

## Comportamientos Reactivos para Robótica Móvil

### Reactive Behaviors for Mobile Robotics

CASTILLO-QUIROZ, Gregorio†\*, VARGAS-CRUZ, Juan Javier, REYES-LEON, Ivan y HERNANDEZ-LUNA, Aldo

*Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango-ITSH-TecNM, Ingeniería Mecatrónica, Av. Tecnológico No 80, 5 de Octubre, Huauchinango, Puebla, México. C.P. 73160*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Gregorio, Castillo-Quiroz / CVU CONACYT ID: 162009

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Juan Javier, Vargas-Cruz / CVU CONACYT ID: 904038

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Ivan, Reyes-Leon / CVU CONACYT ID: 903594

ID 4<sup>to</sup> Coautor: Aldo, Hernandez-Luna / CVU CONACYT ID: 441305

Recibido: Enero 03, 2018; Aceptado: Marzo 02, 2018

#### Resumen

El presente artículo describe algunos comportamientos reactivos que son implementados en la robótica para la interacción del robot y el medio ambiente en el que se encuentra, la programación de estos comportamientos busca dotar al robot de tareas con cierto grado de inteligencia. Bajo la plataforma Pololu y Arduino se desarrolla dicho comportamiento para un robot móvil 3 Pi de configuración diferencial en el cual mediante sensores infrarrojos sea capaz de ejecutar una navegación, evadiendo obstáculos a su paso y evitando cualquier tipo de colisión con su entorno. La comunicación entre los microcontroladores es mediante serial (RS-232), dependiendo uno del otro para llevar a cabo la tarea programada, siendo el pololu el maestro y el arduino el esclavo. El Pololu 3 Pi es el primer encargado de detectar obstáculos a su paso, mediante un sensor infrarrojo colocado en la parte frontal, el cual provoca que el robot se detenga totalmente a una distancia determinada y envíe un dato mediante comunicación serial al arduino quien activa un servomotor con otro sensor infrarrojo para poder realizar un barrido de 0°-180°, tomando cada 20° medidas de distancia esto para determinar en qué ángulo se tiene mayor posibilidad de avanzar.

**Robot, Pololu 3 Pi, Arduino, Navegación, Comportamiento Reactivo**

#### Abstract

This article describes some reactive behaviors that are implemented in robotics for the interaction of the robot and the environment in which it is located, the programming of these behaviors seeks to give the robot tasks with a certain degree of intelligence. Under the Pololu and Arduino platform, this behavior is developed for a 3 Pi mobile robot of differential configuration in which, using infrared sensors, it is capable of executing navigation, avoiding obstacles in its path and avoiding any type of collision with its surroundings. The communication between the microcontrollers is through serial (RS-232), depending on each other to carry out the scheduled task, being the pololu the master and the arduino the slave. The Pololu 3 Pi is the first one in charge of detecting obstacles in its path, by means of an infrared sensor placed in the front part, which causes the robot to stop completely at a certain distance and send a data through serial communication to the arduino who activates a servomotor with another infrared sensor to be able to carry out a sweep of 0° -180°, taking every 20° distance measurements this to determine in which angle it is more possible to advance.

**Robot, Pololu 3 Pi, Arduino, Navigation, Reactive Behavior**

**Citación:** CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, VARGAS-CRUZ, Juan Javier, REYES-LEON, Ivan y HERNANDEZ-LUNA, Aldo. Comportamiento reactivo para robótica móvil. Revista de Tecnologías Computacionales. 2018, 2-5: 1-9

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: gcquiroz1977@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El término “robot” nos resulta muy familiar, ya sea por las películas de ciencia ficción o por las nuevas tecnologías que nos van mostrando a través de internet o la televisión; sin embargo el término nació en 1920 a manos de Karel Capek, un escritor austrohúngaro que asignó este término a los personajes de su obra de teatro “RUR (Robots Universales Rossum)”, la cual obtuvo gran éxito y de ahí que el término se propagara alrededor del mundo.

Existen básicamente dos tipos de robots: los fijos, su giro es principalmente industrial y realizan tareas tales como: ensamble de coches, pintura, embarque, entre otras, trabajando en ambientes altamente controlados para los cuales fueron diseñados. El otro tipo de robots se refieren al caso de la robótica móvil.

