

CAPÍTULO 2 DISEÑO DEL MÓVIL

El diseño requiere que el móvil sea veloz, estable, eficiente y debe tener un módulo de control robusto capaz de realizar las tareas necesarias sin error. Además, debe respetar las características que se especifican en las distintas competencias existentes. El móvil debe ser capaz de dar vuelta (izquierda o derecha) según le requiera la pista a recorrer, en las bifurcaciones tendrá que tomar la decisión si es izquierda o derecha, según la información previa. En las discontinuidades seguir en línea recta hasta 20cm, si en 20cm no detectó línea detenerse. Para realizar el control del móvil se utilizó un microcontrolador.

En este capítulo se explicará la construcción del móvil, así como las señales generadas por los sensores que van directamente al microcontrolador y las señales que el microcontrolador debe dar a los actuadores para que el móvil realice su trayectoria. En el capítulo 3 se explica el funcionamiento del programa.

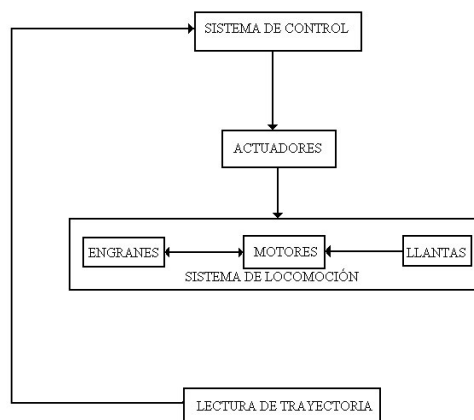


Figura 2 – 1. Diagrama a bloques del funcionamiento del móvil.

2.1. MÁS VELOZ.

Lo primero en el diseño del móvil fue encontrar motores que tuvieran buena relación velocidad - torque. Para lograr el objetivo de que el móvil fuera veloz se usaron los motores de la figura 2 – 2 que son empleados en casi cualquier juguete mecánico. Los motores por si solos son veloces pero se requiere que también tengan torque para darle fuerza al móvil.



Figura 2 – 2. Motores usados en el móvil

Para darle el torque al motor se buscaron engranes para acoplarlos al motor. Para tal efecto se usaron engranes de reducción ya diseñados para acoplarse directamente al motor. Estos motores con el sistema de engranes tiene dos opciones de reducción de velocidad. Una es reducción 58:1 que genera 1550 rpm y un torque de $7.1\text{kg} - \text{cm}^1$. La otra opción de estos motores es reducción 203:1 que genera 149 rpm y un torque de $15.3\text{kg} - \text{cm}^1$.

¹ Dato proporcionado por el distribuidor lynxmotion de los motores TWIN-MOTOR GEARBOX, <http://www.lynxmotion.com/>

La opción elegida para que el móvil tuviera torque fue la reducción 203:1. Se decidió por esta reducción para un control óptimo y funcionamiento del móvil. Se muestra en las figuras 2 – 3 y 2 – 4 la manera en como se ven los motores ya acoplados a los engranes.



Figura 2 – 3. Vista transversal del motor con los engranes.



Figura 2 – 4 Motores ensamblados con los engranes, reducción 203:1.

Una vez elegidos los motores a usar se buscaron llantas adecuadas para acoplar a los motores, que ofrecen gran agarre a cualquier superficie (madera, cemento, acrílico, plástico, etc.). Aparte de un buen agarre en las superficies, que le dieran estabilidad al móvil y en conjunto con los motores dieran velocidad al móvil. Las llantas seleccionadas fueron de 3

pulgadas de diámetro y .75 pulgadas de ancho, hechas de neopreno², en la figura 2 – 5 se muestran las llantas usadas. Este material mostró buenos resultados en las pruebas realizadas al móvil y que se detallarán en el capítulo 4.



Figura 2 – 5. Llantas utilizadas en el móvil.

Con el diámetro de las llantas se calculó la velocidad teórica de cada motor ya con la llanta montada como se muestra en la tabla 2 - 1. En la figura 2 – 6 se presentan a los motores acoplados a las llantas. Para darle impulso y torque al móvil se usaron 4 motores con la reducción 203:1. En la figura 2 – 7 se muestra el arreglo que se hizo de los motores para lograr que el móvil tenga un control sencillo, veloz y con torque.

Velocidad (rpm)	diámetro de la llanta (cm)	Velocidad (cm/seg)
149	7.62	59.45

Tabla 2 – 1. Velocidad teórica de los motores.

² Datos proporcionados por el distribuidor lynxmotion, <http://www.lynxmotion.com/>

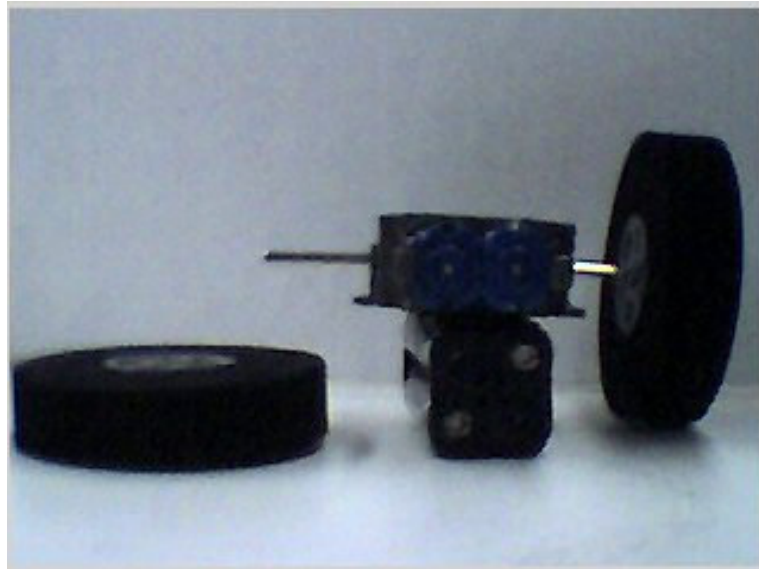


Figura 2 – 6. Motor engranado con las llantas puestas.

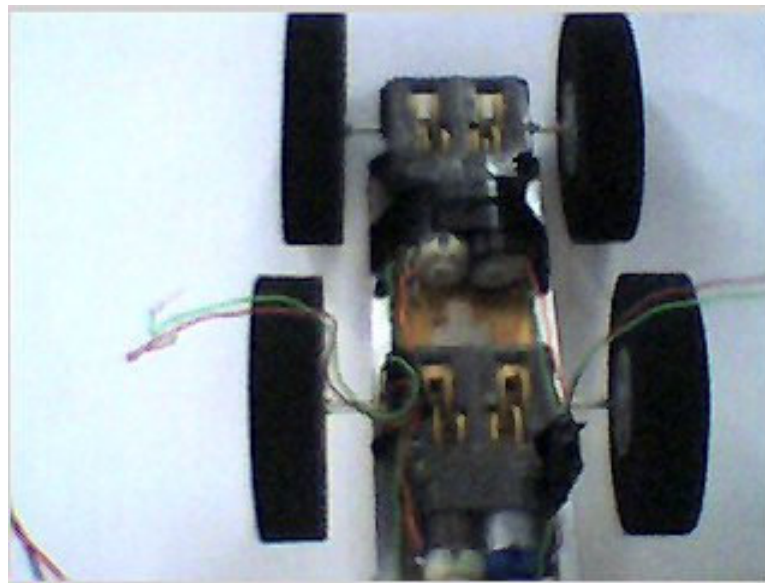


Figura 2 – 7. Arreglo de motores.

