



NEO: UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA LA PRIMERA EXPERIENCIA EN ROBÓTICA

C.D. RIGANO[†], J.P. BOTTANI, R. MORO ZUBILLAGA, A. ROMANO,

M.L. SILVA Y O.A.A. ORQUEDA

*Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Bahía Blanca (UTN-FRBB)
11 de Abril 461 – (8000) Bahía Blanca – Argentina
[†] E-mail: competenciarobotica@frbb.utn.edu.ar*

Resumen– En este trabajo se expone el desarrollo de un Robot Seguidor de Línea construido por alumnos de Ingeniería Eléctrica de la UTN-FRBB y con materiales en desuso. Su construcción se basa en electrónica discreta, utilizando un PIC como procesador central, con programación de control, sensores ópticos y motores paso a paso.

Los objetivos fundamentales perseguidos con el desarrollo de este robot son: (a) ser el punto de partida para iniciar en la investigación la temática de robótica a los alumnos interesados; (b) permitir generar experiencia para automatizar una silla de ruedas motorizada desarrollada en el ámbito del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica Nacional-FRBB, que se presenta en el trabajo “C. Rigano et al. (2002)”.

Palabras claves – Vehículos Guiados Automáticamente, Robótica Móvil, Estrategias de Navegación, Seguidor de línea.

I. INTRODUCCIÓN

La robótica móvil es una temática de investigación y desarrollo de gran interés nacional e internacional, tanto por la diversidad de aplicaciones, como por la gran cantidad de áreas de conocimiento que abarca, desde las ingenierías, eléctrica, mecánica o electrónica, hasta computación y biología. Este interés se ha visto plasmado en diversas aplicaciones como remoción de minas, asistencia a disminuidos motrices o ancianos, trabajo en ambientes industriales peligrosos o equipos de fútbol.

Este trabajo presenta el desarrollo de un Robot construido sobre la base de un PIC 16F84A (*Microchip Inc*), sensores ópticos, motores paso a paso para el que se ha desarrollado un programa de control que se describirá en este trabajo. La función principal del robot es el seguimiento de una línea de color blanco sobre un fondo

de color negro. Se debe destacar, que todo el desarrollo se ha realizado utilizando materiales de descarte. El robot se observa en la figura 1.

Este proyecto nace de la necesidad de alumnos en comenzar a desarrollar tareas de investigación en el ámbito de la Facultad y, a la vez, de la necesidad de desarrollar tecnología y programas utilizando microcontroladores para ser aplicados en las cátedra Controladores y Redes Industriales de Ingeniería Eléctrica de la recientemente creada orientación de Electrónica Industrial, Instrumentación y Control de la UTN-FRBB. Por otra parte, como se presenta en el trabajo “C. Rigano et al. (2002)”, la experiencia obtenida en el desarrollo de estos robots será aplicada al sistema de control de una silla de ruedas motorizada para personas cuadripléjicas.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: En la sección II, se presenta la arquitectura desarrollada de hardware del robot. En la sección III, se describen los sensores instalados en el robot. En la sección IV, se desarrolla la estructura de software y la configuración del microcontrolador. En la sección V se resume los resultados experimentales obtenidos. Las conclusiones, los proyectos futuros y la bibliografía cierran este trabajo.

II. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

El Robot, esquematizado en la figura 2, tiene dos ruedas principales con aros de goma que sirven para parcializar el deslizamiento. La tracción es delantera buscando un mejor direccionamiento. Cada rueda se acopla a un motor paso a paso de 48 pasos y 12 voltios que permite una velocidad de máxima de 10 cm/seg. En la parte trasera del robot se encuentra una rueda libre con el fin de dar estabilidad mecánica. El diámetro de las ruedas de tracción, construidas de grillón, es de 5,3 cm.

