

# SISTEMA DE LOCALIZACIÓN DE BAJO COSTO Y ALTA PRESTACIÓN PARA UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL

## Low cost & high benefits localization system for a mobile robotic platform

### RESUMEN

Se detalla la implementación un sistema de localización de bajo costo y alta prestación para plataformas robóticas móviles, el cual combina información odométrica relativa con información absoluta. Se consideran los aspectos tenidos en cuenta para adquirir la información suministrada por un mouse óptico y un compás magnético como elementos de estimación de la posición en el robot Giraa\_02.

### Palabras claves

Compás magnético, mouse óptico, odometría, robot móvil.

### ABSTRACT

*This paper presents a low-cost localization system implementation, suitable for mobile robotics platform, which combines relative odometric information with absolute information. Aspects taken into account to acquire the information provided by an optical mouse and a magnetic compass as elements of the position estimate of the robot Giraa\_02, are described.*

### Keywords

*Magnetic compass, mobile robot, odometry, optic mouse.*

## 1. INTRODUCCION

En robótica móvil, es necesario planificar movimientos concretos y controlarlos para garantizar trayectorias seguras y precisas, lo cual conllevan a enfrentar diversos problemas entre los que se destaca el seguimiento de caminos que, para los vehículos con ruedas, se determina teniendo en cuenta la posición y la orientación actual del vehículo con respecto a un trayecto y coordenadas a seguir [1]. Definir que dispositivos se pueden utilizar al posicionar un robot en su entorno, requiere considerar los siguientes aspectos:

*Resolución espacial:* concebido como el más pequeño incremento del movimiento en el que el robot puede dividir su volumen de trabajo. Depende fundamentalmente de 2 factores: la resolución de sistema de control y las inexactitudes mecánicas del robot.

*Exactitud:* Definida como la capacidad del robot para conseguir un punto de destino determinado.

Los sistemas convencionales utilizan diversas técnicas para obtener la orientación y posición de un robot, se destacan: *la odometría*, basada en ruedas de medida y modelos de contacto; utilización de *sensores inerciales*, como acelerómetros y giróscopos; el posicionamiento absoluto basado en *marcas o balizas*, sistemas

### LUIS FERNANDO ORTIZ A.

Ingeniero Electrónico.  
Profesor Sena Medellín y  
Universidad de Antioquia.  
lfortiza@sena.edu.co

### NELSON DAVID MUÑOZ C.

Ingeniero Electrónico. M.Sc.  
Profesor Politecnico Jaime Isaza  
Cadavid y Universidad de  
Antioquia.  
ndmunoz@elpoli.edu.co

### NELSON LONDOÑO OSPINA

Ingeniero Electrónico. Ph.D.(c)  
Profesor Universidad de  
Antioquia.  
nlondono@udea.edu.co

*radiogoniométricos y GPS;* los cuales requieren conocer tanto los requerimientos del robot móvil como las propiedades del entorno.

Factores como el costo, el tamaño, la complejidad del hardware y la complejidad del software, entre otros, hacen que no todas las plataformas robóticas cuenten con un sistema de localización que les permita, a los investigadores, estudiar y validar, en un entorno real, los algoritmos de control de trayectoria. En este artículo se describe un sistema de bajo costo y muy buen desempeño, que permite conocer la posición y orientación del robot en un escenario de prueba, con la ventaja de que se puede adaptar fácilmente a la estructura hardware y software de una plataforma robótica.

