

Diseño y construcción de un robot para limpieza acuática

Design and Construction of a Water-Cleaning Robot

JAIRO ORLANDO MONTOYA GÓMEZ*

CAROLINA PÉREZ**

EVELYN GARNICA***

DIEGO SALAMANCA****

JAIRO SIMANCA*****

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un robot para limpieza acuática, con el cual se puede retirar material flotante de lugares como piscinas y lagunas. Se describen los pasos seguidos para el diseño de una estructura flotante, un sistema de impulsión o locomoción sobre agua y los sistemas de percepción y decisión. Como resultado de este proyecto se obtiene un prototipo de robot capaz de recoger y transportar piezas flotantes en el agua con el tamaño y peso de una bola de ping pong, para descargarlas en la orilla de una piscina o lago.

Palabras clave: robótica móvil, limpieza acuática, diseño.

ABSTRACT

This paper presents the design and construction of a water-cleaning robot, the purpose of which is to remove floating material from such places as swimming pools and lagoons. The steps followed to design a floating structure, a drive or locomotion system on water and the perception and decision systems are described. As a result of this project we have the prototype of a robot capable of gathering and transporting floating pieces on water with the size and weight as a Ping-Pong, for unloading at the edge of a pool or lake.

Keywords: Mobile robotics, water cleaning, design.

FECHA DE ENVÍO: 8 DE MARZO DE 2012 • FECHA DE ACEPTACIÓN: 9 DE OCTUBRE DE 2012

* Ingeniero Electromecánico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Duitama), MSc en Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes (Bogotá). Profesor del programa de Ingeniería en Automatización de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: jamontoya@unisalle.edu.co

** Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica de la Universidad de La Salle (Bogotá). Correo electrónico: catitop17@gmail.com.

*** Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica de la Universidad de La Salle (Bogotá). Correo electrónico: eve_garnik@yahoo.com

**** Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica de la Universidad de La Salle (Bogotá). Correo electrónico: psicodelicska@gmail.com

***** Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica de la Universidad de La Salle (Bogotá). Correo electrónico: zimanca@yahoo.com

Introducción

El diseño de los robots móviles ha permitido ampliar el campo de aplicación de la robótica, el cual estaba limitado a estructuras y a cadenas cinemáticas abiertas con un extremo anclado y el otro libre (Ollero, 2007). Esto se ha llevado a países como España a realizar proyectos como Aquiles Robotics Systems, robots terrestres para tareas de seguridad, los cuales están equipados de brazos para manipular objetos; Estados Unidos con el proyecto Packbot, robot de inspección y exploración; Japón diseña y construye los robots Thes III, para inspección de tuberías de entre 50 mm y 150 mm de diámetro; Francia trabaja en robots submarinos autónomos como el Octopus, el Swimmer y el Girassol, entre otros; Rusia trabaja en la construcción de robots submarinos para inspección, los cuales pueden trabajar y explorar las profundidades marinas; el Reino Unido está trabajando en robots Rovs para aplicaciones industriales relacionadas con instalación de tuberías y cables submarinos. Para el 2004 la proyección de robots de servicio en actividades de limpieza se estimaba en 14,150 (Torres, 2002).

En el diseño y construcción de un robot móvil es importante tener en cuenta tres sistemas fundamentales que son: la locomoción, que incluye el medio donde va a trabajar el robot, (terrestre, acuático, aéreo); la percepción, encargada, por medio de sensores, de detectar las condiciones del medio externo al robot y el poder enviar las señales respectivas hacia su control; y la de programación y control, relacionada con la lógica de programación en función de las condiciones del medio. Con base en lo anterior, los objetivos de este trabajo son: diseñar una estructura mecánica de un robot que pueda flotar, acondicionar sensores para detectar objetos flotantes y programar una trayectoria que permita recoger elementos flotantes y llevarlos a un punto específico.

Diseño del robot acuático

El prototipo diseñado incluye los siguientes sistemas: estructura mecánica flotante, locomoción o impulsión, brazo recolector de material flotante, de percepción y de control. Lo anterior se puede observar en la figura 1.