Grupo de Robótica y Simulación

11 de Abril 461 (C.P. 8000) Bahía Blanca Tel.: (0291) 455220 Int. 124
www.grsbahiablanca.com.ar E-mail: competenciarobotica@frbb.utn.edu.ar
Chat: grs_utn@hotmail.com

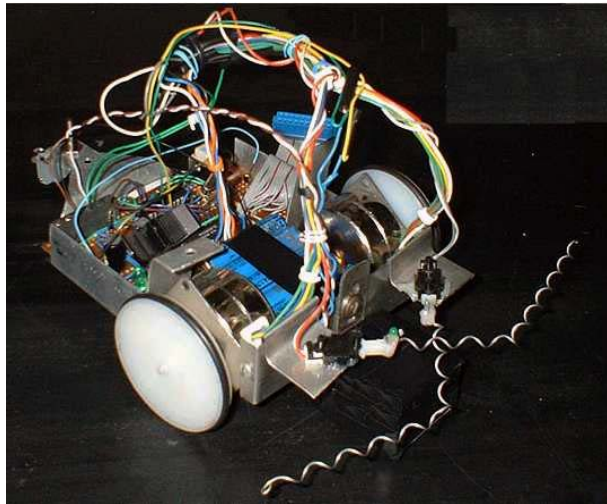


Figura 1 – Robot.

La rueda libre está construida mediante el reciclado de una pieza de un grabador, mientras que el armazón que sostiene los componentes es una placa de aluminio obtenida de una impresora.

Se han reciclado baterías de celulares de 1200mAh que le otorgan al robot una autonomía de alrededor de cinco minutos.

El peso y las dimensiones físicas del robot son las siguientes.

- Altura máxima = 8 cm
- Longitud = 16,5 cm
- Ancho = 10 cm
- Peso(sin baterías)= 800 grf

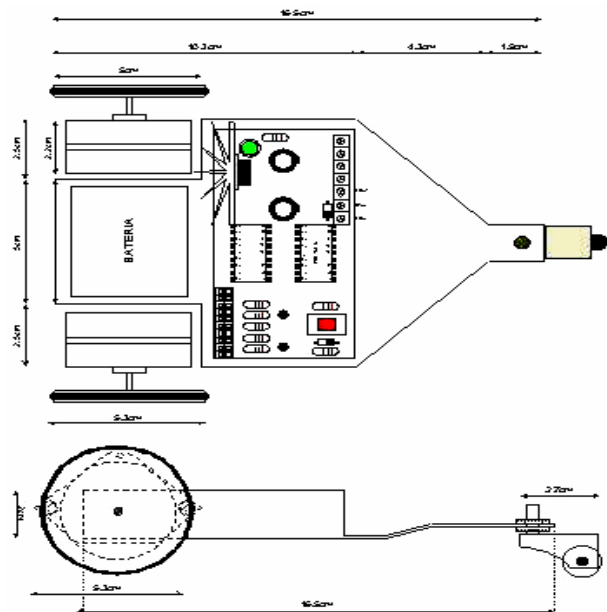


Figura 2 – Esquema físico del Robot.

El robot realiza solamente tres movimientos: el avance frontal, y el giro hacia derecha e izquierda, al accionar solamente la rueda opuesta al sentido de giro deseado. Estos movimientos se encuentran resumidos en la figura 3.

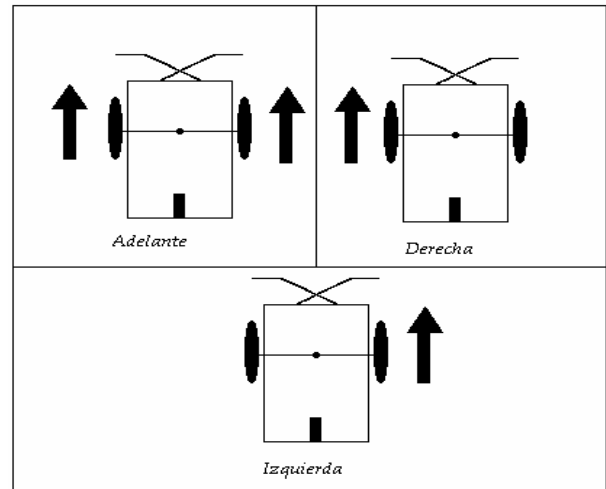


Figura 3 – Movimientos del Robot.