Uno de los retos consiste en caracterizar dicho entorno a través de sensores, identificar obstáculos y zonas de paso, e incluso ubicarse con la mayor precisión posible con respecto a un sistema de referencia dado (López García, 2011).

La robótica móvil se considera actualmente un área de la tecnología avanzada. Sus productos se constituyen en aplicaciones de las áreas de control, programación, inteligencia artificial, percepción e instrumentación, y sirven de base para el avance en diversos campos de la industria, aportando soluciones tecnológicas innovadoras orientadas al desarrollo de mejores robots y a la ampliación del abanico de aplicaciones disponibles.

Por lo tanto, planificar sus propios movimientos se vuelve uno de los retos más importantes a ser resuelto en el diseño de robots autónomos móviles.

Quintero P., et al, (2010) aborda el problema de la planificación de trayectorias de robots móviles no holonómicos en ambientes congestionados de objetos. Se basa en una representación de los objetos en el espacio de velocidades del robot, llamada Polígono de Velocidades Admisibles (PVA) del robot y una ley de control para limitar las velocidades que el robot puede alcanzar. Los resultados que presentaron fueron simulados.

Benavides F., (2012) enfoca la planificación de movimientos para robots móviles con dos ruedas y un control diferencial, que se desempeñan en entornos estáticos bidimensionales a partir de la construcción de un mapa de ruta empleando diagramas de Voronoi.

Ying L., (2016) propone una nueva estrategia de seguimiento de muros para robots móviles. Esta estrategia establece el modelo matemático de autoconvergencia que logra ejecutar la actividad de seguimiento de la pared con sólo un único conmutador de proximidad de distancia. Sus ventajas sobre las anteriores son: evitar de la interferencia mutua entre los sensores y la reducción del coste alto del hardware.

El proyecto propuesto en el presente documento, describe algunos comportamientos reactivos que son implementados en la robótica móvil para la interacción del robot y el medio ambiente en el que se encuentra, la programación de estos comportamientos busca dotar al robot de tareas con cierto grado de inteligencia. Bajo la plataforma Pololu y Arduino se desarrolla dicho comportamiento para un robot Pololu 3 Pi de configuración diferencial en el cual mediante sensores infrarrojos sea capaz de ejecutar una navegación, evadiendo obstáculos a su paso y evitando cualquier tipo de colisión con su entorno.

El robot 3 Pi de Pololu es un pequeño robot autónomo de alto rendimiento, alimentado por 4 pilas AAA y un único sistema de tracción para los motores que trabaja a 9.25 V, además es capaz de velocidades por encima de los 100 cm/s mientras realiza vueltas precisas y cambios de sentido que no varían con el voltaje de las baterías.

El robot está totalmente ensamblado con dos micromotores de metal para las ruedas, cinco sensores de reflexión, una pantalla LCD de 8x2 caracteres, un buzzer, tres pulsadores y además, está conectado a un microcontrolador programable. El 3 Pi mide aproximadamente 9.5 cm de diámetro y pesa alrededor de 83 gr. sin baterías.

Se presentan en esta propuesta algunos sistemas para evitar obstáculos en robótica móvil.

Los sensores del robot proveen la información necesaria para generar algún tipo de movimiento. La fusión de los diferentes tipos de sensores determina la acción a realizarse sobre los actuadores y por lo tanto definirá el comportamiento final del robot.

Este tipo de control permite una reacción ante los estímulos procedentes de los sensores en tiempo real. No exige un procesamiento complejo de la información sensorial ya que la fusión se produce en este caso en el nivel de los comportamientos y no de los sensores.

El tipo de comportamiento a desarrollar debe tener la capacidad de navegar en un ambiente desconocido, avanzando y manteniendo una distancia de referencia para no colisionar, esto debe lograrse mediante sensores y actuadores los cuales lo dotarán para tomar decisiones.

El desarrollo de este trabajo de investigación está dividido en las secciones que a continuación se describen:

#### 1. Materiales

Se describen las características de los componentes utilizados en la construcción del prototipo.

#### 2. Metodología

Se describen los pasos que se siguieron para el desarrollo de la investigación.