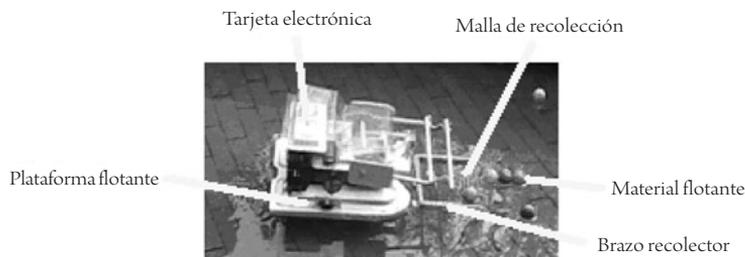


Figura 1. Estructura del robot acuático

Fuente: elaboración propia.

Estructura del robot

Es la encargada de alojar los motores, ventiladores, batería, mecanismo de recolección y circuito de control. Se utiliza como material de construcción de esta estructura balsa, por ser liviano, fácil de formar y con propiedades mecánicas adecuadas para la aplicación requerida.

En el diseño se tiene en cuenta la necesidad del robot de flotar y deslizarse sobre la superficie del agua. Para esto se emplean placas de poliestireno expandible (icopor), el cual le permite al robot flotar y con la forma seleccionada se tiene un aerodeslizador, con lo que se facilita el desplazamiento y control sobre el agua.

Las dimensiones de la estructura empleadas son 0,35 m de largo, 0,30 m de ancho y 0,30 m de alto, las cuales se definieron con base en las dimensiones finales de los sistemas de control, recolección, alimentación y locomoción. Conocido el peso de los elementos, se procede a determinar el espesor de la lámina de poliestireno expandible, de tal forma que soporte una carga de 800 g y permita el equilibrio de todo el conjunto sobre el agua. El espesor seleccionado para estas condiciones es de 30 mm. Para proteger el sistema electrónico del robot de las condiciones ambientales, se implementa una cubierta en acrílico, la cual evita la entrada de agua. Esto se puede ver en las figuras 1 y 2.



Figura 2. Cubierta de la tarjeta de control

Fuente: elaboración propia.

Para validar si el espesor de la lámina de icopor es el adecuado, se hace un análisis de flotabilidad. El diagrama de cuerpo libre de la estructura se muestra en la figura 3, donde la fuerza de empuje se representa con la letra E y el peso de la estructura con P .

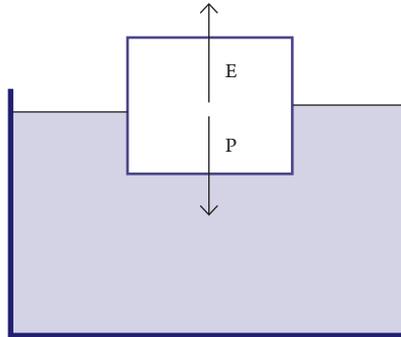


Figura 3. Diagrama de cuerpo libre componente Y

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar el principio de Arquímedes, si la fuerza de empuje es mayor al peso del robot, este va a flotar. Esto se evidencia en la ecuación 1.

$$E > P \quad (1)$$

Donde:

E = fuerza de empuje [N], P = peso del cuerpo sumergido [N].

El empuje se obtiene al aplicar la ecuación 2, y el peso del cuerpo sumergido a la ecuación 3.

$$E = d_l * g * V_s \quad (2)$$

$$P = d_s * g * V_s > d_s * g * V_s \quad (3)$$

Donde:

d_l = densidad del líquido = 1000 [kg/m³]; g = Gravedad = 9,8 [m/s²]; V_s = volumen del robot = 0,0037 [m³]; m_s = masa del robot = 0,8 kg; d_s = densidad del robot = 216,2 [kg/m³].