III. SENSORES

En este proyecto se han implementado dos clases de sensores para vincularse con el medio exterior:

- sensores mecánicos o de contacto
- sensores infrarrojos

A. Sensores Mecánicos o de Contacto

Los sensores de contacto complementan al seguimiento de la línea y su función radica en la detección de obstáculos sobre el camino marcado. Estos sensores son dos contactos que normalmente se encuentran cerrados, cada uno con un alambre helicoidal de 12 cm de largo, que otorga mayor distancia de detección una colisión elástica. En la figura 4 se muestra el diagrama eléctrico de los mismos.

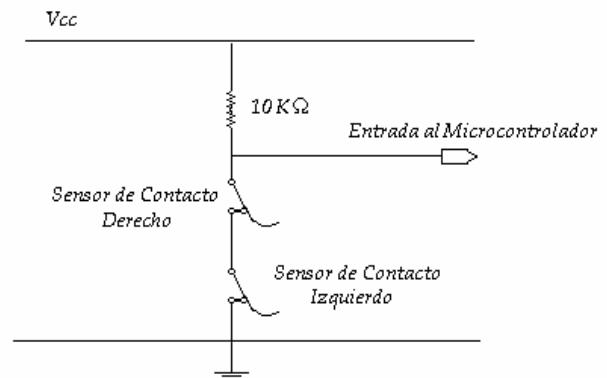


Figura 4 – Diagrama eléctrico de los sensores de contacto.

Grupo de Robótica y Simulación



Cuando el Robot avanza y no encuentra ningún obstáculo; al microcontrolador le llega un nivel lógico igual a cero. Si en algún instante hay una obstrucción en el camino, los contactos se abren haciendo que al microcontrolador llegue un nivel lógico igual a uno. De esta forma, se indica la presencia de un problema y el robot detiene su marcha hasta que no se libere el camino.

B. Sensores Infrarrojos

Los sensores infrarrojos son los encargados del seguimiento de la línea. Se ha preferido la utilización de dos conjuntos fotodiodo-fototransistor. Esta decisión se ha basado en que permite modificar dirección de la trayectoria en forma dinámica y con una construcción simple.

Se ha dispuesto un conjunto de estos elementos en el frente del robot, uno a la derecha y otro a la izquierda, para determinar cuando abandona la línea blanca. Los fotodiodos y los fototransistores son de un mouse de computadora.

Con el objeto de evitar la influencia de la luz ambiental que provocaría errores en la lectura de los sensores, todos los componentes se colocan en una caja situada en el frente del Robot a pocos milímetros de la superficie. El circuito se muestra en la figura 5.

El principio de funcionamiento se basa en la emisión infrarroja de los fotodiodos. Cuando la superficie es de color blanco, la emisión es reflejada casi en su totalidad, con lo que se excita el fototransistor hasta llevarlo a la condición de saturación.

El emisor del fototransistor queda entonces con una tensión cercana a la de alimentación. Esta tensión es aplicada en la pata no inversora del operacional LM358 que funciona como comparador de tensión. Debido a que la tensión en la pata no inversora es mayor que la tensión de referencia, se obtiene un valor lógico igual a uno en la salida del operacional.

Si ahora la superficie es de color negro, la reflexión será casi nula quedando entonces el fototransistor al corte. Por ende en la salida del operacional se tendrá un cero como valor lógico.

Se puede regular la emisión infrarroja modificando la posición del potenciómetro correspondiente.

