

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CICLOMOTOR DE DOS RUEDAS  
AUTOBALANCEADO A ESCALA REAL COMO MEDIO DE TRANSPORTE  
URBANO

MANUAL DE USUARIO

LUISA FERNANDA PINTO VÁSQUEZ  
VERONICA ANDREA GALEANO BLANCO

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERA MECATRONICA  
BUCARAMANGA

2017

# 1. MANUAL DE USUARIO

## 1.1. INTRODUCCIÓN AL MANUAL DE USUARIO

El Ciclomotor de dos ruedas es un vehículo autobalanceado que sirve para transportar una persona de 70 kilogramos a una velocidad de 5 Km/h a medida que se inclina la barra hacia adelante, atrás y a los lados para el giro. Esta máquina tiene diferentes componentes mecánicos y electrónicos por lo cual este manual mostrará el adecuado uso para el correcto funcionamiento del dispositivo.

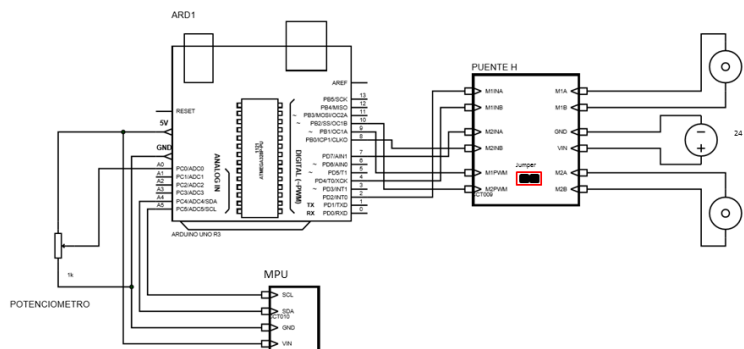
En este manual se indicarán los pasos para utilizar la máquina, el proceso de carga de las baterías, las conexiones eléctricas y el mantenimiento de las diferentes partes.

## 1.2. CICLOMOTOR DE DOS RUEDAS AUTOBALANCEADO: NORMAS DE SEGURIDAD GENERALES

Antes de encender el vehículo se debe tener en cuenta las siguientes normas:

- Verificar que las llantas estén infladas a una presión de 35 psi y que no presenten protuberancias o pinchaduras.
- Revisar que la cadena esté debidamente tensionada.
- Observar que la base del motor y las chumaceras estén debidamente aseguradas en su lugar.
- Comprobar que las componentes de sujeción como tornillos y tuercas estén debidamente apretadas.
- Verificar que el manubrio este en su lugar.
- Revisar que las conexiones eléctricas estén en la configuración correcta como se puede ver en la Figura 1 que se aprecia a continuación.

Figura 1. Conexión eléctrica fuente, driver, potenciómetro, MPU y motor.



Fuente: El Autor.

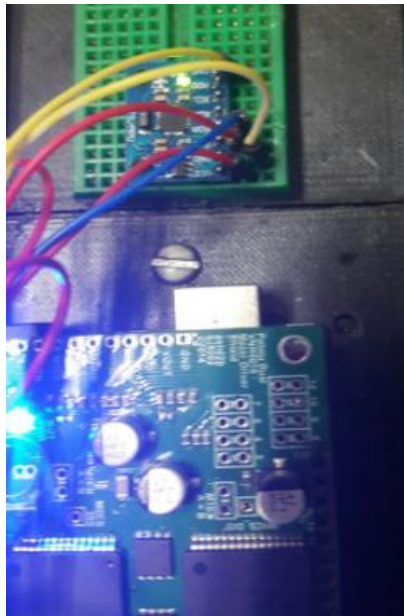
- Abstenerse de remover piezas o componentes del vehículo autobalanceado de dos ruedas ni reconfigurar la programación de Arduino. Alteraciones en el código de programación generaría inconvenientes en el funcionamiento o accidentes.
- No montarse en la estructura sin revisar los puntos anteriores de seguridad presentados en este manual.

### 1.3. USO DEL VEHÍCULO: NORMAS DE SEGURIDAD GENERALES

Estas son las normas generales que se deben tener en cuenta para utilizar el vehículo.