Al reemplazar las ecuaciones 2 y 3 en la ecuación 1, se puede determinar si el robot con las características constructivas puede o no flotar. Esto se puede observar en la ecuación 4.

$$d_l * g * V_s > d_s * g * V_s \quad (4)$$

Luego, sustituyendo los valores anteriormente definidos, se obtiene:

$$36 \text{ N} > 7.84 \text{ N}$$

Con este valor se asegura que el robot flote, puesto que la fuerza de empuje es mayor al peso del robot.

Sistema de locomoción para el robot acuático

Para que el robot se pueda desplazar sobre el agua y logre acumular y extraer elementos sólidos flotantes es necesario implementar un sistema que genere movimiento a la estructura o plataforma mecánica anteriormente expuesta. Se analizan las siguientes alternativas: hélices sumergidas, ruedas con paletas en cada lado de

la estructura y ventiladores. En la tabla 1 se muestran las ventajas y desventajas de cada una de estas alternativas.

Tabla 1. Alternativas de locomoción para el robot

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Hélices sumergidas	Velocidad y maniobrabilidad	Sistema de transmisión para los motores. Dificultad para girar. Perfiles de hélice y ángulos especiales para cada aplicación
Ruedas con paletas	Facilidad en la instalación	Mayor consumo de energía. No aplicable en pocas profundidades
Ventiladores	Facilita la navegación en lugares pantanosos y semisecos (Repdeval) Capacidad de carga. Facilidad de navegación en aguas poco profundas	Dificultad para girar. Requiere dos motores

Fuente: elaboración propia.

En el robot se instalan dos ventiladores conectados directamente a motores DC de 3,5 W a 9 V, para obtener una velocidad de 0,42 m/s, y a la vez hacer el control en la dirección de movimiento del robot, de tal manera que cuando se activan los dos motores simultáneamente en la misma dirección, el robot avanza en línea recta y si se invierte el sentido de giro en uno de ellos, se puede girar a la derecha o izquierda según corresponda. Los ventiladores se ubican en la parte posterior de la estructura, como se puede ver en la figura 4.



Figura 4. Sistema de locomoción robot acuático

Fuente: elaboración propia.

Para calcular la fuerza con la que los motores de los ventiladores van a impulsar el robot sobre el agua se utiliza la ecuación 5.

$$P = F.V \quad (5)$$

Donde:

P = potencia de los motores [W]; F = fuerza en el eje horizontal [N];

V = velocidad horizontal del robot [m/s].

Como la potencia y la velocidad son valores conocidos, se obtiene la fuerza *F* aplicada al robot, al ser despejada de la ecuación 5 así:

$$F = \frac{P}{V} = 2x \left(\frac{3,5w}{0,42 \frac{m}{s}} \right)$$

$$F = 16,6N$$

Así, con este valor de fuerza se logra el desplazamiento del robot y los diferentes subsistemas que lo componen. Luego, para detener el robot en un determinado punto es necesario regular la velocidad de avance; posteriormente, invertir el giro de los motores y lograr su frenado. En seguida se instalan guías en la parte inferior para mejorar el control de giro y la estabilidad ante efectos como el viento.

Brazo recolector de material

El sistema para recolectar las bolas de ping pong está compuesto de un brazo con ejes paralelos a cada lado del robot y una malla para recolectar y acumular las bolas a medida que el robot avanza. Para calcular la potencia requerida en el motor del brazo se considera la carga máxima aplicada en el extremo; en este caso se toma de 20 g [7,84 N]. Esto se puede observar en la figura 5. Como el objetivo para este caso es acumular la mayor cantidad de material (bolas de ping pong), se dimensiona la malla del mismo ancho del robot. El largo y el alto se pueden ajustar según los requerimientos.

