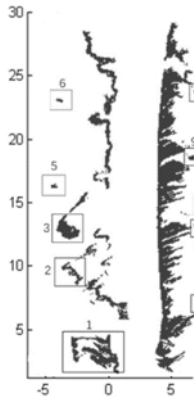


Figura 11. Resultado de escaneo con LIDAR después de aplicar filtro ETEW.

En este diseño experimental, el resultado del sensor LIDAR, que emite ángulos y distancias combinado con la posición del vehículo no son los deseados, no se dibuja el ambiente de la figura 11 como se esperaba. Entre las principales causas atribuidas a este hecho, es que sólo hace un escaneo 2D a una altura predeterminada por la posición del sensor en el vehículo; la otra causa es que los objetos de la figura 9 no tienen superficie de rebote, solo la estructura de soporte de los muebles. Es en este punto del diseño experimental, donde concluimos que el sensor LIDAR no es el más adecuado para la aplicación deseada y es necesario replantear el mecanismo SLAM.

### Sensores IR Line Tracking.

Manteniendo el objetivo del proyecto, de tener control basado en una red neuronal y que use lógica difusa, se opta por un vehículo rastreador de línea [8], el cual mediante sensores IR Line Tracking, sigue una línea en el área de trabajo, pasando por todos los puntos programados. Este control está basado en una red neuronal para tomar las decisiones del vehículo y utiliza, además, lógica difusa para el control de los motores y tener un movimiento suave.

El principio de funcionamiento se basa en trazar una línea en el piso que contraste con el color del mismo por donde se desea que el vehículo circule. Los sensores IR Line Tracking, Figura 12, leen si están sobre la línea o no y el control neuronal mantiene, mediante la acción adecuada el vehículo sobre la línea.

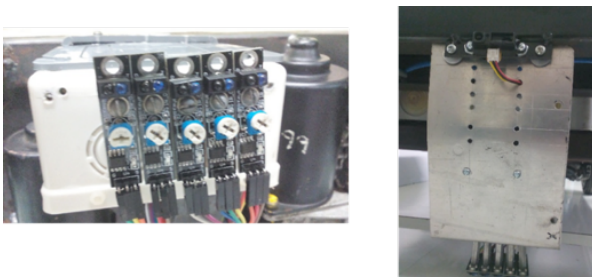


Figura 12. Ajuste de distribución y altura de sensores IR Line Tracking.

## Resultados

Se desarrolló el diseño y la implementación de la red neuronal, la cual permite el aprendizaje continuo para adaptarse a diferentes ambientes. En la red neuronal, el sistema obtiene sus entradas de los sensores, que se pueden clasificar en dos tipos: sensores de distancia, ultrasónico, infrarrojo y LIDAR; y sensores seguidores de línea, IR Line Tracking.

En cuanto a los sensores IR Line Tracking, se activará uno cuando el vehículo se ubique sobre una línea; cuando no esté sobre la línea, se activarán todos los sensores. Para que el vehículo se detenga en las estaciones de carga, se han colocado a lo largo de la línea principal, líneas horizontales del mismo color para que todos los sensores se desactiven, lo que le indica a la red neuronal que el vehículo debe detenerse.

Las salidas del sistema son la velocidad de los motores, es acá donde se aplicará lógica difusa o control borroso. En lógica difusa, podemos tener opciones para controlar el giro y la velocidad de las llantas. Este control sobre los motores DC, se logra mediante PWM [9] [10], el cual ajusta la energía que se entrega a cada motor mediante la modulación del ancho de pulso entre los terminales del motor.

### Funcionamiento

Una vez interconectado el hardware e implementadas todas las rutinas de software, tanto para Arduino como el sistema Raspberry, se pueden ejecutar las siguientes funciones del AGV:

#### A. Colocación del vehículo en el área de trabajo.

El operador traslada el vehículo de la zona de resguardo, de forma autopropulsada, mediante comandos en una tablet, hasta ubicarse en la línea.

#### B. Iniciar operaciones

El vehículo se ubica en una posición HOME, sobre la línea, a partir del cual inicia su trayecto después que el operador presiona el interruptor START.

#### C. Transitar por estaciones

El vehículo se mueve sobre la línea, hasta encontrarse con una estación, la cual está identificada por una línea cruzada, se detiene y genera un tono. Para continuar el operario de la estación presiona el botón START para que vaya al siguiente puesto de trabajo.

#### D. Final de operaciones

Utilizando nuevamente la tablet, coloca el vehículo en modo manual y lo manipula a control remoto para llevarlo al área designada de resguardo del vehículo.

