

# Robot móvil (AGV) de asistencia en situaciones de riesgo

JORGE ELIECER RANGEL DÍAZ <sup>(1)</sup>, JOSÉ LUIS RUBIANO FERNÁNDEZ <sup>(2)</sup>,  
JAIRO ORLANDO MONTOYA GÓMEZ <sup>(3)</sup>

(1) [jorangel@unisalle.edu.co](mailto:jorangel@unisalle.edu.co)

(2) [jorubiano@unisalle.edu.co](mailto:jorubiano@unisalle.edu.co)

(3) [jamontoya@unisalle.edu.co](mailto:jamontoya@unisalle.edu.co)

Ingeniería en Automatización  
Universidad de La Salle  
Bogotá, Colombia

# Robot móvil (AGV) de asistencia en situaciones de riesgo

---

## RESUMEN

---

*Palabras clave:*

***Exploración; percepción; imágenes; interface de usuario***

Un robot móvil se puede aplicar en diferentes tareas, siendo una de estas la asistencia en situaciones de riesgo. En el presente artículo, se expone la metodología seguida en el diseño y construcción de un robot de este tipo. La metodología seguida consistió en definir unos parámetros generales de diseño, para luego proceder con el diseño de la parte mecánica, sistema de percepción y electrónica de mando y control. Como resultado se obtuvo un robot móvil capaz de ascender por pendientes de hasta 45°, desplazarse a una velocidad de 0.8 m/s, con un error de ubicación de 0.1 m en objetos localizados hasta 6 m de distancia. Se construyó el robot, se puso a punto y respondió adecuadamente a señales enviadas de forma remota.

## I. INTRODUCCIÓN

La humanidad siempre ha estado en situaciones de riesgo, por factores tales como: terremotos, inundaciones, incendios, actos terroristas o situaciones imprevistas, que se pueden generar ya sea en espacios a campo abierto (carreteras o parques) y en espacios cerrados (edificios o bodegas). En particular, en los espacios cerrados, los organismos de seguridad como policía, bomberos, defensa civil o cruz roja, desconocen las condiciones de seguridad del espacio sometido al riesgo, como para ingresar sin llegar a afectar la integridad personal.

Para asistir a los organismos de seguridad, se han diseñado y construido varios dispositivos móviles a control remoto como: El ejército de Estados Unidos desarrolló un proyecto de con IRobot conocido como PackBot 500, el cual cuenta con un sistema de sensores para mostrar imágenes de la zona explorada, en dos dimensiones y transmitir las en tiempo real, [1]. También se han construido robots para erradicar incendios forestales, asistir a personas en incapacidad de valerse por sí mismas, los cuales cuentan con estructuras acordes a la aplicación para la cual se diseñaron, [2] y [3].

En este trabajo se expone el proceso de diseño y construcción de un robot móvil capaz de movilizarse en espacios abiertos o cerrados, con pequeñas irregularidades en el terreno, con capacidad de enviar imágenes del entorno en forma remota, con lo cual no se pone en riesgo la vida o integridad de los seres humanos, en aquellas situaciones donde el entorno de aplicación del robot móvil pueda presentar un riesgo para los seres humanos.

## II. DISEÑO GENERAL DEL ROBOT

Antes de iniciar el diseño, se definen los siguientes parámetros a tener en cuenta: sabiendo que el robot se va a emplear en espacios donde hay la eventualidad de un riesgo, se requiere que esta sea lo suficientemente estable como para evitar que obstáculos relativamente pequeños la volteen; adicionalmente, debe contar con la posibilidad de poder desplazarse en espacios de poca altura, donde es difícil el desplazamiento de personas. Por lo an-

terior se definieron los siguientes parámetros: peso máximo de 50 kg, dimensiones de 0.9\*0.4\*0.15m, pendiente máxima de 45°, impermeable, autonomía de 3 horas, velocidad de desplazamiento 0.8 m/s, capacidad de captura de imágenes, reconocimiento de objetos y transmisión inalámbrica de la información captada. El diseño propuesto se compone de 3 partes: la primera es la mecánica y motora, segunda la percepción, y la tercera la de control y decisión o mando, [4].