- El peso de la persona que vaya a utilizar el vehículo debe ser hasta 70 kg.
- El terreno que puede transitar este vehículo debe ser suave, piso seco, pavimentado e inclinaciones menores a 4 grados.
- Abstenerse de encender la máquina sin la previa revisión de las normas de la sección 1.2. de este manual.
- Al encender el vehículo cerciorase que la tarjeta del driver y el sensor MPU estén encendidos como se puede apreciar en la Figura 2.

Figura 2. Led encendido del driver y del sensor MPU.



Fuente: El Autor.

- En caso de daño catastrófico; caída del usuario, se debe apagar inmediatamente la máquina accionando el interruptor de color verde ubicado en la parte de arriba del manubrio, Figura 3.

Figura 3. Interruptor de Encendido/Apagado.



Fuente: El Autor.

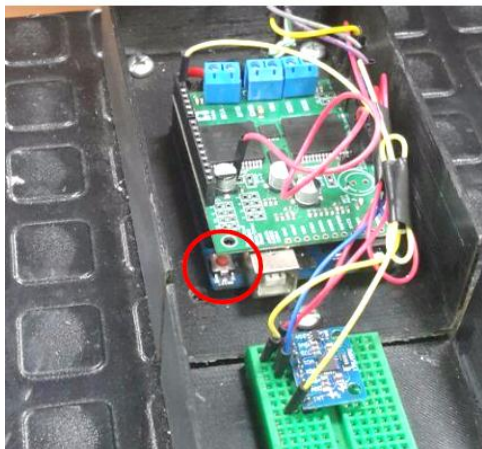
#### 1.4. FUNCIONAMIENTO GENERAL

##### 1.4.1. Encendido de la máquina

Para encender la maquina se debe accionar el interruptor de Encendido/Apagado que se visualiza en la Figura 3.

Una vez encendida la máquina se debe oprimir el botón reset del Arduino señalado en la Figura 4, el cual iniciar la lectura del sensor MPU para el ángulo de inclinación.

Figura 4. Botón de inicio de lectura del sensor MPU.

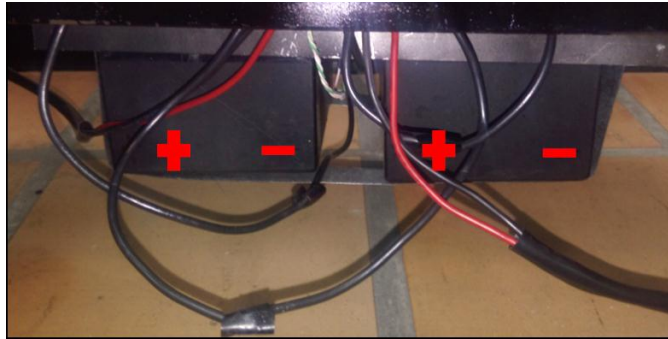


Fuente: El Autor.

#### 1.4.2. Carga de las baterías

1. Para cargar las dos baterías se debe desconectar los cables de alimentación al driver. Las baterías de 12V están conectadas en serie y su polaridad se visualiza en la Figura 5.

Figura 5. Polaridad de las baterías.



Fuente: El Autor.

2. Conectar al cargador

El cargador tiene 3 cables Figura 6, un enchufe que se conecta a 120 voltios AC, una punta caimán de color rojo que va al borne positivo de la batería y una punta caimán de color negra que se conecta en el borne negativo.

Figura 6. Cargador.



Fuente: El Autor.

### 3. Configurar el cargador

Se debe prender el cargador accionando el interruptor ON/OFF y ubicar el interruptor denominado selector de batería en 12 V, Figura 7. El cargado tiene un indicador de estado de luz el cual es rojo cuando la batería esta descargada y cuando se paga el led indica que está completamente cargada.

Figura 7. Configuración del cargador.



Fuente: El Autor.

#### 1.4.3. Movimiento de la maquina

- La inclinación del vehículo hacia adelante como lo indica la Figura 8, permite el avance.

Figura 8. Inclinación del vehículo hacia adelante.



Fuente: El Autor.

- La inclinación del vehículo hacia atrás como lo indica la Figura 9, permite el retroceso.

Figura 10. Inclinación del vehículo hacia atrás.



Fuente: El Autor.

- La inclinación de la barra hacia la derecha como lo muestra la Figura 11, representa el giro hacia la derecha.

Figura 11. Inclinación de la barra hacia la derecha.



Fuente: El Autor.

- La inclinación de la barra hacia la izquierda como se puede observar en la Figura 12, indica el sentido de giro hacia la izquierda.

