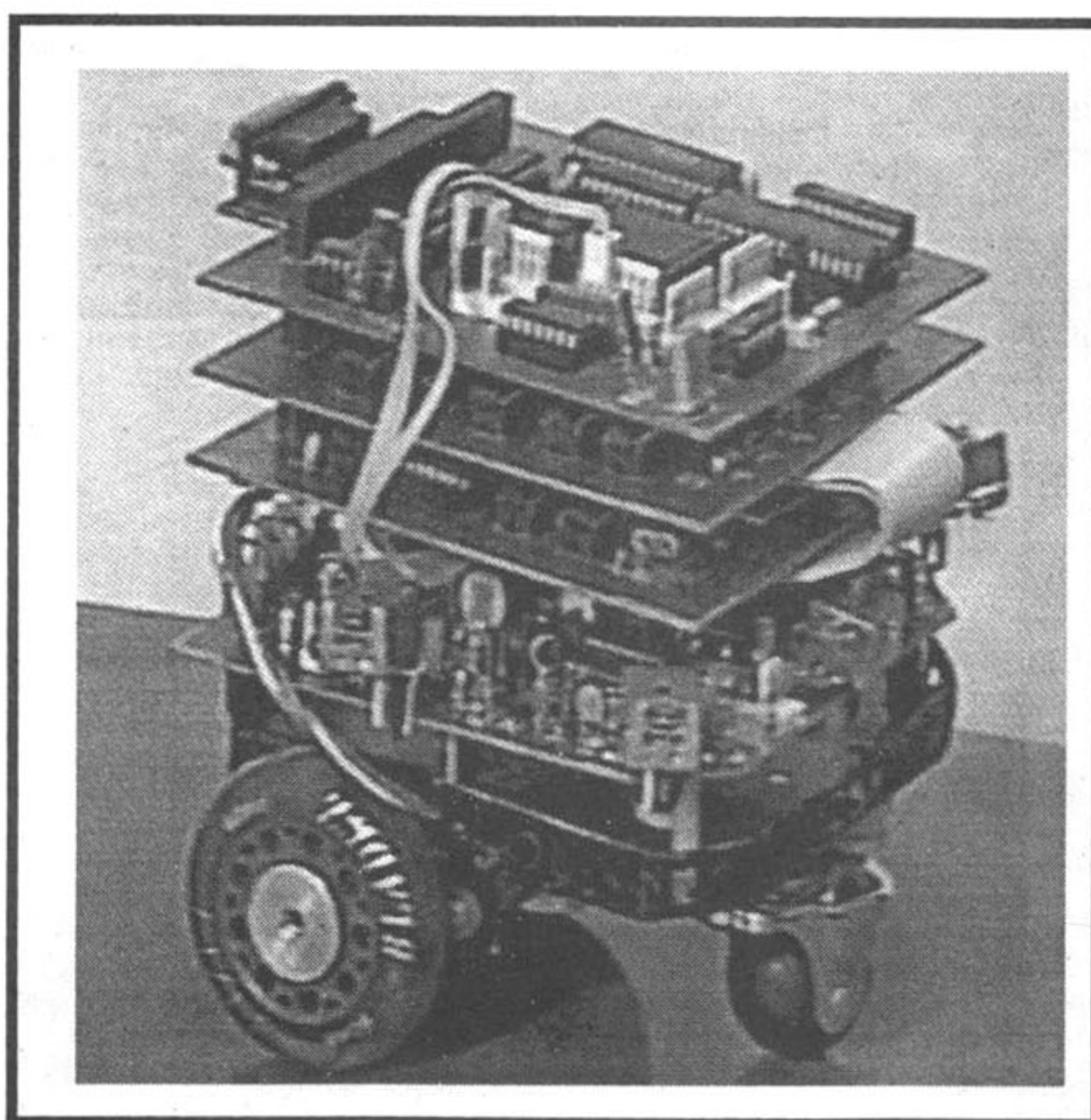


Diseño e implementación de un robot móvil modular



RESUMEN

Este artículo presenta el diseño, especificaciones y potencialidades de un robot móvil modular (*Gonzo*) realizado como trabajo de grado en el Grupo de Instrumentación y Percepción Inteligente de la Universidad del Valle [5]. Su plataforma la conforman dos microcontroladores, uno encargado de la movilidad y sensado y otro del control total del sistema. Posee sensores de proximidad, intensidad de luz, sonido y una interfaz de comunicación infrarroja [4] de corto alcance; además, cuenta con un software de control y/o configuración según sea el modo de operación en el cual se desee trabajar. Los resultados que se presentan fueron obtenidos basándonos en la programación orientada a comportamientos [1].

PALABRAS CLAVES

Microcontroladores, Robótica Móvil, Inteligencia Artificial.

ABSTRACT

This paper presents the design, implementation and capabilities of GONZO [5], a modular mobile robot achieved in order to get the title of Electronic Engineer at University of Valle. The system is based on two microcontrollers, the first (89c51) charged of the mobility and sensing;

□ **Bacca Cortes Eval Bladimir,**
Ingeniero Electrónico
Universidad del Valle.

□ **Paz Toro Eddy Andrés,**
Ingeniero Electrónico
Universidad del Valle.

□ **Barandica Asfur,**
Profesor Asistente
Universidad del Valle.

□ **Caicedo Bravo Eduardo, Ph.D.**
Profesor titular
Universidad del Valle

Grupo de Investigación, PSI
,percepción y sistemas
inteligentes

the second (N80C196KC) charged of the controlling the whole system. GONZO [5] has a set of infrared proximity sensors, light and sound sensing capabilities and a low range infrared communication system [4]. Besides, it has a configuration and controlling software wrote in ANSI C. Finally, the results that are presented here were achieved in a behavioral oriented programming [1].

KEYWORDS:

Microncontrollers, Mobile Robotics, Artificial Intelligence.

