

CAPÍTULO

4. Pruebas y resultados

Al terminar de implementar los circuitos electrónicos necesarios para el funcionamiento del proyecto, se prosiguió a instalar en la diadema el modulo de sensores de inclinación así como el modulo de procesamiento y transmisión de datos y se usa un carro de juguete que cuenta con dos motores de CD que sustituyen para efectos de prueba de sensibilidad y operación el movimiento de la silla de ruedas electromecánica, en la plataforma del carro de juguete se instala la electrónica del modulo de recepción, con lo anteriormente instalado se realizan las pruebas de funcionamiento de la diadema inalámbrica.

Estas pruebas se realizaran con la inclinación de la diadema en la dirección deseada, para este caso las direcciones son: Adelante, atrás, adelante-derecha, adelante-izquierda, atrás-derecha y atrás-izquierda.

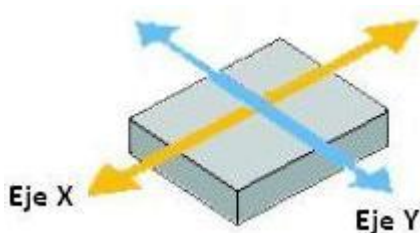


Fig. 4.1 Sistema de referencia



Fig. 4.2 Colocación de la Diadema

Carro de prueba

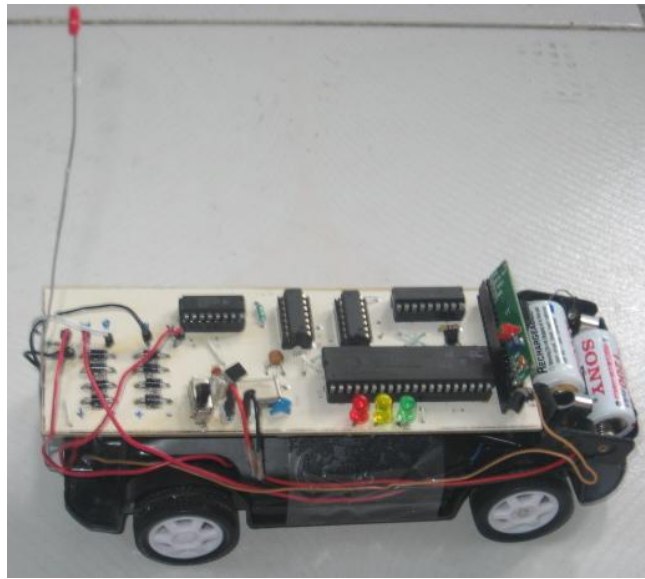


Fig. 4.3 Vista horizontal 1

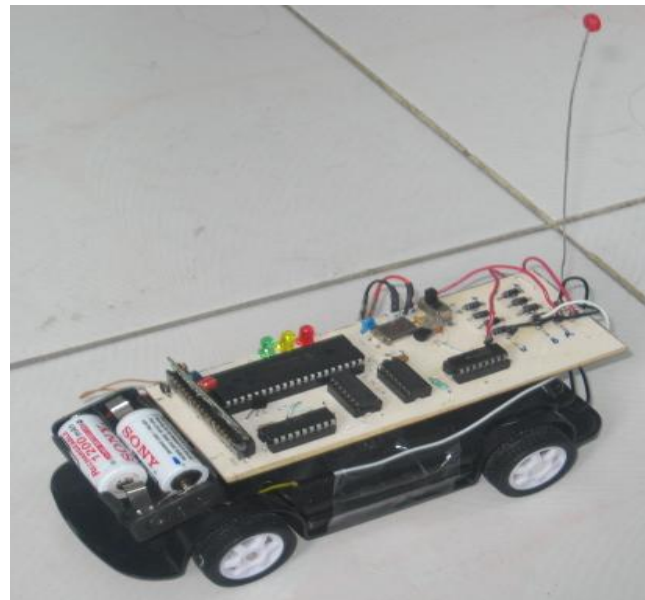


Fig. 4.4 Vista horizontal 2

Figuras que muestran la inclinación de la cabeza para las diferentes opciones de movimiento.