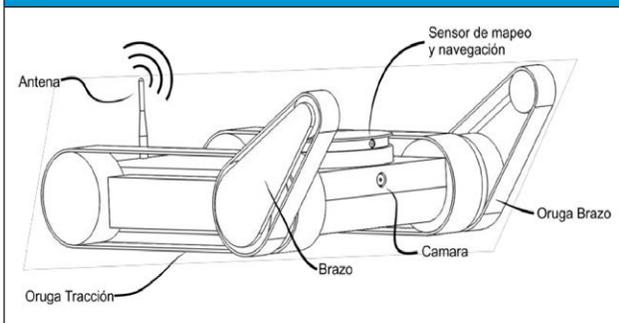
En la figura 1, se observa la estructura del robot. Esta se compone de los siguientes subsistemas: locomoción, chasis y generación y transmisión de movimiento. Como sistema de locomoción o tracción se emplearon orugas, por sus características de alta adherencia sobre la superficie de desplazamiento, lo que le permite superar con cierta facilidad obstáculos menores en la vía; adicionalmente, se cuenta brazos mecánicos a los costados, conformados por bandas de tracción por orugas, para aumentar aún más la capacidad de superación de obstáculos y facilitar el ascenso o descenso por pendientes o escaleras. El sistema de transmisión para las ruedas que mueven las orugas se realiza a través de cadenas de rodillos y un moto-reductor para cada oruga, de esta forma se consigue que el giro del robot se realice mediante el cambio de giro de los dos motores empleados en la generación de movimiento. Los brazos cuentan con un moto-reductor sinfin-corona, lo cual permite tener un auto-freno, mientras el motor del brazo este des-energizado. Adicionalmente, la estructura cuenta con un grado de impermeabilidad tal, que permite proteger los componentes internos de la humedad, para garantizar su correcto funcionamiento en los momentos que sea necesario, tenerla en lugares húmedos, pero sin llegar a sumergirlo.

Se cuenta con una cámara que envía imágenes al módulo de control, las cuales son procesadas para dar una visión en color o en escala de grises al usuario, sobre el entorno explorado y realizar un reconocimiento de los objetos. También, cuenta con un sensor ultrasónico, utilizado para realizar un mapeo en dos dimensiones que proporciona información

relacionada con obstáculos como paredes y otros elementos del ambiente. Adicionalmente, cuenta con un sensor de luz para activar una linterna, cuando las condiciones de luminosidad lo requieran.

Por último, la unidad de mando y control está compuesta por dos computadores personales, uno ubicado dentro de la estructura del robot de asistencia, cumpliendo la función de mando central, encargado de recibir y transmitir las señales de los sensores, captar la información enviada por el usuario para manipulación manual y de la toma decisiones durante su funcionamiento automático. El otro computador es el que interactúa directamente con el usuario, a través de una interfaz de aplicación que permite conectarse remotamente al computador del robot móvil, ver figura 1. Esta interface fue desarrollada completamente por los autores empleando el software LabView®.

Fig. 1. Estructura del robot de asistencia.



Para la fabricación de la oruga se selecciona como material de construcción el caucho de nitrilo dureza 50 shore D, ya que ofrece un excelente agarre a la superficie y además la protección a la corrosión por aceites o químicos. Adicionalmente, se instala un tensor para garantizar la adherencia permanente del sistema de tracción al terreno durante el desplazamiento.

### A. Sistema de Actuación

Este sistema se encarga de generar el movimiento a las orugas de tracción y a los brazos de asistencia para el desplazamiento, [5]. Para seleccionar los actuadores es necesario calcular la potencia y torque requerido para el desplazamiento en las condiciones más críticas de pendiente, garantizando una

velocidad máxima, ver figura 2. Se sigue el procedimiento sugerido en [6,7] para los elementos mecánicos.

Con base en la figura 2, se hace un análisis de fuerzas, y se encuentra que para las condiciones críticas de desplazamiento, la fuerza requerida para el ascenso es de 109 N, con lo cual la potencia requerida es de 82.8 W.

Para determinar la potencia de los motores de accionamiento de los brazos, se emplea la figura 3, a partir de la cual se hace el análisis de fuerzas y torques, encontrándose que el torque requerido para el giro de los brazos que permitan levantar la estructura, es de 45 N-m y por lo tanto, la potencia requerida es de 23.6 W.