#### 3. Resultados

En esta sección se analizan los resultados obtenidos para determinar si se ha logrado el objetivo.

#### 4. Conclusiones

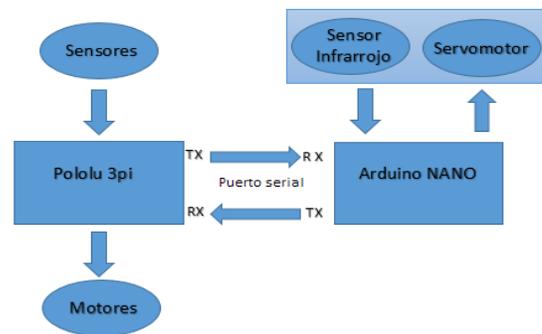
Se habla de los objetivos logrados satisfactoriamente y de cómo contribuye este trabajo en diversas aplicaciones relacionadas con el desarrollo de comportamientos en robots móviles.

#### 5. Agradecimientos

Se agradece a las personas e instituciones que permitieron el desarrollo de esta investigación.

## Materiales

Para la elaboración de este trabajo se precisó de un Robot Pololu 3 Pi, Arduino Nano, sensores infrarrojos, un servomotor, en la Figura 1 se muestra la información necesaria para el esquema de componentes utilizados para el desarrollo del comportamiento del robot.



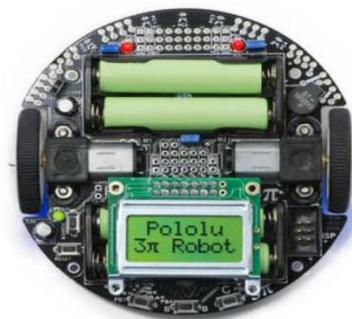
**Figura 1** Esquema de componentes

*Fuente: Elaboración propia*

#### A. Robot Pololu 3 Pi

El encargado de la navegación (MASTER) es un Pololu 3 Pi, el cual es un pequeño robot móvil autónomo de alto rendimiento, diseñado para competencias de seguimiento de líneas, resolución de laberintos y detección de obstáculos. El robot tiene una arquitectura diferencial (ver Figura 2) y algunas aplicaciones interesantes sobre esta plataforma.

Este robot es alimentado por 4 pilas AAA y un único sistema de tracción para los motores que trabaja a 9.25V. Además contiene un microcontrolador Atmel ATmega328a 20 MHz con 32KB de memoria flash, 2KB de RAM, y 1KB de EEPROM. Por la versatilidad de la plataforma asociada al Pololu 3 Pi, se seleccionó a este robot como el primer candidato a ser simulado a través del ambiente gráfico.



**Figura 2** Robot pololu 3 Pi

*Fuente: <http://www.pololu.com/docs>*

B. Arduino Nano

El esclavo (SLAVE) es un arduino NANO igualmente con un microcontrolador ATmega328a, cuenta 8 pines de entrada analógica y 14 pines de entrada / salida digital (incluyendo 6 puertos PWM), es compatible con accesorios para funciones como Bluetooth, infrarrojo o sensores y su alimentación eléctrica es por micro USB. En la Figura 3 se muestra el Arduino utilizado.

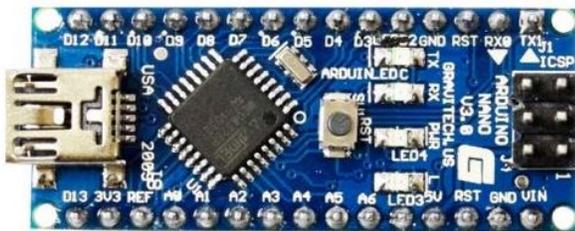


Figura 3 Arduino Nano Fuente: https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction

C. Sensor Infrarrojo

Los sensores que se utilizaron son infrarrojos SHARP GP2Y0A21 análogos que pueden medir distancias de 10 a 80 cm, véase Figura 4.



Figura 4 Sensor Sharp análogo Fuente: http://www.sharpsma.com

D. Micro servo

El micro servo SG-90 es el encargado de realizar el barrido para detectar en que ángulo se tiene mayor probabilidad de avanzar con ayuda del sensor infrarrojo como se aprecia en la Figura 5.