Figura 12. Inclinación de la barra hacia la izquierda.



Fuente: El Autor.

#### 1.4.4. Pasos para utilizar el vehículo

Los siguientes pasos son para el correcto uso del vehículo:

1. Para encender el vehículo se debe oprimir el botón verde ubicado en el manubrio observado en la Figura 3.
2. Oprimir el botón de activación de la lectura que se observa en la Figura 4.
3. Mover el vehículo suavemente hacia adelante y atrás para comprobar la lectura del sensor.
4. Si el usuario quiere solamente comprobar la estabilidad del vehículo (no montarse) debe inclinar la máquina hacia adelante, atrás o los lados según lo que desee observar, posteriormente si aún no desea subirse puede apagar el aparato al oprimir el mismo interruptor de encendido colocándolo en posición de apagado.
5. Si el usuario desea montarse lo puede hacer en este paso, para lo cual debe hacerlo con cuidado, apoyando primero un pie y luego el otro en la base y sosteniendo firmemente el manubrio.
6. Para moverse hacia alguna dirección el usuario debe inclinarse hacia adelante o atrás según lo que él quiera. Si se inclina hacia atrás la máquina irá en esa dirección, si se inclina hacia adelante el vehículo avanzará.



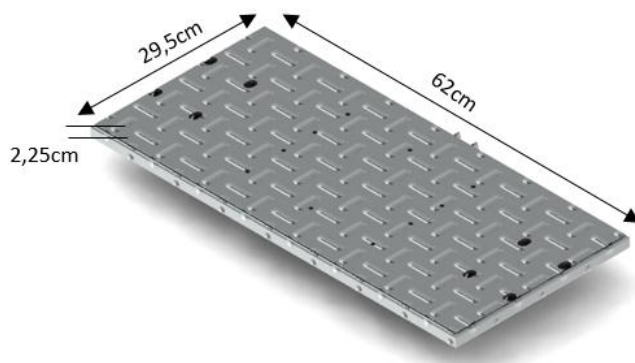
7. Para girar el vehículo el usuario debe mover el manubrio en la dirección que quiera girar, a la derecha si quiere ir hacia la derecha y a la izquierda si quiere ir a la izquierda.
8. Si el usuario quiere ir a mayor velocidad debe inclinar más la estructura. Si quiere girar más rápido hacia un sentido debe mover más el manubrio hacia ese lado.
9. Cuando el usuario quiere apagar el vehículo debe oprimir el interruptor de encendido de la Figura 3.

## 1.5. MANTENIMIENTO DEL VEHÍCULO

### 1.5.1. Componentes mecánicos

- El soporte principal, Figura 13, es donde está sujeto los demás componentes y la base está atornillada a éste. La base es una lámina de aluminio de alfajor de 29.5x62x0.35 cm y el soporte principal tiene un perfil tubular cuadrado de aluminio de 1" que van soldadas entre sí.

Figura 13. Soporte principal.



Fuente: El Autor.

- El mástil, Figura 14, es el que da la dirección al prototipo, siendo dos grados de libertad, ya sea derecha o izquierda, y adelante o retroceso, dependiendo lo que elija el usuario. Éste elemento va ensamblado en la parte inferior del soporte principal y sus uniones van soldadas, el calibre del tubo es de 1.5", el material es de aluminio.

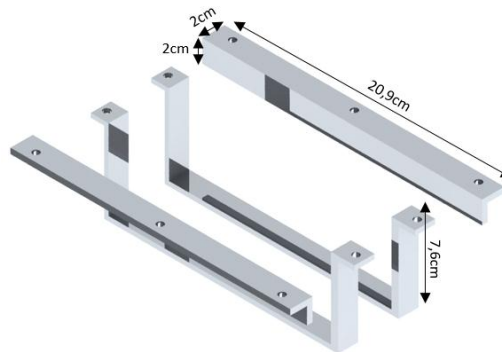
Figura 14. Mástil



Fuente: El Autor

- El soporte de las baterías, Figura 15, se trata de cuatro láminas de aluminio que dos son dobladas en forma de u y los otros dos son ángulos, las primeras sirven para sostener las baterías y los ángulos para que no se salgan por los lados, y estos van atornillados al soporte principal del prototipo en la parte inferior.

