

# Diseño y Construcción de un Bastón Guía para la Ayuda en la Movilidad de Personas No Videntes

Dario Xavier Lomas Arciniega  
Automatización y Control Industrial  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito- Ecuador  
dario.lomas@epn.edu.ec

Nelson Gonzalo Sotomayor Orozco  
Automatización y Control Industrial  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito- Ecuador  
nelson.sotomayor@epn.edu.ec

**Resumen**—El proyecto se desarrolló con el fin de mejorar la movilidad de las personas no videntes, además de buscar acercarse al avance de sistemas tecnológicos que se encuentran destinados a mejorar la calidad de vida de las personas no videntes en Ecuador. Para el desarrollo de este proyecto se ha usado métodos de tipo exploratorio, descriptivo y experimental. De este modo se diseñó y construyó un bastón guía para personas no videntes, el mismo que cuenta con un algoritmo de planificación de rutas de campos potenciales artificiales para la evasión de los obstáculos, y tiene la capacidad de enviar mensajes audibles al usuario que indican la ruta libre de obstáculos.

**Keywords**—Bastón guía, planificación de rutas.

## I. INTRODUCCIÓN

Para las personas con discapacidad visual, desplazarse en su rutina cotidiana representa un reto debido a los obstáculos y dificultades que encuentran en su entorno [1]. El bastón blanco es una herramienta comúnmente usada por personas con discapacidad visual para detectar objetos en su camino y evitar colisiones, sin embargo, carece de retroalimentación anticipada para detectar objetos, por lo cual la persona debe hacer contacto directo con los objetos y muchas veces recibir golpes de objetos que no están a nivel del suelo [2].

El objetivo del equipo implementado es avanzar en el desarrollo de sistemas tecnológicos que mejoren la calidad de vida de las personas no videntes en Ecuador. Se centra en mejorar su movilidad, aumentar su autonomía y brindarles mayor confianza al desplazarse [3], al ofrecer un bastón guía que, mediante la detección anticipada de obstáculos, pueda crear una ruta segura para las personas no videntes.

## II. METODOLOGÍA

El equipo está compuesto por un sistema electrónico que detecta obstáculos en la ruta del bastón y con la ayuda de un algoritmo de planificación de rutas y un sistema de audio proporciona al usuario información sobre rutas sin obstáculos. El equipo diseñado es liviano, considerando que las personas con discapacidad visual deben llevarlo consigo mientras se desplazan de un lugar a otro.

A continuación, se presenta la explicación correspondiente al diseño del bastón guía, misma que será distribuida en dos partes por un lado la electrónica y mecánica, y por otra el diseño de software.

### A. Diseño electrónico

Con el fin de tener una visión general del diseño electrónico con el cual debe contar el prototipo del bastón guía, en la Figura 1 se presenta la arquitectura del hardware dentro de la cual se puede observar cada elemento que lo conforma.

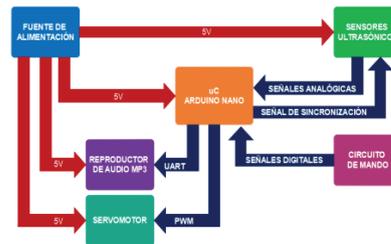


Figura 1. Arquitectura de hardware del bastón guía

La función de cada elemento es:

- Sensores ultrasónicos: Dispositivos esenciales para la detección de objetos cercanos.
- Arduino Nano: Sistema embebido que realiza el control global del prototipo.
- Circuito de mando: Botones que habilitan al usuario a seleccionar las modalidades de funcionamiento y la dirección de giro en caso de detección frontal.
- Reproductor MP3: Componente que, al recibir instrucciones del sistema integrado, reproduce mensajes auditivos para el usuario.
- Servomotor: Permite la realización de giros en la rueda.
- Fuente de alimentación: Proporciona energía para todos los elementos que componen el equipo.

