



## Propuesta de prototipo de robot aspiradora de bajo costo y alta tecnología aplicado a procesos de limpieza de baja escala

### *Proposal of prototype of low cost and high technology vacuum robot applied to small scale cleaning processes*

Andrade Salazar Milton Temistocles<sup>1</sup>, Bastidas Chalan Rodrigo Vladimir<sup>1</sup>, Benavides Astudillo Diego Eduardo<sup>1</sup>, Alberto Daniel Núñez Agurto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
mtandrade@espe.edu.ec

Rec.: 19.03.2019. Acept.: 21.01.2020.

Publicado el 30 de junio de 2020

#### Resumen

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal mejorar el estilo de vida de las personas, especialmente de quienes tienen algún tipo de discapacidad física, y por tal razón se les hace muy complicado realizar actividades de limpieza. Para cumplir con este objetivo, se ha creado el prototipo de una aspiradora robótica autónoma llamada YOLIMPIO, para realizar proceso de limpieza a baja escala en los hogares y oficinas. Para este propósito, se utilizaron hardware y software de inteligencia artificial, manejados en robótica. En cuanto a hardware, para el mecanismo de movimiento se utilizó placas electrónicas Arduino, sensores de movimiento, cámaras y demás dispositivos de bajo costo. En cuanto al software, se utilizó el que viene embebido en las placas Arduino, por medio del cual se configuraron y programaron cada uno de los componentes electrónicos. Para la etapa de prueba y error, se utilizó el simulador PROTEUS. Ya en la etapa de prueba se constata que la aspiradora por medio de sensores, puede detectar y absorber los desperdicios esparcidos en el piso, puede detectar si está próxima a un obstáculo o próxima a un final de pista o piso firme, si ya no hay basura para recoger, si está con bajo nivel de energía se dirigirá a la fuente de energía para recargarse las veces que sea necesario. En conclusión, se puede afirmar que con software libre y hardware de bajo costo, disponible en el mercado, se puede construir un robot de servicio de alta tecnología y de alto impacto social.

**Palabras clave:** Robot de servicio, prototipado, Tecnología Arduino, Simulador Proteus.

#### Abstract

This research work has as main objective to improve the lifestyle of people, especially those who have some type of physical disability, and for that reason it is very complicated to carry out cleaning activities. To achieve this goal, the prototype of a self-contained robotic vacuum called YOLIMPIO has been created to perform a small-scale cleaning process in homes and offices. For this purpose, artificial intelligence hardware and software, used in robotics, were used. In terms of hardware, Arduino electronic boards, motion sensors, cameras and other low-cost devices were used for the movement mechanism. As for the software, the one that was embedded in the Arduino boards was used, by means of which each of the electronic components was configured and programmed. For the trial and error stage, the PROTEUS simulator was used. Already in the test stage it is verified that the vacuum cleaner by means of sensors, can detect and absorb the waste scattered on the floor, can detect if it is close to an obstacle or next to an end of the track or firm floor, if there is no more trash to pick up, if it is with low energy level it will go to the power source to recharge as many times as necessary. In conclusion, it can be affirmed that with free software and low cost hardware, available in the market, a high-tech service robot with a high social impact can be built.

**Keywords:** Service Robot, prototyping, Technology Arduino, Proteus Simulator.

## Introducción

Según la O.M.S. (Organización Mundial de Salud), el 15% de la población mundial está afectada por alguna discapacidad física, psíquica o sensorial que dificulta el desarrollo personal y su integración social, educativa o laboral. Tal porcentaje equivale a 900 millones de personas, casi el doble de la población de Latinoamérica. “Hemos entrado en una era emocionante y dramática en la cual la tecnología, especialmente la de los robots, no sólo incrementará nuestras capacidades humanas sino que bien podría remplazarlas por completo.” (McCloy, 1984, p. 18). Para implementar robots exige tener conocimientos multidisciplinarios, puesto que se incursiona en la mecánica, sensores, motores, comunicaciones, electrónica, e inteligencia artificial. La idea central de esta investigación es cumplir de a poco con la visión de un mundo en el que el trabajo de los seres humanos pudiera ser reemplazado por el de los robots, proclamada por los expertos en robótica desde hace tiempo (Moravec, 1999). La robótica móvil es un área de la robótica en general que en la actualidad tiene un intenso estudio por la comunidad científica debido a las innumerables aplicaciones y servicios que ofrece. “Los avances de la robótica hacen posible el desarrollo de sistemas cada vez más capaces, dotados de sensores que le permiten actuar de manera autónoma para un gran número de aplicaciones” (Gómez, 2006). La robótica se apoya en gran medida en los ingentes progresos de la microelectrónica y la microinformática, así como también en nuevas disciplinas como reconocimiento de formas y la inteligencia artificial. Las aspiradoras autónomas o robóticas ya existen, no es nueva la incursión en este mundo, pues desde el año 2001 ya han aparecido varios modelos que se han desarrollado a la sombra del mercado; y ya hay empresas que la comercializan desde hace algún tiempo, así están las aspiradoras robóticas Roomba, Vacuum Clear, Ubot, entre otras, pero por ser comerciales y utilizar componentes de hardware y software propietarios resultan muy elevados sus costos, por lo que no todas las personas puedan adquirir una de ellas.