Fig. 2. Diagrama de cuerpo libre de el robot de asistencia.

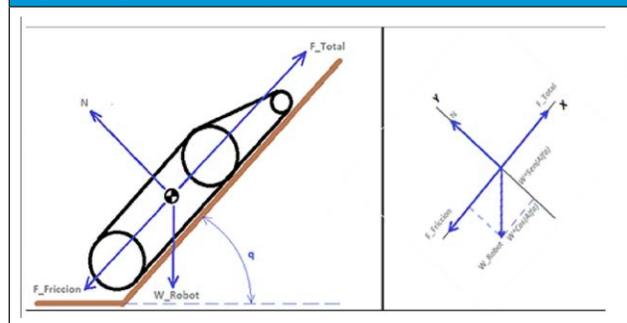
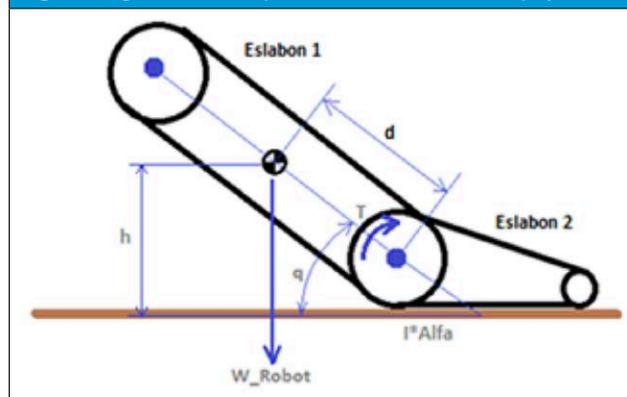


Fig. 3. Diagrama de cuerpo libre de los brazos de apoyo.



Ya conocidos los valores de las potencias de los motores, se procede a seleccionarlos. Las tablas 1 y 2, muestran las especificaciones de los motores empleados para desplazamiento y para los brazos.

**TABLA I. ESPECIFICACIONES DEL MOTOR PARA DESPLAZAMIENTO**

Parámetro	Descripción
Referencia comercial	Globe motor 455A150
Voltaje de trabajo	24 V DC
Relación de reducción	60:1
Tasa de corriente	700 mA
Corriente de arranque	1800 mA
Torque de funcionamiento	7.14 Nm
Velocidad	78 rpm => 8,16 rad/s
Temperatura de Operación	0 °C ~ 40°C
Peso neto	475 gr
Reducción	Caja reductora
Potencia	44W

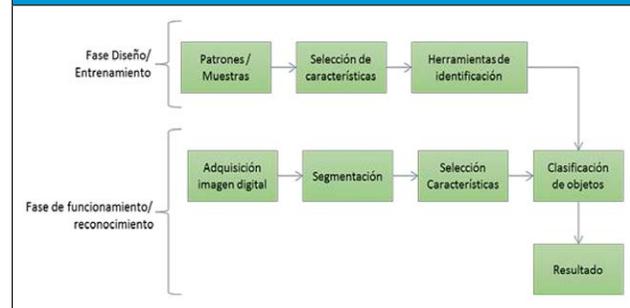
### B. Diseño Sistema de Percepción

Se diseña para que el robot de asistencia tenga la posibilidad; de ubicarse espacialmente a medida que se desplaza, identificar obstáculos y adicionalmente capturar imágenes del entorno y transmitir a la interface de usuario. Para la ubicación espacial se empleó una brújula de referencia CMPS10, un sensor ultrasónico de referencia SRF08 permite determinar la presencia de objetos y la distancia a la que se encuentran ubicados y una cámara que transmite imágenes en tiempo real para la realización de tareas de supervisión.