2.2. CONTROL DE GIRO.

El control de giro implementado es sencillo y permite dar vuelta rápidamente al móvil así como en curvas cerradas no perder la línea. Es parecido a como giran los tanques de guerra, como se muestra en las figuras 2 – 8 a 2 – 10.

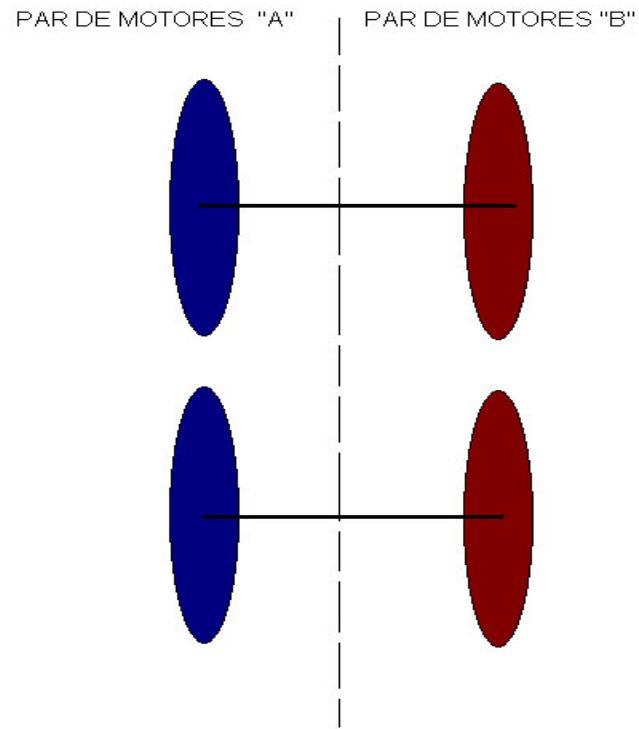


Figura 2 – 8. Arreglo de motores para Control de Giro.

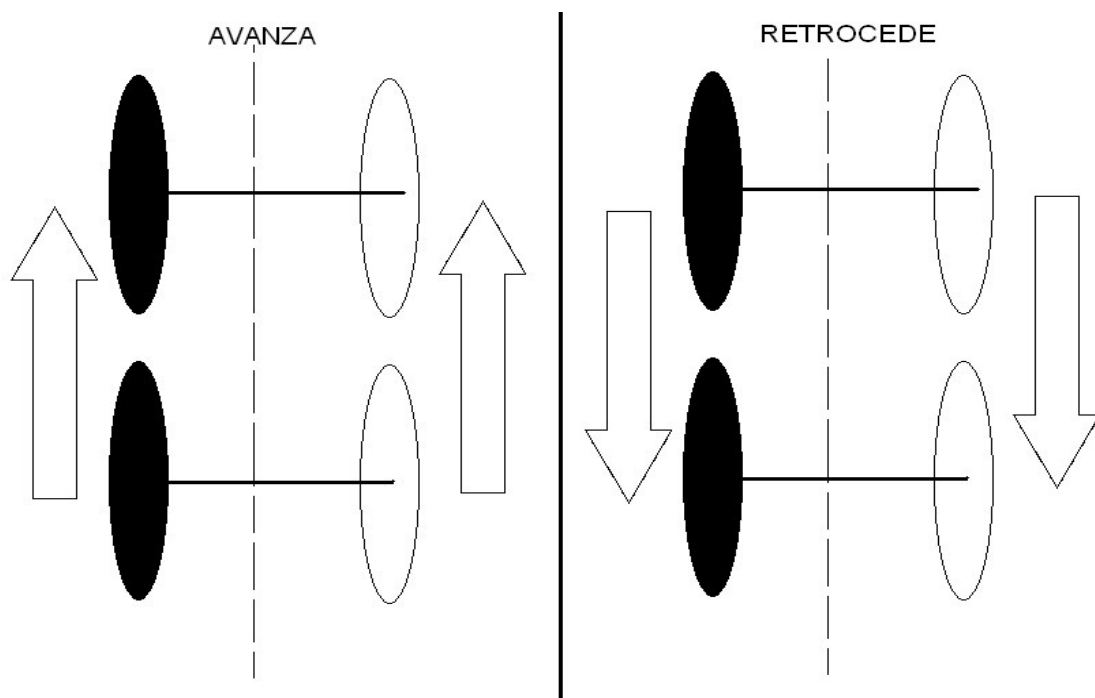


Figura 2 – 9. Forma en que se controla el móvil.