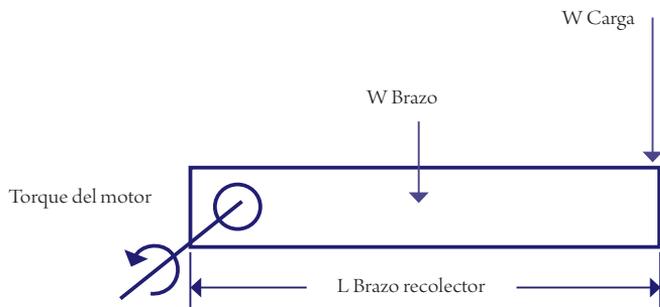


Figura 5. Diagrama de fuerzas para el brazo recolector

Fuente: elaboración propia.

El torque requerido en el motor se obtiene con la ecuación 6.

$$\tau = W_B * L / 2 + W_{\text{carga}} * L \quad (6)$$

Donde:

W_B = peso del brazo = 0,1 [N]; L = longitud del brazo recolector = 0,20 [m];

W_C = peso máximo de la carga recolectada = 8 [N].

Remplazando en la ecuación 6, se obtiene:

$$\tau = 1,61N - m$$

La velocidad de giro del brazo para levantar el material recolectado se estima en 0,75 rad/s. Con esta información se determina la potencia requerida en el motor conectado al brazo, aplicando la ecuación 7.

$$P = \tau * \omega \quad (7)$$

Donde: P = potencia [W]; T = torque [N-m]; w= velocidad angular [rad/s].

Al reemplazar los datos anteriores y considerando un factor de seguridad de 1,6, debido a que no se conocen pérdidas eléctricas ni mecánicas, se obtiene que la potencia requerida en el motor es de 1,93 W, este utiliza un motor de potencia comercial más cercana de 3,25 W y voltaje de funcionamiento de 9VDC, el cual trae un sistema de

reducción por engranajes de dientes rectos, que permiten obtener el par suficiente para levantar la carga a la velocidad requerida.

El control de los motores de impulsión del robot y activación del brazo de carga se hace por tiempos desde el sistema de control, el cual se describe posteriormente. En la figura 6 se muestra el sistema de recolección antes diseñado.



Figura 6. Sistema de recolección de material

Fuente: elaboración propia.

Sistema de percepción

El robot necesita tener un reconocimiento del contorno de la piscina o estanque, con el fin de poder detectar el lugar en el cual debe descargar el material recolectado. Para esto se implementan tres sensores de distancia infrarrojos (1 GP2D12 y 2 GP2D120), ubicados en la parte frontal y a los lados del robot (figura 7).

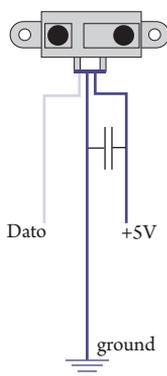


Figura 7. Sensor GP2D12

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-free/gp2d12-gp2y0a21yk0f-distance-measuring-sensor-118518948.html>

Se tiene en cuenta que los sensores GP2D12 y GP2D120 no son lineales y las variaciones dependiendo la distancia generan fluctuaciones que pueden afectar las mediciones. Al tenerse en cuenta lo anterior, se discretiza en rangos de 0.10 m, esto al utilizar un conversor A/D interno en el microcontrolador y configurado a 10 bits, con rangos de 0 a 1024, donde 0 es 0 V y 1024 son 5 V.

Una vez el robot llega a la orilla, un sensor de contacto (microswitch), ubicado en la parte frontal del robot, se activa y envía un pulso al microcontrolador, para activar el brazo recolector.

Sistema de decisión (control)

Para controlar los movimientos del robot acuático y la activación del brazo de recolección se utiliza el microcontrolador 16f873, en el cual se tienen entradas para los sensores infrarrojos, de contacto, y salidas hacia la etapa de potencia conectada a los motores (figura 8).