1. INTRODUCCIÓN

La obligación de minimizar la intervención humana en ciertas tareas debido a su grado de peligrosidad y/o dificultad, rutina o capacidad de reacción ha creado la necesidad de emplear sistemas móviles, autónomos o semi-autónomos, que sean capaces de realizar inteligentemente una tarea y a su vez responder a cambios en su entorno, sin que esto implique una variación significativa en su objetivo final.

El grupo de Instrumentación y Percepción Inteligente presenta la primera versión de un robot móvil modular de dimensiones reducidas el cual permite:

- Ser un sistema de desarrollo para el microcontrolador N80C196KC, al estar en la capacidad de realizar una programación directa, desde el ordenador, de todos sus periféricos.
- Prueba de algoritmos de control orientados a la robótica móvil (individual y/o colectiva) en ambientes de laboratorio.
- Modularidad, permitiendo una ampliación de su hardware, gracias a la facilidad de apilamiento del bus PC/104.

2. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE GONZO.

Un modelo general de un sistema autónomo o semi-autónomo comprende: un sistema de movilidad, una interfaz con el entorno (sensores), una unidad de proceso central o un conjunto de ellas y una serie de prestaciones adicionales que en el robot móvil que se presenta en este artículo han sido implementadas de la siguiente manera:

2.1 Movilidad

“Gonzo” posee una configuración triangular de ruedas donde la delantera es usada como soporte y las dos traseras, guiadas por motores de paso, comandan los movimientos. El control de los movimientos está a cargo del microcontrolador 89C51.

2.2 Sensores

“Gonzo” posee un conjunto de sensores de proximidad

ópticos (6 sensores infrarrojos) y de contacto (4 switches) comandados por el microcontrolador 89C51. Además, se dispone de 4 micrófonos para el seguimiento de estímulos sonoros, 4 fotorresistencias para el seguimiento de estímulos luminosos y un sistema de comunicaciones seriales infrarrojas de corto alcance [2] [4]. Los módulos infrarrojos empleados tanto para detectar proximidad como para el sistema de comunicaciones son las unidades GP1U26X de Sharp [4]; los switches y las fotorresistencias son dispositivos estándar; y los micrófonos son Eltec, escogidos debido a su reducido tamaño.

2.3 Características adicionales

La modularidad de «Gonzo» se basa en la facilidad de apilamiento que posee el bus PC/104, es decir, se tiene un sistema modular en el sentido de facilidad de crecimiento de su hardware. «Gonzo» posee 4 tarjetas apilables y que conforman su configuración básica, la cual es manejada por los siguientes modos de operación, que se explicarán más adelante:

- Modo de Operación por Defecto.
- Modo de Operación de Interfaz con el PC.
- Modo de Operación de Descarga de Programas.

«Gonzo» posee un cable umbilical a través del cual establece la comunicación con el PC de modo que se puedan programar los modos de operación, recibir el estado de los sensores, enviar comandos de movimiento y sobre todo para proporcionar la alimentación.

3. DESCRIPCIÓN HARDWARE DE GONZO

El diagrama general se presenta en la Figura 1:

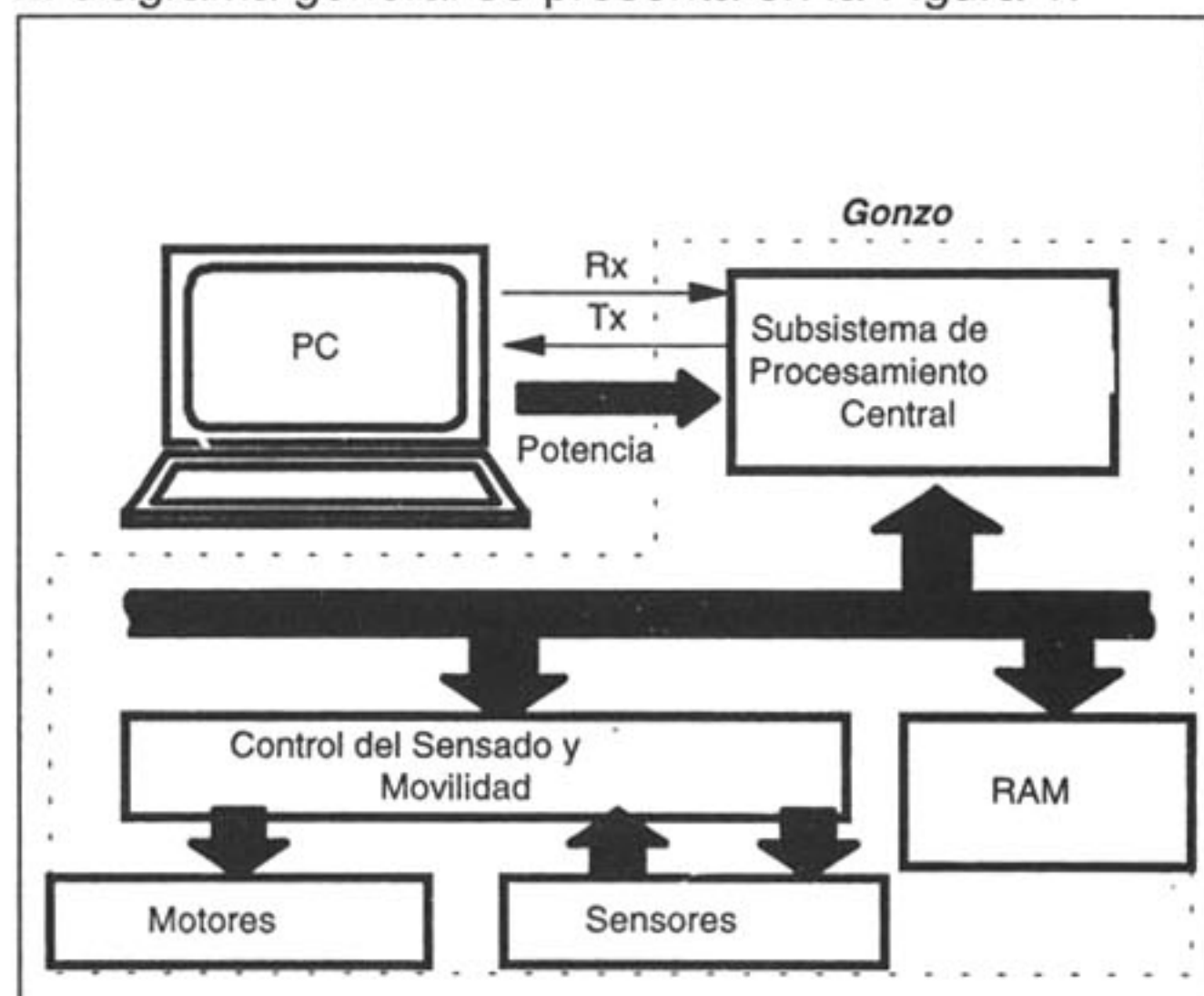


FIGURA 1. Esquema general del sistema.