Siendo consecuentes con la sociedad en general y conociendo las consecuencias que conlleva hacer la limpieza manualmente en casa u oficina, como es: tiempo, dolor de espalda, cansancio, estrés; se propone diseñar e implementar una aspiradora robótica “YOLIMPIO” con hardware y software free de tecnología ARDUINO, y de esta manera conseguir un producto terminado con las mismas o mejores características que las aspiradoras comerciales pero a menor costo; consecuentemente beneficiando a personas que tengan algún tipo de discapacidad física a tener un mejor estilo de vida.

En el diseño del prototipo de la aspiradora

“YOLIMPIO”, se utilizó hardware y software de inteligencia artificial, utilizados en robótica. En el hardware, para el mecanismo de movimiento se utilizó placas electrónicas Arduino, sensores de movimiento, cámaras y demás dispositivos de bajo costo. En cuanto al software, se utilizó el que viene embebido en las placas Arduino, por medio del cual se configuraron y programaron cada uno de los componentes electrónicos. Permitiendo de esta manera detectar y absorber los desperdicios esparcidos en el piso, puede detectar si está próxima a un obstáculo o próxima a un final de pista o piso firme, si ya no hay basura para recoger, si está con bajo nivel de energía se dirigirá a la fuente de energía para recargarse las veces que sea necesario; además tiene una navegación autónoma debido a la implementación de un algoritmo el cual permite moverse a la aspiradora en un entorno desconocido

El presente documento está estructurado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta los materiales y métodos utilizados en el diseño del prototipo de “YOLIMPIO”. Y en la Sección 3 se presentan los resultados y discusión, donde se deja entrever que con software free y componentes de bajo costo se pueden obtener aspiradoras con iguales o mejores características que las existentes en el mercado.

## Materiales y métodos

En primera instancia se realizó un estudio profundo de la documentación existente sobre aspectos que involucra el proyecto, se analizaron ventajas y desventajas que conllevaría implementar el proyecto, qué es lo que se podía mejorar con relación a las aspiradoras robóticas existentes, y qué es lo que quedaría por investigar en futuros proyectos similares a este.

Para la parte de ingeniería en particular se utilizó el Proceso Unificado Racional o RUP de sus siglas en Ingles, este facilitará el modelado de los artefactos que constituyen los elementos de hardware y software del robot. También se hizo uso de la metodología de prototipado, puesto que en el diseño de la aspiradora robot, se tenía que ir pasando por varias etapas, la última etapa mejoraba a la anterior. El proyecto se divide en dos partes:

### Parte electromecánica

La parte del diseño empieza por tener una base de acrílico la cual tiene una forma circular y donde descansará el resto de accesorios; esta base estará soportada en las ruedas las cuales permiten el movimiento de la aspiradora. Para el mecanismo de movimiento se utilizó los motores, además se colocaron los sensores que permitirán tomar otra dirección en caso de detectar un obstáculo, o a su vez si detecta el vacío.

Para la construcción de YOLIMPIO se utilizó

planos detallados de los mecanismos y de los circuitos eléctricos y electrónicos que se constituirán en el organismo artificial del robot.

El hardware lo componen; sensores digitales que detectará cuando por alguna situación se produzca un choque y el robot tendrá que ejecutar un algoritmo que le permita salir de tal situación; los sensores infrarrojos que se utilizaron para detectar desniveles y prevenir que se caiga el robot, los sensores ultrasónicos que se utilizaron para detectar y evitar obstáculos; además se utilizaron sensores ópticos y acústicos para detectar el grado de suciedad y en base a ello activar un programa de limpieza especial. Una placa Arduino UNO Rv3, la cual nos permitirá manipular y controlar los sensores; Módulo driver Puente HG7881 que permite controlar los motores de cada rueda. Una rueda “loca” que sirve de soporte de la parte posterior del robot; cable unifilar para realizar las conexiones entre ARDUINO y el robot; las baterías que es un elemento importante para el funcionamiento del robot. El sistema de aspirado que está compuesto por una serie de cepillos, el depósito de la suciedad, el filtro cuya función es recoger el polvo y las partículas más pequeñas de suciedad durante la aspiración.