**TABLA II. ESPECIFICACIONES DEL MOTOR PARA LOS BRAZOS**

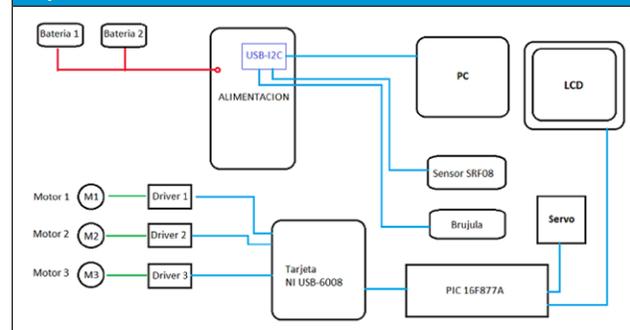
Parámetro	Descripción
Referencia comercial	GXK-245566
Voltaje de trabajo	22,2 V DC
Relación de reducción	85:1
Tasa de corriente	0.7A – 6.5A
Corriente de arranque	2200 mA
Torque de funcionamiento	7.75 Nm
Velocidad	60 rpm => 2pi rad/s
Temperatura de Operación	0 °C ~ 50°C
Peso neto	1374 g
Reducción	Sin fin Corona
Potencia	50 W

Para el reconocimiento de objetos, se tienen en cuenta las siguientes condiciones: 1) adquisición de imágenes mediante una cámara de 1.3 megapíxeles, 2) reconocimiento de figuras geométricas simples, 3) procesamiento de la imagen con las herramientas de IMAQ Vision de Labview y 4) trabajo con iluminación de luz día. En la figura 4 se muestra un diagrama del diseño del sistema de reconocimiento de objetos, desarrollado por los autores.

**Fig. 4. Diagrama de secuencia para reconocimiento de objetos.**

### C. Diseño del Sistema Electrónico

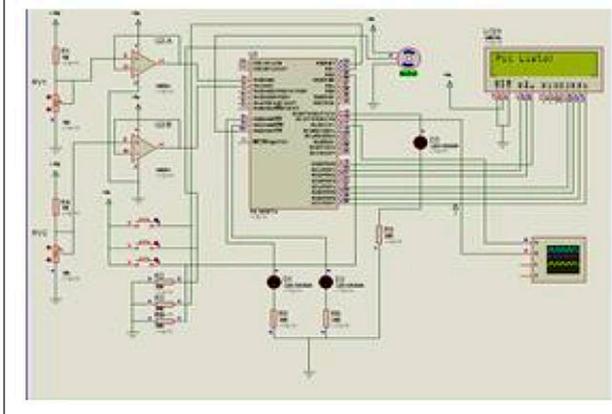
La figura 5, muestra la disposición modular de los diferentes componentes que hacen parte del circuito electrónico. En este se incluyen: baterías, computador de abordo, pantalla para visualización de información, sensores, microcontrolador, tarjeta de potencia (NI USB-6008), drivers y motores, teniendo en cuenta [8, 9 y 10].

**Fig. 5. Diagrama de secuencia para reconocimiento de objetos.**

Con el fin de comprobar el funcionamiento de los circuitos antes de ensamblarlos, se realizó una simulación en Proteus 7, ver figura 6. Se realizaron comprobaciones de: señales digitales de entrada

y salida del micro controlador, niveles de corriente para los drivers de cada uno de los motores según sus especificaciones, control de velocidad de los motores de tracción mediante PWM, comunicación mediante comandos entre el micro controlador y la tarjeta de adquisición (National Instruments), las conversiones análogas digitales realizadas por el microcontrolador, comportamiento de la LCD, el control del servomotor y un aproximado del consumo de corriente de los motores con carga, dato especial en la selección de las baterías [11,12].

Fig. 6. Simulación del circuito electrónico en Poteus 7.



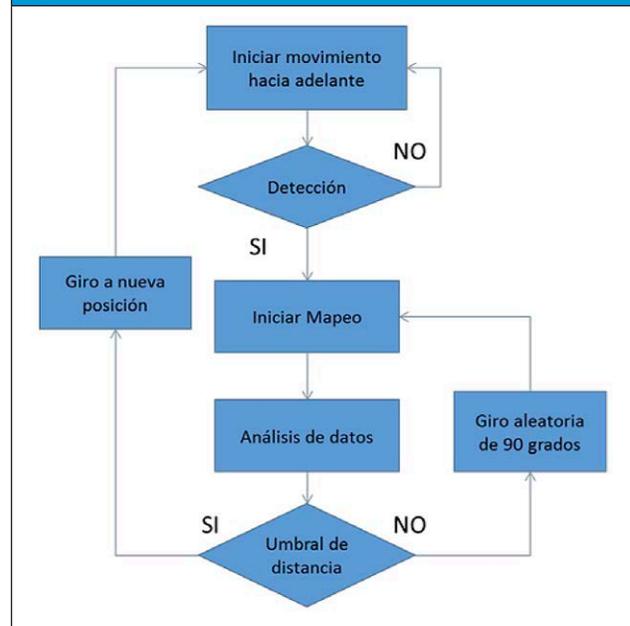
**D. Diseño del Sistema de Control y Decisión o Mando**