3.1 Sensado y movilidad.

En este modulo se encuentran los sensores, la etapa de potencia de los motores, el control de los movimientos, el sensado de proximidad, intensidad de luz, captura de sonido y el sistema de comunicaciones.

Un esquema general del sistema de sensado se encuentra en la *Figura 2*.

El control de los movimientos, del sensado (excepto por la captura de sonido e intensidad de luz) y las comunicaciones está a cargo del microcontrolador *89C51* el cual posee una continua interacción con el microcontrolador central (*N80C196KC*). Esta interacción se concibió bajo el esquema productor - consumidor y teniendo en cuenta que el *89C51* sea un puerto de Entrada/Salida del microcontrolador *N80C196KC*. Un esquema general del subsistema de sensado y movilidad se puede ver en la *Figura 3*.

3.2 Memoria

El mapa de memoria que se implementó en el sistema se diseñó teniendo en cuenta la posibilidad que tiene el microcontrolador *N80C196KC* de trabajar con memoria segregada, esto junto con los requerimientos de diseño produjeron las siguientes particiones de memoria: *ROM* de 8Kbytes, *RAM* de 48Kbytes y un sector de 48Kbytes de memoria para programas del usuario.

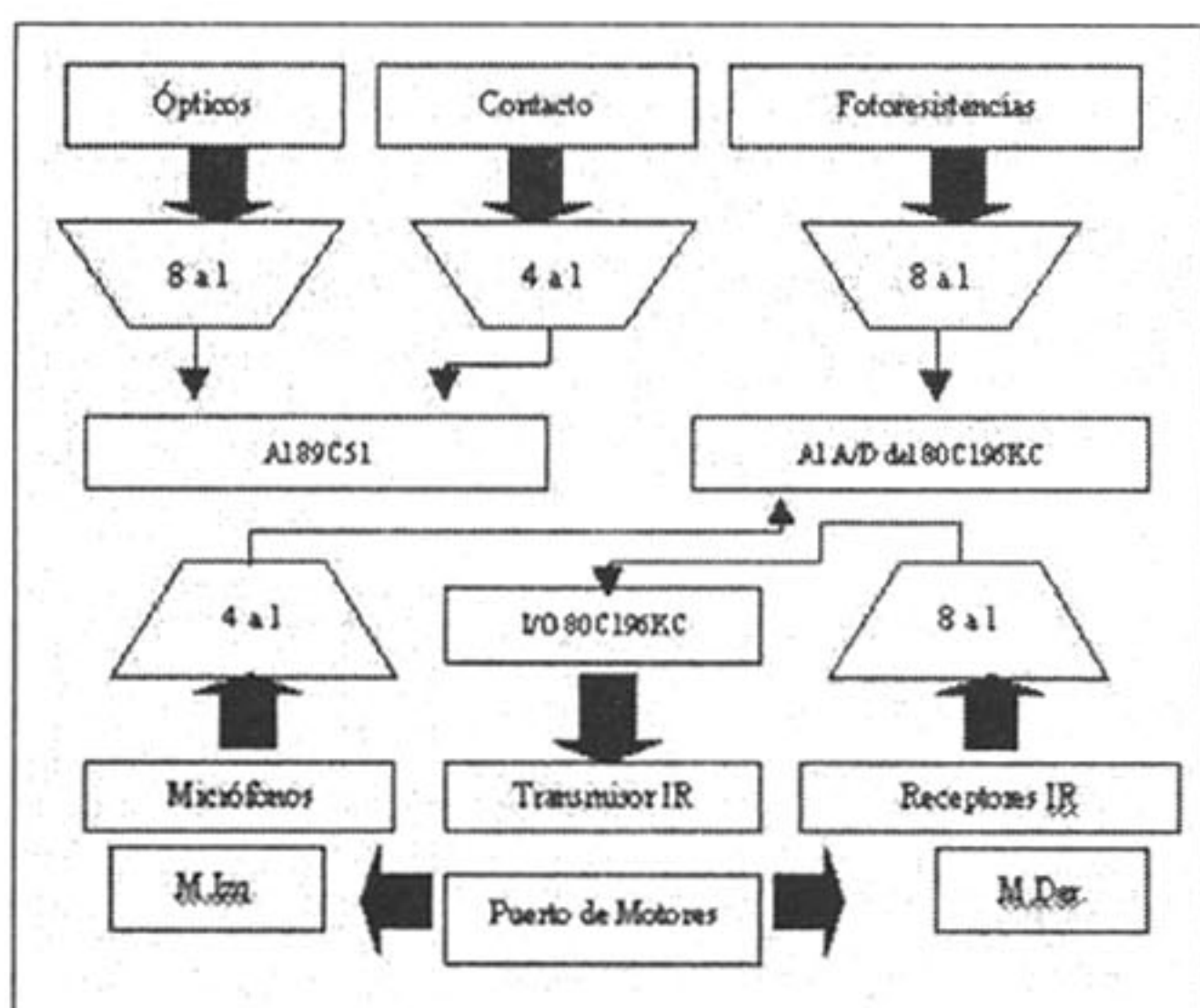


Figura 2. Diagrama general del subsistema de sensores y movilidad.