### B. Diseño mecánico

El bastón guía está equipado con cuatro sensores ultrasónicos, por lo cual es esencial considerar la disposición de estos sensores para lograr un campo de detección que abarque tanto la parte frontal como los lados derecho e izquierdo. Por esta razón, se ha decidido distribuir los sensores de la siguiente manera: dos sensores en la parte frontal, uno en la parte superior y otro en la parte inferior del bastón, un sensor en el lado izquierdo y otro en el lado derecho. En la Figura 3, se puede apreciar la representación en 3D de una pieza diseñada para servir como soporte de los sensores ubicados en la parte inferior del bastón.



Figura 3. Pieza 3D para el montaje de los sensores ultrasónicos en el bastón guía

La pieza de soporte en 3D presenta ángulos de inclinación de 45° y 135°, estos ángulos permiten a los sensores detectar obstáculos en el lado derecho e izquierdo, información que permite al algoritmo de planificación de rutas determinar la ruta libre de obstáculos.

Para el cuarto sensor ultrasónico se diseñó e implemento la pieza mostrada en el Figura 4, en la que adicionalmente se colocan las baterías, la placa de los componentes electrónicos y la botonera. Esta pieza será también el mango del bastón.



Figura 4. Pieza 3D para el montaje de la placa y el sensor frontal de la parte superior

En la Figura 5 se presenta una representación visual del prototipo y la disposición de cada uno de sus componentes.



Figura 5. Prototipo final del bastón guía

Cabe mencionar que la velocidad del desplazamiento es proporcionada por el usuario. En la Tabla 1 se describen las características del prototipo.

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO

Característica	Descripción
Material	Aluminio y plástico
Largo	1,20 m
Ancho	10,86 cm
Duración de la batería	5 horas

C. Diseño de software

Una visión global del software se puede apreciar en la arquitectura mostrada en la Figura 6. Al encender el interruptor, se activan el Arduino Nano, los sensores y actuadores, y se inicia el programa de control. Para detectar objetos, el usuario debe elegir entre dos modos (interior o exterior), que determinan la distancia mínima de detección. Cuando se detecta un objeto, el módulo MP3 emite un mensaje de audio indicando la dirección. Si el objeto está en la parte frontal, el usuario puede elegir la dirección de giro por medio de pulsadores. Si no, se calcula la dirección y el ángulo de giro usando el algoritmo de planificación de rutas de fuerza ficticia modificada, y se envían al servomotor a través de PWM para girar la rueda. Si no se detecta otro obstáculo, el servomotor vuelve a su posición inicial.



Figura 6. Arquitectura del software

D. Algoritmo de generación de fuerzas ficticias para la navegación de robots móviles

El método de fuerza ficticia modificado ha demostrado ser una herramienta altamente efectiva en la planificación de rutas para robots móviles en los últimos años, gracias a su eficiencia y su enfoque matemático simplificado. Este enfoque se basa en la generación de una fuerza artificial dentro del entorno de trabajo, que atrae al robot móvil hacia su destino deseado y lo repele de cualquier obstáculo presente en su trayectoria [4]. La Figura 7 ilustra el robot y las fuerzas involucradas en este proceso.

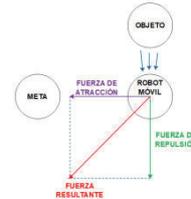


Figura 7. Fuerzas producidas en el método de campos potenciales artificiales

A continuación, se describe las características más relevantes del método [5]:

- Las rutas son suaves y se originan en tiempo real en función del campo de fuerza ocupado.
- Presencia de mínimos locales.
- El tiempo de ejecución es relativamente bajo.
- Implementación sencilla
- Coste computacional bajo.

Reemplazando al robot por la persona, se realiza una modificación al algoritmo para que pueda ser usado en el prototipo de bastón móvil. La Figura 8 muestra la representación del sistema de referencia que se ha usado.

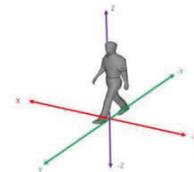


Figura 8. Sistema de referencia [6]

En los dos modos de funcionamiento del prototipo, se emiten mensajes de audio para señalar una ruta sin obstáculos, siguiendo la dirección de la fuerza de atracción artificial. La Tabla 2 proporciona las abreviaciones utilizadas para describir los parámetros empleados en las ecuaciones [6].