## 2. ALGUNOS ASPECTOS DEL POSICIONAMIENTO

La navegación en un robot móvil implica su interacción con el entorno y, en general, esta ligada al cumplimiento de una serie de objetivos que le exigen conocer e interactuar con elementos no previstos. En la gran mayoría de aplicaciones se requiere contar con autonomía y "libertad de movimientos" [2]. La *autonomía* de un robot móvil esta, ligada a su capacidad de navegación automática, lo cual incluye aspectos como la planificación, percepción y control [1]. Para lograr cada uno de estos aspectos, es necesario conocer la

localización de los robots, su cinemática, su capacidad de maniobrar y definir una técnica de posicionamiento. En la Tabla 1 se resumen diferentes propuesta que

tradicionalmente han sido empleadas para el posicionamiento en robótica móvil.

|  |
|--|
| <p><b>ODOMETRIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se basa en ruedas de medida y modelos de contacto.</li> <li>• Elementos de bajo costo y simplicidad de implementación.</li> <li>• Entre los elementos para este tipo de técnica de posicionamiento, están los encoders, los CIR y potenciómetros lineales</li> <li>• Estos elementos presentan varios problemas de exactitud ante la presencia de deslizamiento en sus ruedas y desacople mecánico.</li> </ul>  |
| <p><b>POSICIONAMIENTO ABSOLUTO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basado en marcas o balizas.</li> <li>• Necesita de varios elementos externos de referencia para poder brindar una coordenada aceptable.</li> <li>• La posición no se calcula a partir del análisis del entorno, sino a partir del principio de triangulación [3].</li> </ul>   |
| <p><b>SISTEMAS RADIOGONOMETRICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basado en radiofaros y satélites.</li> <li>• Se basan en la transmisión de señales de radio por estaciones especiales que pueden captar receptores con antenas altamente direccionales, con el objeto de determinar la latitud y la longitud de un objeto.</li> <li>• Permite obtener la posición y/o orientación con respecto a una estación fija, como lo hacen las balizas pero en un espacio mayor, comúnmente usado para el control de aeronaves en aeropuertos.</li> </ul> |
| <p><b>GPS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basado en el sistema de posicionamiento global de navegación por satélite.</li> <li>• Permite localizar la posición de un objeto en “cualquier” parte del mundo, por triangulación.</li> <li>• Puede presentar errores con respecto a la posición real.</li> <li>• Cuando es usado como único sistema de referencia puede presentar algunos problemas causado por el bloqueo de las señales de los satélites.</li> </ul>  |
| <p><b>SENSORES INERCIALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estos sistemas estiman la posición y la orientación del robot empleando medidas de las aceleraciones y ángulos de orientación [4].</li> <li>• Los más usados son los acelerómetros y los giroscopios</li> <li>• Permite medir tanto la inercia, como la inclinación, además de servir para medir y monitorear vibraciones.</li> <li>• pequeños errores cometidos causas grandes errores en la posición estimada</li> </ul>  |

**Tabla 1. Algunas técnicas de posicionamiento**

### 3. DESCRIPCION DEL ROBOT

El robot Giraa\_02 [13], es una plataforma robótica móvil de locomoción diferencial, diseñado para trabajar en entornos estructurados y desconocidos. Cuenta con un microcontrolador Motorola 9S12 de 16 bits, para las funciones de procesamiento y control.

El sistema de locomoción está compuesto por dos ruedas unidas a su respectivo motor DC y cuenta con un pivote (rodamiento esférico omnidireccional) en la parte posterior, para garantizar estabilidad. 8 sensores de ultrasonido y 8 de infrarrojo, separados 45 grados entre si, permiten medir la distancia de obstáculos en las inmediaciones del robot; con esta distribución se cubre la periferia del robot (ver figura 1). Se debe tener en cuenta que existen algunas regiones ciegas, debido a que los sensores solo tienen un cono de detección de 22 grados aproximadamente. La necesidad de implementar un sistema de posicionamiento confiable, versátil y de

bajo costo se hizo evidente, dadas las características del Giraa\_02 y el propósito de contar con un sistema Robot experimental para investigar en arquitecturas de control de navegación.