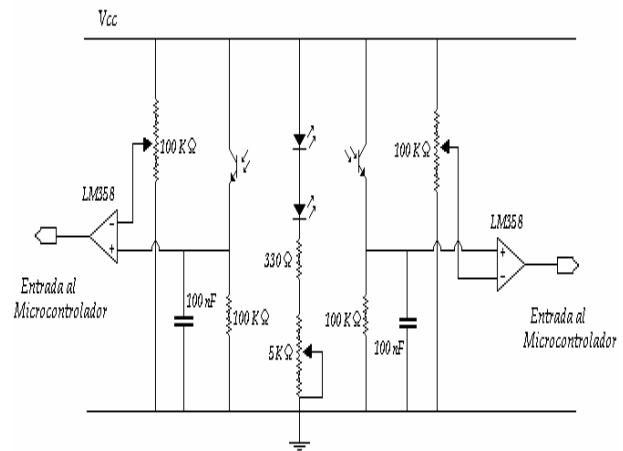


Figura 5 – Circuito eléctrico de los sensores ópticos.

IV. MICROCONTROLADOR

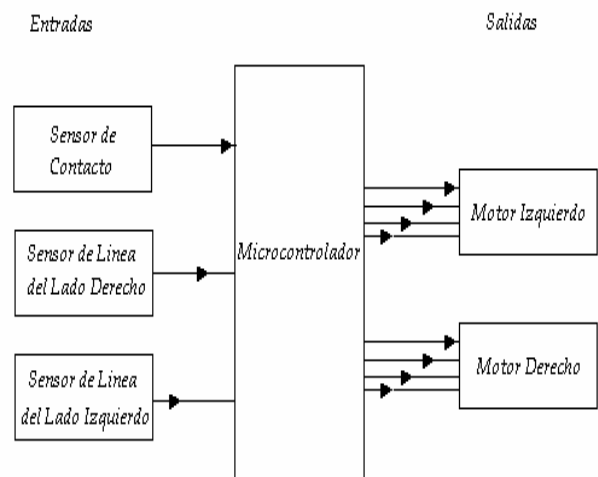


Figura 6 – Esquema de entradas y salidas utilizadas.

A. Entradas y salidas del microcontrolador

De las trece entradas-salidas que se pueden configurar del PIC 16F84A de la empresa MICROCHIP, se han usado solamente once. Ocho de ellas son destinadas a salidas, y tres a entradas. Esta configuración se observa en la figura 6.

Los primeros cuatro bits del Puerto A son utilizados como salidas para accionar el motor izquierdo. Lo mismo sucede con los cuatro bits del Puerto B que activan el motor derecho.

El quinto bit del Puerto B está configurado como entrada y recibe la información de los sensores de contacto.

El sexto y séptimo bit del Puerto B son asignados como entradas. El primero sensa el límite izquierdo de la línea blanca y el otro el lado derecho.



B. Programación del microcontrolador

En la figura 7 se describe el diagrama de flujo del programa de control utilizado.

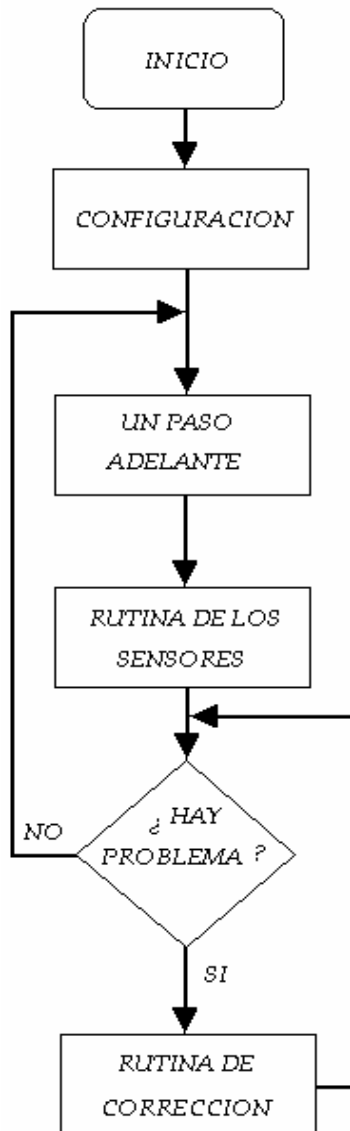


Figura 7 – Diagrama de flujo del programa.