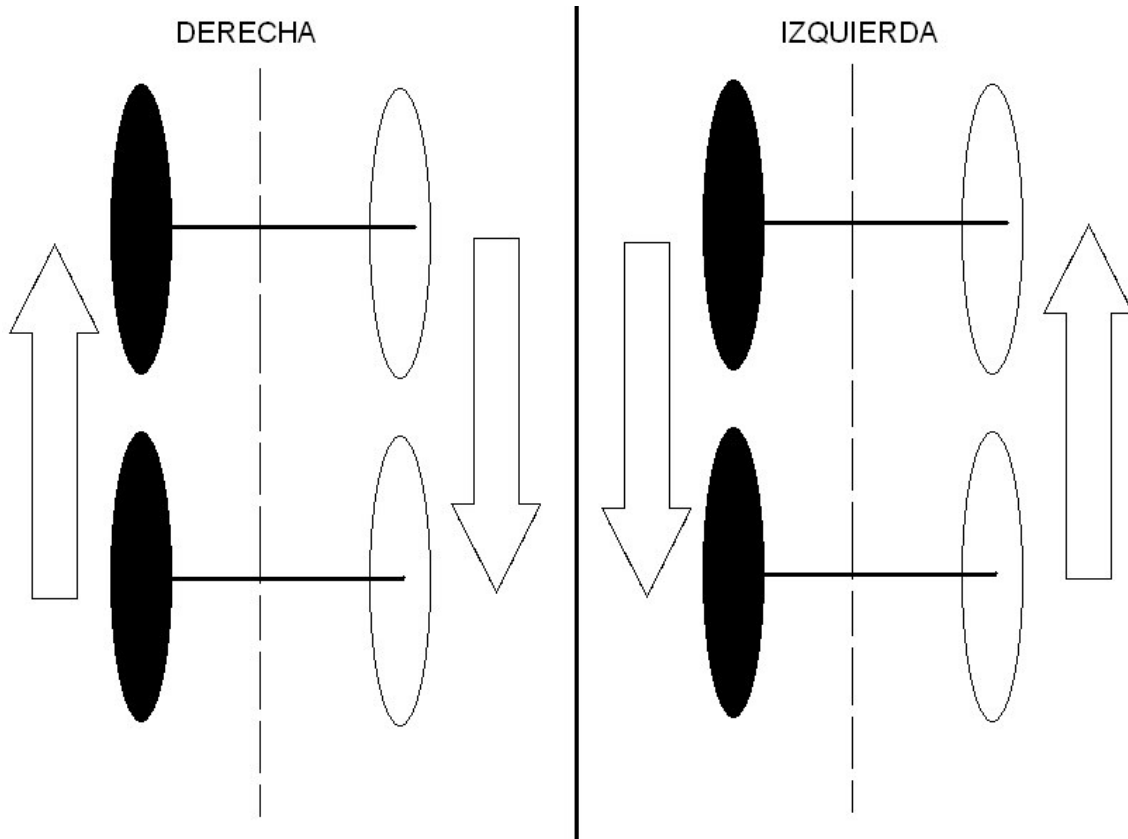


Figura 2 – 10. Control de giro del móvil.

El giro se logra haciendo que un par de motores este en retroceso y el otro par avance para así dar la vuelta lo más rápido posible. Con este arreglo al entrar el móvil en línea recta acelera a su máxima velocidad. De esta manera se logra un control del móvil en todo momento. Con la tracción en las 4 ruedas, los obstáculos de hasta 3mm de altura no son problema para que el móvil continúe su camino.

Los motores ya ensamblados con los engranes fueron puestos en una placa de plástico PVC de 3mm de espesor y de 6.2cm de ancho por 20cm de largo por 20cm de alto (tomando en cuenta el circuito con sus disipadores de calor). El móvil cuenta con una altura de 1cm sin tomar los sensores de línea. En la figura 2 – 11 se muestra el móvil en vista lateral para una idea general.

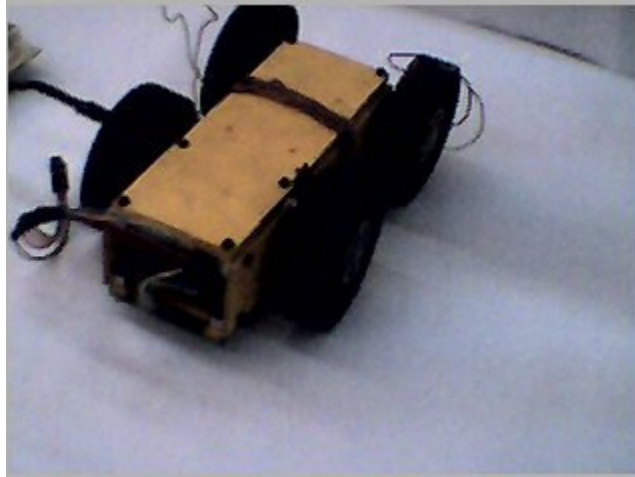
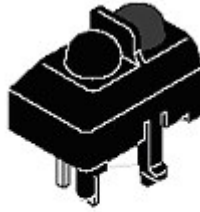


Figura 2 – 11. Móvil visto lateralmente.

2.3. SENSORES REFLECTORES.

Un sensor es un elemento que mide variables físicas (distancia, presión, humedad, temperatura, etc.) o detectar colores, luz, sonido. El funcionamiento del sensor depende de la variable a estimar y el número de datos que se desee obtener. Existen muchos tipos de sensores para el propósito que es detectar una línea sobre un fondo contrastante. Para la tarea de detección se usaron sensores reflectores.

Los sensores reflectores están compuestos de un emisor de luz infrarroja y un detector de luz infrarroja (TCRT5000). Este tipo de sensores ya se vende con el emisor y el detector en un encapsulado listo para poder acoplarse a un circuito para su manipulación. En la figura 2 – 12 se muestra el encapsulado usado para el sensor reflector.



TCRT5000

Figura 2 – 12. Encapsulado del sensor.

Para el efecto de hacer que el móvil siga la línea se requieren 3 sensores, centro, izquierda, derecha, que son las posibilidades de vuelta del móvil. Así también acoplar la señal de los sensores para que entreguen al sistema de control " 1 " y " 0 " digitales (5volts, 0volts). Para conseguir los " 1 " y " 0 " se implemento el siguiente circuito mostrado en la figura 2 – 14.

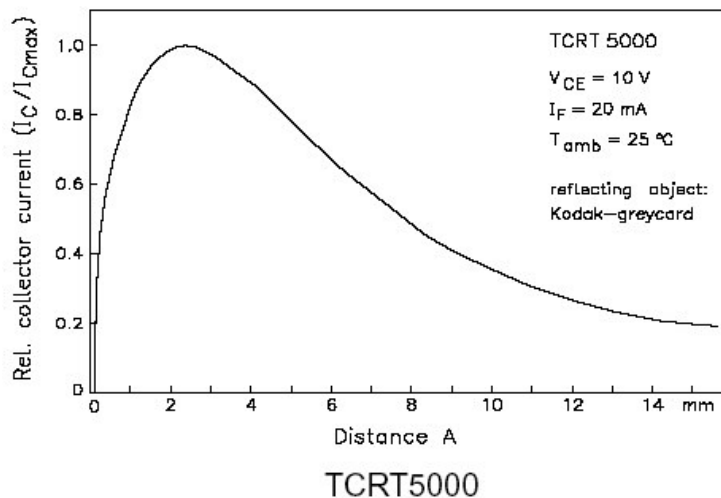


Figura 2 –13. Gráfica comparativa, corriente vs. distancia.

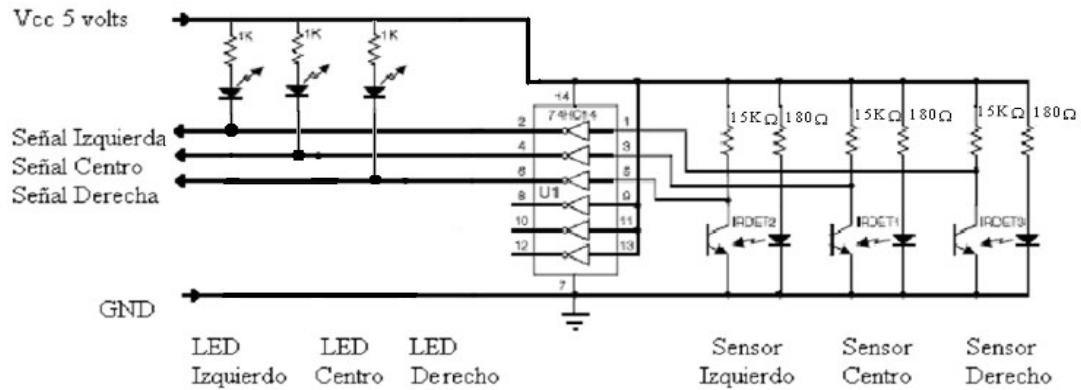


Figura 2 – 14. Esquemático del circuito de los sensores.

