

# **CONTROL DE DOS MOVILES EN UN ENTORNO DINAMICO**



**Autores:**

**CARLOS HUMBERTO TORRES ALBARRACIN**

**EDWARD YESITH MENDOZA GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2006**

# **CONTROL DE DOS MOVILES EN UN ENTORNO DINAMICO**



**Autores:**

**CARLOS HUMBERTO TORRES ALBARRACIN  
EDWARD YESITH MENDOZA GONZALEZ**

**TRABAJO DE GRADO**

**Director:**

**Dr. Techn. ROBERTO MARTINEZ ANGEL**

**Codirector:**

**MSC(c) DIEGO ALEXANDER TIBADUIZA BURGOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA**

**2006**

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCION.....   | 1    |
| 1. MARCO TEORICO .....  | 4    |
| 1.1 DEFINICION DE ROBOT.....                                  | 4    |
| 1.1.1 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA ROBOT.....                  | 4    |
| 1.2 CLASIFICACION GENERAL DE LOS ROBOTS .....                 | 6    |
| 1.2.1 ROBÓTS MÓVILES.....                                     | 6    |
| 1.2.2 ROBOTS MANIPULADORES.....                               | 6    |
| 1.3 LOCOMOCIÓN DE ROBOTS MÓVILES .....                        | 7    |
| 1.4 CONFIGURACIONES DE ROBOTS MOVILES.....                    | 8    |
| 1.4.1 CONFIGURACION DIFERENCIAL.....                          | 8    |
| 1.4.2 CONFIGURACION SINCRONA.....                             | 9    |
| 1.4.3 CONFIGURACION TRICICLO CLASICO.....                     | 10   |
| 1.4.4 CONFIGURACION ACKERMAN .....                            | 11   |
| 2. CONSTRUCCION DE LOS MOVILES.....                           | 12   |
| 2.1 MODIFICACION DE LOS SEVOMOTORES A ROTACION CONTINUA ..... | 13   |
| 2.2 EL CHASIS .....   | 15   |
| 2.3 RUEDAS.....   | 16   |

|   |    |
|---|----|
| 2.4 ALIMENTACIÓN DE LOS MÓVILES .....                           | 18 |
| 3. SISTEMA DE CONTROL.....                                      | 20 |
| 3.1 MICROCONTROLADOR .....                                      | 20 |
| 3.2 SERVOMOTORES .....  | 25 |
| 3.2.1 CARACTERIZACION DE LOS SERVOMOTORES .....                 | 26 |
| 3.2.2 CONTROL DE SERVOMOTORES.....                              | 28 |
| 3.3 MODULO DE ULTRASONIDO .....                                 | 29 |
| 3.3.1 CARACTERIZACION DEL MODULO DE ULTRASONIDO SRF04 .....     | 32 |
| 3.3.2 CONTROL DEL ULTRASONIDO.....                              | 34 |
| 3.4 TRAYECTORIA PLANEADA .....                                  | 35 |
| 3.4.1 ALGORITMO GENÉTICO (AG).....                              | 35 |
| 3.4.2 CAMPOS DE POTENCIAL (CP).....                             | 37 |
| 3.5 PROGRAMACION.....   | 38 |
| 3.5.1 PROGRAMACION DEL MOVIL CONTROLADO .....                   | 38 |
| 3.5.2 PROGRAMACIÓN DEL OBSTÁCULO MOVIL.....                     | 39 |
| 3.5.3 SUBPROGRAMA DE GIRO.....                                  | 42 |
| 3.5.4 SUBPROGRAMA DE AVANZAR.....                               | 43 |
| 4. PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS .....                       | 45 |
| 4.1 COMUNICACIÓN VIA RADIOFRECUENCIA .....                      | 45 |
| 4.2 PRESICION .....   | 50 |
| 4.3 REPETIBILIDAD .....   | 51 |
| 4.4 PORCENTAJE DE LA PISTA OCUPADA POR EL OBSTÁCULO MÓVIL ..... | 54 |
| 5. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....                            | 59 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....                              | 62 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1.</b> Robot y su interacción con el entorno. ....                   | 5    |
| <b>Figura 2.</b> Configuración diferencial .....                               | 9    |
| <b>Figura 3.</b> Configuración síncrona.....                                   | 10   |
| <b>Figura 4.</b> Triciclo clásico .....  | 10   |
| <b>Figura 5.</b> Configuración Ackerman .....                                  | 11   |
| <b>Figura 6.</b> Servomotor HITEC HS-422 .....                                 | 13   |
| <b>Figura 7.</b> Componentes del servomotor. ....                              | 13   |
| <b>Figura 8.</b> Detalles del tope a cortar.....                               | 14   |
| <b>Figura 9.</b> Extracción del potenciómetro .....                            | 15   |
| <b>Figura 10.</b> Placa del chasis. a) Inferior b) superior .....              | 15   |
| <b>Figura 11.</b> Ubicación de las placas y los servos.....                    | 16   |
| <b>Figura 12.</b> Rueda de neopreno y la adaptación al servo .....             | 17   |
| <b>Figura 13.</b> Rueda giratoria y su ubicación en el chasis. ....            | 17   |
| <b>Figura 14.</b> Móvil completo.....  | 18   |
| <b>Figura 15.</b> Diagrama de bloques del sistema. ....                        | 20   |
| <b>Figura 16.</b> Diagrama de bloques del microcontrolador MC68HC908GP32. .... | 21   |
| <b>Figura 17.</b> Descripción de pines .....                                   | 22   |
| <b>Figura 18.</b> Circuito experimental con un 555 .....                       | 26   |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Figura 19.</b> | Tren de pulsos generado por el circuito. ....                              | 27 |
| <b>Figura 20.</b> | Señal de control para el servomotor.....                                   | 27 |
| <b>Figura 21.</b> | Modulo de Ultrasonido SRF04 .....  | 29 |
| <b>Figura 22.</b> | Conexiones del modulo del ultrasonido SRF04.....                           | 30 |
| <b>Figura 23.</b> | Diagrama de Tiempos del SRF04 .....  | 31 |
| <b>Figura 24.</b> | Rango efectivo del SRF04.....  | 31 |
| <b>Figura 25.</b> | Caracterización del sensor SRF04 .....                                     | 33 |
| <b>Figura 26.</b> | Captura del pulso de eco.....  | 34 |
| <b>Figura 27.</b> | División del Byte para Algoritmo Genético .....                            | 35 |
| <b>Figura 28.</b> | División del Byte para la programación con Campos de Potencial ..          | 37 |
| <b>Figura 29.</b> | Diagrama de flujo del móvil controlado.....                                | 39 |
| <b>Figura 30.</b> | Diagrama de Flujo del móvil aleatorio .....                                | 41 |
| <b>Figura 31.</b> | Representación de las direcciones del móvil.....                           | 42 |
| <b>Figura 32.</b> | Diagrama de Subprograma de Giro.....                                       | 43 |
| <b>Figura 33.</b> | Diagrama de subprograma Avanzar.....                                       | 44 |
| <b>Figura 34.</b> | Transmisor TWS-434 RF.....   | 47 |
| <b>Figura 35.</b> | Receptor RWS-434 RF.....   | 47 |
| <b>Figura 36.</b> | Digitalización de la señal con el LM 339.....                              | 48 |
| <b>Figura 37.</b> | Trayectoria para la prueba de repetibilidad. ....                          | 52 |
| <b>Figura 38.</b> | Dispersión de las muestras en la prueba de repetibilidad. ....             | 54 |
| <b>Figura 39.</b> | Ubicación de los puntos para muestrear la pista. ....                      | 55 |
| <b>Figura 40.</b> | Número de veces que el móvil pasó sobre el punto de muestra....            | 55 |
| <b>Figura 41.</b> | Diferentes ubicaciones del móvil que actúa como obstáculo en la pista..... | 57 |

## LISTA DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Tabla 1.</b> Función y configuración de puertos. ....                             | 24   |
| <b>Tabla 2.</b> Asignación de puertos para los servomotores. ....                    | 28   |
| <b>Tabla 3.</b> Resultados del laboratorio en la calibración del SRF04.....          | 32   |
| <b>Tabla 4.</b> Asignación de puertos para el modulo de ultrasonido.....             | 34   |
| <b>Tabla 5.</b> Acción del móvil para <b>AG</b> .....                                | 36   |
| <b>Tabla 6.</b> Acción del móvil para <b>CP</b> .....                                | 37   |
| <b>Tabla 7.</b> Datos prueba de precisión. ....                                      | 50   |
| <b>Tabla 8.</b> Datos prueba de repetibilidad. ....                                  | 53   |
| <b>Tabla 9.</b> Datos de las pruebas realizadas al móvil que actúa como obstáculo. . | 57   |

## RESUMEN

**TÍTULO:** CONTROL DE DOS MÓVILES EN UN ENTORNO DINÁMICO\*

**AUTORES:** EDWARD YESITH MENDOZA GONZÁLEZ\*\*  
CARLOS HUMBERTO TORRES ALBARRACIN\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Robot móvil, planeamiento de trayectorias, Robótica, inteligencia artificial, algoritmos genéticos, campos de potencial, detección de obstáculos, servomotores, sensores de ultrasonido.

### DESCRIPCIÓN:

En el siguiente documento se describe el desarrollo de una plataforma para aplicaciones en robótica móvil. En este caso se trabajó con dos robots móviles. Un robot ejecuta las trayectorias generadas por un sistema computacional aplicando algunas técnicas de planeación de caminos, como lo son algoritmos genéticos o campos de potencial. El otro robot se comporta como obstáculo móvil, generando un ambiente dinámico.

Cada robot móvil cuenta con un chasis tipo diferencial, en su parte delantera están dos ruedas de tracción accionadas cada una por un servomotor y una rueda giratoria en su parte trasera que completa el polígono de sustentación. La alimentación de los móviles es proporcionada mediante baterías recargables de Níquel metal hidruro. Para cada móvil se tiene un paquete de 6 baterías de 1.2 V y 2100mA/hora modelo AA que proporcionan 7.2 V a cada tarjeta de control.

El sistema de detección de obstáculos lo conforman sensores de ultrasonido que le dan al móvil controlado un sistema de seguridad ante un fallo en la comunicación y al obstáculo móvil le brinda el reconocimiento del entorno para su desplazamiento sin colisiones dentro de la pista.

El control del móvil se realiza por medio del microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola. El planeamiento de caminos es realizado en el PC utilizando algoritmos genéticos o campos de potencial. El software que se seleccione envía al microcontrolador la trayectoria que debe seguir el móvil controlado vía radio frecuencia en una cadena de bytes. Para cada algoritmo de planeación se realizó un código independiente, el cual es seleccionado mediante hardware, colocando en alto o bajo un pin del microcontrolador.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Ingeniería Electrónica. Director: Dr. Techn. Roberto Martínez Ángel. Codirector: Ing. Diego Alexander Tibaduiza Burgos.

## SUMARY

**TITLE:** TWO MOBILES CONTROL IN A DYNAMIC ENVIRONMENT\*

**AUTHORS:** EDWARD YESITH MENDOZA GONZÁLEZ\*\*  
CARLOS HUMBERTO TORRES ALBARRACIN\*\*

**KEY WORDS:** Mobile Robot, Trajectories planning, Robotics, Artificial Intelligence, Genetic Algorithms, Potencial Fields, Obstacles Detection, Servomotors, Ultrasonic Sensors.

### DESCRIPTION:

In this document is described the development of a platform for mobile robotics applications. In this case we worked with two mobile robots. A robot executes the trajectories generated for a computational system applying some path planning techniques such as the genetic algorithms or the potential fields. The other robot behaves as a moving obstacle, generating a dynamic environment.

Each mobile robot counts with a differential type chassis, in its front end locates two traction wheels actuated each one for a servomotor and a spinning wheel in its back end that fulfills the sustentation polygon. The feeding of the mobiles is proportioned by Nickel Metal Hydride rechargeable batteries. For each mobile it uses a six batteries pack of 1.2 V and 2100 mA/Hour AA model, that gives 7.2V for each control card.

The obstacle detection system is conformed by ultrasound sensors that gives the controlled mobile a security system in a communication failure case, and for the mobile obstacle it gives it the recognition of the field for its displacement without collisions in the field.

The mobile control is realized for the MC68HC908GP32 Motorola Microcontroller. The path planning is realized on the PC using genetic algorithms or potential fields. The software that is selected sends to the microcontroller the path that the mobile must keep controlled via radiofrequency in a bytes chain. For each planning algorithm it has been realized for an independent code, that is selected by hardware, switching high or low the microcontroller pin.

---

\* Graduation work.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Ingeniería Electrónica. Director: Dr. Techn. Roberto Martínez Ángel. Codirector: Ing. Diego Alexander Tibaduiza Burgos.

## INTRODUCCIÓN

El uso de robots cada día se hace más popular y abarca distintos ámbitos, teniendo tal impacto que actualmente sus aplicaciones se encuentran desde el campo del entretenimiento hasta grandes proyectos de investigación.

Una de las razones que han hecho tan popular el empleo de robots, son las tareas de alto grado de riesgo o precisión. Los robots pueden realizar tareas monótonas y repetitivas las 24 horas del día sin bajar su rendimiento. Es por ello que una de las industrias que más robots usa es la industria del automóvil. Existen otras muy diversas aplicaciones, como por ejemplo en la medicina, donde se encuentran desde robots aplicados a prótesis, hasta robots que utilizados en telecirugía permiten realizar intervenciones quirúrgicas a distancia.

La importancia de los Robots móviles resalta en aplicaciones que implican alto riesgo como lo es el manejo de sustancias radioactivas o tóxicas en los laboratorios; la investigación de volcanes o el manejo de material explosivo.

En el presente trabajo se desarrollo el control para robots móviles en un entorno dinámico aplicando algunas técnicas de planeación de caminos, como lo son algoritmos genéticos o campos de potencial.

El algoritmo utilizado permite controlar un robot móvil para que llegue de una coordenada inicial hasta una final, en presencia de obstáculos fijos y obstáculos móviles. Esta tarea que resulta tan trivial para un ser humano, representa el problema más común cuando se trabaja con robótica móvil, ya que los escenarios donde va a desempeñarse el robot van a ser cambiantes y con condiciones no siempre fijas.

La trayectoria generada por el computador debe tener una representación acorde con el ambiente real, para generar un modelo virtual del espacio en que se moviliza el robot. La determinación de la posición de un robot en un ambiente real es una parte importante del problema que representa generar trayectorias confiables.

Una vez conocida la posición de los obstáculos se requiere de un procesamiento matemático para calcular la trayectoria; la situación se complica cuando se agregan elementos a la escena que cambian constantemente de posición, razón por la cual es importante tener a disposición, métodos para recalcular la trayectoria y hacer el control on-line.

“CONTROL DE DOS MÓVILES EN UN ENTORNO DINÁMICO” es un trabajo de grado desarrollado para lograr que un robot móvil ejecute las trayectorias generadas por un sistema computacional, y genere un ambiente dinámico mediante el control de otro robot móvil que se comporta como obstáculo.

El sistema de control de cada robot móvil, es de gran importancia en este trabajo, ya que es la etapa que finalmente ejecuta la trayectoria enviada desde el computador y realiza el control del obstáculo móvil. Esta etapa del proyecto se describe en el capítulo 3. Para el efecto se llevó a cabo con anterioridad el proceso de construcción de cada robot móvil y su respectiva calibración, lo cual se presenta en el capítulo 2. Una vez construidos los móviles y programado el control para cada robot, se procedió a realizar las pruebas para medir su desempeño. Por último las pruebas y los resultados obtenidos son descritos en el capítulo cuatro y las conclusiones en el capítulo cinco. También se estudian las generalidades sobre robótica y robótica móvil como área de interés en el capítulo 1.