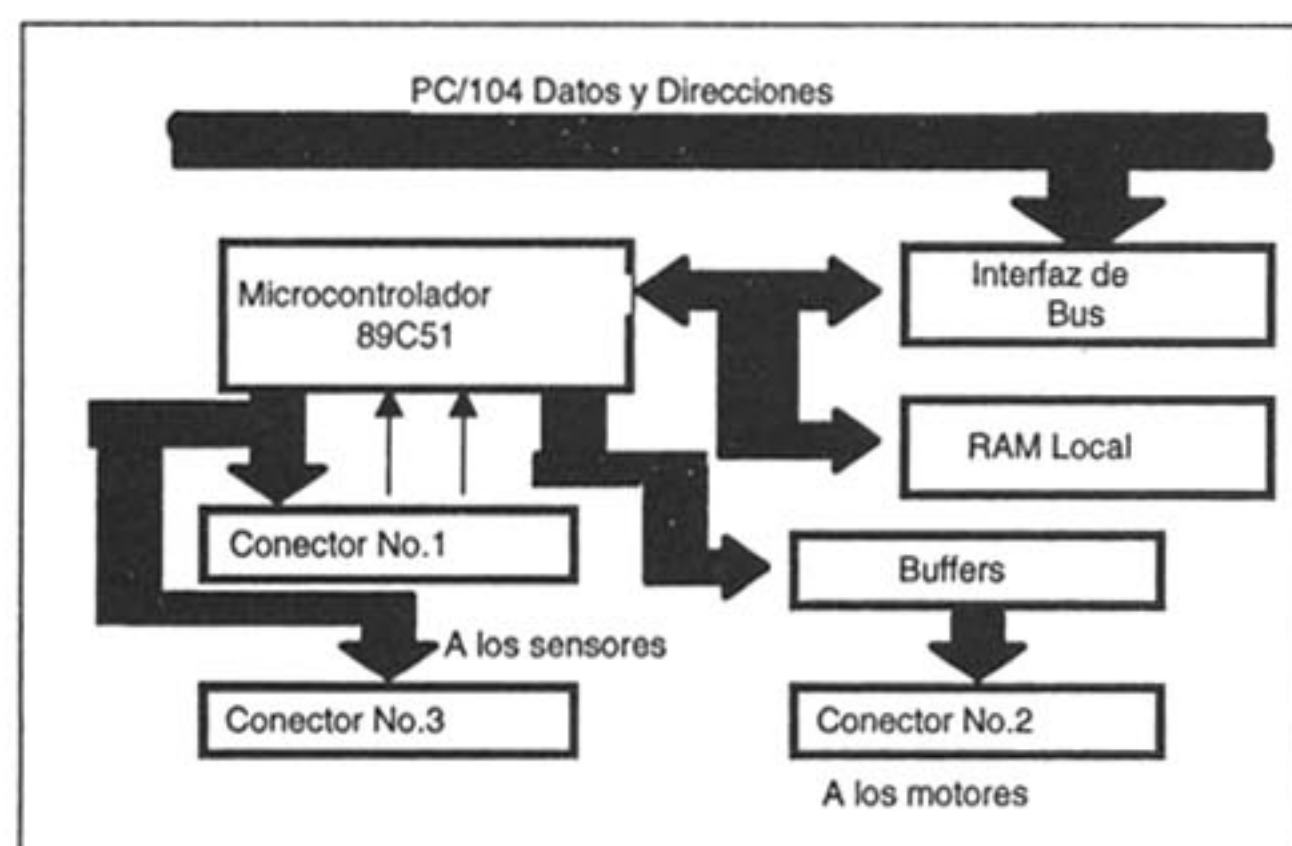


Figura 3. Subsistema de control sensores y movilidad

3.3 Procesamiento central.

En esta unidad se encuentran el microcontrolador *N80C196KC*, las memorias de programa y la interfaz con el PC. El programa de control principal no utiliza ninguno de los periféricos internos de este microcontrolador, sin embargo, están disponibles para su uso gracias a uno de los modos de operación mencionados anteriormente. Un esquema general se puede ver en la *Figura 4*.

3.4 Comunicaciones

«Gonzo» posee una comunicación permanente con el PC a través de un cable umbilical, por medio del cual obtiene su alimentación, siguiendo el protocolo RS232. También soporta una comunicación serial a través de dos tipos de emisores infrarrojos: uno de corto alcance, para intercambio de mensajes cortos (1 nibble); y otro de un alcance más prolongado, para mensajes de señalización [2] [4].