Fig. 4.5. Sin movimiento



Fig. 4.6. Adelante



Fig. 4.7. Atrás



Fig. 4.8. Derecha-adelante



Fig. 4.9. Izquierda-adelante



Fig. 4.10. Derecha-atrás



Fig. 4.11. Izquierda-atrás

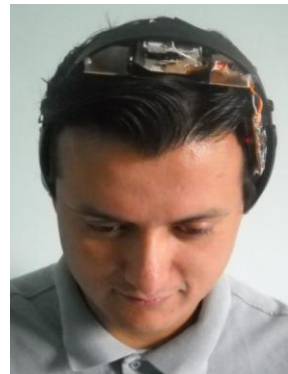


Fig. 4.12. Modo pausa

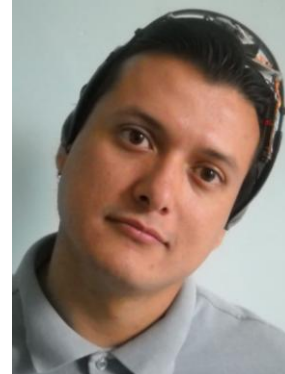


Fig. 4.13. Reactivar sistema

4.1 Prueba con rangos de 20 a 50 grados de inclinación para ambos sensores y PWM de 100%.

Resultados:

Dirección	Sensor1 (m1) [°]	Sensor2 (m2) [°]	Funcionamiento
Ninguna	-20<m1<20, 50<m1<90 y -50<m1<-90	-20<m2<20, 50<m2<90 y -50<m2<-90	Funciona
Adelante	20<m1<50	_____	Funciona
Atrás	-20<m1<-50	_____	Funciona
Derecha-adelante	20<m1<50	20<m2<50	No funciona
Derecha-atrás	-20<m1<-50	20<m2<50	No funciona
Izquierda-adelante	20<m1<50	-20<m2<-50	No funciona
Izquierda-atrás	-20<m1<-50	-20<m2<-50	No funciona

Cuadro 4.1

Observaciones:

- Para las direcciones adelante, atrás y sin dirección el funcionamiento fue adecuado en los rangos establecidos, sin embargo, se observó que la inclinación era muy pronunciada, causando molestia al usuario.
- Para el resto de las direcciones el resultado fue erróneo, esto se explica porque el envío de datos de los sensores es en forma serial y de manera alternada, lo que significa que primero manda una dirección y luego la siguiente, moviéndose solo en una dirección a la vez, y no de forma paralela para lograr el movimiento en conjunto (Derecha-adelante, Derecha-atrás, Izquierda-adelante y Izquierda-atrás).
- Velocidad de movimiento muy alta (PWM del 100%).

Debido a los puntos mencionados anteriormente se reduce el rango de inclinación, así como también se modifica el código correspondiente para que el microcontrolador pueda recibir la información en paralelo de los 2 sensores y lograr el movimiento en dos direcciones a la vez. El PWM baja a 85 %.

4.2 Prueba con rangos de 25 a 45 grados de inclinación para ambos sensores y PWM de 85 %.

Resultados:

Dirección	Sensor1 (m1) [°]	Sensor2 (m2) [°]	Funcionamiento
Ninguna	-25<m1<25, 45<m1<90 y -45<m1<-90	-25<m2<25, 45<m2<90 y -45<m2<-90	Funciona
Adelante	25<m1<45	_____	Funciona
Atrás	-25<m1<-45	_____	Funciona
Derecha-adelante	25<m1<45	25<m2<45	Funciona
Derecha-atrás	-25<m1<-45	-25<m2<-45	Funciona
Izquierda-adelante	25<m1<45	25<m2<45	Funciona
Izquierda-atrás	-25<m1<-45	-25<m2<-45	Funciona

Cuadro 4.2

Observaciones:

- Todas las direcciones funcionan adecuadamente, pero el rango de inclinación aún es pronunciado, lo que complica mantener los sensores en el rango de funcionamiento.
- Con PWM de 85 % baja considerablemente la velocidad, pero sigue siendo alta.

Tomando como base los resultados obtenidos en esta prueba se procede a reducir nuevamente el rango de inclinación para mejorar el resultado, así como también se modifica el PWM a un 75%.

4.3 Prueba con rangos de 20 a 35 grados de inclinación para ambos sensores y PWM de 75 %.

Resultados:

Dirección	Sensor1 (m1) [°]	Sensor2 (m2) [°]	Funcionamiento
Ninguna	-20<m1<20, 35<m1<90 y -35<m1<-90	-20<m2<20, 35<m2<90 y -35<m2<-90	Funciona
Adelante	20<m1<35	_____	Funciona
Atrás	-20<m1<-35	_____	Funciona
Derecha-adelante	20<m1<35	20<m2<35	Funciona
Derecha-atrás	-20<m1<-35	-20<m2<-35	Funciona
Izquierda-adelante	20<m1<35	20<m2<35	Funciona
Izquierda-atrás	-20<m1<-35	-20<m2<-35	Funciona

Cuadro 4.3

Observaciones:

- Funcionamiento correcto en todas las direcciones mejorando considerablemente permanecer en el rango de acción, sin embargo, se observa que para algunas combinaciones el rango de inclinación es alto.
- Velocidad adecuada, quedando PWM de 75 %.
- En ocasiones los sensores mandan valores aleatorios.