Se espera que las metodologías implementadas para el desarrollo de este problema representen un apoyo para proyectos de investigación en planeamiento

de trayectorias de robots móviles, que se desarrollen en la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

De igual forma, el proyecto constituye un aporte significativo al desarrollo y fortalecimiento del Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación (CEMOS) en el área de Robótica.

## **1. MARCO TEORICO**

### **1.1 DEFINICION DE ROBOT**

Según el Robot Institute Of América, un robot es un manipulador multifuncional reprogramable, diseñado para mover materiales, elementos, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos variables programables con el fin de desempeñar una variedad de tareas [8].

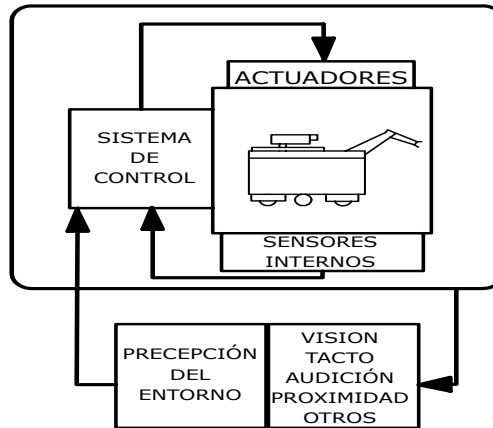
Los robots poseen componentes mecánicos y componentes electrónicos, los cuales bajo la dirección de una unidad central de procesamiento realizan, en general movimientos o actividades similares a los realizados por el hombre o algunos animales.

#### **1.1.1 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA ROBOT**

Un robot abarca diferentes disciplinas como la electrónica, la mecánica y los sistemas computacionales, exigiendo una plena y bien definida interacción entre todas ellas. Cada disciplina aporta elementos fundamentales que determinaran la efectividad en el desempeño del robot.

En la figura1 se muestra el esquema básico de un robot. En ella se identifican un sistema mecánico, actuadores, sensores y el sistema de control como elemento básico necesario para cerrar la cadena.

**Figura 1.** Robot y su interacción con el entorno.



OLLERO BATURONE, Aníbal. “Robótica Manipuladores y robots móviles”.

Desde el punto de vista del procesamiento de la información, en robótica se involucran funciones de control de movimientos, percepción y planificación.

El sistema de control se encarga de hacer que el robot realice las tareas para las cuales fue diseñado, activando los actuadores y tomando en cuenta las señales recibidas del entorno por medio de los sensores. El sistema de control es de gran importancia ya que de él depende que el sistema robot ejecute de forma eficiente y segura la tarea para la cual fue diseñado.

Los actuadores son los elementos encargados de proporcionar el movimiento al sistema robot. Dependiendo de las necesidades de potencia requeridas para el robot, los actuadores pueden ser de tipo hidráulico, neumático o eléctrico.

Los sensores permiten dotar de sentidos al robot. La información que suministran es utilizada por el sistema de percepción para aprehender la realidad del entorno. Los sistemas de percepción sensorial hacen posible que un robot pueda adaptar automáticamente su comportamiento en función de las variaciones que se producen en su entorno haciendo frente a situaciones imprevista.

## **1.2 CLASIFICACION GENERAL DE LOS ROBOTS**

Los robots pueden clasificarse en dos grandes grupos básicos. Los Robots manipuladores, que se presentan como un brazo Robot de base fija, y los robots móviles, que se mueven por el espacio mediante ruedas, patas, hélices, etc. [1].

Se puede decir que los robots móviles se crearon con el fin de ampliar el volumen de trabajo de un manipulador.

### **1.2.1 ROBÓTS MÓVILES**

Un robot móvil es un sistema en el que cabe identificar diversos subsistemas de percepción, planificación, control de movimientos y locomoción que interactúan entre sí. Los robots móviles se caracterizan por su capacidad de desplazarse de forma autónoma en un entorno desconocido o conocido sólo parcialmente.

Las aplicaciones de los robots móviles cubren una gran variedad de campos, entre los cuales se incluyen trabajos subterráneos (minería, construcción de túneles, etc.), tareas submarinas (inspección de oleoductos, mediciones, misiones de búsqueda y rescate, etc.), misiones espaciales y exploración planetaria (recogida de muestras, mantenimiento de estaciones orbitales, etc.), vigilancia e intervención de seguridad (desactivación de explosivos, operación en zonas radioactivas, etc.), aplicaciones militares, y otros muchos.

### **1.2.2 ROBOTS MANIPULADORES**

*La Asociación Francesa de Normalización (AFNOR)*, define manipulador como “un mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos”. Un robot manipulador es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o

mediante un dispositivo lógico, es decir, es una cadena cinemática abierta formada por eslabones unidos mediante articulaciones que permiten a los eslabones moverse de cierta forma, dependiendo del tipo de articulación. El aumento del número de articulaciones aporta mayor maniobrabilidad pero dificulta el problema del control, obteniéndose normalmente menor precisión por acumulación de errores. La mayoría de robots industriales tienen menos de los seis grados de libertad de rotación o traslación que se requieren en general para posicionar y orientar en el espacio el órgano terminal o efector final. Sin embargo, también se desarrollan manipuladores altamente redundantes con múltiples articulaciones para aplicaciones en áreas de trabajo de difícil acceso.

### **1.3 LOCOMOCIÓN DE ROBOTS MÓVILES**

Existe una gran variedad de modos de moverse sobre una superficie sólida; entre los robots móviles, los más comunes son las ruedas, las cadenas y las patas.

Los vehículos de ruedas son los más populares por varias razones prácticas. Los robots con ruedas son más sencillos, más fáciles de construir y la carga que pueden transportar es relativamente mayor. Para una misma carga útil, los robots basados tanto en cadenas como en patas son generalmente más complicados y pesados que los robots de ruedas.

La principal desventaja de las ruedas es en terreno irregular, en el que se comportan bastante mal. Normalmente un vehículo de ruedas podrá sobrepasar un obstáculo que tenga una altura no superior al radio de sus ruedas.

Para robots que vayan a funcionar en un entorno natural las cadenas son una opción muy buena porque las cadenas permiten al robot superar obstáculos relativamente mayores y son menos susceptibles que las ruedas de sufrir daños por el entorno, como piedras o arena. El principal inconveniente de las cadenas es su ineficiencia, puesto que se produce deslizamiento sobre el terreno al avanzar y al girar.

Potencialmente los robots con patas pueden superar con mayor facilidad que los otros los problemas de los terrenos irregulares. A pesar de que hay un gran interés en diseñar este tipo de robots, su construcción plantea numerosos retos. Estos se originan principalmente en el gran número de grados de libertad que requieren los sistemas con patas. Cada pata necesita como mínimo un par de motores lo que produce un mayor costo, así como una mayor complejidad y menor fiabilidad.

## **1.4 CONFIGURACIONES DE ROBOTS MOVILES**

Las configuraciones usadas para el movimiento de robots móviles son muy diversas, algunas más complejas que otras, pero por lo general para el caso práctico se suele trabajar con cuatro tipos de configuraciones: la síncrona, la diferencial, el triciclo clásico y la configuración de Ackerman.

### **1.4.1 CONFIGURACION DIFERENCIAL**

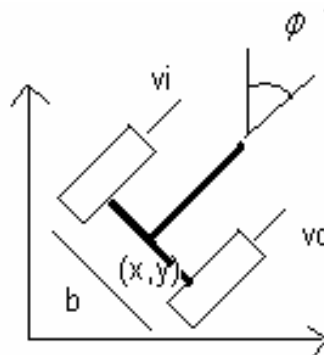
Tanto desde el punto de vista de la programación como de la construcción, el diseño diferencial es uno de los menos complicados sistemas de locomoción. El robot puede ir recto, girar sobre sí mismo y trazar curvas.

Un problema importante es cómo resolver el equilibrio del robot. Hay que buscarle un apoyo adicional a las dos ruedas ya existentes, lo cual se consigue mediante una o dos ruedas de apoyo añadidas en un diseño triangular o romboidal. El diseño triangular puede no ser suficiente, dependiendo de la distribución de pesos del robot, y el romboidal puede provocar inadaptación al terreno si éste es irregular lo que puede exigir alguna clase de suspensión.

En esta configuración las variables de control son las velocidades de las ruedas laterales  $V_i$  y  $V_d$ , tal como se puede observar en la figura 2. Esta es la

configuración utilizada para los robots móviles en el presente proyecto de investigación.

**Figura 2.** Configuración diferencial



Fuente: ANÍBAL OLLERO BATURONE. ROBÓTICA, MANIPULADORES Y ROBOTS MÓVILES. MARCOMBO S.A. 2001.

#### 1.4.2 CONFIGURACION SINCRONA

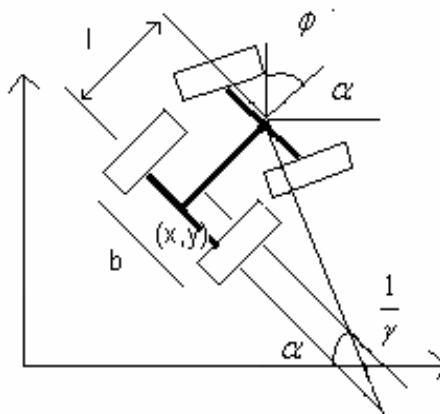
En la configuración síncrona, todas las ruedas (generalmente tres) son tanto de dirección como motrices. Para cambiar de dirección el robot gira simultáneamente todas sus ruedas alrededor de un eje vertical, de modo que la dirección del robot cambia, pero su chasis sigue apuntando en la misma dirección que tenía. Si el robot tiene una parte delantera (es asimétrico) presumiblemente donde se concentran sus sensores, tendrá que mediar un procedimiento para que su cuerpo se oriente en la misma dirección que sus ruedas. Esta configuración supera muchas de las dificultades que plantean las demás configuraciones (diferencial, triciclo clásico y ackerman), pero a costo de una mayor complejidad mecánica. El esquema de esta configuración se puede apreciar en la figura 3.



#### 1.4.4 CONFIGURACION ACKERMAN

La última configuración a considerar es la de Ackerman tal como se aprecia en la figura 5. Se supone que el centro guiado del vehículo esta sobre la mitad del eje de las ruedas de tracción (ruedas traseras). En este modelo la velocidad real de cada rueda es diferente.

**Figura 5.** Configuración Ackerman



**Fuente:** ANÍBAL OLLERO BATURONE. ROBÓTICA, MANIPULADORES Y ROBOTS MÓVILES. MARCOMBO S.A. 2001.

En las configuraciones triciclo y ackerman no es necesario controlar la velocidad de las ruedas para que el robot se mantenga en línea recta.

## 2. CONSTRUCCION DE LOS MOVILES

En esta parte se describe cómo se realizó la construcción de los dos robots móviles.

Un aspecto importante en la construcción del robot es su chasis, ya que este da soporte a los elementos esenciales del robot: motores, baterías, sensores, circuitos electrónicos y todos los elementos mecánicos necesarios para cumplir las tareas para las que fue diseñado. La forma y el tamaño del chasis no son proporcionales a su complejidad. Normalmente, la forma general depende de la composición interna y de la tarea que tenga que llevar a cabo.

En el presente proyecto las tareas que tienen que realizar los robots móviles son desplazamientos sobre una pista plana, reconociendo su entorno y evitando los obstáculos presentes. Para llevar a cabo el desplazamiento el robot tiene un chasis tipo triciclo, ya que esta configuración es una de las más prácticas. En su parte delantera están dos llantas diametralmente opuestas y motorizadas independientemente, que realizan la tracción del móvil y una rueda giratoria (rueda loca) en su parte trasera que debe ser capaz de rodar y pivotar sobre si misma dándole apoyo al chasis y manteniéndolo horizontalmente.

Antes de entrar en los detalles en la construcción del móvil se explicará cómo hacer la modificación de los servomotores que van a realizar la tracción del móvil para que puedan realizar rotación continua, ya que estos traen en su interior unos topes mecánicos que impiden giros superiores a los 180 grados.

## 2.1 MODIFICACION DE LOS SEVOMOTORES A ROTACION CONTINUA

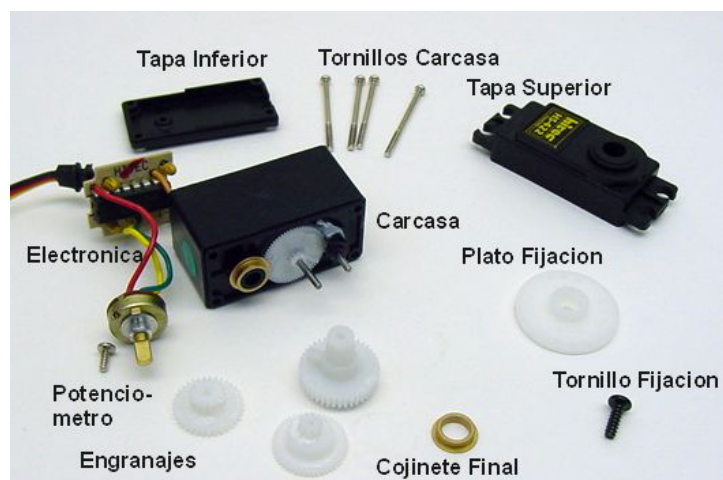
Para la propulsión del móvil se utilizaron dos servomotores HITEC HS-422 el cual se observa en la figura 6.

**Figura 6.** Servomotor HITEC HS-422



Cada servomotor es acoplado a una rueda para la tracción del móvil. Estos motores se escogieron por su facilidad de modificación a rotación continua y también por el alto torque que ofrecen. En la figura 7 se muestran las partes que componen al servomotor.

**Figura 7.** Componentes del servomotor.



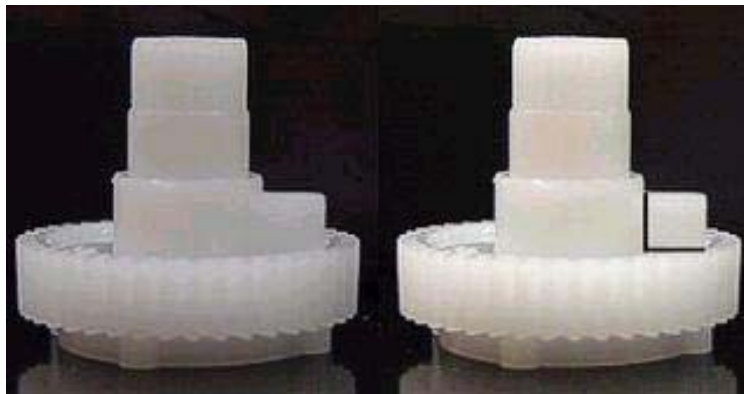
Fuente: [www.superrobotica.com](http://www.superrobotica.com)

El servomotor posee en su engranaje principal un tope limitador que no le permite girar más de los 180 grados.

Para transformar el servomotor en un dispositivo de rotación continua es necesario realizar un conjunto de modificaciones que se describe a continuación.

Como primer paso se desarma el servomotor localizando su engranaje principal y luego se procede a remover el tope limitador, tal como se observa en la figura 8.