## Conclusiones y Recomendaciones

- » Se diseñó el AGV cumpliendo las especificaciones iniciales, con un control basado en red neuronal que utiliza control difuso para manipular sus motores y lograr suavidad en el movimiento y desplazamiento, herramienta útil que promueve la Industria 4.0.
- » Considerando que el sensor LIDAR no fue el más adecuado para la aplicación deseada con el algoritmo de SLAM, se sustituyó por un algoritmo ampliamente usado, el rastreador de línea.
- » Este diseño y desarrollo experimental puede ser aprovechado y trasladado al ámbito de otros vehículos de mayor o menor tamaño, dependiendo de la aplicación deseada. Puede convertirse en punto de referencia para futuros trabajos en el área de robótica, inteligencia artificial y áreas afines.
- » Este prototipo podrá servir como plataforma de trabajo para continuar desarrollándolo y como herramienta didáctica para estudiantes de Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.
- » El prototipo podrá servir para el análisis y configuración de sensores y programación en las áreas de robótica. Podrá ser usado para probar algoritmos de Inteligencia Artificial en el método de retropropagación y otros.
- » El AGV implementado puede ser mejorado utilizando un sistema de amortiguamiento en las llantas tractoras y aplicando tracción en las cuatro ruedas.

## Referencias

[1] J. M. Echeverri Estrada y P. A. Escobar Murcia, "Caracterización de un AGV (vehículo guiado automáticamente) en el sistema de manufactura flexible, caso Centro Tecnológico de Automatización CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana", tesis Facultad de Ingeniería, 2012 [En línea]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10296/EcheverriEstradaJuanMartin2013.pdf?sequence=1>. [Accedido: 11-Mar-2019]

[2] C. Martín García y R. Mocholí Álvarez, Diseño y optimización del chasis de un vehículo eléctrico autónomo: memoria. Barcelona, 2016 [En línea]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97047/Memoria\\_TFG\\_Rafael\\_Mocholi\\_Carlos\\_Martin.pdf?s=equance=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97047/Memoria_TFG_Rafael_Mocholi_Carlos_Martin.pdf?s=equance=1&isAllowed=y). Accedido: 28-feb-2019]

[3] V. Srinu et al., "A Novel Speed Control of Brushless DC Motor Usin Technology (AJAST)", vol. 1, no. 7, pp. 10-14, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://ajast.net/data/uploads/0003.pdf> [Accessed: 25-Feb-2019]

[4] V. Costella y H. Rodríguez, "Caracterización de un sensor de rango láser de bajo costo previo a una implementación de Slam", Prisma Tecnológico, vol. 7, no. 1, pp. 30-34, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1261/1606>. [Accedido: 15-mar-2019]

[5] J.G. Jiménez y A.O. Baturone, "Estimación de la posición de un robot móvil", Informática y automática: revista de la Asociación Española de Informática y Automática, vol. 29, no. 4, pp. 3-18, 1996 [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4274810> [Accedido: 17-mar-2019]

[6] V. Nguyen, A. Martinelli, N. Tomatis, y R. Siegwart, "A comparison of line extraction algorithms using 2D laser rangefinder for indoor mobile robotics", en Intelligent Robots and Systems, (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on, 2005, pp. 1929-1934.[Online]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1545234>. [Accessed: 15-mar-2019]

[7] H. M. Tulldahl and H. Larsson, "Lidar on small UAV for 3D mapping", in Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications VIII; and Military Applications in Hyperspectral Imaging and High Spatial Resolution Sensing II, 2014, vol. 9250, p. 925009 [Online]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/289656542\\_Lidar\\_on\\_small\\_UAV\\_for\\_3D\\_mapping](https://www.researchgate.net/publication/289656542_Lidar_on_small_UAV_for_3D_mapping). [Accessed: 17-mar-2019]

[8] D. Ortiz Martínez, "Robótica para seguimiento de líneas", tesis de grado, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona-Enginyeria Electrònica, Barcelona, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97322/PFC%20David%20Ortiz%20Mart%c3%adnez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Accedido: 15-mar-2019]

[9] TodoElectronica21, Tutorial 7: Como utilizar salidas PWM en Arduino. YouTube, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/search?client=firefox> [Accedido: 17-mar-2019]

[10] L. Petru y G. Mazen, "PWM Control of a DC Motor Used to Drive a Conveyor Belt", Procedia Engineering, vol. 100, pp. 299-304, 2015. [Online]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/81962714.pdf>. [Accessed: 17-mar-2019]