En el manual del TCRT5000 se habla de una aplicación típica para detectar cambios de reflexión de luz como puede ser el poner el sensor en un color blanco y pasarlo a negro. En esta aplicación el circuito está diseñado para que los sensores funcionen a 3mm de altura, en el móvil se colocaron a esta misma altura para que funcionaran correctamente. En la figura 2 – 13 se aprecian los rangos de operación del sensor para diferentes alturas.

Se eligió el integrado 74HC14 (apéndice A) porque en los manuales del sensor TCRT5000 lo recomiendan para usar con este tipo de sensor por el rango de corriente con el que trabaja este integrado (-1.6mA a 400µA). Con este integrado la salida es digital con una corriente de 25mA suficiente para prender el led que nos indica si el sensor está funcionando correctamente y hacer llegar la señal al microcontrolador. Los sensores fueron colocados al frente del móvil como se muestra en la figura 2 – 15. Los sensores mandan una señal dependiendo de si están sobre blanco o sobre negro.

Blanco	1
Negro	0

Tabla 2 – 2. Señal de los sensores.

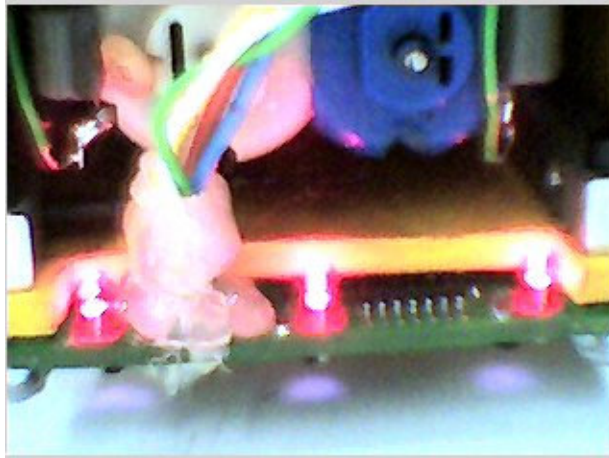


Figura 2 – 15. Sensores puestos en el móvil.

2.4. SENSORES DE DISCONTINUIDAD.

Ya hemos hablado de los sensores que siguen la línea, ahora bien para detectar las discontinuidades se puede hacer uso de un 4º sensor individual. El sensor de que se esta hablando tiene el mismo funcionamiento que los sensores de línea. Este iría colocado a la mitad tanto a lo largo como a lo ancho del móvil. Como se puede ver la figura 2 – 16 este sensor puede ser colocado en cualquier parte del móvil y a la distancia requerida.

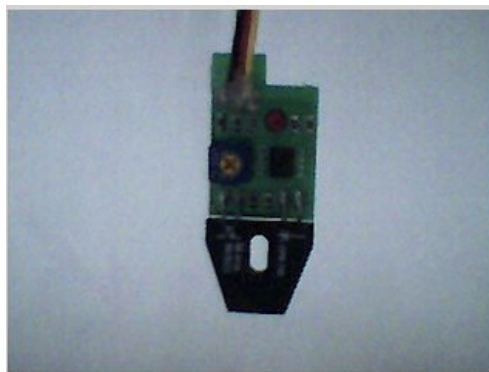


Figura 2 – 16. Sensor individual.

Este tipo de sensor para detectar discontinuidades puede presentar un problema al usarlo ya que existen casos en los que podría dar una mala lectura de la pista. Por esa mala lectura se puede detener el móvil o hacer que este pierda su camino. Siendo estos caso en los que el móvil no debiere detenerse y seguir la línea como se muestra en la figura 2 – 17.

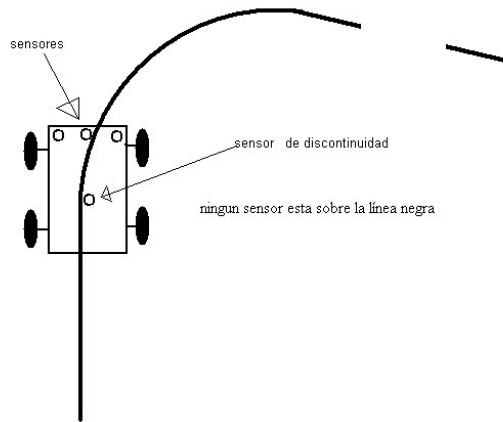


Figura 2 – 17. Problema con Sensor discontinuidad.

El caso que se muestra en la figura 2 – 17 se aprecia que ninguno de los 4 sensores esta sobre la línea negra. Aun si el sensor de discontinuidad estuviese más atrás es muy probable que no detecte la línea negra y aun cuando en el programa se trate de corregir el error con un ciclo de espera pueden ocurrir dos posibilidades:

- 1) que con el ciclo de espera programado (mientras se prueban los sensores de línea) el móvil después de este tiempo de espera haya perdido la línea a seguir.
- 2) que el móvil se detenga aun con el ciclo de espera y el poleo de los sensores de línea.

Por tal motivo no fue implementado en el móvil y la discontinuidad se implementa por software para tener un control más preciso.

2.5. BIFURCACIÓN.

Para poder hacer la lectura de la bifurcación se hizo con los sensores de línea tomando en cuenta que las bifurcaciones pueden ser de dos tipos: en “Y” o en “T”. El caso aquí presentado y el cual se tomó en cuenta para la programación es el de la bifurcación en “Y”. Como se muestra en la figura 2 – 18 los sensores izquierda y derecha son los que en una bifurcación en “Y” se activan. Para la programación de las bifurcaciones antes de que comience el recorrido del móvil se tomara en cuenta que " 1 " significa que el móvil irá a la izquierda y " 0 " irá a la derecha.

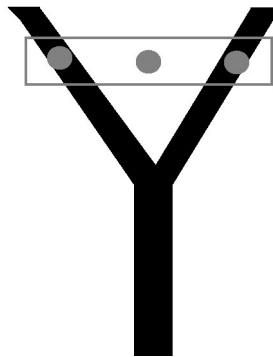


Figura 2 – 18. Bifurcación.

2.6. SEÑALES DE LECTURA DE LOS SENSORES.

Las señales generadas por los sensores dependen sobre que color se coloquen. En la tabla 2 – 2 se muestra la señal entregada dependiendo del color. El objetivo es que el móvil siga una línea negra sobre un fondo blanco, por lo cual el sensor que este sobre la línea negra tendrá " 0 " y este será "activo" para considerar en la programación. Las señales entregadas por los 3 sensores de línea (dispuestos en el móvil) se conectan al puerto B del

microcontrolador para su proceso en el programa en el orden que se muestra en la tabla 2 – 3.