Figura 5 Micro servo para barrido Fuente: https://www.hellasdigital.gr/go-create/servo/servos

Metodología

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en base al comportamiento propuesto mostrado en la Figura 6 donde se muestra el diagrama de flujo del algoritmo implementado en el Pololu 3 Pi, el cual siempre está enviando y recibiendo datos por el puerto serial, de igual forma en la Figura 7 se muestra el algoritmo usado en el Arduino nano, la comunicación entre ellos es indispensable para poder actuar conjuntamente dependiendo de la información que cada uno reciba.

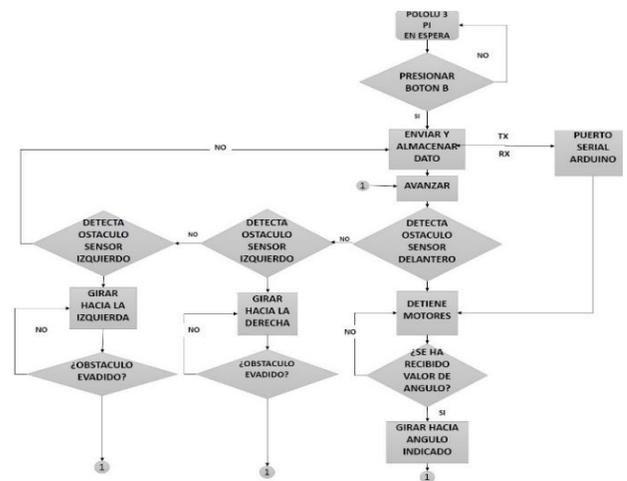


Figura 6 Diagrama de flujo de programación del Pololu 3 Pi Fuente: Elaboración propia

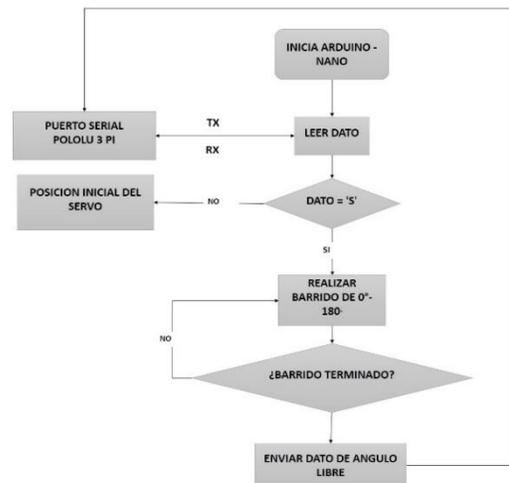


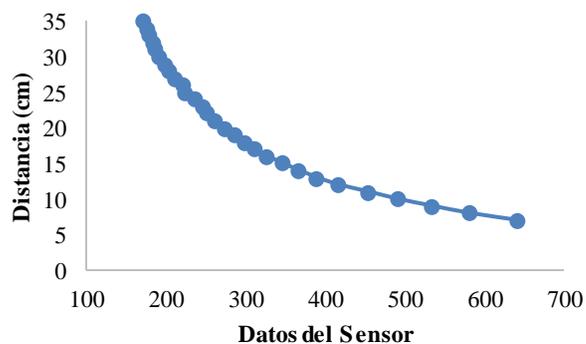
Figura 7 Diagrama de flujo de programación del Arduino nano Fuente: Elaboración propia

Los pasos que se efectuaron son los siguientes:

- a. Se realizaron pruebas para obtener los valores de lectura de los sensores de distancia (Ver Tabla 1), estas pruebas del sensado no son lineales.

Por lo que se realizó un ajuste de curvas por aproximaciones mediante una función no lineal para que los valores que detecten los sensores pasen a través de un filtro y se vean reflejados en distancia para una mejor precisión.

En el Gráfico 1 se muestra la aproximación de los valores del ajuste en uno de los sensores utilizados.



**Gráfico 1** Aproximación de los datos de los sensores de distancia

*Fuente: Elaboración propia*

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en base al comportamiento propuesto mostrado en las Figuras 6 y 7.

Este filtro se realizó a los tres sensores restantes utilizados, los cuales están implementados en el pololu 3 Pi para evasión, dando como resultado la Tabla 2.