Este sistema se encuentra instalado en el computador al interior de la estructura mecánica del robot. En este se encuentran los algoritmos desarrollados y configuraciones necesarias para la comunicación con los periféricos. Por otro lado, el computador se encuentra conectado a una red privada mediante un router inalámbrico que brinda una mayor cobertura, para manejar el sistema. Se tienen 2 modos de operación del robot: automático y manual.

En el modo manual se manipula el robot, de acuerdo con las decisiones del usuario, quien puede desplazarlo por el terreno (plano XY), y a su vez controlar la posición de los brazo de nivelación. De igual forma, obtiene información de cada uno de los sensores. En cuanto a la supervisión está en la capacidad de activar la cámara para captura de imágenes que se transmiten en tiempo real.

En el modo automático, el robot tiene la capacidad de desplazarse por un determinado lugar sin chocar con los obstáculos presentes. Para esto, se desplaza y simultáneamente adquiere datos de distancia de los objetos que encuentra. Si se mide una distancia menor a 0.50 m, el robot se detiene e inicia la rutina de mapeo en busca de valores de distancia superiores a 1 m, lo que le indica una ruta abierta. Luego de esto, el robot se posiciona en la nueva dirección con ayuda de la brújula y comienza nuevamente el desplazamiento. En caso de no encontrar un valor de distancia mayor a 1 m, gira 90 grados, debido a que en este caso se encuentra de frente a una esquina, por lo cual al realizar este giro tendrá la posibilidad de encontrar una ruta de salida. Luego de esto, se realiza nuevamente la rutina de mapeo. Este proceso se repite hasta encontrar un valor de distancia óptimo para continuar con la marcha, ver figura 7.

Fig. 7. Diagrama de flujo rutina de desplazamiento.



**III. RESULTADOS**

Se evaluó el robot móvil de asistencia en situaciones de riesgo, en entornos abiertos y cerrados, encontrándose que en la parte:

- a) mecánica, el sistema de tracción se comportó de acuerdo con lo esperado, ya que siempre hubo

adherencia de las orugas a las diferentes superficies de ensayo. Adicionalmente, la selección de los motores fue la adecuada, ya que el robot se ensayó en una pendiente de aproximadamente 45°, superior a la pendiente de diseño, y no presentó ningún inconveniente para el ascenso; ver figuras 8, 9 y 10 [13].

**Fig. 8.** Prueba en pendiente de 45° y superficie lisa.



b) el circuito de control de los motores cumplió con el objetivo para el cual fue diseñado, ya que se puede variar la velocidad desde cero hasta velocidad máxima sin presentar ningún inconveniente.

c) los sensores, captaron la información requerida, permitiendo hacer la medición de distancia a los objetos del entorno; así mismo el sensor de iluminación permitió el encendido y apagado de la lámpara según las condiciones de iluminación.

**Fig. 9.** Prueba en superficie lisa.



**Fig. 10.** Prueba en pendiente de 15° y superficie rugosa.



d) el sistema de comunicación transmitió sin pérdida de información las instrucciones enviadas por el usuario al robot móvil, en un ambiente cerrado con obstáculos de paredes, muebles y personas del entorno, en un radio de 10 m.

e) la captura de imágenes, la cámara dispuesta para tal fin, captó imágenes de objetos inertes y seres vivos, visualizadas en la interface de usuario de forma nítida y clara.

f) la interface de usuario, fue de fácil empleo para el control del robot móvil sin generar confusión para su empleo, ver figura 11, [13].

g) Las baterías se dimensionaron de forma adecuada, ya que el robot se mantuvo en operación durante 3 horas continuas, tiempo durante el cual la alimentación al circuito electrónico y a los motores eléctricos se realizó sin ningún inconveniente.