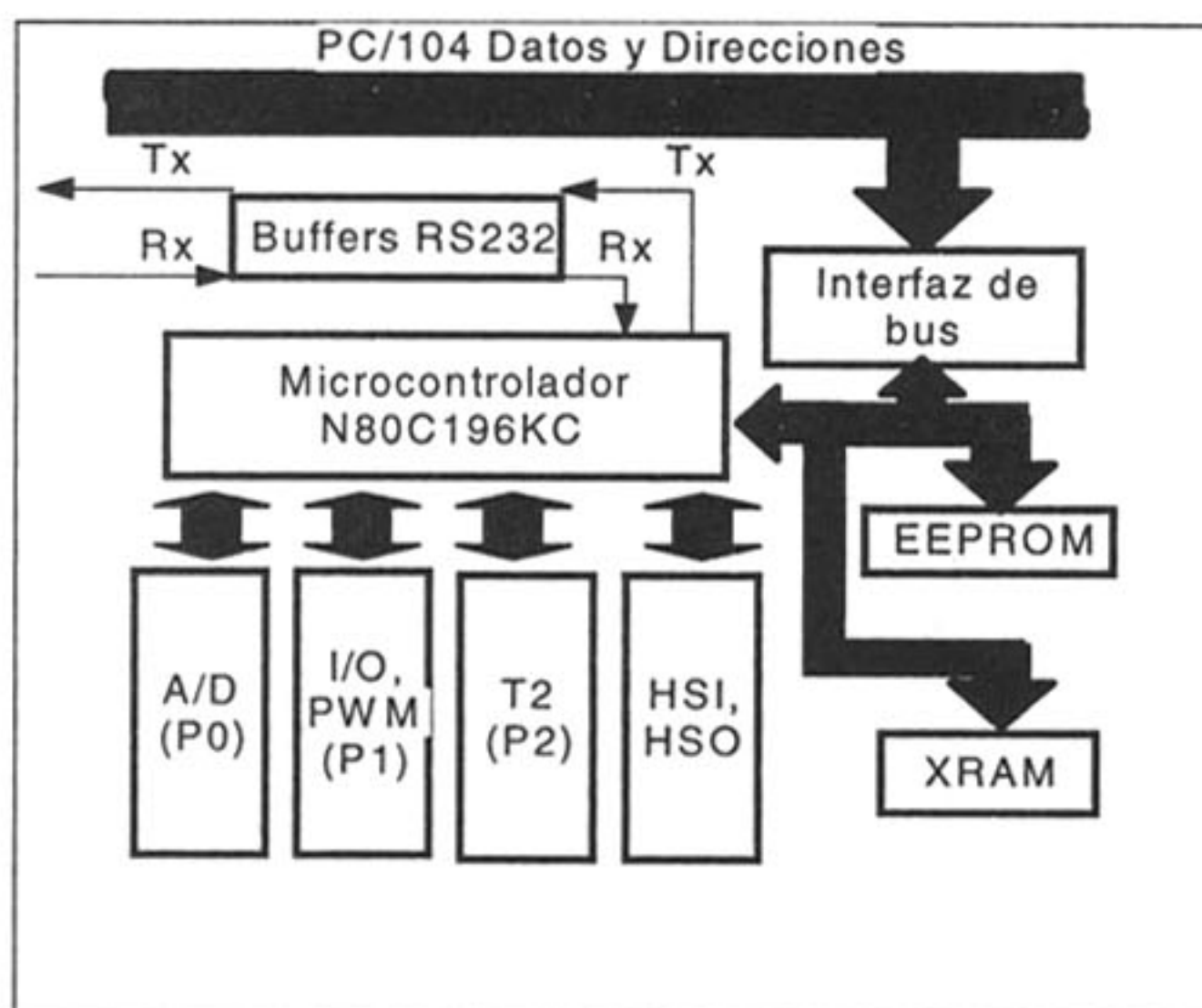


Figura 4. Diagrama general de la tarjeta principal.

4. ESTRUCTURA DEL SOFTWARE

El software de todo el sistema posee varias capas [3]. En primera instancia se encuentran todos los programas y subrutinas para manejar directamente los microcontroladores que controlan al Robot; en segunda instancia se encuentra el software que trabaja en el PC encargado de configurar, poner en marcha y si se desea adquirir los datos sensados por el Robot; por último se tiene libertad para ubicar una tercera capa encargada de utilizar los datos capturados por las rutinas que hemos diseñado para determinar el patrón de navegación del Robot en respuesta a los estímulos externos, véase *Figura 5*.



4.1 Manejo de Recursos

Movilidad y sensado - El conjunto de comandos que el robot es capaz de ejecutar se presenta en la *Tabla 1*, sin embargo, los aspectos claves que se tuvieron en cuenta para el diseño de estas rutinas fueron los siguientes:

- Se chequea continuamente el estado de los sensores de proximidad durante la ejecución de los comandos.
- En caso de la presencia de un obstáculo que interrumpa la normal ejecución del comando se aborta el movimiento en curso y se informa de este hecho al procesador central.
- Los movimientos están calibrados para avances de 1 cm y giros en grados.

Un cambio en los sensores de proximidad se reporta al procesador central cada 17ms en el peor de los casos.

Movimiento	Descripción
ADELANTE_ONL Y	Se mueve hacia adelante hasta encontrar un obstáculo que se lo impida.
MOV_ABS_REL	Realiza un giro y luego se desplaza hacia delante.
GIRAR_AD_DER	Giro a la derecha, hacia delante, manteniendo una rueda fija y la otra en movimiento.
GIRAR_AD_IZQ	Giro a la izquierda hacia delante, manteniendo una rueda fija y la otra en movimiento.
GIRAR_AT_DER	Giro a la derecha hacia atrás, manteniendo una rueda fija y la otra en movimiento.
GIRAR_AT_IZQ	Giro a la izquierda hacia atrás, manteniendo una rueda fija y la otra en movimiento.
GIRAR_RAP_DER R	Giro rápido hacia la derecha, moviendo ambas ruedas.
GIRAR_RAP_IZQ	Giro rápido hacia la izquierda, moviendo ambas ruedas.
ADELANTE_VAR	Una determinada distancia hacia delante.
ATRÁS_VAR	Una determinada distancia hacia atrás.

Tabla 1. Lista de comandos implementados.