TABLA 2: ABREVIATURA Y DESCRIPCIÓN

Abreviatura	Descripción
DMD	Distancia mínima de detección
DDM	Distancia de detección medida
DDF	Distancia de detección frontal
DDL	Distancia de detección lateral
DDD	Distancia de detección derecha
DDI	Distancia de detección izquierda

La posición inicial que se establece para una fuerza de atracción ( $\vec{F}\vec{A}$ ), es en dirección de la orientación en la que se encuentra la persona, de esta manera se tiene que las componentes  $(x, y)$  en un principio serán [6]:

$$\vec{F}\vec{A} = \begin{pmatrix} F\vec{A}_x \\ F\vec{A}_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ DMD \end{pmatrix} \quad (1)$$

Considerando el concepto de transformación de las componentes  $x, y$  de la velocidad, se obtiene que las componentes  $x, y$  de  $\vec{F}\vec{A}$  cambian en función de un ángulo de rotación  $\theta$  [6].

$$R_{\theta+}(\vec{F}\vec{A}) = \begin{pmatrix} F\vec{A}_x \\ F\vec{A}_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \theta & DMD \\ \cos \theta & DMD \end{pmatrix} \quad (2)$$

Así la ecuación correspondiente a la componente de repulsión empleada en el sistema embebido es [6]:

$$F\vec{A}_x = \sin \theta * DMD \quad (3)$$

El signo (-) indica que tuvo lugar una rotación positiva como se observa en la Figura 9 [6].

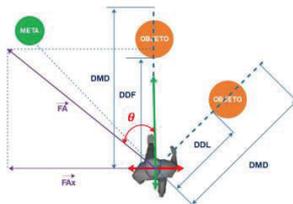


Figura 9. Esquema de implementación con distancias y fuerzas que se producen [6]

En ausencia de obstáculos en la trayectoria del robot, no se origina ninguna fuerza que cause cambios en las componentes  $(x, y)$  de  $u_d$ , lo que permite al robot mantener su dirección hacia adelante de manera inalterada. Esta circunstancia conlleva a la derivación de la ecuación  $\theta$  en el contexto del sistema embebido, específicamente cuando se presenta una rotación negativa ( $\vec{F}\vec{A}$ ) [6].

$$\theta_- = \begin{cases} \cos^{-1}(\beta_1) & \text{si } DMD \leq DDF \text{ y } DDD \leq DMD \\ \cos^{-1}(\beta_2) & \text{si } DDF \leq DMD \text{ y } DDD \leq DMD \\ 0 & \text{Si no se detecta un objeto} \end{cases} \quad (4)$$

El dominio de la función  $\cos^{-1}(\beta_1)$  es  $[-1, 1]$ , y dado que se tiene como una magnitud escalar positiva a la distancia, de modo que  $0 \leq \beta_1 \leq 1$  [4]:

$$\beta_1 = \frac{DMD}{DMD+(DMD-DDD)} \quad (5)$$

$$\beta_2 = \frac{DDF}{DMD+(DMD-DDD)} \quad (6)$$

Estas condiciones son aplicadas para una detección en la zona lateral derecha, al realizar el reemplazo de (5) y (6) en la ecuación (4) se obtiene [6]:

$$\theta_- = \begin{cases} \cos^{-1}\left(\frac{DMD}{DMD+(DMD-DDD)}\right) & \text{si } DMD \leq DDF \text{ y } DDD \leq DMD \\ \cos^{-1}\left(\frac{DDF}{DMD+(DMD-DDD)}\right) & \text{si } DDF \leq DMD \text{ y } DDD \leq DMD \\ 0 & \text{Si no se detecta un objeto} \end{cases} \quad (7)$$

A su vez, si existe una rotación positiva que indica una detección en la zona lateral izquierda, se obtiene [6]:

$$\theta_+ = \begin{cases} \cos^{-1}\left(\frac{DMD}{DMD+(DMD-DDI)}\right) & \text{si } DMD \leq DDF \text{ y } DDI \leq DMD \\ \cos^{-1}\left(\frac{DDF}{DMD+(DMD-DDI)}\right) & \text{si } DDF \leq DMD \text{ y } DDI \leq DMD \\ 0 & \text{Si no se detecta un objeto} \end{cases} \quad (8)$$

En la ecuación 3 se deduce que  $0 \leq F\vec{A}_x \leq DMD$  [4].