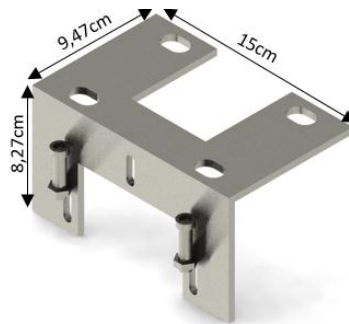
Figura 15. Soporte de baterías.



Fuente: El Autor.

- Como base del motor, Figura 16, se utiliza una lámina de acero y se dobla para obtener un perfil L que tendrá cuatro perforaciones para asegurar la lámina y el motor con la base, y tres ranuras que son para el motor, así logrando tensionar la cadena por medio de dos tornillos hexagonales laterales que empujará los tornillos del motor hacia arriba.

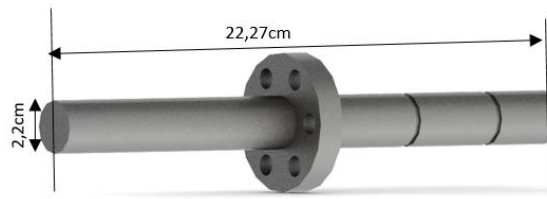
Figura 16. Base del motor.



Fuente: El Autor.

- Se utilizará un eje macizo de acero para cada llanta, así acoplado la manzana de freno de disco con la rueda dentada y que a su vez soportará el conjunto de la llanta con la transmisión del motor, y un par de ranuras para los anillos de retención que evitarán el movimiento axial.

Figura 17. Eje.



Fuente: El Autor.

- Las llantas, Figura 18, son las piezas que permiten el deslizamiento del vehículo. Están ubicada a los lados de la plataforma, son de bicicleta pequeña, las medidas son 12" x 2,125", deben estar infladas a una presión de 35 psi y no presenten protuberancias o pinchaduras.

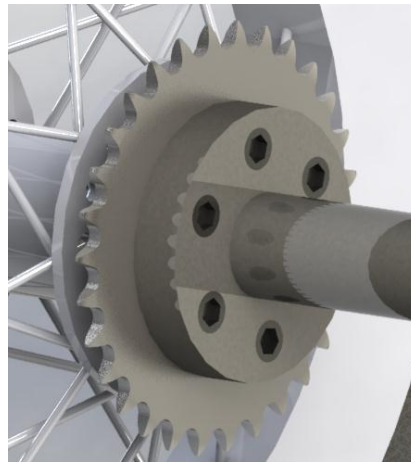
Figura 18. Llanta



Fuente: El Autor.

- Para asegurar que tenga un correcto funcionamiento de transmisión del motor hacia la llanta, el eje debe estar atornillado al disco dentado mayor y la parte externa de la manzana del freno de disco, Figura 19. Además, al otro extremo se pone una tuerca de seguridad para reforzar el ensamble del eje con el engrane y la manzana del freno de disco.

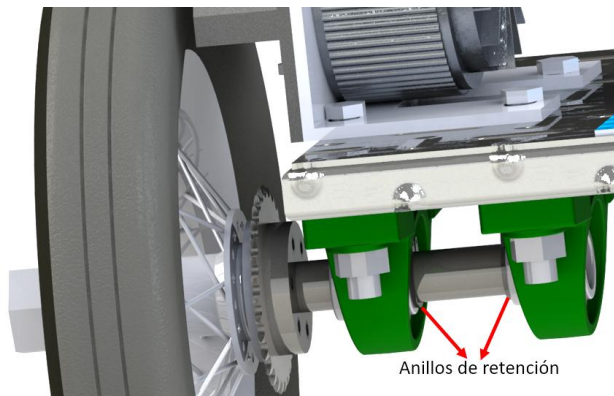
Figura 19. Ensamble llanta, plato y eje.



Fuente: El Auto.

- Se utiliza dos chumaceras, Figura 20, para cada eje que irá atornillado a la placa del motor con el soporte principal, así formando rigidez a la estructura. Para evitar movimientos axiales se ponen dos anillos de retención entre las chumaceras.

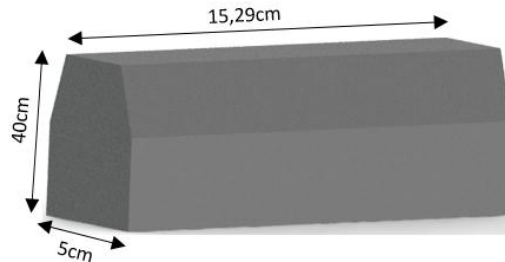
Figura 20. Chumaceras



Fuente: El Autor.