CENTRO	IZQUIERDA	DERECHA
Puerto " B " < 7 >	Puerto " B " < 6 >	Puerto " B " < 5 >

Tabla 2 – 3. Puerto y número a los que van las señales de los sensores.

Con esto las señales que le llegan al microcontrolador para tomar la decisión de hacia donde irse o cuando es bifurcación o cuando discontinuidad queda como se muestra en la tabla 2 – 4. Los demás casos que se puedan presentar quedan eliminados pues en el circuito armado figura 2 – 33, se aprecia que los pines libres del puerto " B " van a tierra y eso significa un " 0 " lógico para el microcontrolador. Por eso no son tomados en cuenta para la programación ni como señales a considerar.

	PB <7>	PB <6>	PB <5>	PB <4>	PB <3>	PB <2>	PB <1>	PB <0>
<i>CENTRO</i>	0	0	0	X	X	X	X	X
<i>CENTRO</i>	0	0	1	X	X	X	X	X
<i>CENTRO</i>	0	1	0	X	X	X	X	X
<i>CENTRO</i>	0	1	1	X	X	X	X	X
<i>BIFURCACIÓN</i>	1	0	0	X	X	X	X	X
<i>IZQUIERDA</i>	1	0	1	X	X	X	X	X
<i>DERECHA</i>	1	1	0	X	X	X	X	X
<i>DISCONTINUIDAD</i>	1	1	1	X	X	X	X	X

Tabla 2 – 4. Tabla de verdad de las posibles combinaciones de los sensores. X no importa.

ROBOT AUTÓMATA SEGUIDOR DE TRAYECTORIAS

En las figuras 2 – 19 a 2 – 23, se mostrará como es que los sensores detectan la línea en los casos de centro, vuelta izquierda, vuelta derecha, bifurcación y discontinuidad.

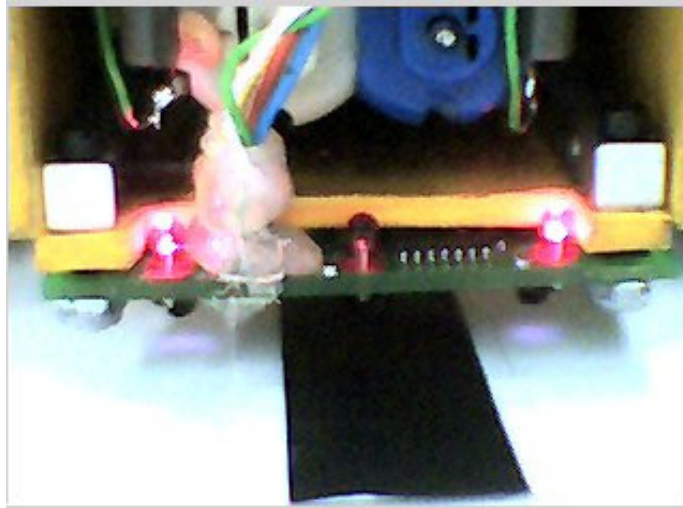


Figura 2 – 19. Centro

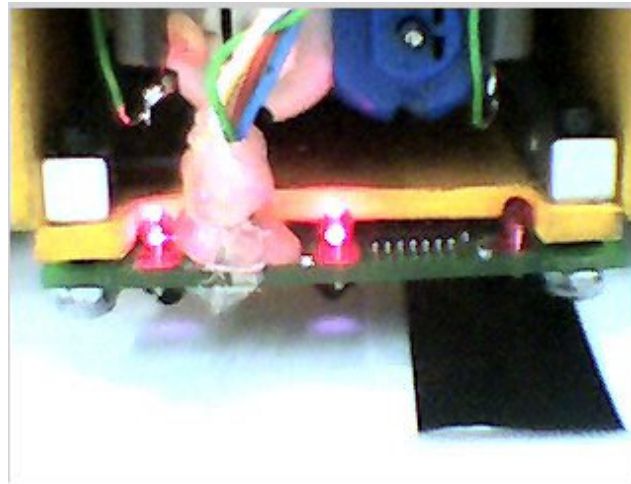


Figura 2 – 20. Izquierda.

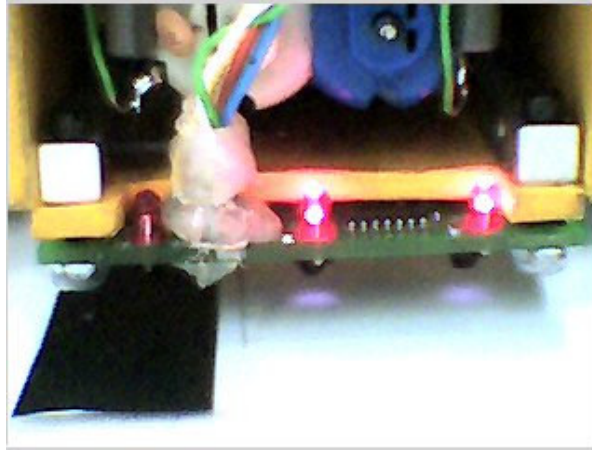


Figura 2 – 21. derecha.

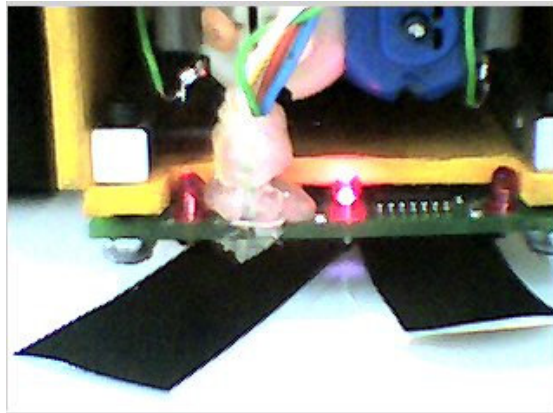


Figura 2 – 22. Bifurcación.

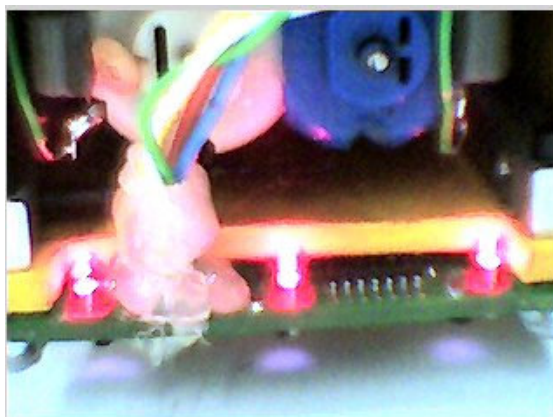


Figura 2 – 23. Discontinuidad

Las figuras 2 – 24 y 2 – 25 son gráficas obtenidas del osciloscopio y muestran los pulsos generados por los sensores al cambiar de negro a blanco.