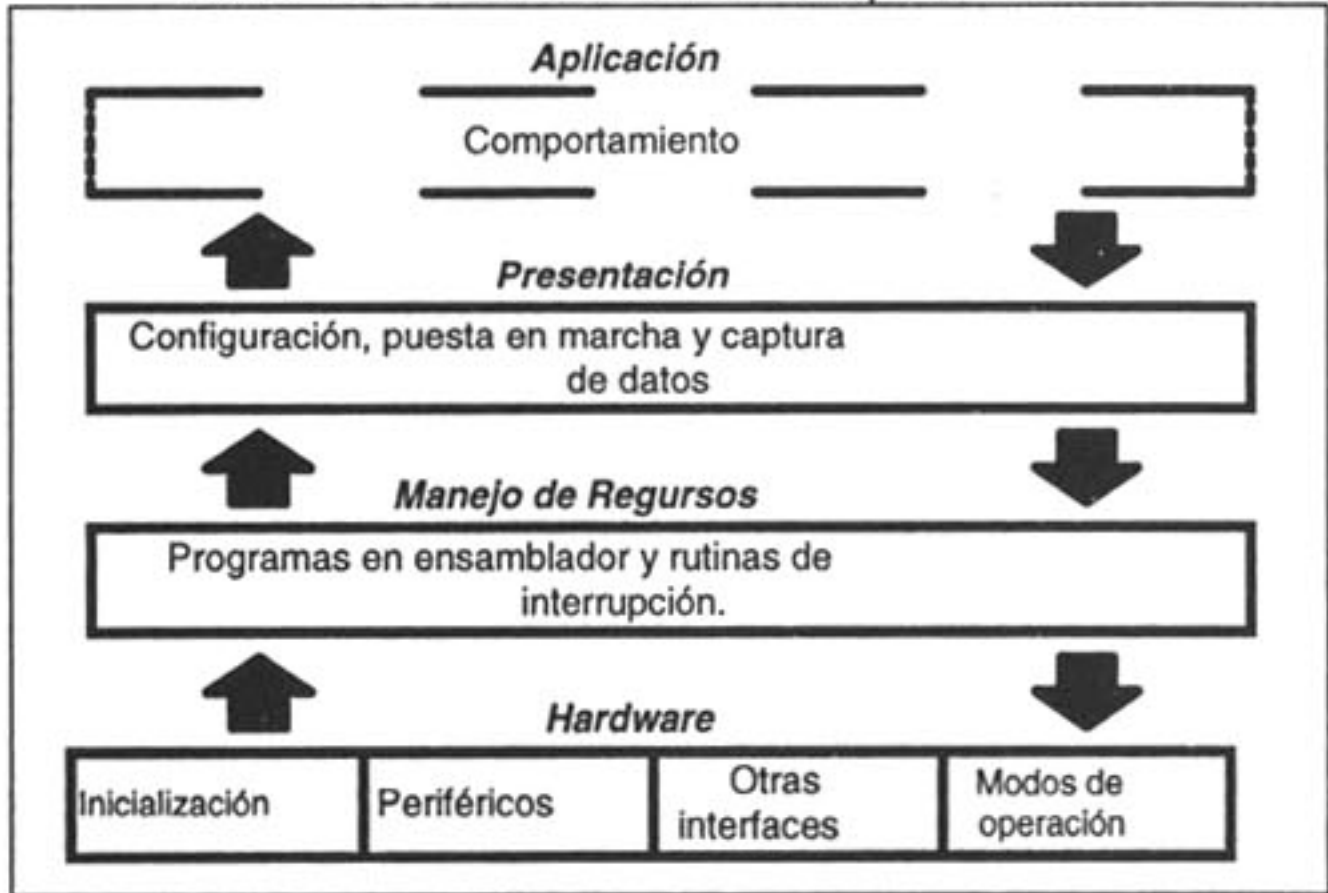


Figura 5. Pila de niveles software

Procesamiento central - Básicamente, el programa de arranque se encarga en primer lugar de establecer un punto de partida común entre el *Software* en el PC y el sistema, para luego recibir la configuración que el usuario haya seleccionado y así poder arrancar un modo de operación específico a una velocidad de comunicación determinada.

Modos de Operación - «Gonzo» soporta los siguientes modos de operación:

Modo de Operación por Defecto, hace que «Gonzo» [5] navegue por su entorno evadiendo los obstáculos a su alrededor. En este caso el robot captura la información de los sensores de proximidad, la envía al PC y espera una respuesta. «Gonzo» [5] no es autónomo respecto a sus decisiones.

Modo de Operación de Interfaz con el PC, se diseñó con el fin de poder programar los periféricos del microcontrolador principal *N80C196KC*, capturar sus datos (incluyendo la información de proximidad) y poder ejecutar comandos específicos sobre el robot. **Modo de Operación de Descarga de Programas**, es el modo de operación más versátil, ya que permite la descarga de programas de una longitud máxima de 48Kbytes a la memoria interna del robot. Este programa toma el control pleno de la plataforma, con lo cual se logra una autonomía completa respecto a sus decisiones, pero no respecto a su alimentación que debe seguir siendo suministrada por el cable.

Protección a fallos - Para este fin el microcontrolador *N80C196KC* viene equipado con un temporizador «WatchDog» como una unidad independiente del resto de los periféricos, llegado el caso de una reinicialización por un rebosamiento del «WatchDog», el programa de arranque se encarga de volver a un punto determinado del modo de operación seleccionado. En el microcontrolador 89C51 se sacrificó un temporizador para poder implementar el «WatchDog», que con ayuda de un pequeño aditamento de hardware se garantiza su funcionamiento.

4.2 Presentación

El software que corre en el PC está diseñado para cubrir los siguientes aspectos:

- A través de la interfaz con el usuario, capturar las configuraciones iniciales del sistema (modo de operación y velocidad de comunicación) y verificar su validez.
- En el modo de operación de interfaz con el PC, se pueden configurar los periféricos del microcontrolador *N80C196KC* y se está en capacidad de enviar diversos comandos para que sean ejecutados por el robot.
- En el modo de descarga de programas, simplemente se encarga de la transmisión del

programa del usuario y de elaborar la re-vectorización de las interrupciones.

La implementación de los programas fue orientada hacia la atención de eventos, a su vez las rutinas que atienden estos eventos fueron diseñadas siguiendo la misma concepción de una máquina de estados digital [1].

4.3 Aplicación

El trabajo inicial solo tiene un desarrollo a este nivel y es el programa que corre en el PC que se encarga de controlar el modo de operación por defecto, el cual a través de un algoritmo basado en una red "BackPropagation" [6] recibe el estado de los sensores, cada vez que estos cambian, y envía un comando adecuado. El conjunto de comandos disponibles son los siguientes: Adelante Solamente, Girar 90° a la Derecha Adelante, Girar 90° a la Izquierda Adelante, Girar 90° a la Derecha Atrás y Girar 90° a la Izquierda Atrás. Posteriormente, se realizaron aplicaciones basadas en programación orientada a los comportamientos [1].

5. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Para este fin se consideraron las siguientes pruebas:

Libre Movimiento - «Gonzo» es capaz de recorrer un entorno como el presentado en la Figura 6, evadiendo los obstáculos que se interponen en su camino.