- La caja para los componentes electrónicos protege los implementos y está hecha de PLA, Figura 21.

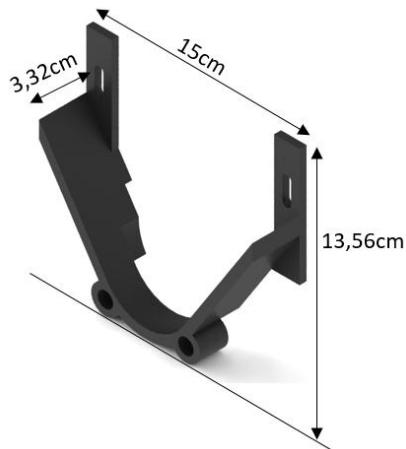
Figura 21. Caja de componentes electrónicos.



Fuente: El Autor.

- El guarda cadenas, Figura 22, va atornillado al motor y la base del motor, por lo que tiene dos ranuras, a medida que se elongue la cadena se va corriendo el motor y a su vez el guarda cadena, permitiendo la protección de la cadena está hecho de PLA.

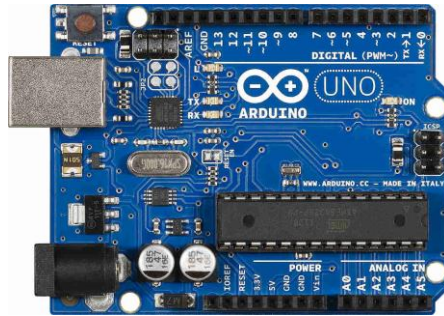
Figura 22. Guarda cadenas.



### 1.5.2. Componentes electrónicos

- La tarjeta de adquisición de datos, Figura 23, que se usa es el arduino uno que es el cerebro del sistema embebido en la siguiente tabla están sus características:

Figura 23. Arduino



Fuente: El Autor.

Modelo	UNO R3
Micro	ATmega328
Voltaje	5 V
Velocidad CPU	16 MHz
Digital E/S	14
Entradas Analógicas	6
PWM	6
USB	Regular
I2C	Si
Precio	\$69.900

- Las baterías, Figura 24, se utilizan para alimentar los motores y se encuentran ubicadas en la parte inferior de la base o plataforma conectadas en serie, a continuación sus características:

Figura 24. Batería.



Fuente: El Autor.

Batería	FL12120
Voltios	12 [V]
Capacidad	12 [AH]
Celdas	6
Peso	8.05 [Lb]
Tipo de terminal	F1/F2 – Faston Tab 187/250
Material exterior batería	Polipropileno
Medidas	150x95x100 [mm]

- El sensor, Figura 25, permite la lectura del ángulos de inclinación, ya que el vehículo debe saber en todo momento cuál es su ángulo de inclinación con respecto a su posición vertical y enviar los datos al microcontrolador en tiempo real para ejecutar la acción de control, en la siguiente tabla se encuentran sus características:

Figura 25. Sensor MPU.



Fuente: El Autor.

CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	MPU6050
ALIMENTACIÓN	$V_{dd}$	2,3 [V] – 3,4 [V]
RANGO	°/s	Giroscopio: ±250, ±500, ±1000 y ±2000°/sec Acelerómetro: ±2g, ±4g, ±8g y ±16g
OFFSET	$f_{3db}$	400 [kHz]
DIMENSIONES		2,1x1,6x0,3 [cm]
INTERFAZ		Digital / I2C
COSTO		\$30.000
DISPONIBLE		Nacional

- El controlador de motor, Figura 26, sirve para administrar las señales de entrada, analógicas o digitales para el rendimiento de un motor eléctrico (motor DC). Permite suministrar la alimentación necesaria para los motores, el accionamiento

automático para iniciar y detener los motores, el cambio del sentido de giro para los motores, regular la velocidad o limitación del par, tiene protección contra sobrecargas y posibles fallas que se puedan presentar. En la siguiente tabla se puede observar sus características:

Figura 26. Driver.



Fuente: El Autor.