Análogo Digital (AD)	Centímetros (cm)
642	7
582	8
535	9
491	10
455	11
417	12
390	13
368	14
347	15
328	16
312	17
300	18
286	19
274	20
261	21
253	22
246	23
238	24
225	25
221	26
213	27
205	28
200	29
192	30
188	31
184	32
180	33
176	34
171	35
167	36
163	37
160	38
156	39
155	40

**Tabla 1** Conversión de los datos del sensor a cm

*Fuente: Elaboración propia*

$$y = \frac{11046.1}{x^{1.1459}}$$

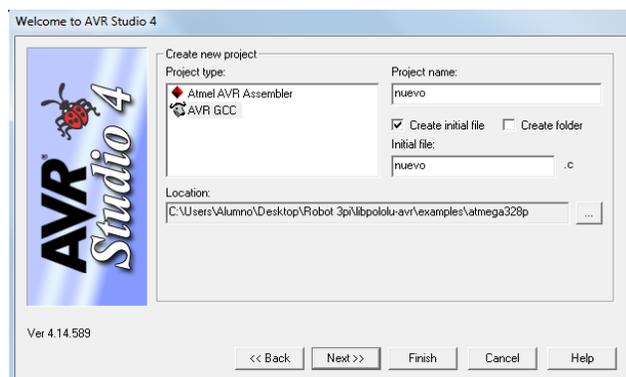
Número de sensor	Ecuación obtenida (x =valor analógico-digital del sensor)
1.-Servo(Pin 8- Arduino)	$16549.5/x^{1.19753}$ (1)
2.-Sensor Izquierdo(AD6-Pololu)	$13884.6/x^{1.17871}$ (2)
3.-Sensor Central(AD7-Pololu)	$11046.1/x^{1.1459}$ (3)
4.-Sensor Derecho (PC5-Pololu)	$12369.0/x^{1.15577}$ (4)

**Tabla 2** Ecuación de los sensores

*Fuente: Elaboración propia*

b. El Pololu 3 Pi es el primer encargado de detectar obstáculos a su paso, mediante un sensor infrarrojo colocado en la parte frontal, el cual provoca que el robot se detenga totalmente a una distancia determinada y envíe un dato mediante comunicación serial al arduino, quien activa un servomotor con otro sensor infrarrojo para poder realizar un barrido de 0°-180°, tomando cada 20° medidas de distancia, esto para determinar en qué ángulo se tiene mayor posibilidad de avanzar.

c. Mediante el entorno de desarrollo AVR Studio 4 se realizó la programación para el robot Pololu 3 Pi, este comportamiento está basado en los diagramas de las Figuras 6 y 7.



**Figura 8** Proyecto en AVR Studio 4

Fuente: <http://www.atmel.com/tools/studioarchive.aspx>

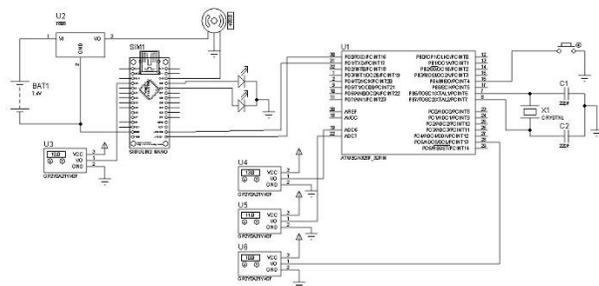
d. La programación para el Arduino Nano fue realizado en el entorno de desarrollo con el mismo nombre (ARDUINO) mostrado en la Figura 9, la razón de usar dos microcontroladores es debido al número de pines que se necesitaban y con los cuales no se contaban si solo se utilizaban los disponibles en el Pololu 3 Pi.