**Figura 8.** Detalles del tope a cortar.



Una vez retirado el tope limitador se debe desacoplar el potenciómetro del eje principal. Existen dos maneras de efectuar este procedimiento. La primera consiste en reemplazar el potenciómetro por otro de igual valor pero que carezca de eje y la segunda opción consiste en dejar el potenciómetro original por fuera de la caja conservando sus conexiones. Para este caso se tomo la segunda opción y el servomotor queda como observa en la figura 9.

**Figura 9.** Extracción del potenciómetro

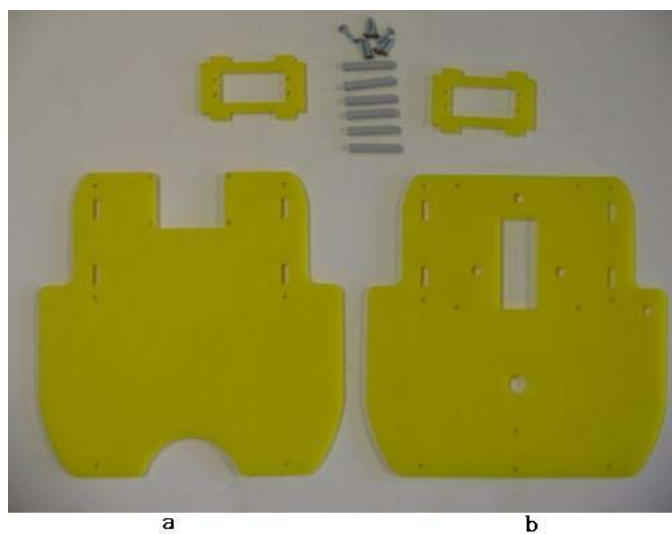


Así de esta manera es posible fijar la posición neutral, enviando el pulso de dicha posición y variando el potenciómetro hasta que el servomotor deje de girar.

## 2.2 EL CHASIS

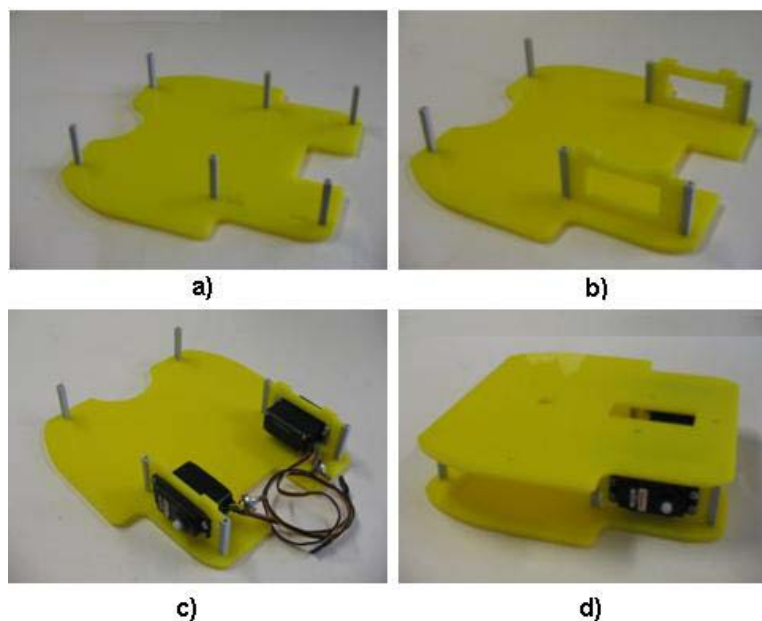
El chasis de ambos móviles está construido por dos placas en acrílico, ya que este material es liviano y resistente. La forma de las placas se pueden observar en la figura 10

**Figura 10.** Placa del chasis. a) Inferior b) superior



Las placas están ubicadas paralelamente una sobre la otra, dando soporte a los motores que están ajustados a una lamina perpendicular a ellas como se observa en la figura 11.

**Figura 11.** Ubicación de las placas y los servos.



En la grafica a) y b) de esta figura se observa la placa inferior con la ubicación de los conectores y las láminas perpendiculares a ella. En la grafica c) se puede ver mejor cómo va el servomotor dentro de la lámina perpendicular y en la grafica d) se observa las dos placas y los servos totalmente atornillados.

### **2.3 RUEDAS**

Al rotor de los servomotores se acopla una rueda de neopreno, material especialmente indicado para el uso en robots. Esta rueda se acopla directamente sobre el plato del servomotor por medio de un adhesivo de doble cara y se atornilla al rotor del servomotor, proporcionando una gran tracción gracias a las características del neopreno puro. Además, de tracción, esta rueda ofrece un movimiento suave y silencioso gracias al

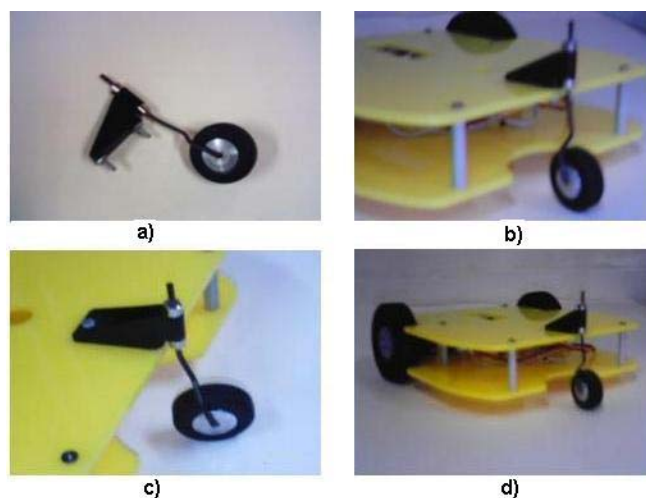
efecto de almohadilla que amortigua las irregularidades de la pista. Las dimensiones de la rueda son de 76mm de diámetro y 19mm de grosor. En la figura 12 se muestra la rueda y su adaptación al servomotor.

**Figura 12.** Rueda de neopreno y la adaptación al servo



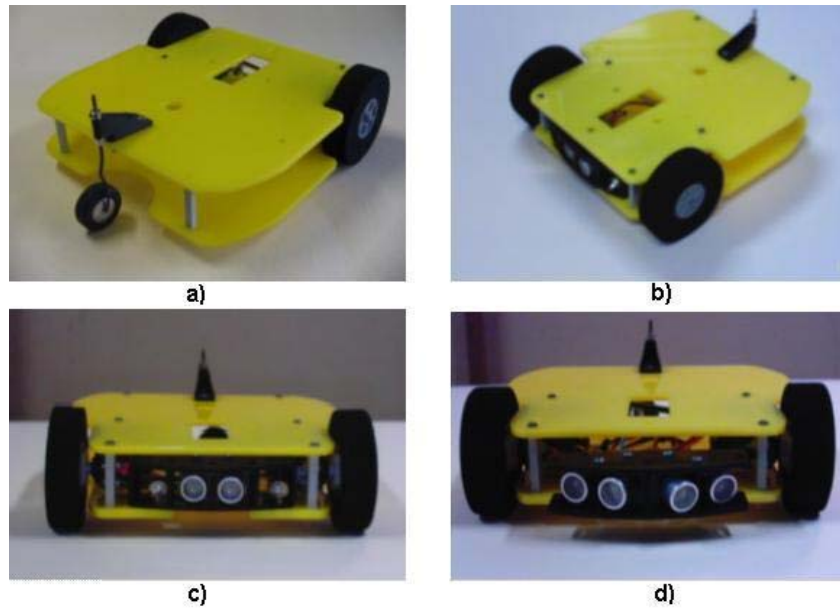
En la parte de atrás el chasis del móvil posee una rueda giratoria de goma (rueda loca) que hace de patín, permitiéndole al móvil realizar giros de forma suave y elegante. La rueda se atornilla al chasis por medio de un soporte y tiene anillos de fijación que permiten ajustar la altura de trabajo deseada, en este caso, mantener el chasis horizontalmente. En la figura 13 se puede ver la rueda giratoria y la ubicación.

**Figura 13.** Rueda giratoria y su ubicación en el chasis.



Por ultimo se colocan los módulos de ultrasonido en la parte de adelante, dentro de las dos placas como se observa en la figura 14.

**Figura 14.** Móvil completo



En la figura c) se observa el móvil controlado el cual lleva un solo modulo de ultrasonido y en la figura d) el obstáculo móvil con dos módulos de ultrasonido.

Las dimensiones finales de los móviles teniendo en cuenta los módulos de ultrasonido son de 20cm de ancho x 25cm de largo.

## 2.4 ALIMENTACIÓN DE LOS MÓVILES

La alimentación de los móviles es proporcionada mediante baterías recargables de Níquel metal hidruro.

Para cada móvil se tiene un paquete de 6 baterías de 1.2 V y 2100mA/hora modelo AA que proporcionan 7.2 V a cada tarjeta de control. El paquete de baterías se encuentra ubicado, en ambos móviles, dentro de las placas del chasis, sobre el eje, de tal forma que el peso de las baterías quede distribuido en el móvil.

El voltaje entregado por las baterías se regula a través de una fuente conmutada, PTH08080W de Texas Instruments, que entrega hasta 2.25 A en la salida. Este integrado necesita un voltaje de entrada comprendido en el rango de 4.5 V a 18 V permitiendo a la salida voltajes desde 0.9 a 5.5 con una potencia disipada de 1W. La variación en la salida se logra utilizando un resistor externo. Para asegurar una salida de 5V fijos, se colocó un resistor externo de 348 ohms. Esta fuente ofrece una eficiencia del 93%, lo cual hace que se pueda alimentar todo el sistema eléctrico del móvil sin ningún problema.

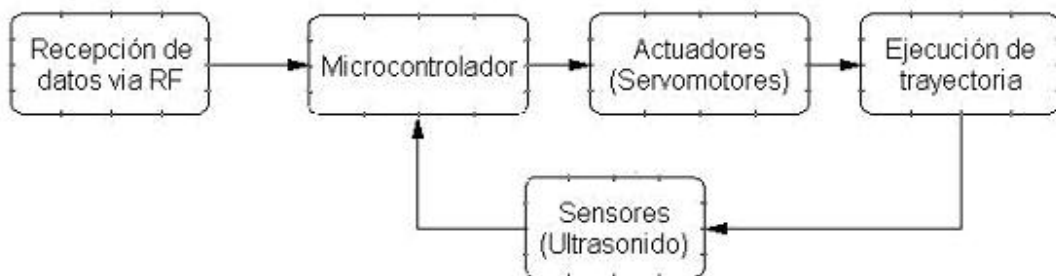
En el caso del móvil que actúa como obstáculo, se utilizó un regulador LM7805 para entregar 5V fijos a la tarjeta de control. Este circuito integrado es más económico y su eficiencia es adecuada para esta tarjeta.

Para mayor información; las hojas de datos del LM7805 y del PTH08080W se encuentran disponibles en los Anexos D y E respectivamente.

### 3. SISTEMA DE CONTROL

En este capítulo se describe el sistema utilizado para controlar los servomotores, los sensores de ultrasonido y la recepción de datos para el control de los móviles. El diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 15.

**Figura 15.** Diagrama de bloques del sistema.

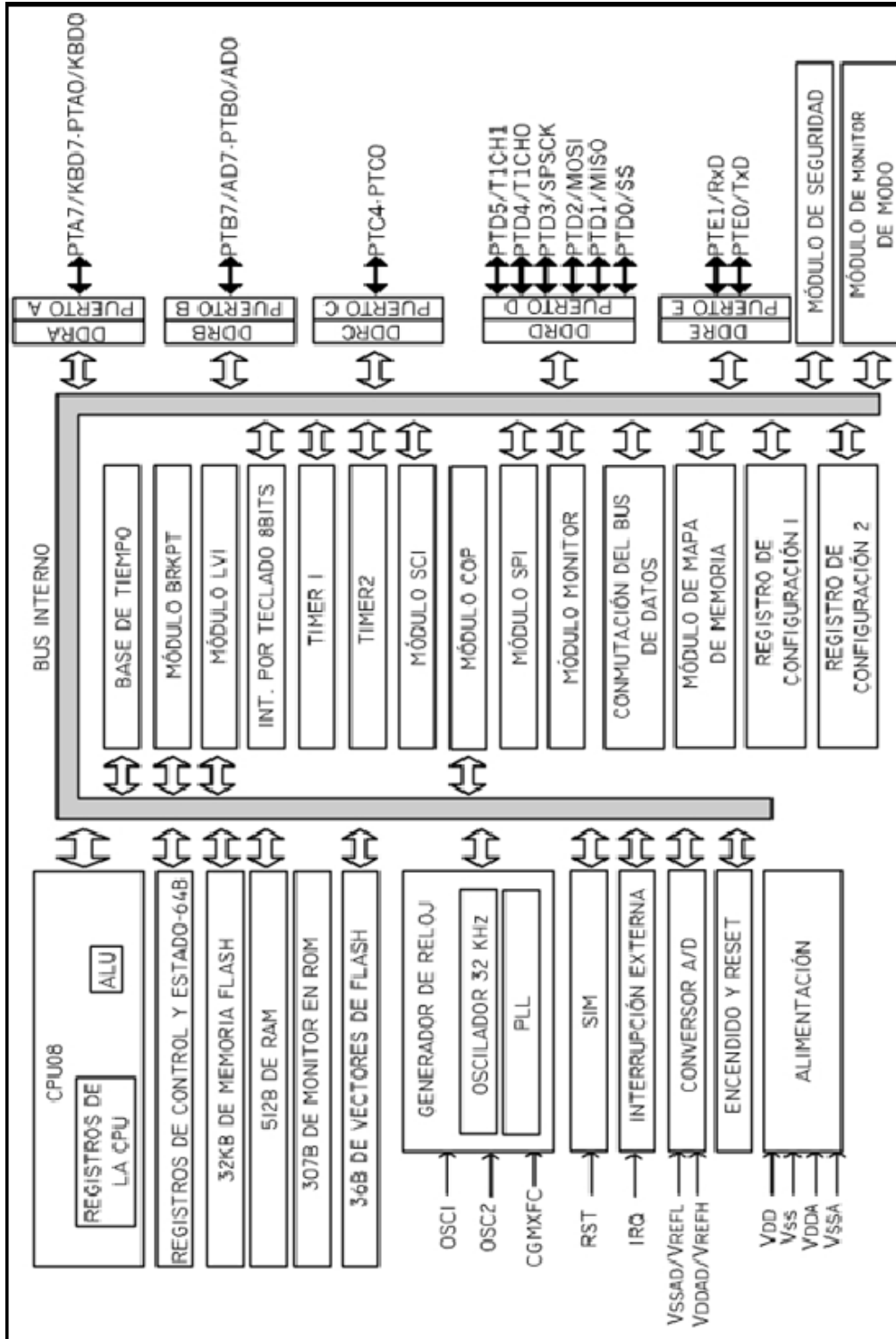


El control del móvil se realiza por medio del microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola. La elección del microcontrolador se basó en el número de puertos disponibles para usar como entrada o salida. Aunque no todos los puertos son utilizados en su total capacidad (8 bits) es necesario aclarar que si se usara un microcontrolador con menos puertos se haría compleja la manipulación de los bits. El microcontrolador se programó en lenguaje ANSI C para su mejor entendimiento y visualización de los programas.

#### 3.1 MICROCONTROLADOR

El MC68HC908GP32 es un microcontrolador de 8 bits de bajo costo, alto rendimiento y con una variedad de módulos que pueden ser configurados independientemente. El diagrama de bloques de sus módulos se puede observar en la figura 16.