	Sabertooth dual 12 [A] motor driver
Dimensiones	2.5"x2.95"x0.6"
Peso	2.2oz
Min/Max voltaje	6-30 V
Corriente continua	25 A
PWM	32 kHz
Precio	\$199.000

- Para el giro se utilizó un potenciómetro lineal con rango de 0 a 1023 que dependiendo del sentido de inclinación genera una diferencia de PWM para las llantas derecha e izquierda. El rango de trabajo seleccionado para el potenciómetro es de 542 a 554, el cual representa un valor de PWM en un rango de 0 a 255. En la siguiente tabla se encuentran las características específicas del potenciómetro línea.

Figura 27. Potenciómetro lineal.



Fuente: El Autor.



Características	
Resistencia	0 – 1 k
Vueltas	1
Potencia	2 W
Diámetro	202 cm
Altura	4 cm

- Interruptor de Encendido/Apagado

El switch de encendido se encarga de proporcionar el paso de corriente para que pueda encender el vehículo. Es de color verde 250 VAC y 15 A, Figura 3.

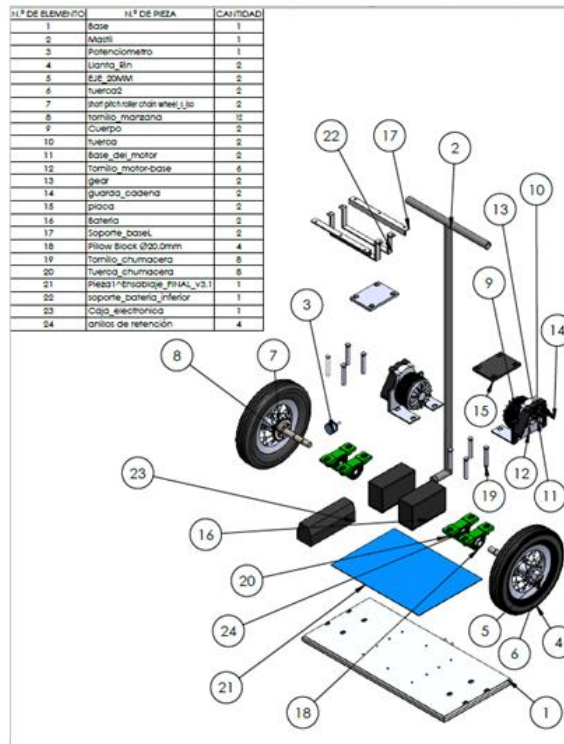
### 1.5.3. Ubicación de las componentes

Las dos llantas están ubicadas a los dos lados de la base y están unidas cada una a un eje; el cual acopla la manzana de freno de disco con el plato dentado de 36 dientes y los asegura con tuercas y tornillo. Cada eje está unido por debajo de la plataforma con dos chumaceras, las cuales están reforzadas por dos prisioneros y dos anillos de retención con el fin de evitar el movimiento axial. Las 4 chumaceras están fijadas a la base por medio de 8 tornillos hexagonales zinc de 3/8 x 2.1/2, estos tornillos aseguran; el soporte principal con la base, la placa y la base de los motores. La base de los motores integran el tensor de cadena, el guarda cadena y el motor los cuales se encuentran asegurados con tornillos. El motor tiene un piñón de 9 dientes y está unido por una cadena al plato de 36 dientes generando la relación de transmisión.

El manubrio se ubica adelante, esta barra tiene un dobléz en la parte de abajo en forma de L lo que permite ensamblarla a la plataforma y unirla al potenciómetro para el sentido de giro. A los lados del potenciómetro se encuentran las baterías fijadas por debajo por medio del soporte.

La caja de la electrónica integra el Arduino, el sensor MPU y el driver; de donde se distribuyen las conexiones a las baterías, los motores y el interruptor de Encendido/Apagado ubicado en el manubrio. Esta caja está ubicada en la mitad sobre la base principal.

Figura 28. Vista explosionada del vehículo.

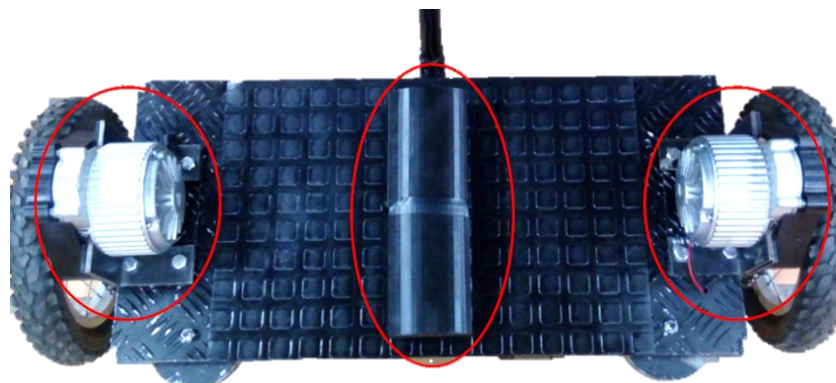


Fuente: El Autor.