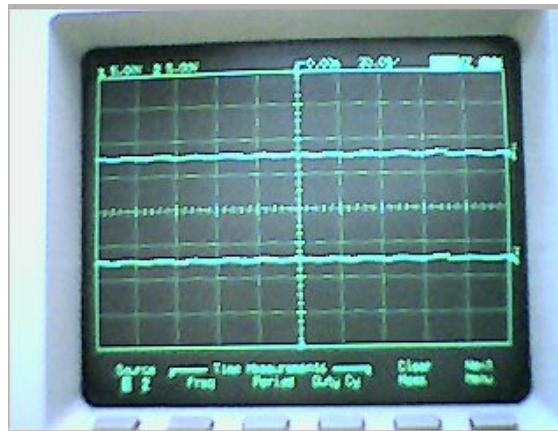


Figura 2 – 24. Gráfica de los sensores sin detectar cambios de negro a blanco.

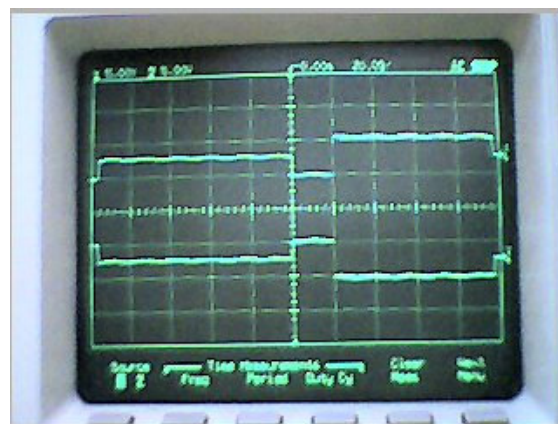


Figura 2 – 25. Gráfica de los sensores detectando cambios de blanco a negro.

2.7. DRIVERS (PUENTES H).

Para cambiar el sentido de giro de los motores (de sentido de las manecillas del reloj a sentido contrario) se utilizaron 2 puentes H, 1 puente H para cada par de motores de la figura 2 - 7. El puente H usado puede controlar motores de DC a 100 watts, 5 amperes, 40

volts. Su funcionamiento es simple, tiene 2 entradas (A – B) con las cuales se cambia de sentido al motor.

Si A esta en “ 1 “ el motor gira en un sentido de las manecillas del reloj, si B esta en “ 1 “ el motor gira en sentido contrario de las manecillas del reloj. Si las dos entradas son “ 0 “ el puente H no hace consumo de corriente. En la figura 2 – 26 se muestra el diagrama esquemático del puente H usado.

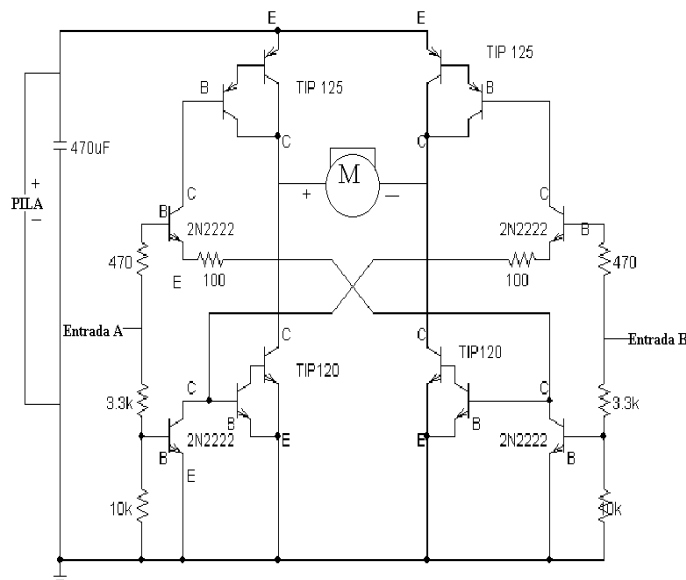


Figura 2 – 26. Diagrama esquemático del Puente H.

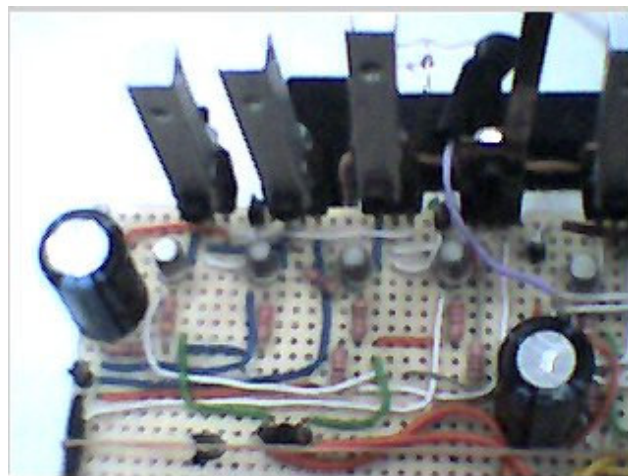


Figura 2 – 27. Puente H armado y puesto en el circuito que controla al móvil.

ROBOT AUTÓMATA SEGUIDOR DE TRAYECTORIAS

El transistor 2N2222 está configurado como switch para activar los transistores de potencia (TIP125 y TIP120) que son los que conducen la corriente hacia los motores. Los transistores de potencia TIP125 y TIP120 (apéndice A) se usaron por soportar cargas en voltaje de 60 volts, 8 amperes, 60 watts de disipación. La forma en como funciona el puente H es en pares de transistores como se muestra en las figuras 2 – 28 a 2 –30, que son los resultados de la simulación para comprobar su funcionamiento.

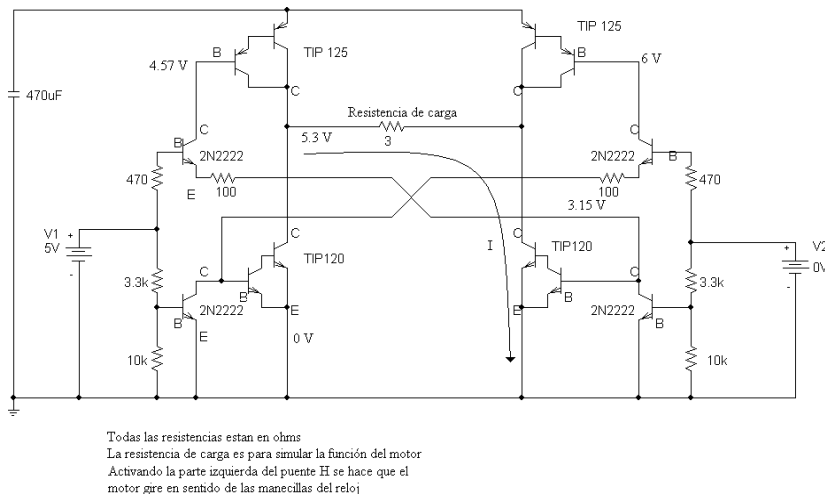


Figura 2 – 28. Simulación del puente H.