**Figura 9** IDE Arduino.

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

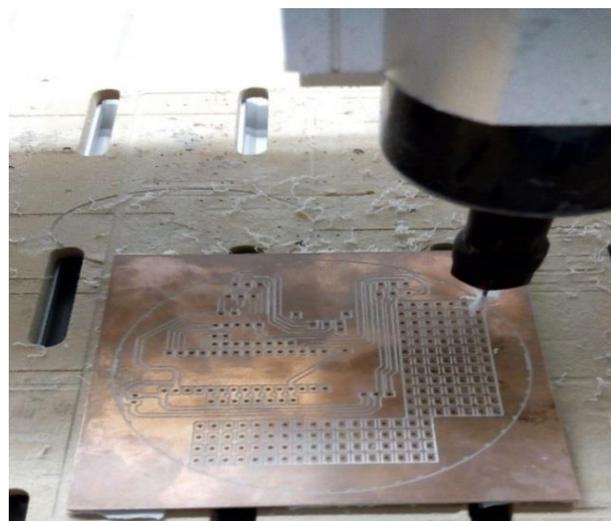
e. Se realiza un esquema de conexiones entre el Pololu y el Arduino Nano, así como los nuevos sensores y dispositivos añadidos el cual se muestra en la Figura 10.



**Figura 10** Esquema de conexión

Fuente: *Elaboración propia*

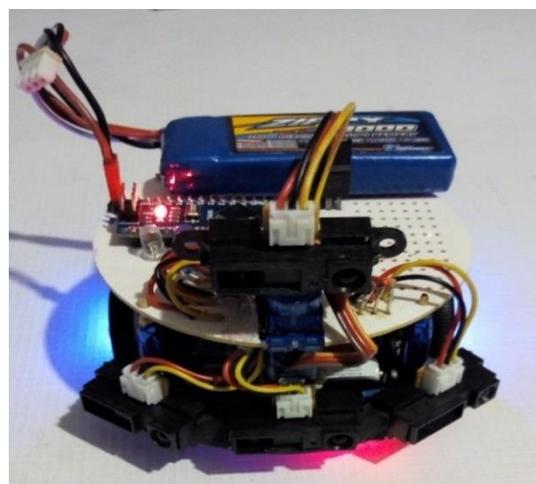
f. Se diseña y se maquina el circuito con la ayuda de un CNC mostrado en la Figura 11, la placa maquinada también es una expansión en la que se le podrán agregar cualquier otro tipo de sensores o actuadores para trabajos futuros en el proyecto.



**Figura 11** Diseño de PCB maquinado en un CNC

Fuente: *Elaboración propia*

g. En la Figura 12 se muestran el montaje de todos los componentes utilizados.



**Figura 12** Robot pololu 3 Pi con componentes añadidos

Fuente: *Elaboración propia*

## Resultados

Se logró desarrollar el comportamiento con la ayuda de dos diferentes tipos de entornos, los cuales son Arduino y Atmel Studio.

El infrarojo colocado sobre el servomotor reduce la cantidad de sensores a utilizar, debido a que este tiene la facilidad de girar, permitiendo saber la dirección libre para avanzar.

En la Figura 13 muestra como el robot se detiene al momento de detectar un obstáculo a menos de 15 centímetros.

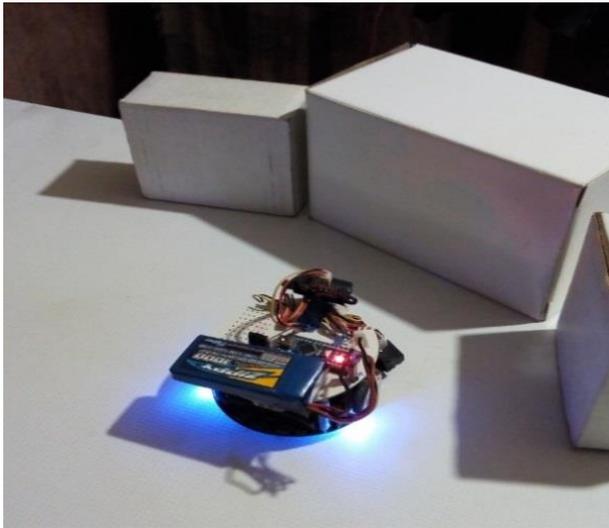


Figura 13 Robot detenido al detectar obstáculo Fuente: Elaboración propia

Al momento de detenerse manda un dato al segundo microcontrolador (Arduino), el cual le indica cuando debe ser activado el servomotor e inicia el barrido para detectar dirección de avance.

En la Figura 14 se muestra el momento de inicio de funcionamiento del servomotor, el cual se encarga de detectar ángulos para tomar la decisión en los que es más viable avanzar.