Consideramos que los rangos de inclinación deben ser personalizados para cada dirección, debido a que en algunas direcciones es suficiente una inclinación moderada. La velocidad con PWM de 75 % fue adecuada.

Cuando los sensores entregan datos aleatorios observamos que se debe a un problema de la fuente de energía, si la alimentación que el circuito necesita es baja el convertidor ADC del microcontrolador cambia el valor de referencia (5 [V]) modificando los valores en grados de inclinación, y por lo tanto, el sistema ya no es estable ni seguro.

Para solucionar este problema nos auxiliamos de un sensor de voltaje que nos indica cuando la fuente de alimentación está por debajo de 4.5 [V], en ese momento el sistema activa el código “sin dirección” hasta que la pila sea reemplazada, de esta forma, garantizamos la seguridad del usuario.

4.4 Prueba con rangos de inclinación personalizados para cada uno de los sensores, PWM de 75 % y sensor de voltaje en Módulo procesamiento y transmisión de datos.

Resultados:

Dirección	Sensor1 (m1) [°]	Sensor2 (m2) [°]	Funcionamiento
Ninguna	-10<m1<10, 20<m1<90 y -20<m1<-90	-15<m2<15	Funciona
Adelante	10<m1<20	_____	Funciona
Atrás	-10<m1<-20	_____	Funciona
Derecha-adelante	10<m1<20	m2>15	Funciona
Derecha-atrás	-20<m1<-15	m2>15	Funciona
Izquierda-adelante	10<m1<20	m2<-15	Funciona
Izquierda-atrás	-20<m1<-15	m2<-15	Funciona

Cuadro 4.4

Observaciones:

- Con los rangos personalizados mejora la respuesta del sistema, para este caso puede mantenerse una combinación por más tiempo, a diferencia de la prueba anterior.
- Se observa variabilidad en la velocidad de los motores.

Aun cuando haya mejorado la respuesta del sistema con la personalización de rangos, se considera que se pueden afinar los rangos para optimizar el funcionamiento del sistema.

La variabilidad en la velocidad de los motores de debe a que se usa una sola fuente de alimentación para el Módulo recepción de datos, no siendo suficiente la corriente, por lo cual se anexa otra fuente de energía.

También se incluirán tres sensores de voltaje, el primero para el Módulo Procesamiento y Transmisión de datos, el segundo para el circuito eléctrico en el Módulo de Recepción de datos y el último para los motores. Los sensores de voltaje nos indican el nivel de voltaje en el que se encuentra el sistema y asegurar su buen funcionamiento, si el voltaje es inadecuado el sistema se deshabilita.

En esta etapa se agrega el sistema se seguridad, que consiste en poner en pausar, activar, y deshabilitar sistema.

4.5 Prueba con rangos de inclinación personalizados para cada uno de los sensores, PWM de 75 %, sensor de voltaje en Módulo procesamiento y transmisión de datos y sensor de voltaje en Módulo recepción de datos.

Resultados:

Dirección	Sensor1 (m1) [°]	Sensor2 (m2) [°]	Funcionamiento
Ninguna	$-12 < m1 < 8,$ $m1 < -24$ y $m1 > 25$	$-8 < m2 < 8$	Funciona
Adelante	$8 < m1 < 25$	_____	Funciona
Atrás	$-24 < m1 < -15$	_____	Funciona
Derecha-adelante	$8 < m1 < 25$	$m2 > 8$	Funciona
Derecha-atrás	$-24 < m1 < -15$	$m2 > 8$	Funciona
Izquierda-adelante	$8 < m1 < 25$	$m2 < -8$	Funciona
Izquierda-atrás	$-24 < m1 < -15$	$m2 < -8$	Funciona
En pausa	$m1 > 25$	_____	Funciona
Activar sistema	X*	$m2 < -12$	Funciona
Deshabilitar sistema	No aplica	No aplica	Funciona

Cuadro 4.5

* No importa

Observaciones:

- Con la delimitación en los rangos de inclinación mejora la maniobrabilidad de la diadema obteniendo resultados satisfactorios.
- Con el anexo de la fuente de alimentación funcionaron correctamente los motores respetando la velocidad establecida.
- En pausa la respuesta fue la indicada, sin embargo, el rango en los grados de inclinación ocasionaba interferencia con otras direcciones, por lo que no se tenía libre movimiento para elegir la acción deseada.
- Activar sistema y en Deshabilitar sistema funcionó correctamente.