El primer paso en la programación del microcontrolador es su configuración. Se definen entonces las entradas, las salidas, las variables a utilizar y el contenido de los registros del microcontrolador.

Una vez hecha la configuración, lo siguiente en el diagrama de flujo es la rutina por la cual el Robot avanza un paso. Como es sabido, en los motores paso a paso, se debe seguir una secuencia determinada.

Se observa en la tabla 1 que la secuencia se repite cada cuatro pasos. Para cumplir la secuencia correcta de avance, se debe guardar en la memoria el último paso realizado.

Números de pasos	Secuencia
1	0011
2	0110
3	1100
4	1001
5	0011
6	0110
7	1100
8	1001

Tabla 1 – Secuencia de avance de los motores paso a paso.

En el siguiente paso del programa se analiza el estado de los sensores.

Cuando se hace la pregunta si hay problemas, esta se refiere a las condiciones de las entradas. Si la respuesta a la pregunta es NO quiere decir que sus niveles lógicos están con los valores adecuados, logrando que el Robot avance otro paso.

Si la respuesta es SI, implica que el quinto bit del Puerto B, correspondiente a los sensores de objetos extraños, está con valor lógico uno, o el sexto o séptimo bit del Puerto B, sensores ópticos, están con valor lógico igual a cero.

Para resolver este problema se llama a la rutina de corrección. En ella se analizan las distintas soluciones. En el caso de colisión, se desactivan los motores. El movimiento continúa cuando el camino queda liberado de la obstrucción.

Si el sexto bit está con valor lógico igual a cero, el sensor izquierdo se encuentra sobre una superficie negra, fuera de la línea. La solución es activar el motor izquierdo hasta que el sensor quede sobre la superficie blanca. Se repite lo mismo en el caso del séptimo bit, accionando sobre el motor derecho.

Cuando se termina la rutina de corrección, se realiza la misma pregunta. De persistir algún problema se vuelve a llamar nuevamente a la rutina hasta que el mismo quede solucionado.

V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

En primera instancia, se ha experimentado los sensores ópticos y el desplazamiento sobre una superficie totalmente blanca, siendo el resultado un movimiento entrecortado. Este defecto ha sido mejorado iterando tiempos menores entre pasos; hasta lograr un avance continuo.

Los conjuntos de fotodiodos-fototransistores diferencian bien el blanco del negro.



Luego, al ensayarse el robot sobre la línea blanca con diferentes curvas se han obtenido resultados satisfactorios.

La figura 8 muestra al robot en distintas etapas de su recorrido.

Los movimientos de seguimiento que realiza en las curvas para corregir la dirección son buenos, aunque perceptibles, manteniendo la homogeneidad en el recorrido. La disminución de velocidad es de alrededor de un 30%, cumpliendo con lo esperado.

Se presentan inconvenientes con curvas menores a 10 cm de radio curvatura. En curvas cerradas, el efecto de su inercia es mayor que la velocidad de corrección en el seguimiento, quedando los dos sensores infrarrojos en la zona negra. El resultado de esta inconsistencia es un avance muy lento y con un avance entrecortado, con un leve giro a la derecha.