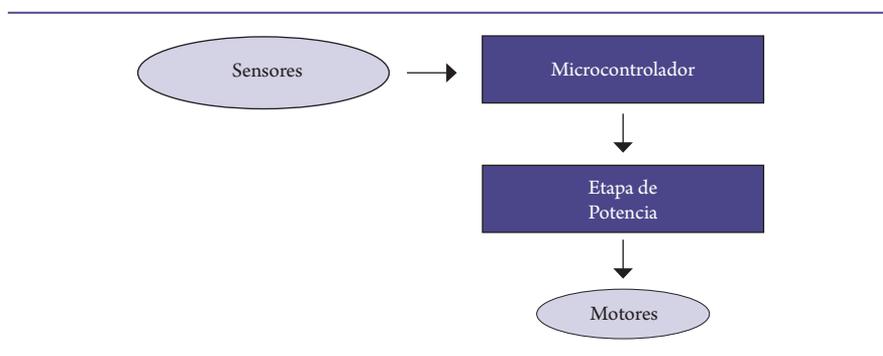


Figura 8. Diagrama de control robot acuático

Fuente: elaboración propia.

La etapa de potencia proporciona la corriente necesaria a los motores y en este caso se emplea un CI L293D, el cual es un puente H que permite el cambio de dirección de los motores conectados a los ventiladores para controlar el giro del robot (figura 9).

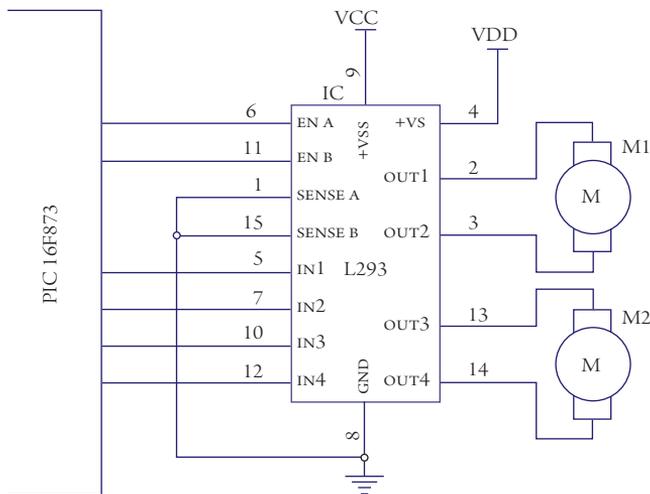


Figura 9. Configuración circuito integrado L293

Fuente: elaboración propia.

Con base en la información de los sensores, se controla el sentido de giro de los motores de los ventiladores. De este modo, permite al robot generar una serie de movimientos para recolectar los elementos flotantes. En la tabla 2 se expone la asignación de pesos en la programación.

Tabla 2. Asignación de pesos para control del robot

SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SUMATORIA	MOTOR 1 ADELANTE	MOTOR 1 ATRÁS	MOTOR 2 ADELANTE	MOTOR 2 ATRÁS
0	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0	0	1
0	2	0	2	0	1	0	1
1	2	0	3	RUTINA ESPECÍFICA			
0	0	4	4	0	1	1	0
1	0	4	5	0	1	0	1
0	2	4	6	RUTINA ESPECÍFICA			
1	2	4	7	0	1	0	1

Fuente: elaboración propia.

Sistema de alimentación

Con el fin de contar con la energía suficiente para mover el robot y alimentar su sistema de control, se implementa una batería de 9 VDC, la cual brinda una autonomía del mecanismo por 1,5 h. Al momento de seleccionar la batería se tiene en cuenta la capacidad de corriente y el peso principalmente, ya que si las dimensiones y peso son altos, se pierde estabilidad del robot sobre el agua o se puede hundir y causar daños al sistema electrónico.

Pruebas de funcionamiento

En una primera fase se realizaron pruebas a los diferentes materiales utilizados, esto con el fin de confirmar y validar su desempeño en contacto con el agua. Las dimensiones utilizadas dan versatilidad de movimiento sobre el agua, pero se ve la necesidad de instalar guías en la parte inferior de la estructura para obtener mejor control en los giros del robot.

Luego, se realizan pruebas de funcionamiento del sistema de recolección para confirmar si el tamaño de la malla utilizada evita que los objetos recolectados se salgan una vez recogidos y el brazo logre levantar la carga de 8 N. Esta prueba permite asegurar que el sistema es funcional.