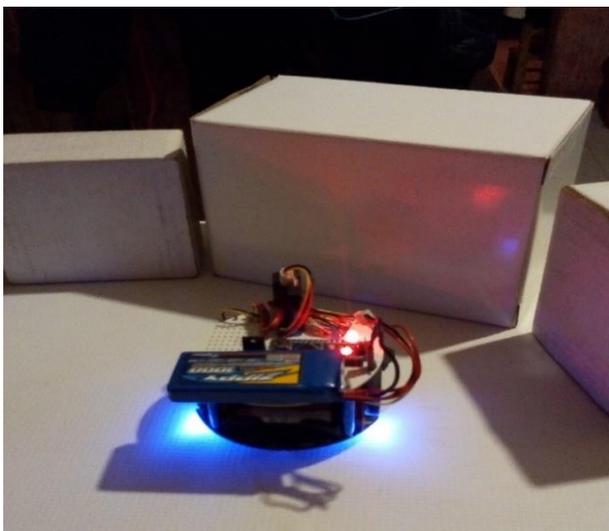


Figura 14 Momento de inicio de funcionamiento del servomotor Fuente: Elaboración propia

Una vez terminado el barrido, el arduino envía el dato del ángulo al cual debe girar el Pololu. En la Figura 15 se muestra como el robot está girando hacia el sentido de avance, esta decisión la toma al verificar el ángulo más óptimo durante el barrido, descartando cualquier otra dirección con menor distancia, en el cual podría haber otro obstáculo.

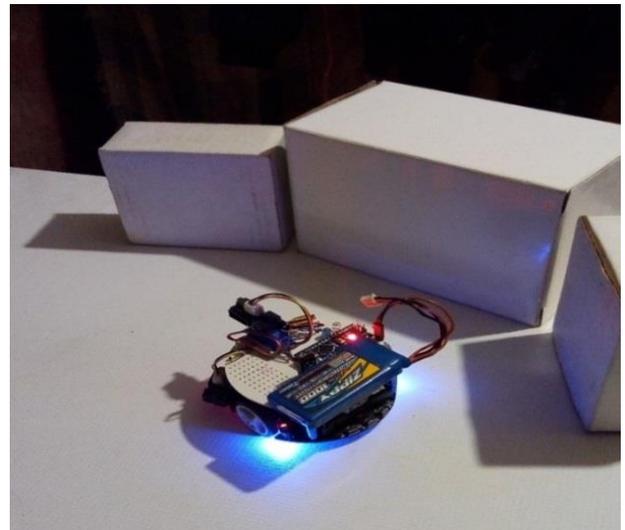


Figura 15 Robot girando hacia dirección de avance Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 2 se observa que la trayectoria seguida del robot ante un obstáculo, en el se puede ver que sigue avanzando hasta evadir el obstáculo tomando encuentra la dirección en la que es mas probable avanzar.

Y en el Gráfico 3 se visualiza la trayectoria seguida del robot al ser encerrado, se puede observar que al llegar a un punto en el cual el robot no puede avanzar más este realiza un giro para volver a realizar un barrido y detectar otra dirección de avance.

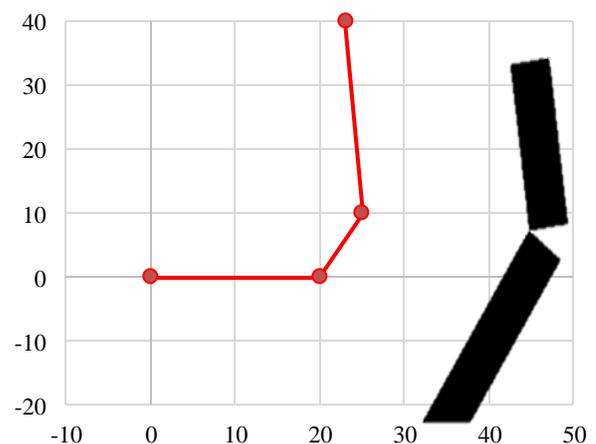
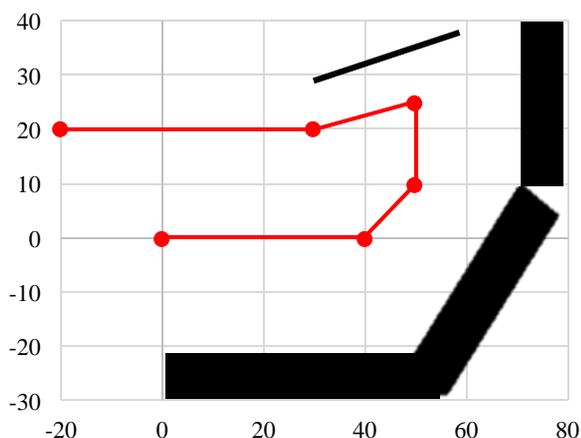