#### 1.5.4. Conexiones eléctricas

La ubicación del Arduino, el sensor MPU y el driver es dentro de una caja negra de PLA fijada en el centro del soporte principal y los motores se encuentran asegurados a los dos lados de la plataforma. Como se observar en la Figura 29.

Figura 29. Ubicación del Arduino, el sensor MPU, el driver y los motores.



Fuente: Autor.

Las baterías se encuentran ubicadas por debajo de la plataforma y aseguradas por medio de un soporte y el potenciómetro está conectado a la barra o manubrio. Como se puede observar en la Figura 30.

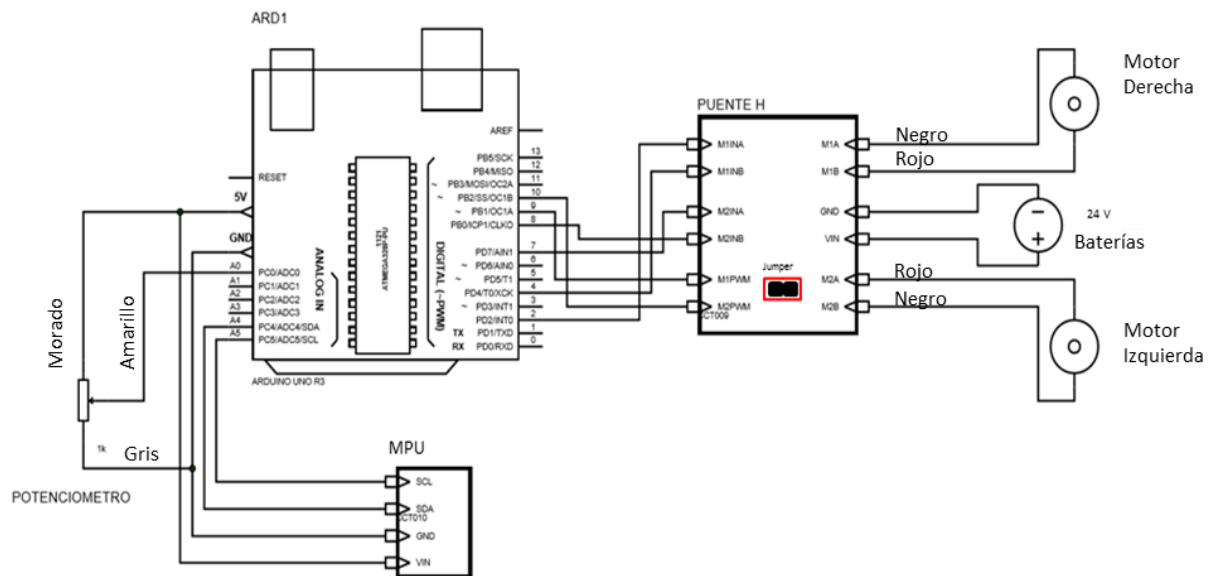
Figura 30. Ubicación las baterías y el potenciómetro.



Fuente: El Autor.

En siguiente circuito electrónico, Figura 31, se encuentra ubicado dentro de la caja negra observada en la Figura 29.

Figura 31. Circuito electrónico.



El anterior circuito integra un Arduino que es la tarjeta de adquisición de datos y es compatible con el driver, por lo tanto, el driver se puede ubicar encima de la tarjeta de Arduino.

El sensor MPU tiene cuatros pines los cuales se conectan de la siguiente manera:

MPU	Arduino
SCL	SCL-A5
SDA	SDA-A4
GND	GND
VIN	5V

El potenciómetro presenta 3 cables:

Potenciómetro	Arduino
Morado	5V
Amarillo	A0
Gris	GND

La conexión del driver con la alimentación y los motores es la siguiente:

Driver	
M1A	Motor derecha - Negro
M1B	Motor derecha - Rojo
GND	Baterías - Negativo
VIN	Baterías - Positivo
M2A	Motor Izquierda - Rojo
M2B	Motor Izquierda - Negro

El driver tiene un jumper de color rojo el cual nunca se debe desconectar porque interrumpe la alimentación del driver al arduino.