Finalmente, el robot se prueba en una piscina de 4 m², en la cual se colocan veinte bolas de ping pong en forma aleatoria. El robot se ubica en uno de los extremos de la piscina para que inicie la recolección. El resultado de esta prueba mostró que el robot pudo recolectar paquetes de diez bolas en un tiempo aproximado de tres minutos, lo cual indica que para realizar la limpieza total de una gran superficie es necesario realizar varios recorridos con el robot.

Discusión

Los robots móviles, tanto los autónomos como los teleoperados, son objeto de gran estudio y desarrollo en países industrializados que han visto en ellos un gran campo de aplicación industrial. Las aplicaciones abarcan desde la enseñanza del funcionamiento de los robots e investigación en complejas técnicas de

inteligencia artificial, para la navegación y operación de robots teleoperados en ambientes reales, hasta la aplicación de robots móviles en la industria militar, la minería, el transporte flexible y la industria aeroespacial.

Estos robots son los empleados en situaciones que implican riesgo y peligro para humanos, como en el caso de la detección de artefactos explosivos. Sin embargo, en este trabajo se presenta una aplicación con la cual se puede ayudar a disminuir el daño que los seres humanos causan, intencional o accidentalmente, sobre las reservas de agua, cuando se arrojan desechos sólidos, los cuales no son extraídos por las entidades ambientales debido a los costos de personal que esto acarrea.

Conclusiones

El empleo de materiales plásticos como el icopor permite la construcción de estructuras de robots estables en el agua, con una capacidad de carga que permite el empuje y encapsulado de materiales sólidos en una piscina, para luego ubicarlos en un lugar seco.

El prototipo desarrollado permite empezar a abordar el problema de reciclaje acuático o la recolección de desechos flotantes en estanques y lagunas, los cuales están afectando el ecosistema en muchas de las regiones del mundo, debido al elevado costo de su mantenimiento. Este trabajo demuestra que con materiales comerciales y económicos se puede dar solución a un problema ambiental actual muy grave, con la simple integración de la electrónica, mecánica, sensorica, programación y control.

La implementación y utilización de este tipo de robots puede permitir con pequeñas modificaciones en su estructura, ayudar en la recolección no solo de material sólido sino también líquido, tal es el caso del petróleo que se acumula en la superficie del agua después de un derrame accidental. Las características de la estructura se pueden implementar en la limpieza de humedales y lagos, para remover el buchón que nace en este tipo de ambientes y es perjudicial para el ecosistema.

Referencias

- Barrientos, A.; Peñín, L. F.; Balaguer, C. y Aracil, R. (2007). *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Boylestad Nashelsky (2003). *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. México D. F.: Pearson Prentice Hall.
- Budinas, R. G. y Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D. F.: McGraw-Hill.
- Gómez, J.M.; Ollero, A. y García, A. (2006). *Teleoperación y telerrobótica*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Gómez, J. M. (2006). *Robótica: teleoperación y telerrobótica*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Kumar, S. (2010). *Introducción a la robótica*. México, D. F.: McGraw-Hill.
- Maloney, T. (2006). *Electrónica industrial moderna*. México D. F.: Pearson Prentice Hall.
- Morales, S. O.; Toledo, D. A. y Montoya, J. O. (2007). *Mechatronic design of a teleoperate robotized vehicle for exploring and security*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Ollero, A. (2007). *Robótica: manipuladores y robots móviles*. México, D. F.: Alfaomega.
- Repdeval Equipos. Recuperado el 14 de marzo de 2012 de http://www.repdeval.com/combate_derrame_de_petroleo.htm
- Reyes, F. (2011). *Robótica: control de robots manipuladores*. México, D. F.: Alfaomega.
- Robótica de servicios. Recuperado el 10 de marzo de 2012 de http://www.roboticadeservicios.com/robots_expladores.html
- Torres, F. (2002). *Robots y sistemas sensoriales*. Madrid: Pearson Prentice Hall.