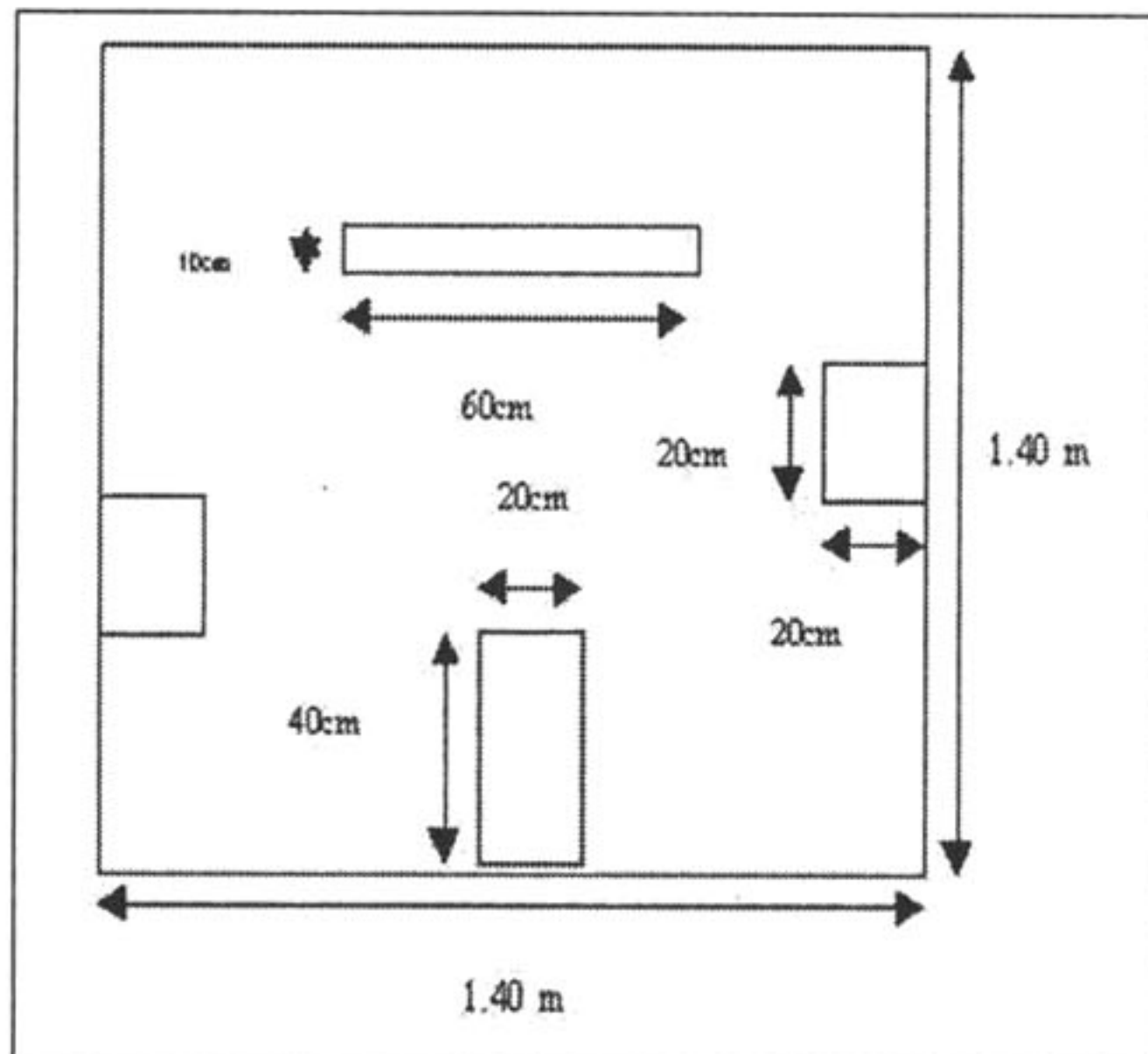


Figura 6. Entorno del experimento.

Esto se logró al tener dos comportamientos [1] actuando sobre «Gonzo» [5], el primero y el menos prioritario aseguraba el continuo movimiento del robot haciendo que siempre se mueva hacia delante; el segundo y el más prioritario se encargaba de la evasión de obstáculos

de acuerdo a una relación directa entre el estado de los sensores infrarrojos y el comando a ejecutar [4].

Respuesta Ante Estímulos Luminosos y Acústicos

- «Gonzo» está en la capacidad de responder ante estímulos luminosos y acústicos, orientando su movimiento hacia la fuente de éstos, además, concurrentemente con lo anterior «Gonzo» se mueve en su entorno evadiendo los obstáculos, tal y como se muestra en la Figura 7. Esta aplicación posee el mismo esquema que la anterior, con la diferencia de la adición de un comportamiento [1] de más alta prioridad que se encarga de detectar la presencia de un estímulo luminoso o sonoro y dirigir al robot hacia la fuente de este.