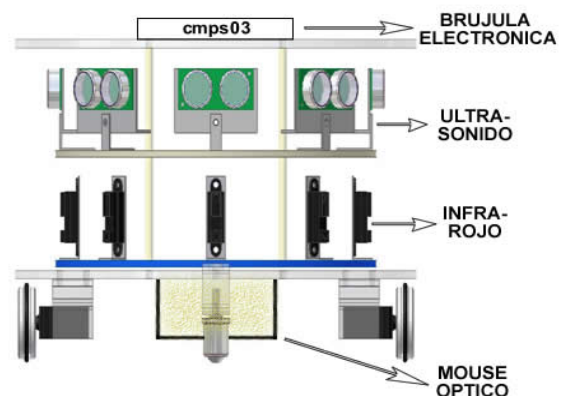


Figura 1. Robot Giraa\_02

#### 4. ESTIMACION DE LA POSICION DEL ROBOT

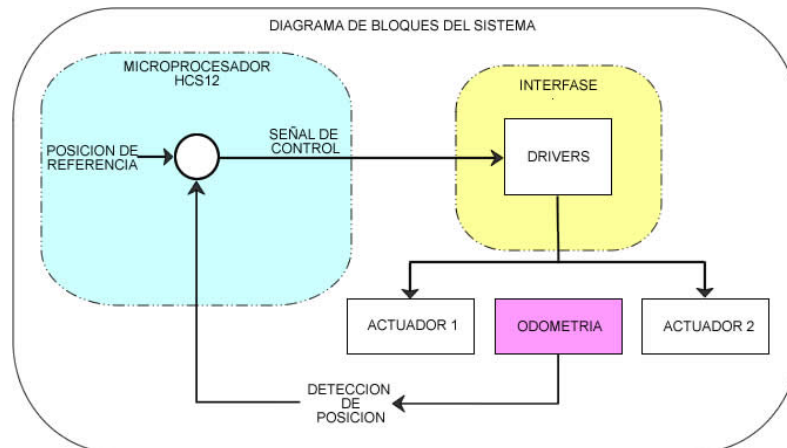


Figura 2. Esquema del sistema de odometría implementado

Considerando las características y propósitos con el robot Giraa\_02, comentadas anteriormente, y analizando los elementos presentados en la tabla 1, se tiene que:

- El sistema de posicionamiento con GPS no es confiable en entornos cerrados [3], [5] y debido a las restricciones de presupuesto se descartó esta alternativa para el problema que nos ocupa.
- Se descartó el sistema de localización por balizas, pues las restricciones que impone el entorno de operación con dicho sistema, ataría la operación del robot a entornos fijos y predefinidos, ligados a balizas o radiofaros.
- Confiar la información de posición basada en sensores inerciales conlleva a posibles errores debido a la misma construcción del robot, pues al momento de realizar los giros, se pueden presentar aceleraciones inesperadas.

Por lo anterior, se optó por la utilización de sistemas de medidas internas para el posicionamiento del robot, implementado los sistemas odometricos y sistemas de navegación inercial, pues se consideró las más apropiadas para los objetivos del estudio.

En conclusión, el sistema adoptado fue el de odometría, dado que presenta las ventajas de buena confiabilidad, bajo costo y facilidad de implementación.

Se entiende por odométricas las técnicas de posicionamiento que emplean información de sensores propioceptivos (aquéllos que adquieren datos del propio sistema), para obtener una aproximación de la posición real de un vehículo, respecto a un sistema de referencia inicial [8]. Además la odometría permite altas tasas de muestreo, bajos costos y una óptima exactitud en sus medidas.

No obstante, los sistemas de odometría tradicionales presentan inconvenientes debido a problemas de deslizamiento y roce mecánico, lo que dificulta evaluar confiablemente la posición absoluta del vehículo. Para salvar estos inconvenientes, se optó por acondicionar un sistema de odometría, basado una brújula electrónica (medición de ángulos) y un mouse óptico (medición de desplazamiento en coordenadas X-Y) [6], [7].

#### 5. SISTEMA DE ODOMETRIA EN EL GIRAA\_02

En el Giraa\_02, se programó una misión de navegación hacia la meta, es decir, desplazarse desde un punto inicial a uno final, autónomamente y sin conocimiento de los posibles obstáculos que se encuentren en el trayecto, por ello, se implementó el sistema de odometría detallado a continuación.