El bastón dispone de dos estrategias para evadir objetos, las cuales varían según la dirección en la que se detecte el objeto, la primera estrategia se emplea cuando se detecta un objeto en las direcciones lateral y lateral-frontal, y la segunda estrategia se utiliza cuando existe una detección en la dirección frontal.

En la primera estrategia de evasión se rigen las ecuaciones ya expuestas para determinar el ángulo de rotación ( $\theta_-$  o  $\theta_+$ ), el cual cambia de  $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ . En la Figura 10 se puede apreciar los esquemas de la rotación positiva y negativa.

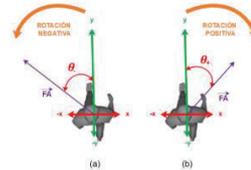


Figura 10. (a) Rotación negativa, (b) Rotación positiva [6]

La segunda estrategia de evasión se activa cuando se detecta un obstáculo solo en la parte frontal. En este caso, el bastón puede girar hacia la derecha o hacia la izquierda para cambiar de dirección. La elección del giro se controla mediante dos botones ubicados en el circuito de control, y el ángulo de rotación necesario para dirigir la rueda ya está predefinido en el sistema embebido. La Figura 11 muestra una detección frontal de un objeto, indicando que la distancia de detección frontal es menor que la distancia mínima de detección y no hay obstáculos a ambos lados, ya sea a la derecha o a la izquierda.

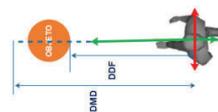


Figura 11 Detección frontal [6]

A estas dos estrategias de evasión se agrega la opción de detección triple, que significa que dos de los sensores laterales y al menos uno de los dos sensores frontales detecten un objeto. En esta situación, no es posible realizar un giro de la rueda en ninguna dirección. Por lo tanto, la única acción necesaria es informar al usuario que se encuentra en un camino bloqueado y debe regresar.

### III. RESULTADOS

El prototipo de bastón implementado permite emitir mensajes audibles indicando la ruta libre de obstáculo mismo mensaje que es escuchado por un solo oído ya que el usuario requiere el otro para escuchar los ruidos del ambiente, cuenta con baterías de ion litio que brinda una autonomía aproximada de 5 horas y la tracción es proporcionada por el usuario.

Para verificar el desempeño del prototipo se realizó pruebas con 13 usuarios, 12 personas videntes y 1 persona no vidente, en el caso de las personas videntes se procedió a vendar sus ojos para realizar la prueba, una vez que se finalizó la prueba se realizó la encuesta a cada usuario con el fin de conocer su percepción con respecto al uso del prototipo.

Para las pruebas con usuarios se consideraron diferentes entornos, que incluyen un patio y pasillo escolar, una sala de estar en un departamento, la terraza de una casa y un camino dentro de un conjunto habitacional; espacios en los cuales se tiene diferentes tipos de suelos como baldosa, concreto regular e irregular, pavimento de hormigón, etc, en el desarrollo de las pruebas no existió problema alguno con respecto al tamaño de la rueda, sin embargo en el caso de que el usuario llegara a impulsar la rueda sobre un desnivel más grande que su tamaño no existe ningún inconveniente, ya que el usuario lo puede levantar de manera sencilla y continuar con su trayecto. Antes de llevar a cabo las pruebas, se proporcionó a cada usuario una explicación detallada sobre cómo encender el prototipo, cómo utilizarlo y el significado de cada botón en el circuito de control, así como de cada mensaje de audio correspondiente, lo cual se encuentra representado en la Figura 12.