Figura 16. Diagrama de bloques del microcontrolador MC68HC908GP32.



El esquema general de los pines del MC68HC908GP32 se muestra en la figura 17.

**Figura 17.** Descripción de pines

|    |                              |   |    |
|----|------------------------------|---|----|
| 1  | V <sub>DDA</sub> (PLL)       | PTA7/ $\overline{\text{KBD7}}$              | 40 |
| 2  | V <sub>SSA</sub> (PLL)       | PTA6/ $\overline{\text{KBD6}}$              | 39 |
| 3  | CGMXFC (PLL)                 | PTA5/ $\overline{\text{KBD5}}$              | 38 |
| 4  | OSC2                         | PTA4/ $\overline{\text{KBD4}}$              | 37 |
| 5  | OSC1                         | PTA3/ $\overline{\text{KBD3}}$              | 36 |
| 6  | $\overline{\text{RST}}$      | PTA2/ $\overline{\text{KBD2}}$              | 35 |
| 7  | PTC0                         | PTA1/ $\overline{\text{KBD1}}$              | 34 |
| 8  | PTC1                         | PTA0/ $\overline{\text{KBD0}}$              | 33 |
| 9  | PTC2                         | V <sub>SSAD</sub> / V <sub>REFL</sub> (ADC) | 32 |
| 10 | PTC3                         | V <sub>DDAD</sub> / V <sub>REFH</sub> (ADC) | 31 |
| 11 | PTC4                         | PTB7/ AD7                                   | 30 |
| 12 | PTE0/ TxD                    | PTB6/ AD6                                   | 29 |
| 13 | PTE1/ RxD                    | PTB5/ AD5                                   | 28 |
| 14 | $\overline{\text{IRQ}}$      | PTB4/ AD4                                   | 27 |
| 15 | PTD0/ $\overline{\text{SS}}$ | PTB3/ AD3                                   | 26 |
| 16 | PTD1/ MISO                   | PTB2/ AD2                                   | 25 |
| 17 | PTD2/ MOSI                   | PTB1/ AD1                                   | 24 |
| 18 | PTD3/ SPCK                   | PTB0/ AD0                                   | 23 |
| 19 | V <sub>SS</sub>              | PTD5/ T1CH1                                 | 22 |
| 20 | V <sub>DD</sub>              | PTD4/ T1CH0                                 | 21 |

A continuación se hace una breve descripción de la función de los pines que posee el microcontrolador:

**Pines de fuente de alimentación (V<sub>DD</sub> y V<sub>SS</sub>):** La operación del microcontrolador se realiza con alimentación sencilla, donde V<sub>DD</sub> va desde +2.5V hasta +5.5V y V<sub>SS</sub> es conectado a tierra.

**Pines de Oscilador (OSC1 y OSC2):** En estos pines se realiza la conexión del circuito generador de reloj. El oscilador utilizado tiene una frecuencia de 4.9152Mhz.

**Reset (RST):** Es usado para inicializar el microcontrolador cuando se encuentra en un cero lógico.

**Pin de filtro de capacitor externo (CGMXFC):** En este pin se conecta un filtro de capacitor externo para el módulo generador de reloj.

**Pines de referencia y alimentación para el ADC ( $V_{DDAD}/V_{REFH}$  y  $V_{SSAD}/V_{REFL}$ ):**  $V_{DDAD}$  se debe conectar al mismo potencial que el pin  $V_{DD}$  (+5V) y  $V_{SSAD}$  al mismo potencial de  $V_{SS}$  (0V). Los voltajes de referencia alto y bajo del ADC,  $V_{REFH}$  y  $V_{REFL}$  respectivamente, están conectados internamente con  $V_{DDAD}$  y  $V_{SSAD}$ .

**Puertos de entrada/salida:** El MC68HC908GP32 cuenta con 5 puertos, 29 pines bidireccionales que pueden ser configurados como entrada o salida. Para los puertos A, D, C se puede conectar a sus pines una resistencia pull-up configurable por software cuando estén habilitados como bits de entrada; si están como bits de salida la resistencia se deshabilitará automáticamente.

**Puerto A (PTA7–PTA0):** Está conformado por ocho pines, compartidos con el modulo de interrupciones de teclado (KBI).

**Puerto B (PTB7–PTB0):** Consta de ocho pines, compartidos con el Conversor Analógico- Digital (ADC).

**AD7-AD0:** Son pines usados para los canales de entrada del ADC. La selección del canal se hace mediante la configuración del ADC status y registro de control, donde también se define cual pin del puerto B será utilizado para la conversión. Estos pueden ser configurados como pines de propósito general.

**Puerto C (PTC6–PTC0):** Está constituido por siete pines bidireccionales de propósito general.

**Puerto D (PTD7–PTD0):** Consta de ocho pines, compartiendo cuatro de ellos con el modulo de interfaz serie con periféricos (SPI) y los otros cuatro con el módulo de interfaz del temporizador (TIM).

**T1CH1–T1CH0:** Los pines PTD5/T1CH1 – PTD4/T1CH0 definen el temporizador 1 (TIM1) donde se encuentran los pines correspondientes a la captura de entrada o comparación de salida respectivamente. El bit de selección de flanco ELSxB y ELSxA determina si los pines del TIM1 son canales de entrada al temporizador o pines de E/S de propósito general.

**Puerto E (PTE1–PTE0):** Tiene dos pines compartidos con el módulo de interfaz de comunicación serie (SCI).

**RxD:** El pin PTE1/RxD define la recepción de entrada de datos del módulo SCI.

**TxD:** El pin PTE0/TxD define la transmisión de salida de datos del módulo SCI.

Como se menciona anteriormente el microcontrolador cuenta con cinco puertos bidireccionales, de los cuales cuatro se utilizan para el control del móvil. La tabla 1 muestra los puertos utilizados en el microcontrolador, la función que realizan y si están siendo utilizados como entradas o como salidas.

**Tabla 1.** Función y configuración de puertos.

| <b>Puerto</b> | <b>Configuración</b> | <b>Asignación</b>                                    |
|---------------|----------------------|--|
| PTD4/T1CH0    | Salida               | Generación de interrupciones para las señales PWM    |
| PTD5/T1CH1    | Entrada              | Captura de la señal ECO del Ultrasonido              |
| PTB0-PTB7     | Salida               | Generación señal control Servomotores (max 8 servos) |
| PTE1/RxD      | Entrada              | Recepción de datos de la Trayectoria                 |

|           |         |  |
|-----------|---------|--|
| PTA5-PTA6 | Salida  | Señal de excitación del Ultrasonido      |
| PTA3      | Entrada | Selección de algoritmo de Planeación     |
| PTA4      | Salida  | Selección de canal del Multiplexor 2 a 1 |

### 3.2 SERVOMOTORES

Los servos son un tipo especial de motor que se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su rango de operación. Están generalmente formados por un amplificador, un motor DC, la reducción de engranaje, una tarjeta de control y la realimentación, todo en una misma caja de pequeñas dimensiones. Disponen de tres conexiones eléctricas: Vcc (roja), GND (negra) y entrada de control (amarilla).

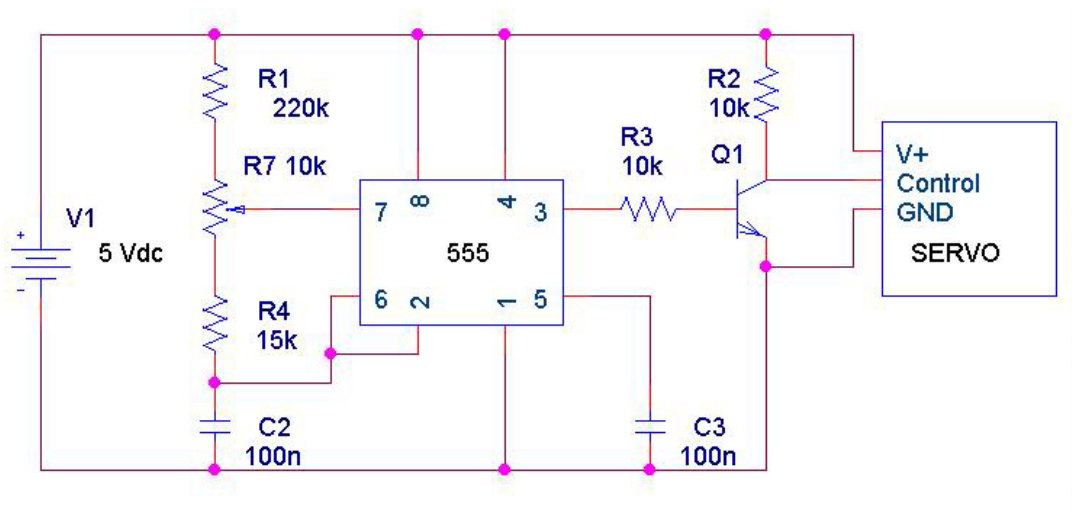
El control del servomotor se logra mediante pulsos de ancho variable, entre 0.3ms y 2.1ms, dependiendo del fabricante, con un periodo entre 10 y 30ms. El servomotor trabaja comparando el ancho de los pulsos que recibe con un patrón o muestra, generado por el circuito interno y la diferencia se toma como el error. Dependiendo del tamaño de este error el motor gira en una u otra dirección para reducir el error.

Entre las ventajas que aporta el empleo de un servo están las siguientes: poco peso, alto torque, fiabilidad, simplicidad, versatilidad, bajo costo y robustez (los servos y su electrónica normalmente sobreviven a choques y funcionan en ambientes de alta temperatura, suciedad, humedad y vibraciones).

### 3.2.1 CARACTERIZACION DE LOS SERVOMOTORES

Para cada tipo de servomotor que se va a controlar, se realizó una prueba preliminar para encontrar exactamente el período y la duración de los pulsos que generan el mejor funcionamiento. Esto se hace con el fin de evitar inconvenientes a la hora de programar. Para realizar la prueba se utilizó el circuito mostrado en la figura 18. El circuito consta de un monoestable (555) cuya frecuencia está determinada por el valor de los capacitores C2 y C3. La señal generada se invierte mediante un transistor conectado en configuración "colector común" que funciona en modo de saturación (esto significa APAGADO ó ENCENDIDO).

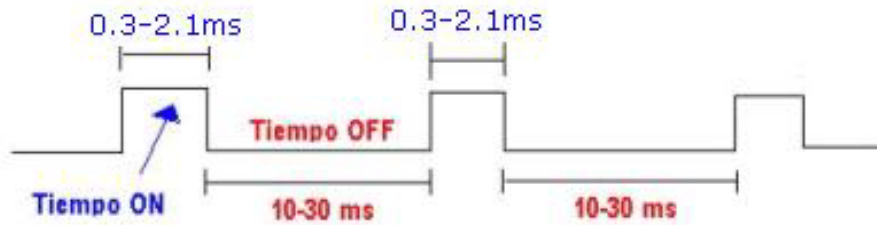
**Figura 18.** Circuito experimental con un 555



Al girar el potenciómetro (R7) se modifica el ancho del pulso de la señal de control lo cual hace girar el servomotor. De esta forma se busca el ancho de pulso necesario para ubicar el servo en cada uno de sus extremos.

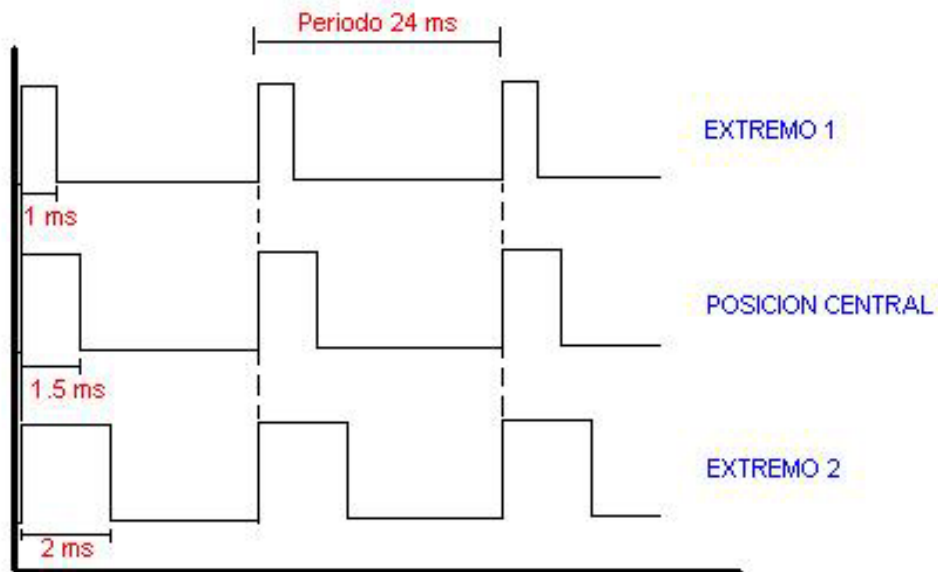
En la figura 19 se observa la señal de control que entrega el circuito experimental.

**Figura 19.** Tren de pulsos generado por el circuito.



Al realizar esta prueba al servomotor HITEC HS-422 se encontró que los límites de operación corresponden a un mínimo de  $1\text{ms}$  y un máximo de  $2\text{ms}$  de duración del pulso. Estos valores posicionan el servomotor en sus respectivos extremos. Un valor de  $1,5\text{ms}$  de ancho de pulso ubica el servomotor en su posición central como se observa en la figura 20.

**Figura 20.** Señal de control para el servomotor.



Nota: la amplitud de la señal =  $5\text{V}$

Cuando se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste emite un zumbido indicando que se debe cambiar la longitud del pulso.

### 3.2.2 CONTROL DE SERVOMOTORES

Las señales para el control de los servomotores son generadas por un puerto del microcontrolador. Para la generación de la señal PWM, se uso el *timer* y un comparador (interrupciones asociadas), de este modo la generación de la señal es autónoma y el microcontrolador queda libre para realizar otras tareas. El mecanismo consiste en programar el *timer* con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de *overflow* del *timer*, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo.

Los servomotores se modificaron a rotación continua como se explicó en el capítulo anterior. Se fijo una posición neutral correspondiente a un ancho de pulso de 1.5ms. Al aplicarle una señal con este ancho de pulso el servomotor permanece inmóvil. Para hacer girar el servomotor se le aplica una señal con ancho de pulso mayor o menor a 1.5ms, dependiendo del sentido de giro que se desee. Debido a que no hay realimentación porque se desacopló el potenciómetro, el error no se reduce y el servo continúa rotando.

En la tabla 2 se observan los puertos del microcontrolador que generan las señales de control para los servomotores.

**Tabla 2.** Asignación de puertos para los servomotores.

| Puerto | Función                            |
|--------|------------------------------------|
| PTB2   | Señal PWM para La llanta derecha   |
| PTB3   | Señal PWM para La llanta izquierda |

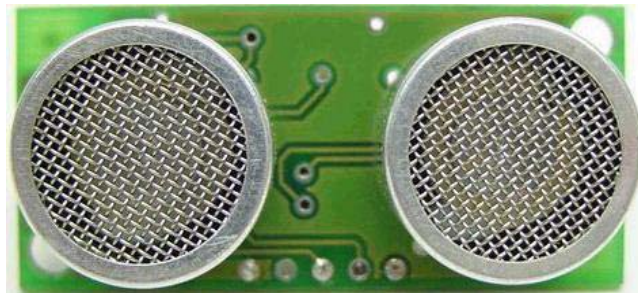
### 3.3 MODULO DE ULTRASONIDO

El término ultrasonidos designa en principio a los sonidos de alta frecuencia, aunque en realidad corresponde a los sonidos que se encuentran justo por encima de la banda que es capaz de captar el oído humano. El intervalo de frecuencia que corresponde a los ultrasonidos va desde 20 Khz. hasta 500 KHz. Los sonidos a estas frecuencias son más direccionales que los sonidos de frecuencias bajas.