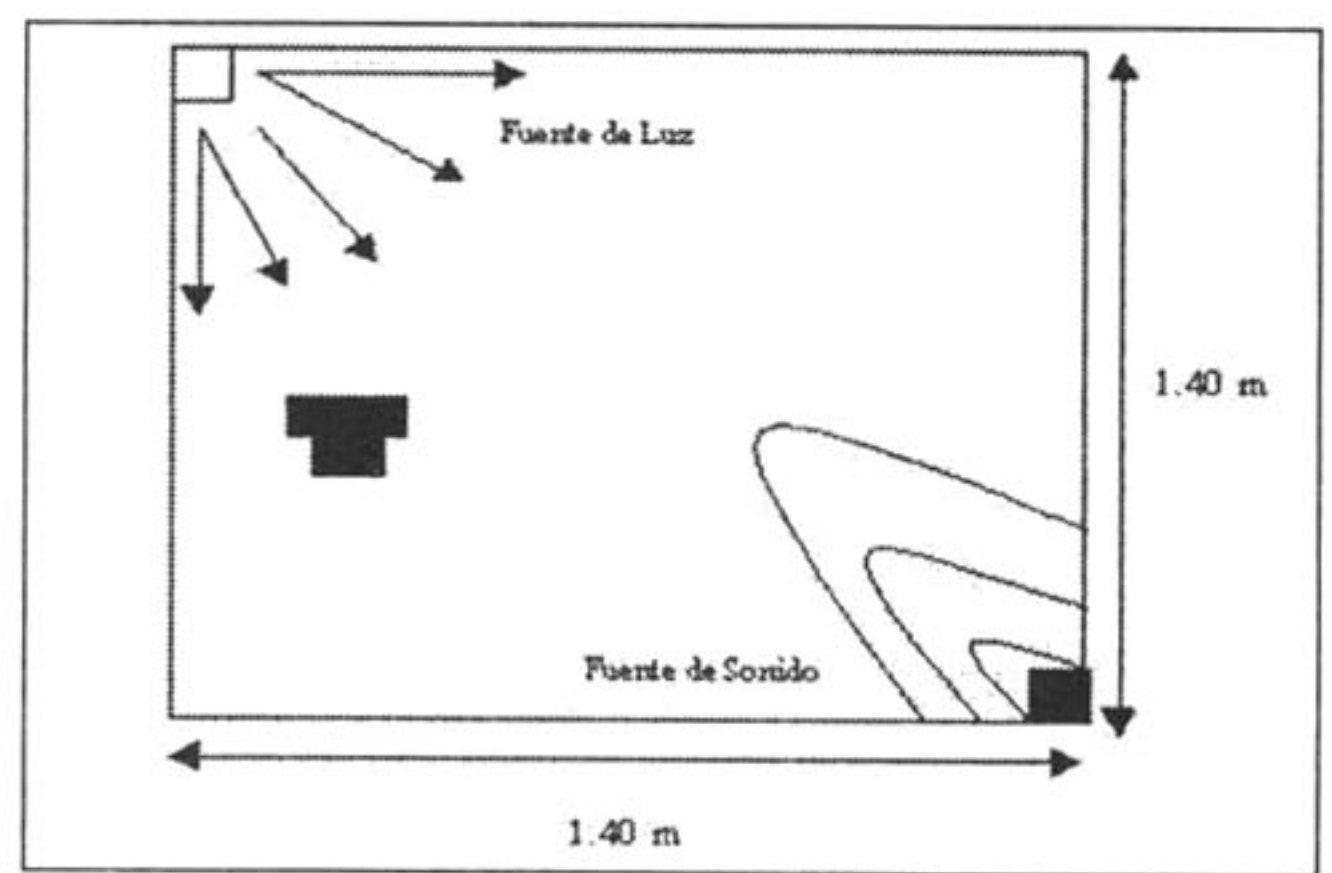


Figura 7. Entorno del experimento.

6. FUTUROS TRABAJOS

Con esta base, el objetivo que se busca es el de tener otro robot de las mismas características para que de esta manera poder implementar experimentos de robótica colectiva, sin embargo, la gran desventaja de «Gonzo» es la de no ser completamente autónomo ya que necesita de un cable de alimentación externo lo que hace necesario la presencia de otro PC para el control del segundo robot. A pesar de esto y gracias a la capacidad de expansión que posee «Gonzo», resulta interesante agregar nuevo hardware y por ende, la implementación de nuevos comportamientos [1] que determinarán una nueva forma de responder ante su entorno.

7. CONCLUSION

En este artículo se presenta un robot móvil modular de bajo costo que dispone de un hardware y software básico que le permite navegar en ambientes estructurados y no estructurados. Este robot es útil tanto para aprovechar las bondades de una plataforma microcontrolada como para emplearlo como una herramienta clave en la prueba de algoritmos de control de robots móviles en ambientes reales. Las aplicaciones que se presentaron en este artículo han sido elaboradas en un esquema bottom-up, realizando correcciones

iterativas hasta obtener un comportamiento general adecuado, pero siempre realizando las validaciones en un ambiente real, no simulado. Con este primer paso, se vislumbran nuevas mejoras que pueden implementarse y que tienen que ver con el sistema de sensado, movilidad, grado de autonomía y sobre todo un programa de control (residente en el PC) de más alto nivel.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1.] Rodney A. Brooks (1986), "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation* 1986 RA-2,14-23, MIT Artificial Intelligence Laboratory.
- [2.] James McLurkin (1995), "Using Cooperative Robots for Explosive Ordnance Disposal", 1995, MIT Artificial Intelligence Laboratory
- [3.] Maja J. Mataric (1992), "Behavior-Based Control: Main Properties and Implications", *Proceedings, IEEE International conference on Robotics and Automation, Workshop on Architectures for Intelligent Control Systems*, MIT Artificial Intelligence Laboratory.
- [4.] Joseph L. Jones, Anita M. Flynn, Bruce A. Seiger (1998), "Mobile Robots: Inspiration to Implementation", second edition, AK Peters.
- [5.] Eval Bladimir Bacca Cortes, Eddy Andrés Paz Toro (1999), "Diseño e Implementación de un Robot Móvil Modular", Universidad del Valle Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Electrónico, No publicada.

AUTORES



Bacca Cortes Eval Bladimir. Ingeniero Electrónico de la Universidad del Valle, actualmente se encuentra realizando la Maestría en Automática en la misma entidad. evbacca@eiee.univalle.edu.co

Paz Toro Eddy Andrés. Ingeniero Electrónico de la Universidad del Valle, actualmente es estudiante de la Especialización en Redes de Comunicación y labora como Ingeniero de Soluciones a Grandes Clientes en Telesat S.A. epaz@telesat.com.co



Barandica Asfur. Ingeniero Eléctrico de la Universidad del Valle, actualmente es Profesor Asistente de esta entidad trabaja en el área de transductores inteligentes y buses de campo. asfur@eiee.univalle.edu.co

Caicedo Bravo Eduardo, Ph.D. Ingeniero Eléctrico de la Universidad del Valle, actualmente es Profesor Titular de esta entidad y director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. ecaicedo@eiee.univalle.edu.co



Mientras algunos intentan revivir el tiempo, otros tratan que el tiempo los mate.