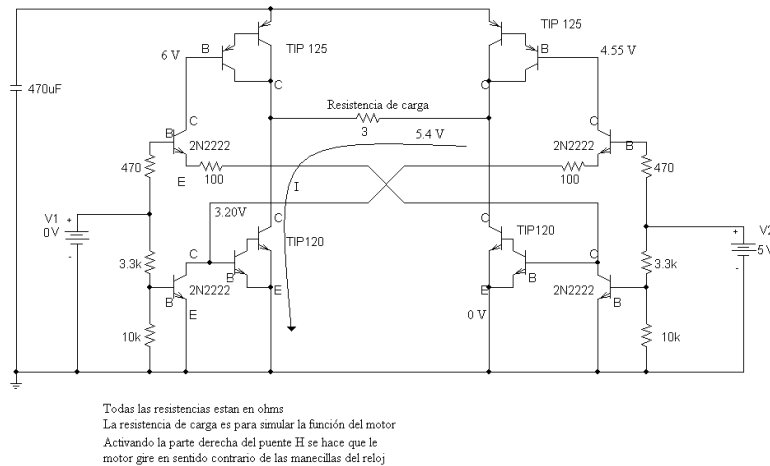


Figura 2 – 29. Simulación del puente H

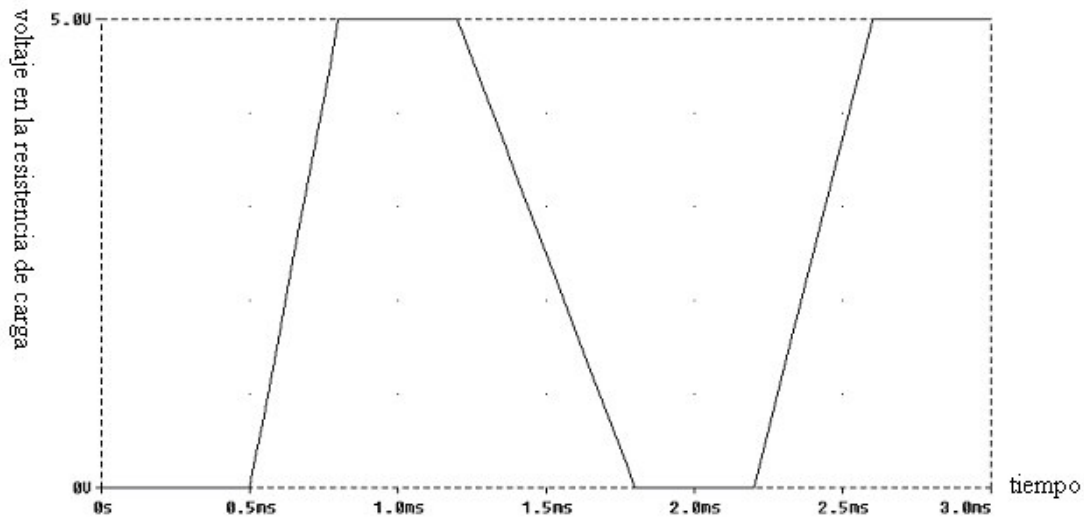


Figura 2 – 30. Gráfica del funcionamiento del puente H.

En las tablas 2 – 5 se muestra la tabla de verdad del puente H para su funcionamiento individual, en la tabla 2 – 6 se muestra la configuración que el microcontrolador manda a los puentes H para que el móvil recorra la pista.

ENTRADA		SALIDA		ACCIÓN
A	B	A	B	-----
1	0	1	0	AVANCE
0	1	0	1	RETROCEDE
0	0	0	0	LIBRE

Tabla 2 – 5. Tabla de verdad del puente H.

	MOTOR 1A	MOTOR 1B	MOTOR 2A	MOTOR 2B	VALOR HEXADECIMAL
CENTRO	1	0	1	0	A0
IZQUIERDA	1	0	0	1	90
DERECHA	0	1	1	0	60

Tabla 2 – 6. Palabras de control para hacer que el móvil recorra la pista.

2.8. CIRCUITO DE CONTROL.

El circuito de control consta, como se ha dicho antes, de dos Puentes H y un microcontrolador, así como de 8 interruptores para la programación de las bifurcaciones antes de la carrera, dos alimentaciones, una para los puentes H y otra para el microcontrolador. El microcontrolador usado fue un PIC16F74 del cual se usaron 3 puertos, puerto " B " para los sensores, puerto " C " para la programación de las bifurcaciones, puerto " D" para el control de los puentes H. La programación de las bifurcaciones se da del bit menos significativo del puerto " C " al más significativo.

Se usó el microcontrolador PIC16F74 por la capacidad de puertos que tiene, 5 puertos (3 puertos de 8 bits, 1 puerto de 6 bits y 1 puerto de 3 bits). Se eligió sobre un PIC16C5X por la cantidad de puertos usados para hacer el control del móvil. El microcontrolador utiliza un cristal de 10MHz para que el tiempo en el que las instrucciones se ejecutan no sean factor a considerar para el muestreo que se hace de los sensores de línea y no tener que reducir la velocidad del móvil.

Se probaron cristales de 20MHz y de 4MHz para el microcontrolador. Para el cristal de 20MHz las instrucciones se ejecutan en 200nseg, al ser tan rápida la ejecución de las instrucciones perdía la línea en un 60% de las veces que se probó. El de 4MHz ejecuta las instrucciones en 1µseg, esto hace que cuando el microcontrolador entra en ciclos de espera pierda la línea pues se saltaba las vueltas o continuaba la vuelta más de lo necesario. Este caso ocurría en un 45% de las veces que se probó. El de 10MHz resulto tener la velocidad

adecuada (400nseg) para polear los sensores y ejecutar las instrucciones sin que el móvil perdiera la línea con una eficiencia del 100%.

En la parte superior izquierda de la figura 2 – 33 (esquemático del circuito) se muestra la implementación de los interruptores para programar las bifurcaciones.

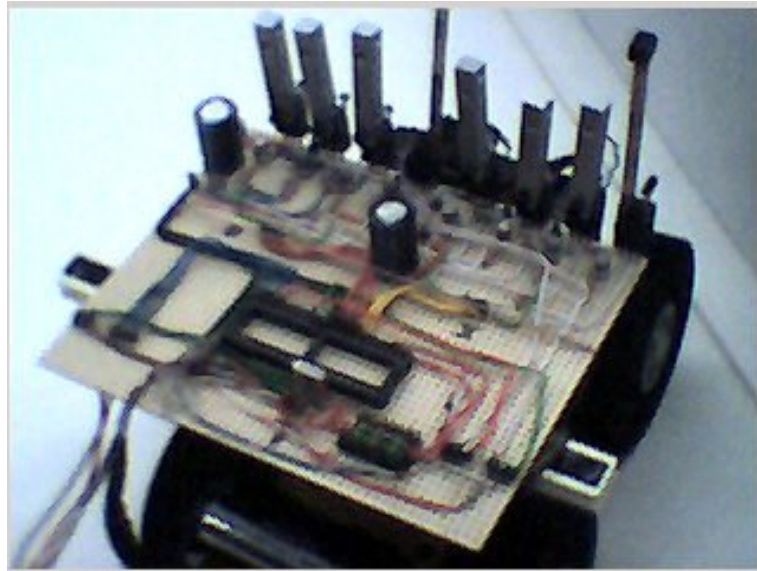


Figura 2 – 31. Circuito armado puesto en el móvil.