La determinación de la distancia se logra al enviar trenes de pulsos con periodos muy cortos y medir el tiempo transcurrido desde la emisión hasta la recepción del eco. Este tiempo es proporcional a la distancia recorrida por las ondas de presión ultrasónicas.

El modulo de ultrasonido utilizado en los móviles es el SRF04 que se observa en la figura 21.

**Figura 21.** Modulo de Ultrasonido SRF04



Este sensor permite detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 3 a 300 cm. Para su funcionamiento se debe excitar el emisor con una señal adecuada en amplitud y frecuencia de tal modo que este produzca una señal ultrasónica que será enviada al medio externo.

Este modulo contiene toda la electrónica encargada de realizar el proceso de emisión, recepción y medición. Requiere cuatro conexiones para su funcionamiento, dos de ellas son la alimentación del circuito, (0 Volt y +5 Volt dc) y

las dos restantes son las conexiones de las señales. El esquema se observa en la figura 22.

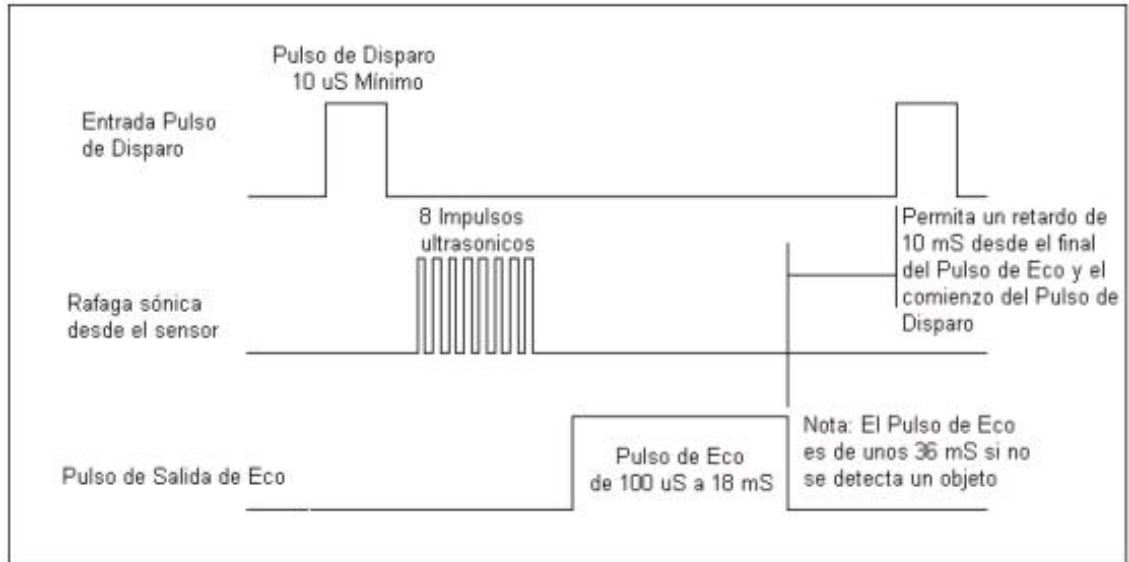
**Figura 22.** Conexiones del modulo del ultrasonido SRF04



el sensor puede detectar objetos ubicados a una distancia entre tres y trescientos centímetros, por medio de un pulso de tensión cuyo ancho varia entre 100us para 3cm y 18ms para 300cm. Para distancias mayores el sensor envía un pulso de 36ms. Este pulso se obtiene como respuesta (eco) a un pulso de disparo de 10us, enviada por el microcontrolador. Al terminar la recepción del pulso de eco se debe esperar 10ms antes de enviar el siguiente pulso de disparo.

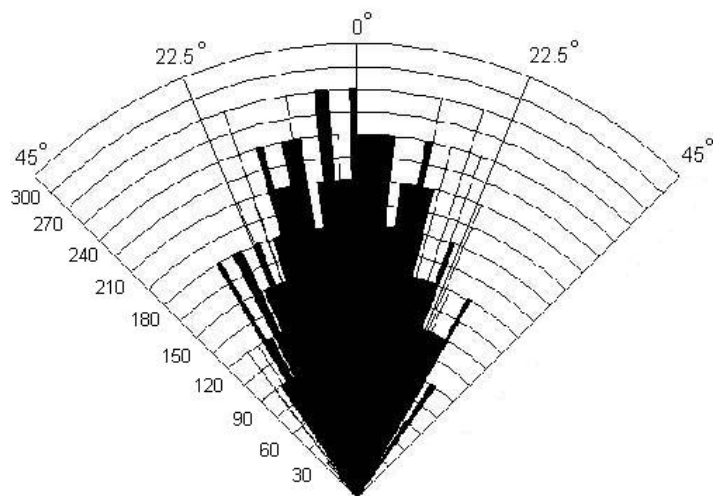
Las señales de entrada de disparo y el pulso de salida de eco para este modulo se pueden observar en la figura 23.

**Figura 23.** Diagrama de Tiempos del SRF04



El pulso de 100 $\mu\text{s}$  como mínimo en la salida de eco se debe a que el circuito es desconectado durante este tiempo para evitar el ruido del pulso inicial. Este modulo de ultrasonido tiene un Rango efectivo de aproximadamente unos 30° como se puede observar en la figura 24.

**Figura 24.** Rango efectivo del SRF04.



Fuente: [www.SupeRobotica.com](http://www.SupeRobotica.com)

### 3.3.1 CARACTERIZACION DEL MODULO DE ULTRASONIDO SRF04

Una vez conocido el funcionamiento del modulo de ultrasonido se realizo la caracterización del mismo en el laboratorio, utilizando un generador de señales para producir la excitación y un osciloscopio digital para capturar y observar el pulso de eco entregado por el sensor. En el procedimiento para la calibración se coloco un objeto frente al sensor, se registro la distancia entre el objeto y el sensor y el ancho del pulso de eco medido en el osciloscopio. Para cada distancia se excito el sensor 5 veces. En la tabla 3 se presenta el promedio de ancho del pulso de eco para cada distancia.

**Tabla 3.** Resultados del laboratorio en la calibración del SRF04.

| <b>Distancia del Objeto (cm)</b> | <b>Ancho del Pulso de Eco (mseg)</b> |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>3</b>                         | <b>0.22</b>                          |
| <b>6</b>                         | <b>0.43</b>                          |
| <b>9</b>                         | <b>0.59</b>                          |
| <b>10</b>                        | <b>0.67</b>                          |
| <b>12</b>                        | <b>0.81</b>                          |
| <b>15</b>                        | <b>0.91</b>                          |
| <b>18</b>                        | <b>1.06</b>                          |
| <b>20</b>                        | <b>1.22</b>                          |
| <b>21</b>                        | <b>1.28</b>                          |
| <b>24</b>                        | <b>1.46</b>                          |
| <b>25</b>                        | <b>1.52</b>                          |
| <b>44</b>                        | <b>2.56</b>                          |
| <b>64</b>                        | <b>3.8</b>                           |

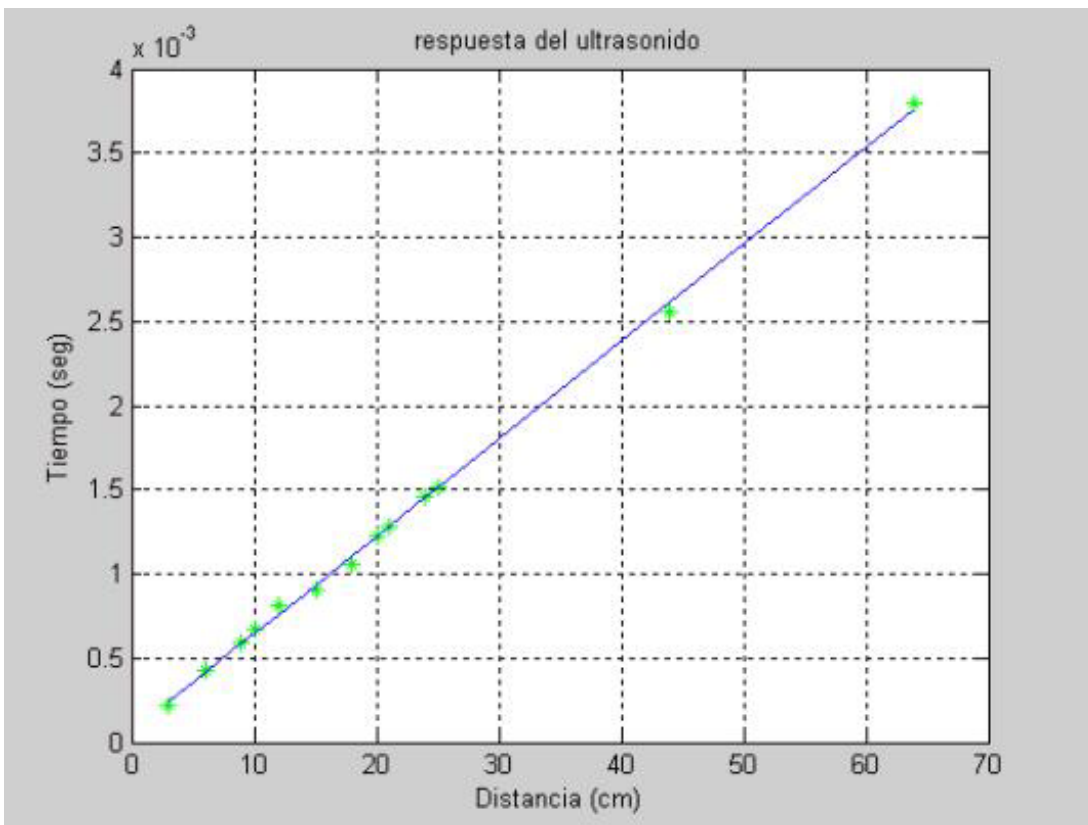
En la figura 25 se puede observar la distancia sensada v/s el tiempo de duración del pulso de eco. Estos datos presentan un comportamiento lineal

En la grafica los puntos en color verde son los datos tomados en el laboratorio y la línea azul es la regresión lineal de esto puntos, que se representan por la siguiente ecuación:

$$Y = 5.78022913408e-5 * X + 6.65830035889e-5$$

Esta ecuación es utilizada para calcular el ancho del pulso de eco en el rango de distancias que sensa este modulo.

**Figura 25.** Caracterización del sensor SRF04



### 3.3.2 CONTROL DEL ULTRASONIDO

Para el control del módulo de ultrasonido se debe generar una señal de excitación y capturar el pulso de eco que genera el modulo. La señal de excitación es generada por un pin del puerto A mediante la interrupción de “overflow” generada por el *timer*. La captura del pulso de eco se realiza configurando un canal del *timer del microcontrolador* (PTD5/T1CH1) como entrada “input capture”. Primero se detecta el flanco ascendente configurando la función input capture en modo “Rising edge” y se almacena este valor como T1, luego es configurando en modo “Falling edge” para detectar el flanco descendente, almacenando este valor como T2. La captura de los flancos se observa en la figura 26. La diferencia entre T2 y T1 es el ancho del pulso capturado.

**Figura 26.** Captura del pulso de eco.



La configuración de los puertos que controlan el modulo de ultrasonido se observa en la tabla 4.

**Tabla 4.** Asignación de puertos para el modulo de ultrasonido.

| Puerto     | Función                  |
|------------|--------------------------|
| PTD5/T1CH1 | Captura del pulso De ECO |
| PTA5       | Señal de excitación      |

### 3.4 TRAYECTORIA PLANEADA

El planeamiento de caminos es realizado en el PC basado en software desarrollado en el marco de otros proyectos de grado. Vía radio frecuencia este software envía al microcontrolador la trayectoria que debe seguir el móvil controlado en una cadena de bytes. Para cada algoritmo de planeación; se realizó un código independiente, el cual es seleccionado mediante hardware, con un interruptor colocando el pin PTA3 a 1 (5 volts) para seleccionar el Algoritmo Genético y a 0 (0 volts) para Campos de potencial. Cada uno de ellos se explica a continuación.

#### 3.4.1 ALGORITMO GENÉTICO (AG)

La codificación de este algoritmo se realizó para la aplicación del proyecto de Pregrado “ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS A LA PLANEACIÓN DE TRAYECTORIAS DE UN ROBOT MOVIL” que adelantan los estudiantes de Ing. Electrónica José Nikolai Ortiz Ortega y Oscar Darío Navas Gómez.

Cada byte recibido por el microcontrolador representa un segmento de la trayectoria y contiene la información descrita en la figura 27.

**Figura 27.** División del Byte para Algoritmo Genético

| 1 BYTE               |                  |              |                  |
|----------------------|------------------|--------------|------------------|
| <b>Monotonía (M)</b> | <b>Dirección</b> | <b>Signo</b> | <b>Distancia</b> |
| <b>1 Bit</b>         | <b>2 Bits</b>    | <b>1 Bit</b> | <b>4 Bits</b>    |

El primer bit M indica que un camino es monótono en X cuando M es igual a cero y monótono en Y cuando M es igual a uno.

La descripción del byte se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5.** Acción del móvil para **AG**.

| <b>Byte</b> | <b>Descripción</b>                                 |
|-------------|--|
| 0000XXXX    | Vertical superior + diagonal superior derecha      |
| 0001XXXX    | Vertical inferior + diagonal inferior derecha      |
| 001XXXXX    | Diagonal superior derecha                          |
| 010XXXXX    | Horizontal derecha                                 |
| 011XXXXX    | Diagonal inferior derecha                          |
| 1000XXXX    | Horizontal derecha + Diagonal inferior derecha     |
| 1001XXXX    | Horizontal izquierda + Diagonal inferior izquierda |
| 101XXXXX    | Diagonal inferior izquierda                        |
| 110XXXXX    | Vertical inferior                                  |
| 111XXXXX    | Diagonal inferior derecha                          |

Los 4 bits de distancia representan el número de pasos que el móvil debe ejecutar en dicha dirección, donde la longitud del paso está predefinida según el número de divisiones (celdas) utilizadas en la plataforma de trabajo, para realizar el planeamiento del camino.

En los casos en los que las direcciones son combinadas (verticales, horizontales y diagonales) el avance se realiza en la primera dirección indicada, en un número de pasos igual al total señalado por los bits de distancia menos uno. El paso faltante se realiza en la segunda dirección.

### 3.4.2 CAMPOS DE POTENCIAL (CP)

Esta programación se realizó para la aplicación del proyecto de maestría “PLANEAMIENTO DE TRAYECTORIAS DE UN ROBOT MOVIL” que adelanta el Ing. Diego Alexander Tibaduiza Burgos.

El camino planeado con este método está descrito en una cadena de bytes, donde cada uno representa un segmento de esta con la información de dirección, los 3 bits más significativos y distancia con los bits restantes, como se muestra en la figura 28.

**Figura 28.** División del Byte para la programación con Campos de Potencial



La descripción del byte se observa en la tabla 6.