Figura 12. Indicación del manejo del bastón

Al finalizar las pruebas de funcionamiento se logró evidenciar que el audio proporcionado por parte del prototipo era el adecuado en base al objeto detectado permitiendo al usuario evadirlo, estos audios son de duración corta menor a 10 segundos, en la Tabla 3 se puede apreciar los mensajes de audio que se encuentran pregrabados para la reproducción por medio del sistema embebido.

El 54% de los usuarios mencionó que el uso del equipo les pareció fácil, el 23,08% les pareció bastante fácil y el 15,38% indicó que les pareció normal su uso.

El 69,23% de los usuarios señaló que la detección de los obstáculos fue oportuna, mientras que el otro 30,77% indicó que fue muy buena.

El 84,62% de usuarios señaló que la generación de la ruta permitió la evasión del obstáculo de manera eficiente, mientras que el 15,38% indicó que fue muy buena.

TABLA 3: ABREVIATURA Y DESCRIPCIÓN

Nombre	Mensaje
0001	Sistema encendido seleccione el modo de uso interior o exterior
0002	Modo de uso interior seleccionado
0003	Modo de uso exterior seleccionado
0004	Objeto detectado a la izquierda, gire a la derecha
0005	Objeto detectado a la izquierda, gire levemente a la derecha
0006	Objeto detectado a la derecha, gire a la izquierda
0007	Objeto detectado a la derecha, gire levemente a la izquierda
0008	Objeto detectado al frente y a la izquierda, gire a la derecha
0009	Objeto detectado al frente y a la izquierda, gire levemente a la derecha
0010	Objeto detectado al frente y a la derecha, gire a la izquierda
0011	Objeto detectado al frente y a la derecha, gire levemente a la izquierda
0012	Objeto detectado en la zona frontal inferior, seleccione giro derecha o izquierda
0013	Objeto detectado en la zona frontal superior, seleccione giro derecha o izquierda
0014	Objeto detectado en todas las direcciones, no hay una ruta libre de la vuelta
0015	Giro a la derecha seleccionado
0016	Giro a la izquierda seleccionado

### IV. CONCLUSIONES

En sistemas de asistencia, es esencial que los mensajes se entreguen oportunamente a las personas. Por lo tanto, se deduce que la utilización de algoritmos con una carga computacional menor contribuye a la entrega de estos mensajes a la velocidad adecuada. En este sentido, la elección de implementar el algoritmo de planificación de rutas basado en campos potenciales artificiales se considera una decisión acertada, dado que este algoritmo requiere un uso reducido de recursos computacionales y presenta un tiempo de ejecución breve, lo que permite una respuesta rápida.

### REFERENCIAS

- [1] INEC, «Población por condición de discapacidad, según provincia, cantón, parroquia y área de empadronamiento,» ecuaadorencifras, 2010. [En línea]. Available: <https://www.ecuaadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>. [Último acceso: 10 agosto 2023].
- [2] E. Salabert, «Bastones guía para ciegos: qué indican sus colores,» Webconsultas Revista de Salud y Bienestar, octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.webconsultas.com/curiosidades/bastones-guia-para-ciegos-que-indican-sus-colores>. [Último acceso: 10 noviembre 2021].
- [3] N. Dávalos, «Dos inventos ecuatorianos facilitan la inclusión de las personas ciegas,» Primicias, noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/inventos-ecuatorianos-inclusion-no-videntes/>. [Último acceso: 10 agosto 2023].
- [4] A. Rosales, G. Scaglia, V. Mut y F. di Sciascio, «Navegación de Robots Móviles en Entornos no Estructurados utilizando Álgebra Lineal,» Revista Iberoamericana de Automática e Información Industrial, vol. 6, n° 2, pp. 80-84, 2009.
- [5] D. Tibaduiza, J. Barrero y R. Martínez, «Planeamiento de caminos y trayectorias mediante algoritmos genéticos y campos de potencial para un robot móvil,» Innovación e Investigación en Ingeniería, vol. 8, n° 2, pp. 185-186, 2011.
- [6] N. Sotomayor, D. Chavez, V. Taramuel, O. Camacho y M. Sarzosa, «An approach for Helping the Mobility of People with Visual Impairment: Design and Implementation,» Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, n° 23, pp. 194-205, 2019.