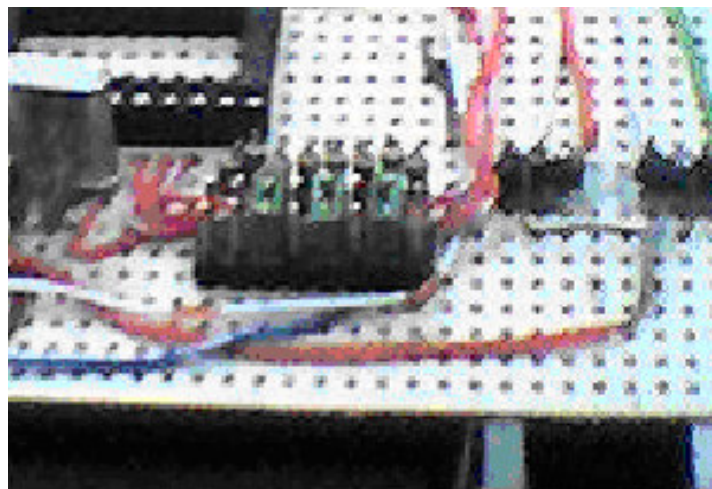


Figura 2 – 32. Interruptores para programar las bifurcaciones.

2.9. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

Como ultimo punto dentro del diseño del móvil esta hablar de las fuentes que alimentan al móvil, tanto en su parte de potencia, como en su parte de control. La pila usada para el modulo de potencia es una pila recargable de 6 volts 4 ampers la hora (6V – 4 Ahr) y para el modulo de control se usaron 4 pilas AA que entregan 6.0 volts y aproximadamente 150mAh. Con estas fuentes de alimentación del móvil, este es capaz de recorrer hasta 90 metros continuos o lo que son aproximadamente 20 vueltas a una pista de 4.5 metros.

Al dejar descansar la pila por unos 5 minutos esta puede recorrer 15 vueltas más (65 metros). Su tiempo de recarga sin estar totalmente descargada (0.0 volts) es de 30min y totalmente descargada de 2 horas. Las pilas AA usadas no son recargables y estas duran mucho más tiempo ya que no se les exige la corriente que se le exige a la pila recargable (3A) por parte del circuito que alimentan.



Figura 2 – 34. Pilas que alimentan el circuito.

2.10. DISEÑO FINAL DEL MÓVIL.

El diseño del móvil descrito en este capítulo se mostrará en las figuras 2 – 35 a 2 – 37, para una idea más clara del diseño.

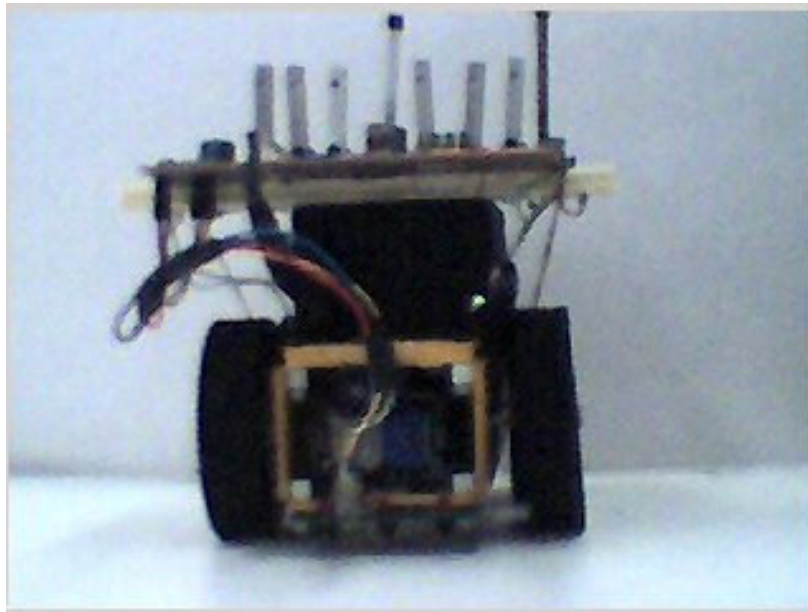


Figura 2 – 35. Vista frontal del móvil.

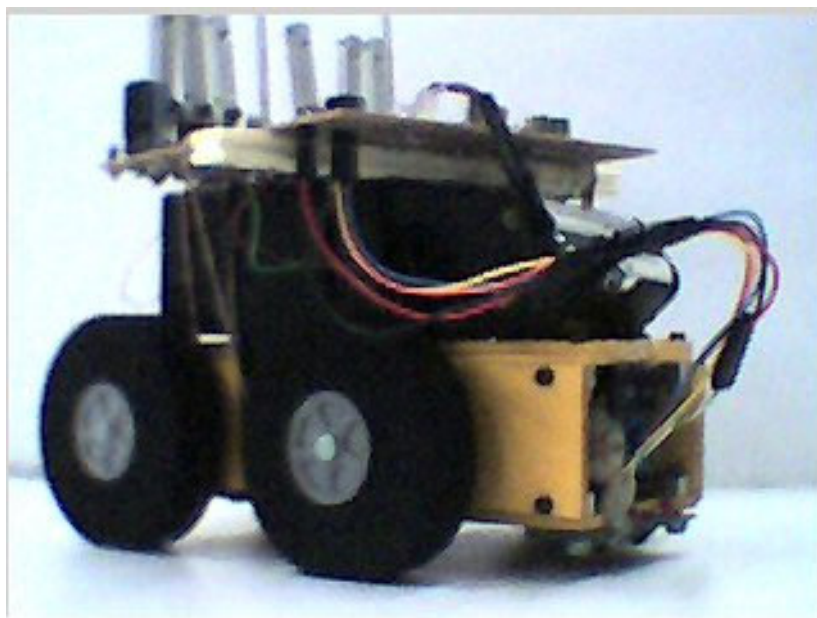


Figura 2 – 36. Vista lateral del móvil.



Figura 2 – 37. Móvil desarmado.

Una ventaja que tiene este diseño de móvil es que se puede desarmar fácilmente así como volverse a ensamblar en poco tiempo para reparaciones rápidas. Es un diseño robusto aunque pesado, pero no lento para su peso. Su estabilidad es buena ya que aunque el peso de la pila puede influir en las vueltas por la inercia, los motores en conjunto con las llantas tienen buena tracción y agarre a casi cualquier superficie para evitar que el peso de la batería sea factor de inestabilidad. En cambio el peso de la pila lo hace no poder desarrollar toda su velocidad.