En el esquema (figura 2) se ilustra la función de la odometría en el sistema de control del robot. La posición detectada se compara con una posición de referencia, o punto de consigna. Los resultados de dicha comparación, son procesados por la arquitectura de control, para generar una señal de comando, enviada a los actuadores.

Inicialmente el usuario define el punto de llegada considerando una trayectoria lineal (Punto consigna); debido a la presencia de obstáculos, la arquitectura de control de navegación debe generar puntos de consigna intermedios con el fin de realizar el procedimiento de evasión y recalculer la trayectoria a seguir.

La información, que brinda la posición actual del robot, viene especificada por 2 variables: la posición (puede ser relativa o absoluta) y la orientación, ver figura 3. La primera tomada de un mouse óptico, donde se aprovechan los contadores de movimiento para llevar el “conteo” de la distancia recorrida; la segunda, se obtiene de un compás magnético (también llamado brújula

electrónica), el cual proporciona el ángulo de orientación del robot respecto al norte geográfico, en cada momento.

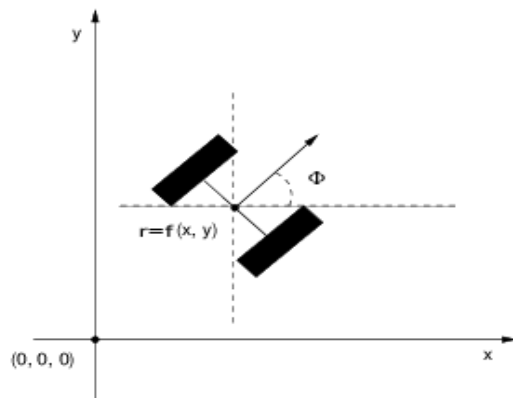


Figura 3. Posicionamiento y Orientación

Las coordenadas propias del Giraa\_02 se denotan con un radio ( $r$ ) y un ángulo ( $\phi$ ), donde el radio expresa el recorrido del robot por periodo de muestreo y el ángulo, la orientación con que se efectuó dicho recorrido. Por lo anterior, durante cada periodo de muestreo se realiza una extrapolación de coordenadas para que se conozca en que parte del espacio de trabajo se encuentra el robot.

### 5.1 MOUSE OPTICO

El Mouse PS/2 implementa un protocolo serial sincrónico bidireccional, en configuración Maestro-Esclavo, compuesto por dos líneas en *open collector*: Data (bidireccional) y Clock. Cuando el Mouse va a enviar información, primero chequea que la línea de Clock esté en nivel alto; si no lo está, almacena la información hasta que recupere el control del bus. La figura 4 muestra un diagrama correspondiente a este tipo de comunicación.

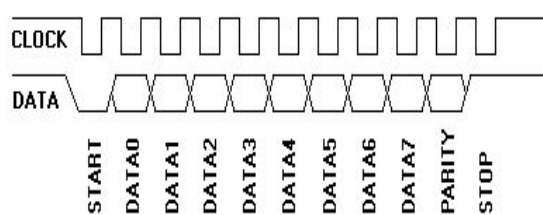


Figura 4. Comunicación PS/2 Mouse Óptico-Microprocesador.

Los modos de funcionamiento de los Mouse Ópticos son: stream, remote, wrap [10], de los cuales, para el robot, se implementaron el modo STREAM y el modo REMOTO. El modo Stream envía información al sistema de control cada que sucede algún evento en el mouse, lo cual puede causar que se presenten algunos retardos en la ejecución del algoritmo. El Modo Remoto solo se envía la información cada que el usuario o el algoritmo implementado lo solicite, para nuestro caso se a de tener

en cuenta que no debe ser muy largo el periodo de solicitud, puesto que puede causar que los contadores de evento del mouse se desborden. Dadas estas características, el algoritmo se trabajó con el segundo modo.