Gráfico 2 Trayectoria seguida del robot ante un obstáculo Fuente: Elaboración propia



**Gráfico 3** Trayectoria seguida del robot al ser encerrado  
Fuente: Elaboración propia

### Agradecimiento

Los autores desean expresar su agradecimiento a la carrera de Ingeniería Mecatrónica y a la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango por el apoyo y las facilidades para el desarrollo de este trabajo.

### Conclusiones

Mediante el comportamiento desarrollado el robot es capaz de dirigirse hacia cualquier dirección sin colisionar, permitiendo la navegación del mismo e interacción con su entorno.

Con la implementación de este proyecto se cumplen todas las expectativas propuestas dado que el objetivo principal es implementar comportamientos reactivos del Pololu 3 Pi, así como la conformación de su estructura dentro del ambiente donde pueda ejecutar diferentes secuencias de movimiento.

Este tipo de comportamientos permite contribuir en el desarrollo de futuros proyectos similares, ya que garantiza una buena detección de obstáculos y ahorro de sensores para optimizar componentes.

### Referencias

Antonio Benitez A. (2011). Programación de Vehículos móviles bajo Plataforma Pololu 3Pi, Revista Visión Politécnica. Año 6/Núm. 1.

Arduino. (04 de Febrero de 2018). Obtenido de Arduino:  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Atmel Studio. (Enero de 2018). Obtenido de Atmel:<http://www.atmel.com/tools/studioarchive.aspx>

Benavides F., (2012). Planificación de movimientos aplicada en robótica autónoma móvil. Tesis de maestría ISSN 0797-6410. Universidad de la República, Montevideo. Uruguay.

Benitez A, Mugarte A. (2009) "GEMPA: Graphic Environment for Motion Planning algorithm", In Research in Computer Science and Engineering. Volumen 42, pag. 225-236.

Bermúdez G. (2002) Robots móviles. Tecnura.

González Acevedo H., Mejía Castañeda C. (2007). Estudio Comparativo de tres Técnicas de Navegación para Robots Mviles. Revista de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas.

Haemel W., Lipchak S. (2011). OPpenGL Superbible, Fifth Edition.

López García, D.A. (2011). Nuevas aportaciones en algoritmos de planificación para la ejecución de maniobras en robots autónomos no holónomos. Tesis de maestría. Universidad de Huelva, Huelva, España.

Mathematics (Marzo de 2018). Obtenido de Mathematics: <https://www.wolframalpha.com>

Morales, E. Sucar E. Introducción a la Robótica Movil. Insituto Nacional De Astrofísica, Óptica y Electrónica.

Pololu Corporation. (2009). Pololu 3pi Robot Users Guide. Robot Pololu 3pi Guía de usuario. Con dirección electrónica en: <http://www.pololu.com/docs>.

Quintero P., et al., (2010). Técnicas para evasión de obstáculos en Robótica Móvil. IEEE Publications. Orlando, Florida, USA.

Sensor Sharp. (Marzo de 2018). Obtenido de Datasheet:[http://www.sharpsma.com/webfm\\_send/148](http://www.sharpsma.com/webfm_send/148)

Valencia J, Hernando Rios L. (2009.). Modelo cinemático de un robot móvil tipo diferencial y navegación. Universidad Tecnológica de Pereira

Vazquez Alejandro G, García Ramírez R., Martínez Ramírez V. (2017). Seguimiento de muros con robot koala usando algoritmo bugs. Revista de Ingeniería Eléctrica.

Ying L., Ruiqing F., Jiping W., (2016) Una estrategia de seguimiento de muros para robots móviles basada en la autoconvergencia. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy Science