#### 1.5.5. Mantenimiento de los componentes mecánicos

Para realizar el mantenimiento de las piezas mecánicas se debe apagar el vehículo autobalanceado de dos ruedas.

- Si algún componente mecánico sufren un daño visible, como lo es una fractura, corte o deformación, estas deben ser cambiadas de inmediato por una pieza igual, con el fin de evitar accidentes.
- Si las llantas están bajas de aire se debe retirar el tapón de la válvula y colocar el inflador, la presión de las llantas es de 35 psi. Si la llanta presenta protuberancias o pinchaduras se debe retirar soltando los tornillos que aseguran al disco dentado mayor y la parte externa de la manzana del freno de disco, Figura 19. También se

debe retirar la tuerca de seguridad que refuerza el ensamble del eje con el engrane y la manzana del freno de disco.

- Si los ejes están desalineados es necesario revisar los prisioneros de las chumaceras y apretarlos. También se debe revisar el rodamiento de la chumacera, si ésta presenta daños se debe retirar soltando los tornillos hexagonales zinc de  $3/8 \times 2.1/2$ .
- Los piñones conducido y conductor deben estar alineados para asegurar una distribución uniforme de la carga en la cadena. Si esto no es posible se debe retirar los tornillos hexagonales zinc de  $3/8 \times 2.1/2$  y alinear.
- Si la cadena esta floja, produce ruido o presenta vibraciones se debe tensionar apretando los dos tornillos hexagonales laterales que empujará los tornillos del motor hacia arriba, para esto se debe retirar el guarda cadena. Si la tensión llega al tope y la cadena sigue presentando molestias se debe reemplaza por otra igual.

#### 1.5.6. Mantenimiento de los componentes electrónicos

Para el mantenimiento de los componentes electrónicos del vehículo se debe desconectar totalmente.

- Los componentes electrónicos son sensibles al agua y al polvo, por lo tanto, si llega a entrar en contacto con los factores mencionados, secarlos o limpiarlos inmediatamente de lo contrario se deben reemplazar por los mismo elementos.
- Si al encender el vehículo, la tarjeta del driver y el sensor MPU no ilumina el indicador led como se puede apreciar en la Figura 2. Se debe revisar la conexión de los componentes electrónicos que se observa en la Figura 31.
- Si después de comprobar las conexiones de los componentes eléctrico el problema persiste, se debe revisar la carga de las baterías y seguir los pasos establecidos en la sección 1.4.2. para cargarlas.
- Si la batería no carga se debe revisar con un multímetro si el cargador le está entregando 12V, si esto no sucede puede ser problema del cargador y es necesario buscar otro con las características de la batería.
- Si no es el cargador y el problema persiste en la batería es necesario retirarla y reemplazarla por una exactamente igual, para esto se debe soltar los cables de alimentación al driver y quitar los tornillos del soporte.
- Para comprobar que el sensor MPU este leyendo el ángulo de inclinación de la estructura, después de encender el vehículo. Se debe acciono el botón de lectura Figura 4 y mover suavemente hacia adelante y atrás el vehículo hasta observar la

activación de los motores en los dos sentidos, si esto no sucede se debe revisar los pines de alimentación, señal y tierra con el Arduino que es el encargado de procesar la lectura.

- Si sigue fallando la lectura del sensor es necesario revisar la configuración del software de la placa Arduino el cual pudo haber sido cambiado por error. Para ello se debe apagar el vehículo y desconectar el jumper del driver. Después se debe conectar la placa al ordenador, cargar de nuevo el código del vehículo autobalanceado de dos ruedas y visualizar la lectura del sensor y el potenciómetro. Si esto no sucede debe ser cambiado y cargar nuevamente el código del vehículo autobalanceado de dos ruedas.
- Si la lectura de los sensores se aprecia en pantalla se debe revisar el driver o los motores. Una manera de descartar los motores es conectando directamente las dos puntas a los bornes de la batería.
- Si definitivamente no son los motores el problema puede estar en el driver. El driver tiene indicadores LED que muestran el sentido de los motores, una manera de saber es revisando la configuración del código. De lo contrario se debe retirar, reemplazar y conectar como lo indica la Figura 31.