Debido al consumo energético que se requiere al realizar el proceso de limpieza, se implementa un sistema que permite recargar las baterías mediante un cargador inalámbrico comercial (120 Vac-6 Vdc) en la aspiradora y cualquier tomacorriente del lugar donde se haga la limpieza. Para aumentar la eficiencia del cargador, se instala un transmisor de radiofrecuencia XBee (alcance 120m), ver figura 1, el cual permite ubicar y acercarse a la aspiradora lo más cerca posible al transmisor del cargador inalámbrico.

La segunda opción para cargar las baterías, sería usar un rectificador (120 Vac-6 Vdc) y el transmisor de radio frecuencia XBee. Sin embargo, físicamente, se debería acoplar con un enchufe al tomacorriente con un sistema electromecánico que acople milimétricamente. Debido a que la altura de los tomacorrientes varía, el enchufe que se ubicaría en la aspiradora debería contar con un sistema elevador, para desplazarlo verticalmente y que se ajuste al enchufe.

En cualquiera de los sistemas a utilizar, también se debe contar con transformadores de corriente y de voltaje para monitorear corriente y voltaje en las baterías, ya que esa sería la condición que le permita a la aspiradora acercarse al transmisor del cargador inalámbrico. Como la aspiradora cuenta con sensores ultrasónicos no existe riesgo de colisión con la pared y siempre se deberá acercar la aspiradora por el lado del receptor del cargador inalámbrico.



Figura 1. Transmisor RF XBEE XB24CZ7WIT-004

Fuente: Digi-Key. (2019)

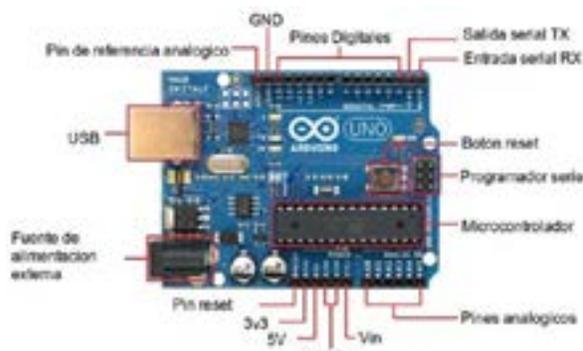


Figura 2. Componentes de la placa Arduino UNO Rv3

Fuente: Isaac. P. (2014)

La placa de la figura 2, es la más extendida y que es suficiente para llevar a cabo varios tipos de proyectos mecatrónicas. Se basa en un microcontrolador Atmel ATmega320 de 8 bits a 16Mhz que funciona a 5v. 32KB son correspondientes a la memoria flash (0,5KB reservados para el bootloader), 2KB de SRAM y 1KB de EEPROM. En cuanto a memoria es una de las placas más limitadas, pero no por ello resulta insuficiente para casi todos los proyectos que rondan la red. Las salidas pueden trabajar a voltajes superiores, de entre 6v y 20v pero se recomienda una tensión de trabajo de entre 7v y 12v. Contiene 14 pines digitales, 6 de ellos se pueden emplear como PWM (modulación por ancho de pulsos). En cuanto a pines analógicos se cuenta con hasta 6. Estos pines pueden trabajar con intensidades de corriente de hasta 40mA.

El controlador de motores o Módulo driver Puente HG7881, ver figura 3, es requerido por cuanto la placa Arduino no puede gestionar o controlar directamente motores de corriente continua. Los motores de cc que se utilizan son dos y funcionan perfectamente con 6v y unos 300mA cada uno, por lo que entre los dos motores necesitamos 600mA. El controlador HG7881 funciona entre 2,5v y 12v, con intensidades de 800mA energía

suficiente para controlar los dos motores de las llantas.