**Tabla 6.** Acción del móvil para CP.

| Byte     | Descripción                 |
|----------|-----------------------------|
| 000XXXXX | Horizontal derecha          |
| 001XXXXX | Diagonal inferior derecha   |
| 010XXXXX | Vertical inferior           |
| 011XXXXX | Diagonal inferior izquierda |
| 100XXXXX | Horizontal izquierda        |
| 101XXXXX | Diagonal superior izquierda |
| 110XXXXX | Vertical superior           |
| 111XXXXX | Diagonal superior derecha   |

Igual que en el caso anterior, los 5 bits de distancia representan el número de pasos que el móvil debe ejecutar en una dirección.

### **3.5 PROGRAMACION**

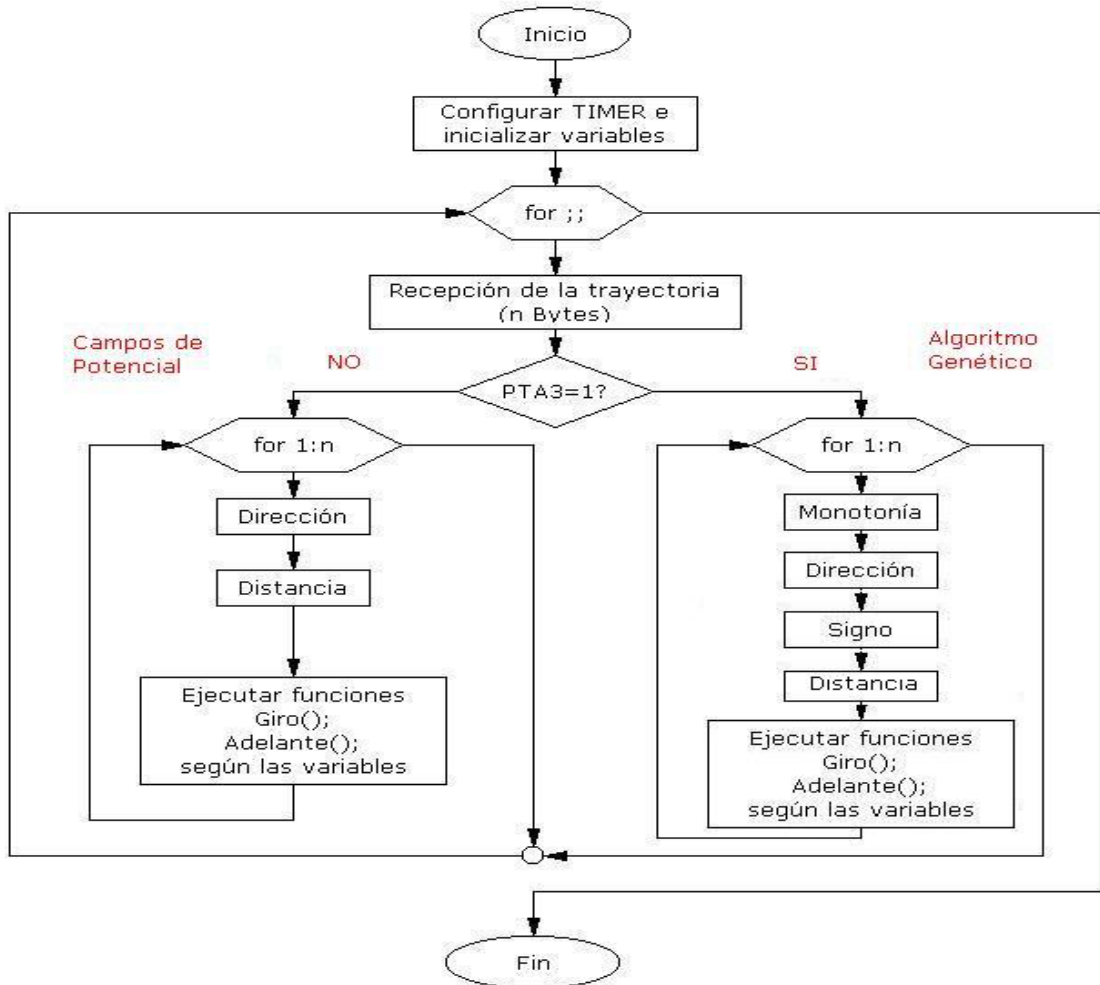
Para cada móvil se realizó un programa de control. El “*móvil controlado*” tiene como objetivo recibir las instrucciones enviadas desde el PC y planear la trayectoria descrita en cada instrucción. El objetivo del “*obstáculo móvil*” es desplazarse por toda la pista evitando obstáculos y de esta forma generar el ambiente dinámico. A continuación se da una explicación del programa de control para cada móvil y los subprogramas utilizados.

#### **3.5.1 PROGRAMACION DEL MOVIL CONTROLADO**

El programa tiene como objetivo recibir las instrucciones desde el PC y planear la trayectoria descrita en cada instrucción. El móvil tiene un módulo de ultrasonido ubicado en la parte frontal. Su función es la de evitar colisiones al ejecutar la trayectoria.

El diagrama de flujo para el móvil controlado se muestra en la figura 29.

**Figura 29.** Diagrama de flujo del móvil controlado.



En el diagrama de flujo n representa el número de Bytes de la trayectoria recibida y se observa la extracción de la información de cada uno de ellos según el algoritmo seleccionado.

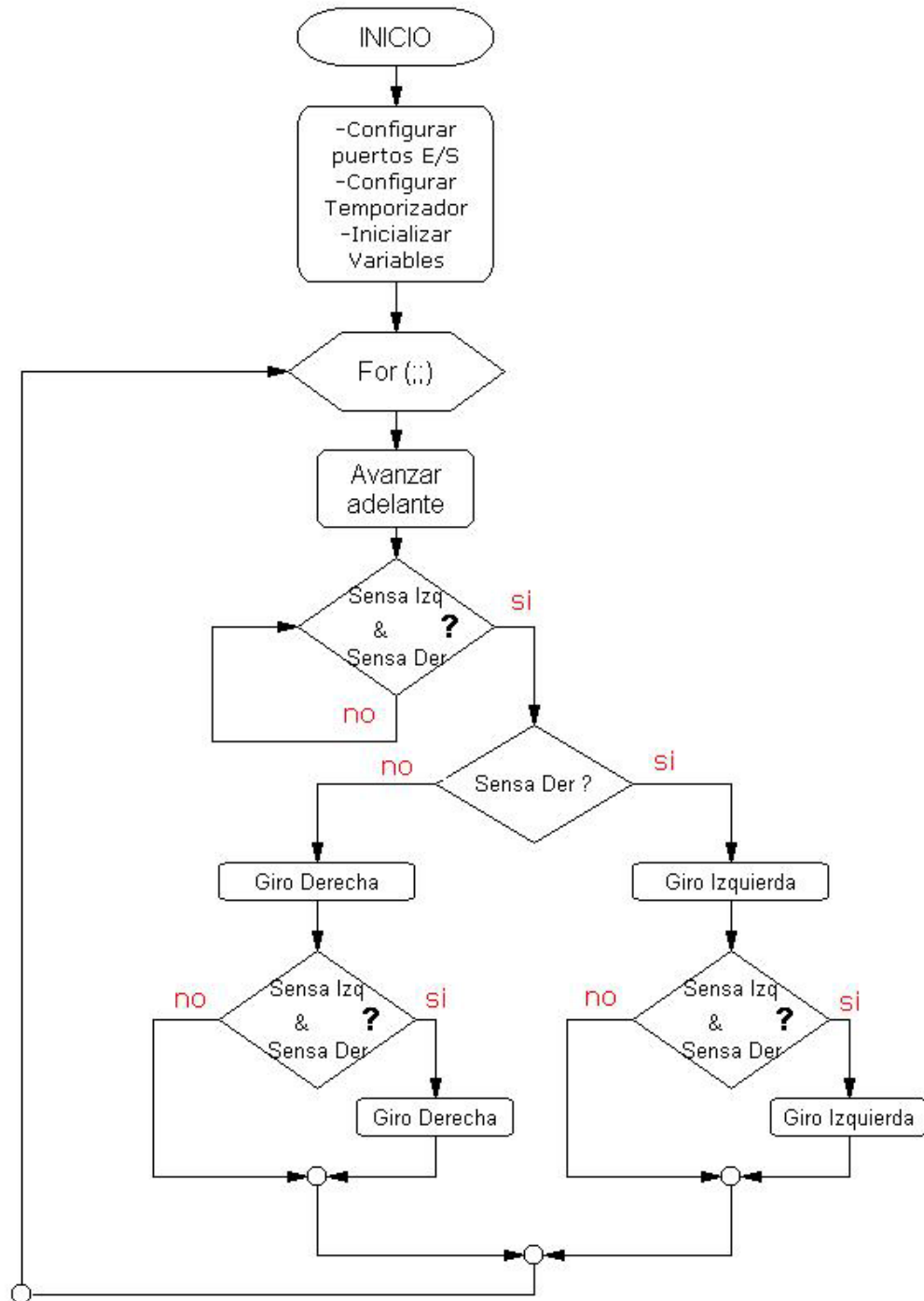
### 3.5.2 PROGRAMACIÓN DEL OBSTÁCULO MOVIL.

El objetivo del obstáculo móvil es desplazarse por toda el área de la pista. El algoritmo esta diseñado para que el móvil se mantenga en movimiento. Sin la

presencia de obstáculos el móvil se desplaza siempre hacia delante, analizando su entorno mediante los módulos de ultrasonido. El análisis del entorno se realiza de forma alterna entre los dos módulos de ultrasonido; esto se debe a que se tiene disponible un solo canal del timer del microcontrolador para la captura del pulso de eco. Para realizar esta captura de forma alterna se utilizó un multiplexor 2 a 1, el cual es controlado por uno de los puertos de Entrada/salida (PTA4) que posee el microcontrolador. Colocando PTA4 en uno se habilita la captura del modulo derecho y en cero la del modulo izquierdo. Si un obstáculo es sentido por el modulo derecho el móvil gira 45 grados hacia la izquierda, intentando esquivarlo. Si es sentido por el modulo izquierdo el móvil gira 45 grados hacia la derecha. Si una vez terminado el giro se sigue detectando el obstáculo, el móvil continúa girando en el mismo sentido.

El diagrama de flujo del algoritmo se observa en la figura 30.

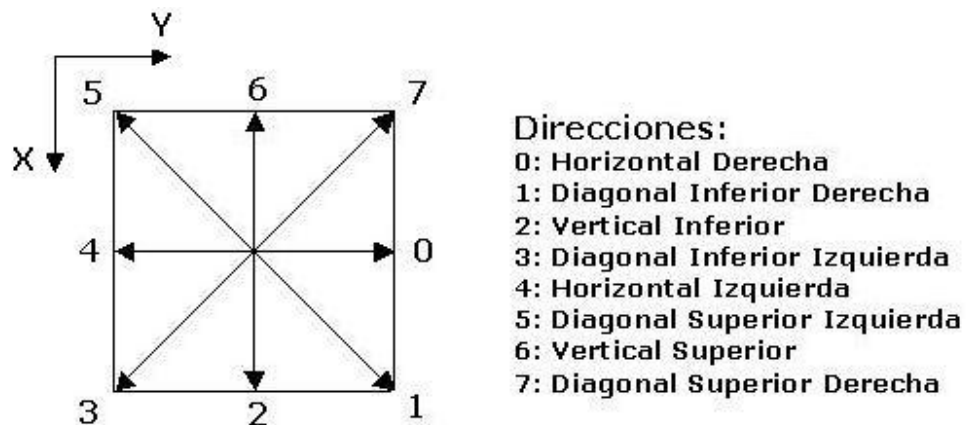
Figura 30. Diagrama de Flujo del móvil aleatorio



### 3.5.3 SUBPROGRAMA DE GIRO.

Este subprograma, definido como una función tiene como entrada un número entero que denota la dirección hacia la cual se debe ubicar el móvil. Las direcciones que puede tomar el móvil se observan en la figura 31. El plano XY en la figura, se tomo de acuerdo con la ubicación de los elementos en una matriz, donde X representa las filas y Y las columnas. Al iniciar el desplazamiento el móvil debe ser orientado en la dirección dos la cual esta almacenada en la memoria del microcontrolador. Después de cada cambio de dirección, esta se almacena en una variable llamada dirección actual

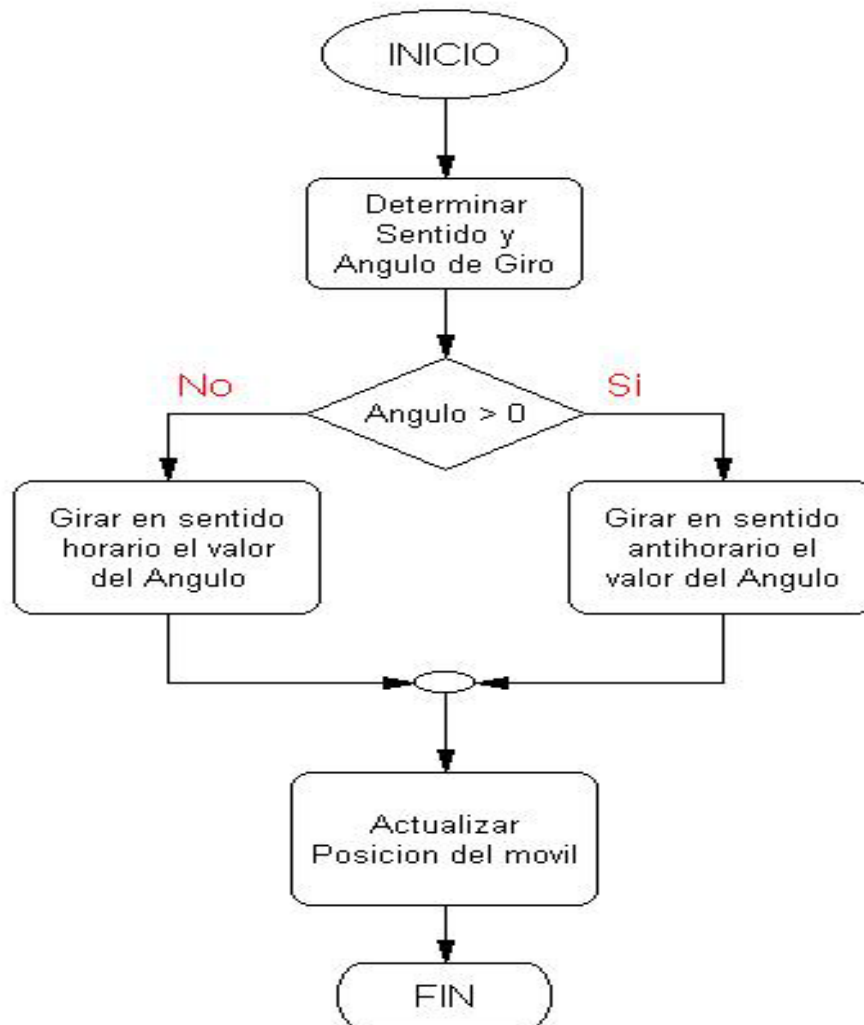
**Figura 31.** Representación de las direcciones del móvil.



Para llegar a la dirección deseada se determina si el sentido de giro es horario o antihorario de forma que el giro sea menor o igual a 180 grados. Puesto que cada dirección esta denotada por un número, el ángulo de giro queda determinado por la diferencia entre Dirección Deseada y Dirección Actual y el signo de la diferencia determina el sentido de giro.

En la figura 32 se observa el diagrama de flujo para el subprograma de giro.