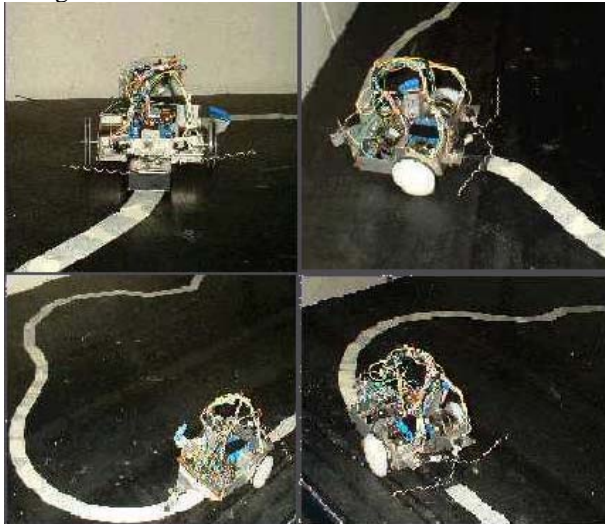


Figura 8 – Recorrido del Robot.

Para evitar este comportamiento, se ha modificado el programa de control a los efectos registrar en la memoria cuál es el último sensor en abandonar la línea para lograr un desplazamiento que le permita recuperar su trayectoria. Esta modificación permitirá que el robot se desplace tanto en curvas más cerradas, curvas poligonales, o en diferentes configuraciones de líneas.

La poca autonomía obtenida con las baterías usadas de celulares nos obliga a reemplazarlas. Por el momento, las pruebas de funcionamiento se realizan con una fuente exterior de corriente continua de 12 voltios.

VI. CONCLUSIONES

El resultado de este proyecto cumple con las expectativas iniciales. El seguimiento de la línea blanco con fondo negro es bueno hasta curvas de 10 cm de radio. Se mejorará el programa para poder seguir curvas más pronunciadas, según lo expuesto en el punto 5.

Con la experiencia adquirida con microcontroladores, se diseñará el circuito correspondiente para reemplazar el PLC que controla la silla de ruedas de “C. Riganó et al. (2002)” manteniendo las mismas prestaciones.

Este proyecto, junto con la silla de ruedas motorizadas para personas cuadripléjicas controlada por un PLC inician una línea de investigación y desarrollo dentro de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la temática de Robótica.

La experiencia obtenida en la construcción del Robot ha motivado la organización en el mes de Noviembre de una competencia de robótica en el nivel medio de la educación. Con esto se espera fomentar la robótica en los alumnos del nivel polimodal e insertarlos en este fantástico mundo.

REFERENCIAS

- Microchip Inc., *Embedded Control Handbook* (1995).
- McComb, G., *The Robot Builder's BONANZA*, McGraw-Hill, New York (1987).
- Jones, Seiger y Flynn, *Mobile Robots*, A K Peters (1999).
- Microchip, Inc., *Microcontroller data book-The emerging world standard*, (1996).
- Russell, Norvig, *Inteligencia Artificial un Enfoque Moderno*, Prentice Hall (1996).
- Bayliss, J., C. Brown, R. Carceroni, C. Eveland, C. Harman, A. Singhal and M. Van Wie, “Mobile robotics 1997,” Technical Report 661. The city of Rochester, Computer Science Department. Rochester, New York 14627 (1997).
- Brooks, R., “A robust layered control system for a mobile robot,” *IEEE Journal of Robotics and Automation* RA-2(1), 14 23 (1986).
- Buhmann, J., W. Burgard, A.B. Cremers, D. Fox, T. Hofmann, F.E. Schneider, J. Strikos and S. Thrun, “The mobile robot rhino,” *AI Magazine* 16(1), 31 38 (1995).
- Feng, L., J. Borenstein and D. Wehe, “A completely wireless development system for mobile robots,”. *Proceedings of the ISRAM Conference*. Montpellier, France. pp. 571 576 (1996).
- Schenk, S.J., “A mathematical model of wheelchair racing,” PhD thesis. Faculty of New Jersey Institute of Technology. New Jersey (2000).
- Simmons, R.G., R. Goodwin, K.Z. Haigh, S. Koenig, J. O'Sullivan and M.M. Veloso, “Xavier: Experience with a layered robot architecture. *SIGART Bulletin* pp. 22 33 (1997).