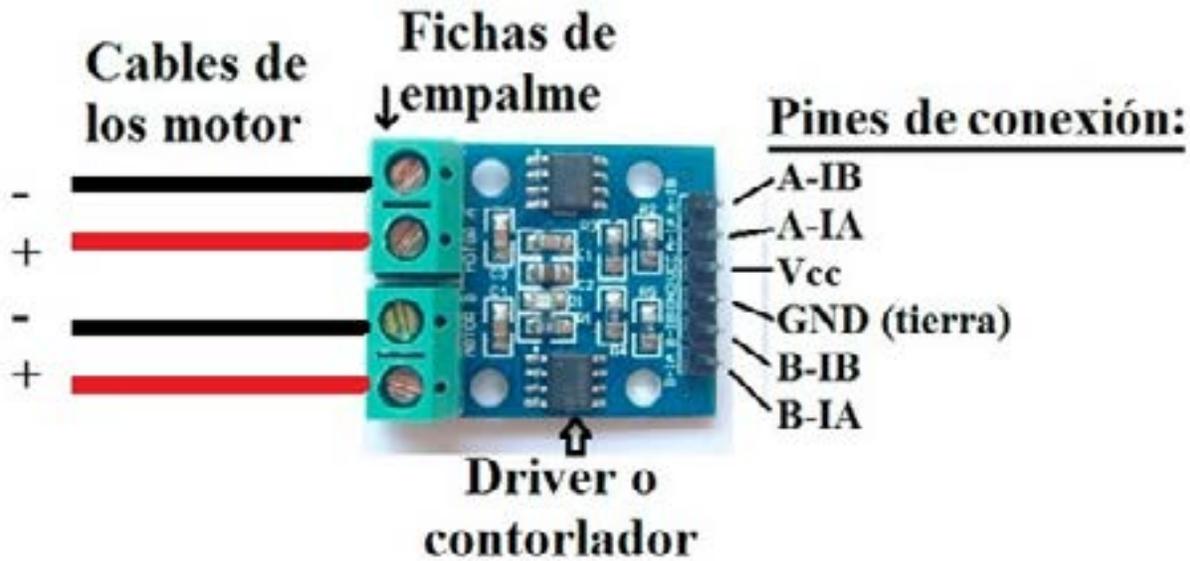


Figura 3. Descripción controlador HG7881  
Fuente: Isaac. P. (2014)

También tenemos un motor de cc de 6v y 2A que estará encargado de mover las aspas del ventilador; y un motor de cc de 4v y 2A el cual ayudará al sistema de cepillos que recogerán la basura que encuentre en su camino. Para el funcionamiento autónomo es muy importante la colocación de las baterías para cada uno de los motores implantados en la aspiradora.

**Control de sensores y movimientos por medio de programación Arduino (software)**

Para una buena eficiencia en el aspirado, es importante también el sistema de navegación empleado por el robot. Generalmente el sistema de navegación determina el nivel de “inteligencia” del robot aspirador. Hay muchos robots de gama baja que carecen de sistema de navegación. Sin embargo, en los modelos de gamas medias y altas podemos encontrar variados sistemas.

El sistema de navegación es la vista en el aspirador, permite crear un mapa de la habitación para controlar las zonas que ya han sido limpiadas, y cuáles no. También favorece un movimiento inteligente, evitando movimientos innecesarios característicos de aspiradores robóticos con patrones de movimientos prefijados. El aspirador robótico “YOLIMPIO” tiene programado cinco tipos de navegación: espiral, zig-zag, seguimiento de paredes, forma de S, y pentagonal. Se diseña el algoritmo de las funciones que controlaran a cada uno de los motores o actuadores; programar y codificar las señales que son emitidas por cada uno de los sensores implantados en la aspiradora.

En el siguiente diagrama de flujo queda determinado el control general de la aspiradora robótica

“YOLIMPIO”.



Figura 4. Diagrama de flujo de algoritmo principal  
Fuente: Andrade (2019)

## **Resultados y discusión**

La aspiradora “YOLIMPIO” es un robot resultado de esta investigación y que puede actuar en entornos diferentes; y en base a ello determinar su eficiencia. Para la navegación se utilizó dos entornos diferentes: estructurado y desestructurado.

Entorno estructurado.- es una superficie de dimensiones determinadas donde el robot “YOLIMPIO” debe hacer efectivo el proceso de aspiración. Por regla general los fabricantes de estos tipos de robots incluyen mediciones que relacionan la superficie visitada por unidad de tiempo. Esta medida puede facilitarse en porcentaje. Así el 90% de eficacia en 8 metros cuadrados en un tiempo de 30 minutos; supone visitar  $0.9 \times 8 = 7,2$  metros cuadrados de superficie en 30 minutos. El entorno en esta situación suele ser cuadrado, de dimensiones definidas, y libre de obstáculos. En estos entornos la aspiradora alcanza una velocidad de 9,5cm/s

Entornos desestructurado.- en este entorno se pretende valorar de manera real y global el rendimiento y comportamiento de la aspiradora “YOLIMPIO”; puesto que en este caso el entorno no está definido en forma, ni en tamaño; y además presenta obstáculos como sillones, camas, mesas, lugares con bajadas de escaleras.