Para resolver el punto de poner en pausa el sistema se cambia la el rango de inclinación y la dirección en la cual se acciona, ahora será hacia Adelante con una inclinación de $m1 > 25$.

Para los resultados de la tabla anterior el tercer sensor de voltaje no interfiere mientras el voltaje sea adecuado para el funcionamiento del circuito eléctrico de la diadema, de lo contrario la fuente de alimentación debe ser reemplazada.

Las siguientes pruebas integran todos los elementos de cada una de las pruebas anteriores, además de que se harán:

- con y sin antena
- con y sin obstáculos, y
- con y sin interferencias (celulares, televisión, computadora, etc.).

El fin de esta prueba es observar en qué grado interfieren estos elementos en el funcionamiento del sistema, así como, la distancia en que el sistema responde adecuadamente.

4.6 Prueba sin antena, con/sin obstáculos, con/sin interferencias (celulares, televisión, computadora, etc.)

Resultados:

Dirección	Sin antena						
	Sin obstáculos		Distancia [m]	Con obstáculos			
	Sin interferencia	Con interferencia		Sin interferencia	Distancia [m]	Con interferencia	Distancia [m]
Ninguna	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Adelante	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Atrás	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Derecha-adelante	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Derecha-atrás	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Izquierda-adelante	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Izquierda-atrás	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
En pausa	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Activar sistema	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00
Deshabilitar sistema	✓	✓	40.30	✓	12.72	✓	10.00

Cuadro 4.6

Observaciones:

- La respuesta del sistema **sin antena** fue adecuado hasta una distancia de 40.3 [m], siendo la misma distancia para las condiciones de **sin obstáculos y con/sin interferencia**. Para una distancia mayor a la mencionada el sistema deja de responder a las instrucciones enviadas por la diadema.

- Para las condiciones **sin antena, con** obstáculos y **sin interferencia** la respuesta del sistema es correcto hasta una distancia de 12.72 [m], después de esta distancia el sistema responde parcialmente a las instrucciones enviadas por la diadema.
- Para las condiciones **sin antena, con** obstáculos y **con** interferencia la respuesta del sistema es correcto hasta una distancia de 10.00 [m], debido a interferencias (celulares, televisión, computadora, etc.) reduce la distancia de buen funcionamiento.

4.7 Pruebas con antena, con/sin obstáculos, con/sin interferencias (celulares, televisión, computadora, etc)

Resultados:

Cuadro 4.7

Dirección	Con antena					
	Sin obstáculos		Distancia [m]	Con obstáculos		Distancia [m]
	Sin interferencia	Con interferencia		Sin interferencia	Con interferencia	
Ninguna	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Adelante	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Atrás	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Derecha-adelante	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Derecha-atrás	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Izquierda-adelante	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Izquierda-atrás	✓	✓	100	✓	✓	31.83
En pausa	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Activar sistema	✓	✓	100	✓	✓	31.83
Deshabilitar sistema	✓	✓	100	✓	✓	31.83

Observaciones:

- La respuesta del sistema **con antena** fue adecuado hasta una distancia de 100 [m], siendo la misma distancia para las condiciones de **sin** obstáculos y **con/sin interferencia**.
- Para las condiciones **con antena**, **con** obstáculos y **con/sin interferencia** la respuesta del sistema es correcto hasta una distancia de 31.83 [m].

Los resultados en las 2 pruebas anteriores, en condiciones adversas, como son: sin antena, con obstáculos y con interferencias, se observa que el sistema funciona adecuadamente hasta una distancia de 10 [m], y en condiciones óptimas (con antena, sin obstáculos y sin interferencia) hasta 100 [m].

Dado que el sistema se encuentra separado máximo 1.5 [m] entre un elemento y otro (distancia entre la diadema y los motores de silla de ruedas electromecánica), el buen funcionamiento del sistema no se ve afectado, ni por distancia ni por interferencias.

Para familiarizarse con el uso de la Diadema Inalámbrica se sugiere entrenamiento por parte del usuario, de esta forma, adquirirá confianza con el funcionamiento de la misma, obteniendo mejores resultados. También se sugiere la calibración del sistema de referencia en función de la posición de la cabeza.

Nota importante:

Dado que los motores de una silla de ruedas electromecánica demanda una corriente (I) de varios *ampers* es necesario el diseño de una etapa de acoplamiento entre el sistema digital (Diadema inalámbrica) y los motores de la silla electromecánica (etapa potencia) para proteger eléctricamente los dos sistemas.