Los datos suministrados por el mouse son:

- Desplazamiento en x
- Desplazamiento en y
- Byte de Control, donde se muestra si hubo desborde en alguno de los contadores y si el desplazamiento en las direcciones fue positivo o negativo

Cuando se realiza la lectura de los contadores de recorrido del mouse, se debe tener en cuenta que cada encoder óptico posee un factor de división propio para convertir el valor leído en una medida de distancia; por ejemplo, para el Mouse utilizado en el Giraa\_02, si el contador indica un valor de 240, hay que dividirlo por 10 lo que indica una distancia recorrida de 24 mm.

### 5.2 BRUJULA ELECTRONICA

El Giraa\_02 esta dotado con una brújula digital CMPS03, la cual brinda la información del ángulo referenciado al norte geográfico, en señales de PWM ó mediante el protocolo I2C; para el sistema implementado, se opto por esta última. Adicionalmente, la brújula permite trabajar en el rango de 0-255 [9]; donde el valor de 0 equivale a 0 grados y 255 a 360 grados. El protocolo I2C se implementa mediante rutinas y una secuencia en polling [10].

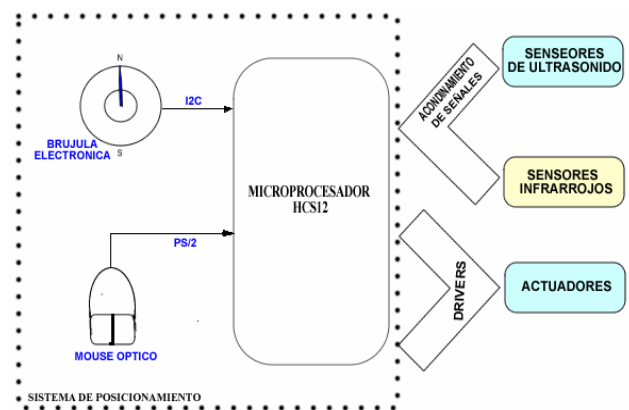


Figura 5. Sistema de localización

Para tener un buen monitoreo del objetivo que se desea alcanzar, durante periodos específicos se muestrea la dirección actual del robot y se compara con la dirección a la cual se quiere llegar utilizando la lectura de la brújula, en caso de que se detecte alguna diferencia, se envía la información a los actuadores (motores) para que retomen la orientación deseada. En la figura 5 se observa un esquema general del sistema de localización.

**6. TRAYECTORIAS**

Para validar las estrategias de navegación con las arquitecturas de control, que utilizan el sistema odométrico implementado, se construyó un escenario que imita entornos similares a los de oficinas, como el mostrado en la figura 6, donde cada cuadrícula mide 500 mm<sup>2</sup> y el área total de trabajo es de 6000 mm X 4000 mm.

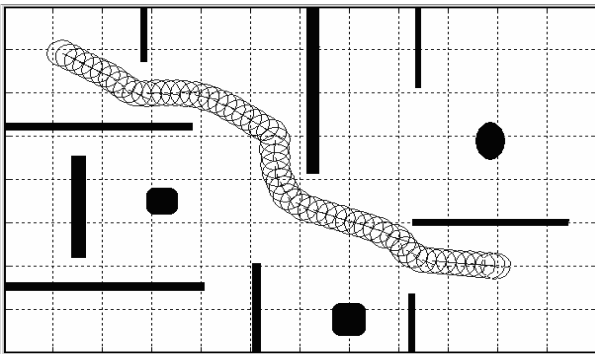


Figura 6. Trayectoria generada por la arquitectura basada en campos potenciales

Adicionalmente, se plantearon diferentes metas, para generar diferentes trayectorias (puntos inicial y final) que fuesen representativas de la problemática propuesta y permitiera validar tanto el desempeño de las arquitecturas desarrolladas, como la aplicación particular del sistema de odometría implementado.