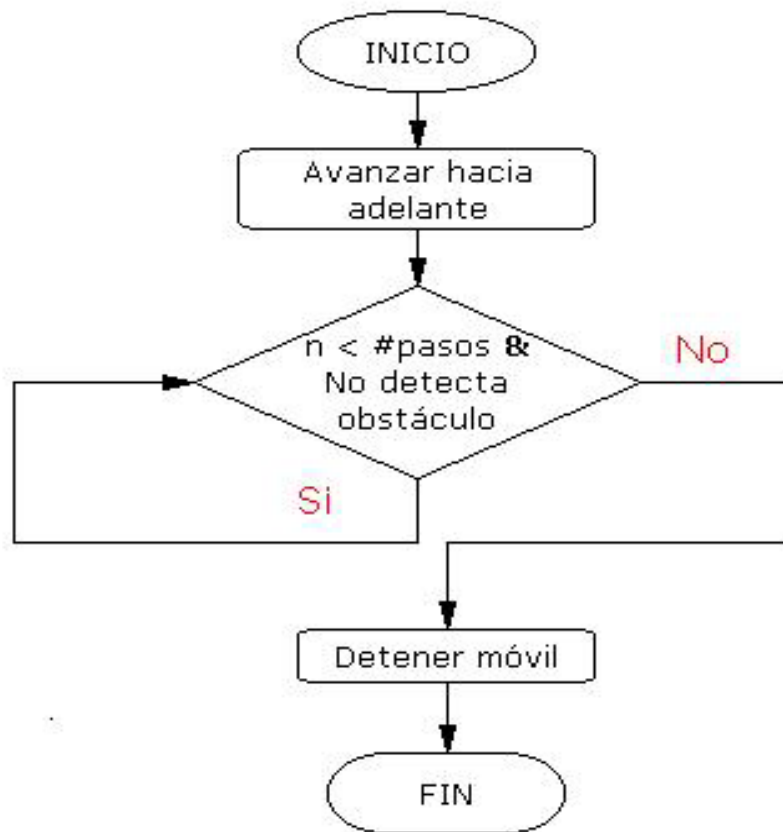
**Figura 32.** Diagrama de Subprograma de Giro



#### **3.5.4 SUBPROGRAMA DE AVANZAR.**

Este subprograma tiene como entrada un número entero el cual representa el número de pasos que avanzará el móvil. La longitud del paso esta predefinida según las divisiones de la pista que tiene en cuenta el algoritmo de planeación.

**Figura 33.** Diagrama de subprograma Avanzar.



El móvil controlado se desplaza hacia delante hasta alcanzar el número de pasos mientras no se detecte ningún obstáculo. En caso contrario el móvil se detiene y sale del subprograma.

## **4. PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

Para el análisis del desempeño de los robots móviles se realizaron diferentes pruebas con el fin de ajustar el control y la comunicación con el PC. Estas pruebas son:

Comunicación

Precisión

Repetibilidad

Porcentaje de la pista ocupada por el obstáculo móvil

El análisis de cada uno de los resultados obtenidos permitirá medir el desempeño de cada robot móvil.

### **4.1 COMUNICACIÓN VIA RADIOFRECUENCIA**

Para la ejecución de la trayectoria, la unidad de control del móvil recibe los datos desde el computador vía radiofrecuencia. El proceso que siguen los datos que se envían desde el computador hasta que son recibidos por el microcontrolador, se explica a continuación.

Como se menciono anteriormente, la generación de caminos es desarrollada en el PC por un algoritmo basado, ya sea en Campos de potencial o Algoritmo Genético. La información correspondiente al camino generado es enviada por el puerto serial del PC al pin de datos del transmisor de radiofrecuencia usando el protocolo RS-232.

La comunicación serial desde el PC puede ser síncrona o asíncrona. En la comunicación síncrona además de una línea sobre la que se transfieren datos se

necesita otra que contenga pulsos de reloj que indiquen cuándo un dato es válido. La duración del pulso correspondiente a un bit está determinada por la duración del pulso de sincronismo. En la comunicación asíncrona, los pulsos de reloj no son necesarios y se acude a otros mecanismos para realizar la lectura y/o escritura de los datos; la duración del pulso correspondiente a cada bit está determinada por la velocidad con la que se realiza el intercambio de los datos.

El estándar RS-232 usado para la comunicación desde el PC al módulo emisor de RF es una de las normas de comunicación serie asíncrona más conocidas, la cual fue elaborada por la **EIA** (Electronics Industry Asociación) y maneja los siguientes niveles de voltaje: Un **1** lógico es un voltaje comprendido entre  $-5\text{v}$  y  $-15\text{v}$  en el transmisor y entre  $-3\text{v}$  y  $-25\text{v}$  en el receptor. Un **0** lógico es un voltaje comprendido entre  $+5\text{v}$  y  $+15\text{v}$  en el transmisor y entre  $+3\text{v}$  y  $+25\text{v}$  en el receptor.

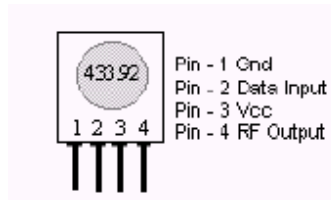
En la comunicación asíncrona, cuando no se realiza ningún intercambio de datos, la línea del transmisor es pasiva y se encuentra en un estado alto. Para empezar a transmitir un dato, el transmisor coloca en bajo esta línea durante el tiempo de un bit; esto se conoce como bit de arranque y enseguida empieza a transmitir el dato con el mismo intervalo de tiempo de los bits correspondientes a la velocidad de envío seleccionada.

La transmisión se inicia con el LSB y se termina con el MSB. Si se desea, se agrega al terminar un bit de paridad y se incluyen uno o dos bits de parada. En este punto, la línea se encuentra nuevamente en estado alto.

En el presente proyecto, la comunicación de los datos se realiza en grupos de 8 bits, a una velocidad de 1200 bits por segundo, sin paridad y con un bit de parada.

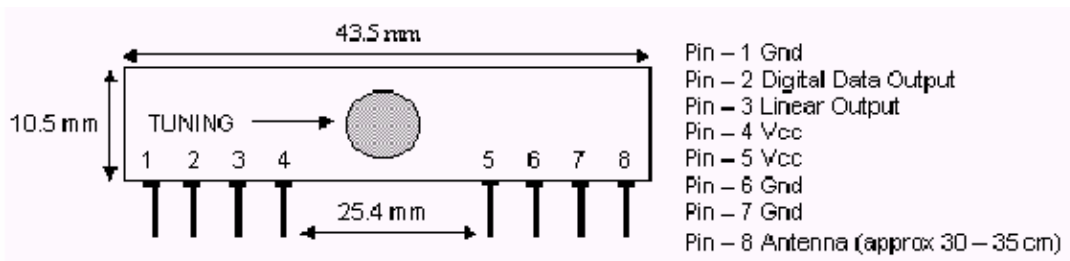
El módulo transmisor de radiofrecuencia recibe los datos por el pin 2 (Data input) y los modula en amplitud. Esta señal se transmite por radio a una frecuencia de 433 MHz a través de la antena.

**Figura 34.** Transmisor TWS-434 RF



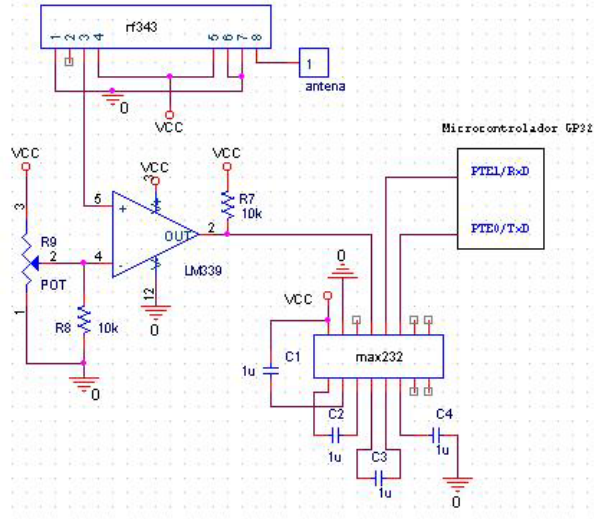
El modulo receptor de radiofrecuencia ubicado en la tarjeta de control del móvil recibe los datos por la antena a través del pin 8 y los entrega a la etapa de digitalización de la señal, por el pin 3 (linear output).

**Figura 35.** Receptor RWS-434 RF



La señal que entrega el receptor es analógica y corresponde a 2.2 V para un cero lógico y a 2.4 V para un uno lógico. Esta señal se digitaliza por medio del LM339 que funciona en modo comparador y se entrega al microcontrolador a través del MAX 232 como se muestra en la figura 36.

**Figura 36.** Digitalización de la señal con el LM 339



Para la calibración de los módulos de comunicación, se realizó la siguiente prueba. Se enviaron datos desde un computador a otro a través de los módulos utilizando el hiperterminal a fin de observar que los datos enviados llegaban sin errores. La mejor comunicación se obtuvo variando el nivel del comparador mediante el potenciómetro fijando un voltaje de 2.3V.

Una vez sintonizados los módulos de radio frecuencia se procedió a la realización de la siguiente prueba. Se envió una trayectoria conocida desde el computador hacia el móvil, ubicándolo en diferentes sitios, para verificar que no se presentaran errores en la comunicación. A una distancia menor a 8 metros la comunicación se realizó sin errores y para distancias mayores se presenta pérdida de bits en algunas instrucciones.

Una vez obtenida la comunicación se programó el microcontrolador para calibrar el móvil, dejando la posibilidad de modificar desde el computador las siguientes

variables: ancho de pulso del servomotor derecho, ancho de pulso del servomotor izquierdo, distancia que debe avanzar y ángulo de giro.

Con este programa se vario el ancho de pulso a cada servomotor buscando que el móvil siguiera una línea recta que se dibujo en la pista. Después de haber realizado la prueba varias veces se encontró que el móvil siempre se salía de la línea a uno de sus lados. Una solución a esto fue modificar el prescaler del microcontrolador para aumentar la resolución en los pulsos enviados. Se realizo nuevamente la prueba pero el cambio fue mínimo. Se observo que este error es debido a la ubicación de los servomotores en el eje ya que están invertidos (es decir que para que el móvil avance hacia delante un servomotor recibe un ancho de pulso mayor a 1.5ms y el otro uno menor) y al energizarse se presenta un giro muy pequeño. Para corregir este problema se invirtió la polaridad al motor de continua de uno de los servomotores para que el móvil avance hacia delante con un ancho de pulso mayor a 1.5ms en ambos servomotores. Se debe recordar que para un ancho de pulso igual a 1.5ms los servomotores no se mueven.

La calibración del móvil permitió obtener velocidades similares en ambos servomotores

Por ultimo a cada servomotor se le cambio el potenciómetro por un trimer para obtener mayor precisión y también para evitar que se gire accidentalmente uno de estos perdiendo su posición neutral.

Al reducir el error que se presentaba al avanzar en línea recta, se continuó con las pruebas planteadas anteriormente.

## 4.2 PRECISION

Esta prueba se realizo enviando al móvil instrucciones para que ejecute una línea recta con una distancia de 80 cm. Los datos de desviación del punto de llegada respecto a la recta y su ángulo de orientación respecto a la horizontal se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.** Datos prueba de precisión.

| <b>MEDICION</b> | <b>DESVIACION DEL PUNTO DE LLEGADA (cm)</b> | <b>ORIENTACION (grados)</b> |
|-----------------|---|-----------------------------|
| 1               | +1.5  | +3                          |
| 2               | -2.2  | -1                          |
| 3               | -3.5  | -2                          |
| 4               | -2.3  | -2                          |
| 5               | +3.5  | +6                          |
| 6               | -0.9  | +1                          |
| 7               | 0   | +1                          |
| 8               | -1.1  | 0                           |
| 9               | -1.4  | +1                          |
| 10              | +1.4  | +1                          |
| 11              | -2.7  | 0                           |
| 12              | -0.1  | 0                           |

La desviación del punto de llegada se tomo como positiva si se desvió hacia la izquierda de la recta y negativa a la derecha.

El signo del ángulo de orientación se tomo positivo en sentido antihorario.

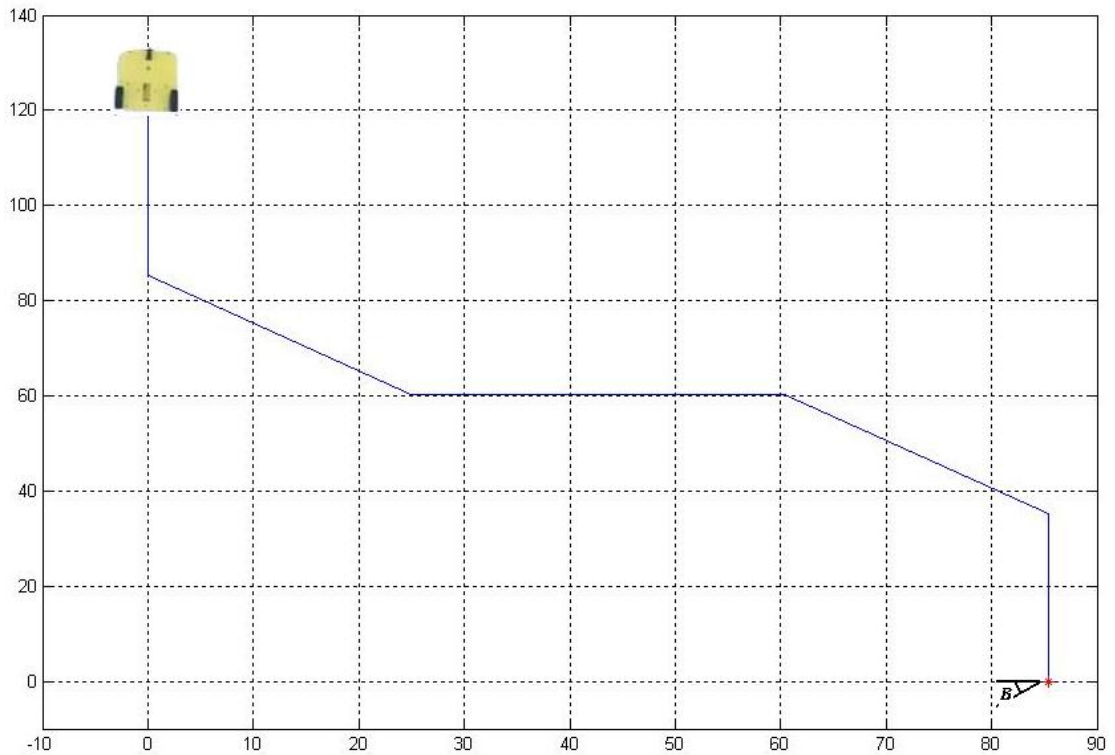
Con esta prueba se observa una desviación máxima de +/- 3.5 centímetros y una desviación promedio de 1.91 centímetros para un avance de 80 centímetros. La desviación estándar es de 1.937cm

El ángulo de desviación máximo es de 8 grados y en promedio es de +/- 3 grados con respecto a la orientación en el punto de partida. La desviación estándar es de 2.09 grados.

#### **4.3 REPETIBILIDAD**

Para la prueba de repetibilidad se planificó una trayectoria en la cual se ubica el móvil en el mismo punto de partida y con la misma orientación. Los datos se obtuvieron midiendo la diferencia entre el punto alcanzado y el punto esperado de llegada. Para cada medida se tomo el punto de llegada como el centro del eje del móvil y la orientación del móvil como el ángulo de su eje respecto a la horizontal. La trayectoria y el sistema de coordenadas para esta prueba se observa en la figura 37.