En ambos entornos la superficie sobre la que se puede desplazar la aspiradora es indistinta para su funcionamiento.

Según el algoritmo programado el robot elige la trayectoria a seguir, todo dependerá de la opción que desee el usuario. La basura recogida en el reservorio de la aspiradora puede ser extraída con facilidad para dar mayor eficiencia al proceso de aspirado.

El uso de baterías independientes para cada uno de los procesos que realiza la aspiradora, proporciona mayor potencia en los actuadores del sistema de locomoción, como en los actuadores de la barredora y aspiradora.

El tiempo de respuesta de los sensores ante los estímulos externos percibidos por los diferentes sensores se los realiza en tiempo real, con un retardo de 200ms, es decir pasa este tiempo y la aspiradora ejecuta el algoritmo seleccionado.

La aspiradora robótica “YOLIMPIO” es un prototipo que reúne muchas de las características que tienen las aspiradoras robóticas comerciales como iLife, Conga, Hombot, Neato, Xiaomi, entre otras; pero estas al utilizar placas electrónicas propietarias y software con licencia, hacen que sus costos sean bastante elevados con la consecuencia de que no muchas personas podrán adquirir una de ellas. Para la construcción y elaboración del software del prototipo de la aspiradora robótica “YOLIMPIO” se utilizaron tanto placas electrónicas como paquetes informáticos de libre distribución o

free, tal como es la tecnología Arduino, con lo que el producto terminado se lo obtiene con una inversión bastante accesible y nada comparado con la inversión de las aspiradoras robóticas comerciales.

A este prototipo se le puede hacer algunas mejoras, como es el caso de la navegación del robot, donde se le puede implementar más opciones, con lo que el espacio de memoria a utilizar sería mayor; y la placa Arduino Uno no nos ayudaría mayormente, para lo cual se recomienda actualizar a una placa electrónica de más capacidad de almacenamiento como es la placa Arduino Mega ATmega2560.

Para la implementación del prototipo de la aspiradora robótica “YOLIMPIO” fue necesario el uso de varias disciplinas de la ingeniería, tales como la instrumentación, teoría de control, modelado físico, programación, mecánica, electrónica, modelo matemático, entre otras.

## **Conclusiones**

El tener nociones básicas del Lenguaje de programación C, es de gran ayuda para poder entender y programar en Arduino; y por tanto desarrollar el software de navegación de la aspiradora.

La tecnología Arduino al ser una plataforma de código abierto, el hardware y software son flexibles y fácil de manipular; no tiene límites, el límite lo ponen los investigadores.

## **Bibliografía**

- Armada, E. (2015). Robots. Madrid: CSIC Los Libros de la Catarata.
- Cerón, A. (2009). Sistemas robóticos teleoperados. España: Universidad Militar Nueva Granada.
- Corrales, V. (2006). Electrónica práctica con Microcontroladores PIC. Quito: Imprenta Gráfica.
- Digi-Key. (2019). Módulos de tranceptor RF. Recuperado de <https://www.digikey.com/product-detail/es/digi-international/XB24CZ7WIT-004/602-1560-ND/5322374>
- Fusario, R. (2012). Teoría de control para informáticos. Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor.
- García, C. (2012). Instalaciones domóticas. Barcelona: Cano Pina, Ediciones Ceysa.
- García, F. (2014). Maquinas sincronas y máquinas de corriente continua. Madrid: Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de MadridDextra.
- INTPLUS. (2019). SuperRobótica. Robótica fácil. Recuperado de <http://www.superrobotica.com/>
- Isaac. P. (2014). Comohacer.eu. Análisis comparativo de las placas Arduino (oficiales y compatibles). Recuperado

- de <http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/>
- McCloy, D., Harris, D. & Durán, A. (1993). *Robótica: una introducción*. México: Limusa Grupo Noriega Editores.
- Moravec, H. (2000). *Mere Machine to Transcendent Mind*. Barcelona: Oxford University Press
- Orozco, J. (2000). *Integración y fusión multisensorial en robots móviles autónomos*. City: Universidad Complutense de Madrid.
- Proyectos personales sobre plataformas libres. (2013). Notas sobre robótica, electrónica, sistemas operativos y programación. Robot móvil básico controlado con Arduino. Recuperado de <https://minibots.wordpress.com/2013/12/24/robot-movil-basico-controlado-con-arduino/>
- Reyes A. (2004). *Aprenda rápidamente a programar Microcontroladores*. Quito: Gráficas Ayerve.
- Sánchez, E. (2012). *Tecnología de los robots educativos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.