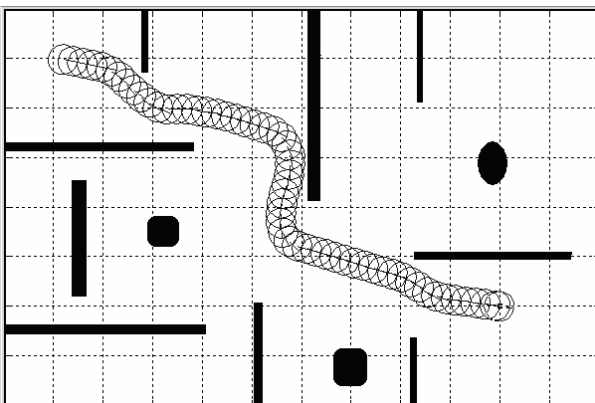


Figura 7. Trayectoria generada por la arquitectura Afreb

**7. RESULTADOS**

La intención al desarrollar el sistema de localización, apuntaba fundamentalmente a contar con un dispositivo que permitiera suministrar en cada instante la posición y orientación del robot, con el fin de poder analizar las trayectorias generadas por diferentes tipos de arquitecturas de control implementadas en el Giraa\_02, inicialmente se estudió el desempeño de dos arquitecturas de control reactivas, la primera basada en el algoritmo de campos potenciales [11] y la segunda denominada AFREB, basada en una red neuronal que combina comportamientos [12].

Para la realización de las pruebas, se programó una misión de navegación hacia la meta, la cual consiste en que el robot parte de una posición de origen en un vértice de la cuadrícula superior izquierda, coordenada (500,500) y 0 grados de orientación, y debe llegar a la meta ubicada en la posición (5000, 3000), la navegación es autónoma y el robot debe evitar chocar con los obstáculos que se le presentan en el camino. La figura 6 ilustra una de las trayectorias generadas por la arquitectura basada en campos potenciales y la figura 7 ilustra una de las trayectorias generadas por la arquitectura Afreb. En la tabla 2 se resumen los resultados. En todos los casos el error es inferior al 5%, adicionalmente se observa que la arquitectura Afreb genera una trayectoria más suave y más precisa. El sistema de localización implementado en el robot ha hecho posible obtener los datos para realizar estas comparaciones.

| PRUEBAS | ARQUITECTURA DE CONTROL | META ESTIMADA |       | META REAL |       | PORCENTAJE DE ERROR |      |
|---------|-------------------------|---------------|-------|-----------|-------|---------------------|------|
|         |                         | X(mm)         | Y(mm) | X(mm)     | Y(mm) | X(%)                | Y(%) |
| 1       | Campos potenciales      | 5000          | 3000  | 4801      | 2872  | 3.98                | 4.26 |
| 2       | Campos potenciales      | 5000          | 3000  | 4875      | 2895  | 2.5                 | 3.5  |
| 3       | Campos potenciales      | 5000          | 3000  | 4948      | 2892  | 1.0                 | 3.6  |
| 4       | Afreb                   | 5000          | 3000  | 4984      | 2986  | 0.32                | 0.5  |
| 5       | Afreb                   | 5000          | 3000  | 4970      | 2974  | 0.6                 | 0.86 |
| 6       | Afreb                   | 5000          | 3000  | 4893      | 2979  | 2.14                | 0.7  |

Tabla 2. Resultados de varias trayectorias generadas por el Giraa\_02.

Cabe mencionar dos aspectos muy importantes del sistema implementado: El mouse óptico debe estar a 3

mm aprox. por encima del piso, y en entornos planos, para lograr la correcta reflexión de los sensores ópticos

de mouse y sensor el desplazamiento. En los lugares de prueba, no debe haber influencia de fuertes campos electromagnéticos artificiales, dado que la brújula opera con el campo magnético de la tierra. En la figura 8 se observa el entorno real construido como espacio de trabajo del robot para la realización de las pruebas.