**Fig. 11.** Interface de usuario.



### V. CONCLUSIONES

La buena adherencia del sistema de locomoción a las diferentes superficies con diverso grado de rugosidad, mostró que fue una adecuada selección, tanto el sistema de orugas como el material empleado; ya que la geometría de las orugas se adecua muy bien para terrenos lisos y sobre pasar superficies con pequeños obstáculos, y el material de nitrilo permite una adecuada adherencia en superficies lisas.

La combinación de la buena adherencia del sistema de locomoción con la potencia adecuada de los motores eléctricos, permitió la adecuada operación del robot móvil en pendientes de gran inclinación (hasta 45°), lo cual lo hace útil en situaciones de difícil acceso y gran pendiente, como pueden ser rampas o escaleras, validado así el dispositivo para aplicaciones que presenten este tipo de situaciones.

La captura de imágenes en color y en escala de grises, evidenció que las imágenes a color presentan un mayor nivel de detalle, lo que hace más confiable el análisis de este tipo de imágenes.

El empleo del sensor ultrasónico y de la brújula, permitió determinar con una precisión de 0.1 m la ubicación de un objeto que se encuentra a una distancia de 6 m, valor adecuado para establecer la posición de los objetos que están siendo monitoreados remotamente.

La evaluación del robot móvil en condiciones de operación difícil, como lo es un ambiente industrial, permitió determinar que la transmisión de video permaneció estable a pesar del alto nivel de ruido generado, lo que da confiabilidad en el empleo de esta herramienta en situaciones de riesgo con altos niveles de ruido, que eventualmente pueda ser inaceptable para los seres humanos o animales.

La selección de una cámara de 1.3 megapíxeles permite adquirir una imagen que cuenta con las características necesarias para realizar el reconoci-

miento de objetos con figuras geométricas simples (círculos, cuadrados), sin sobrecargar el procesador.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen la colaboración prestada por los ingenieros: Edward González, Camilo Plazas y Carlos Barreto, al igual que al programa de ingeniería en Automatización de la Universidad de La Salle.

### REFERENCIAS

- [1] iRobot Corporation. One robot, unlimited possibilities. [http://www.darley.com/documents/guides/robotics/spec\\_sheets/PackBot\\_Specs.pdf](http://www.darley.com/documents/guides/robotics/spec_sheets/PackBot_Specs.pdf) [Consulta: julio 28 de 2015]
- [2] Noor, A. (2008). "Moving on their own," Mechanical engineering . Noviembre de 2008, p. 26-31
- [3] Ejército de los Estados Unidos. El robot bombero y su drone asistente están listos para entrar en acción. < <http://www.qore.com/noticias/34073/El-robot-bombero-y-su-drone-asistente-estan-listos-para-entrar-en-accion>> [consulta: Julio 28 de 2015].
- [4] A. Ollero, Robótica: Manipulación y robot móviles. Alfaomega. 2005.
- [5] A. Barrientos, L. Peñin, C. Balaguer y R Aracil. A. Fundamentos de Robótica. McGraw Hill. 2007.
- [6] J. Shigley, R. Budynas, K. Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Octava Edición. McGRAW HILL, 2008.
- [7] R. Mott, Diseño de elementos de máquinas. Cuarta edición. México: Pearson Education, 2006.
- [8] J. Lara, LabView: Entorno gráfico de programación. Primera edición. Mexico: Alfaomega, 2007.
- [9] J. Angulo, Microcontroladores PIC: Diseño práctico de aplicaciones. Segunda edición. Madrid: McGRAW HILL, 1999.
- [10] O. Casas,. Sensores y acondicionadores de señal. Primera edición. México: Alfaomega, 2009.
- [11] E. Garcia. Compilador C CCS y simulador PROTEUS para microcontroladores PIC. Primera edición. Mexico: Alfaomega, 2008.
- [12] E. Palacios, Microcontrolador PIC16F84: Desarrollo de proyectos. Segunda edición. Mexico: Alfaomega, 2006.
- [13] E. González, C. Plazas y C. Barreto, Diseño y simulación de un robot anfibio para exploración y reconocimiento de terrenos. Universidad de La Salle. 2011.