**Figura 37.** Trayectoria para la prueba de repetibilidad.



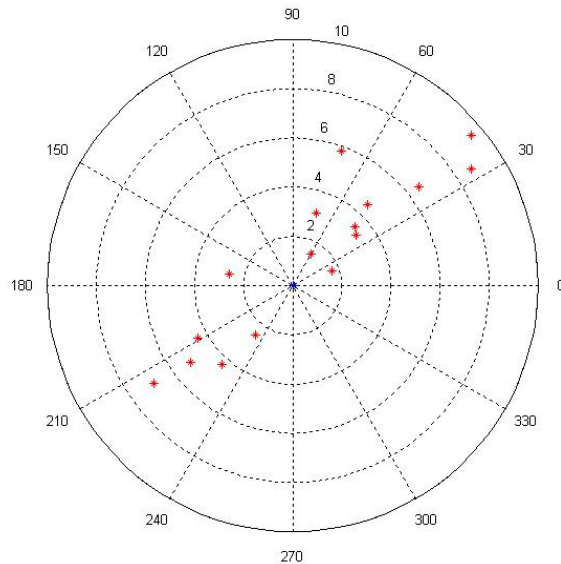
En esta prueba el móvil se debe desplazar desde la coordenada (0,120.7cm), hasta la coordenada (85.35cm,0) siguiendo la trayectoria descrita. La ubicación de los puntos de llegada se representa en coordenadas polares tomando como origen la coordenada esperada de llegada. Estas medidas se observan en la tabla 8.

Con el fin de visualizar la diferencia de los puntos de llegada medidos respecto al punto de llegada esperado, se realizó una grafica de dispersión que se observa en la figura 38.

**Tabla 8.** Datos prueba de repetibilidad.

| MEDICION | PUNTO DE LLEGADA |                | ANGULO DE ORIENTACION( $\beta$ ) |
|----------|------------------|----------------|----------------------------------|
|          | DISTANCIA(cm)    | ANGULO(grados) |                                  |
| 1        | 5.8              | 70             | -1                               |
| 2        | 2.6              | 170            | 0                                |
| 3        | 3.1              | 72             | 0                                |
| 4        | 4.5              | 47             | -1                               |
| 5        | 6.9              | 215            | +4                               |
| 6        | 1.5              | 60             | +2                               |
| 7        | 3.5              | 43             | 0                                |
| 8        | 9.5              | 40             | -4                               |
| 9        | 3.3              | 38             | +1                               |
| 10       | 4.4              | 209            | +3                               |
| 11       | 1.7              | 21             | +1                               |
| 12       | 8.7              | 33             | -3                               |
| 13       | 4.3              | 228            | +2                               |
| 14       | 5.2              | 217            | +2                               |
| 15       | 6.5              | 38             | -2                               |
| 16       | 2.5              | 233            | +1                               |

**Figura 38.** Dispersión de las muestras en la prueba de repetibilidad.



En esta prueba se obtuvo un error de 4.62cm promedio de diferencia entre el punto de llegada medido y el teórico, con una desviación estándar de 2.28cm; en la orientación se obtuvo un error máximo de +/-4 grados, con una desviación estándar de 2.08grados.

#### **4.4 PORCENTAJE DE LA PISTA OCUPADA POR EL OBSTÁCULO MÓVIL**

Con esta prueba se muestra el porcentaje de la pista que recorre el obstáculo móvil.

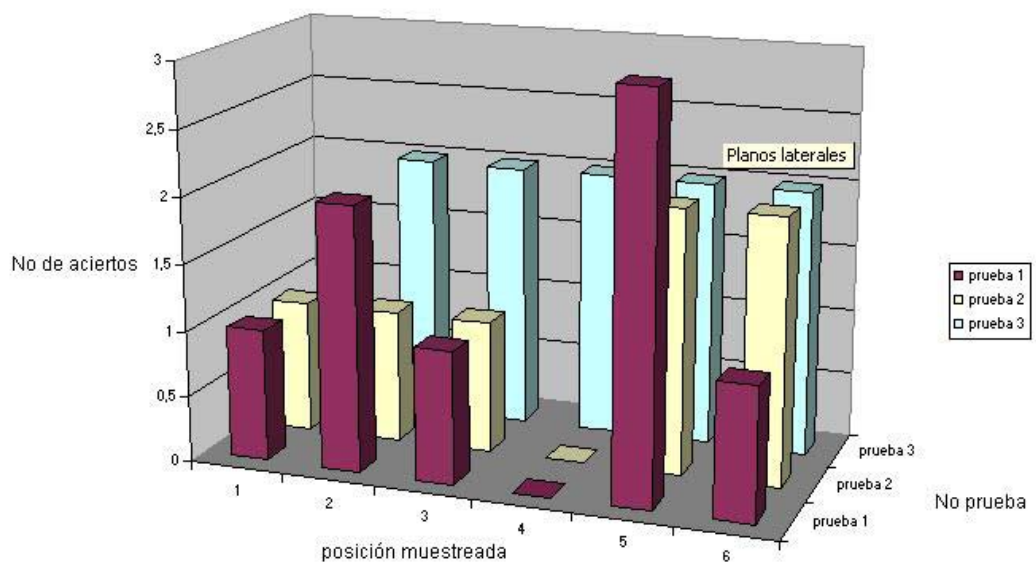
La prueba consiste en muestrear la pista con una serie de puntos distribuidos de forma que se represente la mayor parte de la pista. Las pruebas se realizaron para un tiempo de tres minutos, en los cuales se tomó el número de veces que el móvil pasó sobre los puntos seleccionados. La distribución de los puntos y la posición inicial del móvil se muestra en la figura 39.

**Figura 39.** Ubicación de los puntos para muestrear la pista.



Esta prueba se realizó tres veces, ubicando el móvil en la misma posición inicial.

**Figura 40.** Número de veces que el móvil pasó sobre el punto de muestra.



En los datos obtenidos se observa que el número de veces que el móvil pasa por determinado punto es diferente para cada prueba. Esto comprueba que el móvil se va a desplazar de forma aleatoria por la pista, sin importar que el móvil se ubique en la misma posición inicial. Esto es muy importante ya que el objetivo de este móvil es generar un ambiente dinámico en la pista.

Además se desarrollaron las siguientes pruebas cambiando la posición inicial del móvil y tomando los mismos puntos para muestrear la pista.

Prueba 1: El móvil se ubico En todo el centro de la pista como se observa en la figura **41a**.

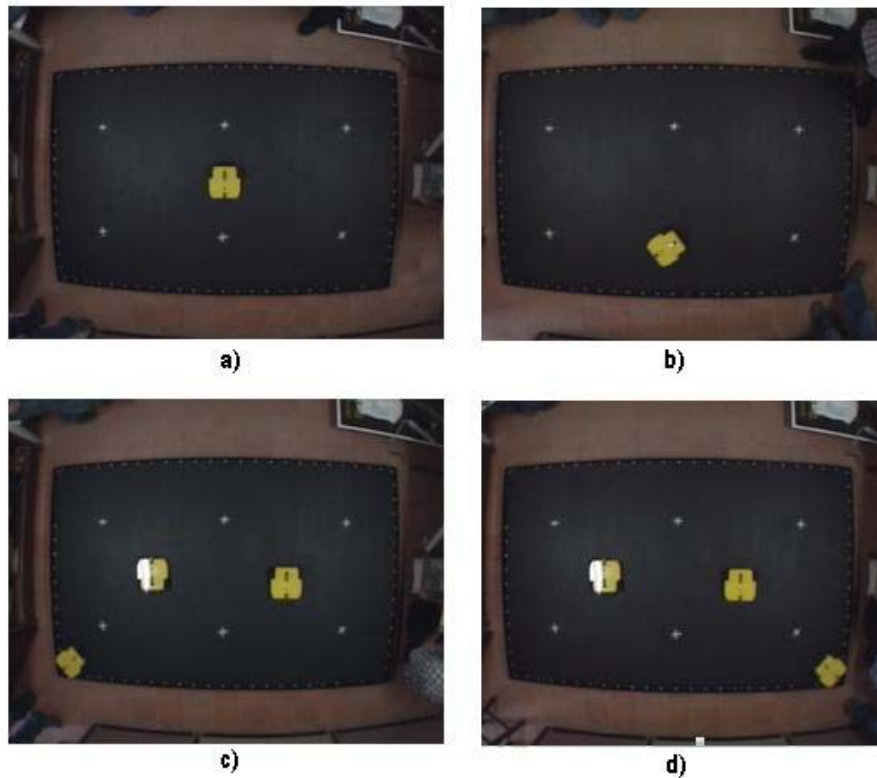
Prueba 2: El móvil se ubico como se muestra en la figura **41b**.

Prueba 3: El móvil se ubico en la esquina de la pista cerca del punto 4 como se observa en la figura **41c**. y La pista se encontraba sin obstáculos.

Prueba 4: Ubicando el móvil en la misma posición de la prueba anterior, se agregaron dos obstáculos a la pista como se observa en la figura **41c**.

Prueba 5: Dejando los obstáculos, que se agregaron anteriormente, en la misma posición, se cambio el punto inicial del móvil a la otra esquina como se muestra en la figura **41d**.

**Figura 41.** Diferentes ubicaciones del móvil que actúa como obstáculo en la pista.



Los datos de las pruebas realizadas se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.** Datos de las pruebas realizadas al móvil que actúa como obstáculo.

| PUNTO | Numero de veces que el móvil paso sobre el punto |          |          |          |          |
|-------|--|----------|----------|----------|----------|
|       | Prueba 1   | Prueba 2 | Prueba 3 | Prueba 4 | Prueba 5 |
| 1     | 1  | 1        | 3        | 2        | 2        |
| 2     | 3  | 3        | 3        | 1        | 0        |
| 3     | 3  | 2        | 0        | 2        | 1        |
| 4     | 2  | 1        | 4        | 3        | 2        |
| 5     | 3  | 3        | 1        | 3        | 1        |
| 6     | 2  | 2        | 1        | 2        | 2        |

Con esta prueba se puede observar que el porcentaje de ocupación de la pista por el móvil que actúa como obstáculo es de un 80%.

Durante las pruebas realizadas no se presentaron colisiones del móvil con el perímetro de la pista ni con los obstáculos dentro de ella; verificando así el correcto funcionamiento de los módulos de ultrasonido implementados en el móvil. Además se observó un movimiento aleatorio del móvil, pues no se repitieron trayectorias aun teniendo las mismas condiciones.

## 5. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

El resultado final del proyecto es una plataforma compuesta de un móvil controlado y un obstáculo móvil que permite la aplicación de planeamiento de trayectorias mediante distintas técnicas como campos de potencial, algoritmos genéticos y redes neuronales.

El sistema desarrollado permite un control del robot móvil de manera transparente al usuario. El control del robot móvil puede hacerse de forma automática empleando los algoritmos implementados, o bien de forma manual usando el hiperterminal del computador. En este caso la trayectoria se va construyendo mediante el set de instrucciones descrito en el capítulo de programación.

Cada robot móvil posee sensores de ultrasonido, que le permiten recolectar información sobre el entorno y disminuir las colisiones entre ellos y los obstáculos presentes en la pista.

Con este trabajo se logra integrar los trabajos realizados anteriormente en el campo de robótica móvil en la universidad, como son el sistema de visión para detección de objetos (fijos y móviles), y el planeamiento de caminos por diferentes algoritmos, logrando un sistema realimentado para aplicaciones en robótica móvil.

La comunicación se realizó a través del puerto serial a una velocidad de 1200 bauds, ya que esta es la máxima velocidad que soportan los módulos de radiofrecuencia.

Se observó que la detección de los módulos de ultrasonido depende del ángulo de incidencia de las ondas ultrasónicas hacia el objeto. Debido a esto se ubicaron

objetos de forma triangular en los límites de la pista, para que las ondas puedan ser reflejadas hacia el receptor.

La generación del ambiente dinámico mediante el obstáculo móvil, permite simular situaciones un poco más reales en el planeamiento de trayectorias, que las planteadas para escenarios fijos.

A pesar de las limitaciones de los módulos utilizados, se alcanzó un margen de error relativamente bajo. Debe además tenerse en cuenta que hasta cierto punto estos errores son introducidos por factores humanos al momento de ubicar el móvil en la posición inicial. También existe un coeficiente de fricción en la rueda libre que no es tenido en cuenta, y que se hace notable en los cambios de orientación del móvil que se presentan en la trayectoria.

La alimentación de los móviles tiene un papel importante en la ejecución de las trayectorias, ya que el comportamiento del móvil es relativamente diferente cuando las baterías se encuentran al 100% de su carga que al 70% de la misma. Esto se debe a que los servomotores no reciben la misma potencia y su velocidad de rotación disminuye, ejecutando giros y distancias menores a las esperadas.

Por otro lado con la implementación del control para los robots móviles se está contribuyendo en el campo académico generando herramientas físicas reales para el estudio de la robótica, a partir del cual se pueden buscar aplicaciones, en primer lugar en los grupos de investigación de la universidad y en segundo lugar en la industria.

Se recomienda en trabajos futuros mejorar el acople entre las etapas de comunicación y control. Esto con el fin de evitar el ruido introducido por los servomotores al sistema, el cual en el presente trabajo se controló por medio de software.

Se recomienda usar módulos de radiofrecuencia que permitan una comunicación bidireccional, para lograr un sistema realimentado entre el microcontrolador y el sistema computacional.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. OLLERO BATURONE, Aníbal; Robótica: Manipuladores y Robots Móviles. España. Alfa omega Marcombo S.A.
- [2]. GIAMARCHI, Frédéric; Robots Móviles: Estudio y Construcción. Thomson Editores Paraninfo S.A. España 2001.
- [3]. MAYNÉ, Jordi; Guía didáctica del 68HC08. Ingeniero de Aplicaciones. Motorola.
- [4]. DE JALON, J. D; RODRIGUEZ, J. I; SARRIEGUI, J. M; BRAZALES, A., Aprenda lenguaje ANSI C Como Si Estuviera En Primero. Universidad Superior de Ingenieros Industriales de San Sebastián. Universidad de Navarra. 1998. Texto que contiene generalidades sobre programación en el lenguaje ANSI C.
- [5]. Cuenca, Eugenio Martín; Robótica bioinspirada (I). Servomotores y su control [citado en mayo de 2005]. Disponible en [http://www.ime.eb.br/~pinho/micro/trabalhos/Robot\\_Bioins\\_I.pdf](http://www.ime.eb.br/~pinho/micro/trabalhos/Robot_Bioins_I.pdf) [citado en mayo 2005].
- [6]. Federación internacional de fútbol de robots. Disponible en <http://www.fira.net/about/overview.html> [citado en junio 2005]
- [7]. VEGA, José; SÁNCHEZ, Roberto; SALGADO, Gerardo; Arquitectura RISC vs. CISC. Universidad Autónoma Metropolitana. México. Disponible en <http://www.azc.uam.mx/publicaciones/enlinea2/num1/1-2.htm> [Citado en abril 2005].
- [8]. LEGO "Invention Adventure Activity Book".

- [9]. FU K. S., GONZALEZ R. C., LEE C. S. G. Robótica: Control, Detección, visión e inteligencia.
- [10]. GAUDIANO, Paolo; SAHIN, Erol. "Development of a Visual Object Localization Module for Mobile Robots". IEEE, 1999.
- [11]. Sensor de distancia por ultrasonido. Disponible en <http://www.superRobotica.com>. [citado en julio de 2005].