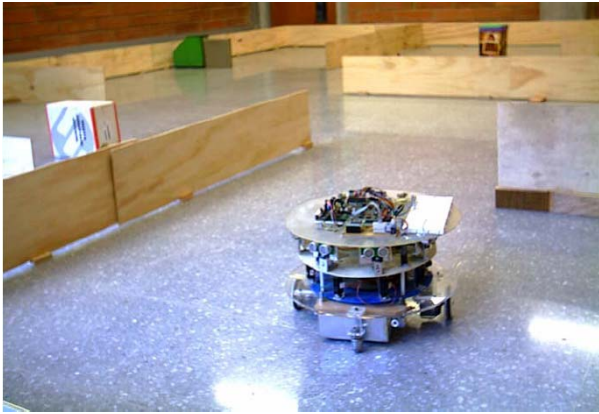


Figura 8. Entorno real de trabajo del robot Giraa\_02

## 8. CONCLUSIONES

El sistema de localización implementado mediante un mouse óptico y un compás magnético se constituye en una alternativa de bajo costo y alto desempeño, para su implementación en pequeños robots móviles usados para experimentación, tales como una plataforma robótica en la que se realizan estudios de arquitecturas de control, estrategias de navegación, generación de trayectorias, optimización, etc. Este sistema brinda información de la posición y orientación del robot en todo instante.

Dadas las características tecnológicas de los dispositivos empleados en el sistema de localización, se presentan alteraciones en presencia de campos magnéticos externos y de suelos irregulares, se plantea como trabajo futuro de este proyecto, mejorar el sistema y robustecer su desempeño en estos dos aspectos.

## 9. AGRADECIMENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado en el marco del proyecto 2061080185 desarrollado por miembros del grupo GIMEL de la Universidad de Antioquia y del grupo ICARO de Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.

## 10. BIBLIOGRAFIA

1. A. Ollero. "Robótica manipuladores y robots móviles". Marcombo, 2001.
2. V. Muñoz. "Planificación de trayectorias para Robots móviles". Tesis Doctoral. 1995.
3. B. Borenstein, Everett, and L. Feng. "Navigating Robots: Systems and Techniques". A. K. Peters, Ltd., Wellesley, MA, 1996.
4. J. González, A. Ollero. "Estimación de la posición de un robot móvil". Universidad de Sevilla. [On line] [http://intranet.hangar.org/ftp/electronic\\_lab/ultrasound%20tracking%20position/gonzalez-estimacion\\_de\\_la\\_posicion-96.pdf](http://intranet.hangar.org/ftp/electronic_lab/ultrasound%20tracking%20position/gonzalez-estimacion_de_la_posicion-96.pdf) Febrero 2007.
5. R. Talluri, J. Aggarwal. "Position estimation techniques for an autonomous mobile robot a Review". Handbook of pattern recognition and computer vision, World Scientific. Singapore. 1993.
6. V. Silva, L. Almeida, F. Santos. "Auto-localização em pequenos robôs móveis e autônomos: O caso do robô Bulldozer IV". revista Eletrônica e Telecomunicações 3(6), Abril 2002, do DETUA, Portugal.
7. P. Xu. "Mechatronics design of a mecanum wheeled mobile robot." En: Cutting edge robotics. pp. 784, Germany, July. Edited by: V. Kordic, A. Lazinec, & M. Merdan. Advanced robotic systems international ARS/pIV. 2005
8. "Odometria". [On line] [http://optimus.meleeisland.net/links/04\\_odometry.html](http://optimus.meleeisland.net/links/04_odometry.html). Marzo 2006.
9. "Sensor brujula digital cmps03" [On line], <http://www.superrobotica.com/S320160.htm>. Diciembre 2006.
10. A. Chapweske. "The PS/2 Mouse/Keyboard Protocol". [On line] <http://www.computer-engineering.org/ps2protocol/>. Enero 2007.
11. J.C Latombe. "Robot Motion Planning". Kluwer Academic Publishers, 4<sup>th</sup> Edition, Boston. 1996
12. A. Zabala y A. Morris. "Neural Networks for Robotic Control". Ellis Horwood. 1996, pp278.
13. N. Muñoz, C. Andrade, N. Londoño "Diseño y construcción de un robot móvil orientado a la enseñanza e investigación", En: Ingeniería & desarrollo, Uninorte, Barranquilla, número 19, Enero-Junio, 2006