HOJA DE DATOS Y MANUAL DE USUARIO

SISTEMA DE PÉNDULO INVERTIDO DE TRAYECTORIA CIRCULAR

IDEAS
Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicaciones en Señales
Universidad Distrital Francisco José de Caldas



Favor leer el instructivo antes de usar el equipo

ÁNGELA PAOLA DUQUINO SÁNCHEZ

Contenido

1. Introducción **2**

2. Recomendaciones **2**

3. Sistema de Péndulo Invertido **3**

4. Diseño de la Planta **4**
4.1. Diseño carro . . . 5
4.1.1. Partes del carro . . . 5
4.1.2. Ensamble carrocería . . . 8
4.2. Diseño base del carro . . . 9
4.2.1. Partes de la base carro . . . 9
4.2.2. Ensamble de la base del carro . . . 10
4.3. Diseño sistema electrónico . . . 11

5. Puesta en Marcha **13**
5.1. Verificación previa funcionamiento del controlador . . . 13
5.2. Alimentación planta . . . 13
5.3. Acceso a las variables del sistema . . . 13
5.4. Implementación del controlador . . . 14
5.5. Encendido del sistema . . . 14
5.6. Puesta en marcha controlador . . . 14
5.7. Uso comunicación planta-PC . . . 14
5.8. Registro funcionamiento del sistema . . . 14
5.9. Rango de variación del ángulo . . . 14
5.10. Rango de variación de la posición del péndulo . . . 14

6. Problemas y Soluciones **15**
6.1. La planta no enciende . . . 16
6.2. El LED indicador de encendido no funciona correctamente . . . 16
6.3. El carro no gira . . . 17
6.4. Problemas en la comunicación planta-PC . . . 17
6.5. El LED de comunicación no funciona correctamente . . . 17
6.6. Problemas en el valor otorgado del ángulo . . . 17
6.7. Problemas en el valor otorgado de velocidad . . . 18
6.8. El LED indicador de corto se mantiene encendido . . . 18
6.9. El péndulo se mueve con dificultad o no se mueve . . . 18
6.10. El carro se mueve con dificultad o no se mueve . . . 18

1. Introducción

En este documento se describe de forma clara y concisa, cómo utilizar la planta del sistema de péndulo invertido de trayectoria circular, algunas recomendaciones, posibles problemas y soluciones para el usuario, las partes que lo componen y el procedimiento para ensamblar las piezas del mismo en caso de mantenimiento, y de igual forma se describen las características principales del sistema. Cabe aclarar que las dimensiones de las piezas mostradas en las figuras están en unidades de milímetros (mm).

2. Recomendaciones



 Evite descargas eléctricas, incendios y explosiones. No utilice la planta durante una tormenta de rayos. Las tormentas de rayos pueden provocar mal funcionamiento de la planta y aumentar el riesgo de recibir una descarga eléctrica.

 No utilice cables de alimentación o conectores dañados ni tomacorrientes sueltos.

 Apague la planta cuando no la esté utilizando o en dado caso de observar un comportamiento inadecuado en algunas de sus partes.

 No exponga la planta a condiciones desfavorables como la humedad, condensaciones, lluvia, filtración de líquidos, polvo, brisa marina, etc.

 Permita que sólo personal calificado realice mantenimiento a la planta. Es posible que se produzcan daños si permite que personal no calificado realice mantenimiento a la misma.

 Utilice la planta de acuerdo a las instrucciones del manual de usuario, no la utilice para ningún fin que no sea aquel para la que se diseñó.

 Cuando la planta llegue al término de su vida útil, todos sus materiales se pueden recuperar como materiales y energía.

 Las partes eléctricas y electrónicas, pueden contener materiales pesados o substancias tóxicas, por lo cual estas se deben llevar a sus respectivos sitios de recolección al término de su vida útil, no deben ser desechadas junto con desechos domésticos, debido al impacto que pueden generar en el medio ambiente o la salud humana.

- No toque el cable de alimentación con las manos mojadas ni tire del cable para desconectar la planta.
- No permita que la planta se caiga ni se someta a impactos fuertes, por tanto, no deje la planta en superficies inclinadas y al desplazarla sujétela bien.
- No guarde la planta cerca de campos electromagnéticos.
- Cuando limpie la planta no utilice sustancias químicas ni detergentes, utilice un paño suave, seco y limpio.

Tabla 1: Características del sistema.

Producto	Planta: Sistema de péndulo invertido de trayectoria circular
Proveedor	Grupo Investigación IDEAS. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
Modelo	1.0
Proveedor Fuentes de Voltaje	Mean Well
Salida	12 V, 4.2 A
Temperatura	-40°C a 85°C
Comunicación Planta-PC Driver	UART, Puerto mini USB FTDI Chip www.ftdichip.com/Documents/InstallGuides.htm
Variables Entrada	Voltaje Motor
Rango Voltaje máximo de entrada	-12 V a 12V
Variables Salida	 Ángulo péndulo Velocidad carro
Rango Voltaje Ángulo	-90° a 90° $\longrightarrow$ -9 V a 9 V
Rango Voltaje Velocidad	-10 rad/s a 10 rad/s $\longrightarrow$ -10 V a 10 V

3. Sistema de Péndulo Invertido

El sistema de péndulo invertido se compone básicamente de un brazo articulado en un carro que puede moverse de forma horizontal. El brazo se mueve libremente alrededor de la articulación en el carro y el objetivo del control es llevar el brazo a la posición de equilibrio moviendo el carro en el plano horizontal. Para poder implementar estrategias de control sobre dicho péndulo, es necesario contar con un conjunto de sensores y actuadores que permitan operarlo con precisión; a partir de las mediciones tomadas, el controlador envía una señal al actuador para que a su vez este transmita una fuerza al carro para mantener el péndulo en equilibrio. El sistema de péndulo invertido se muestra en la Fig. 1.

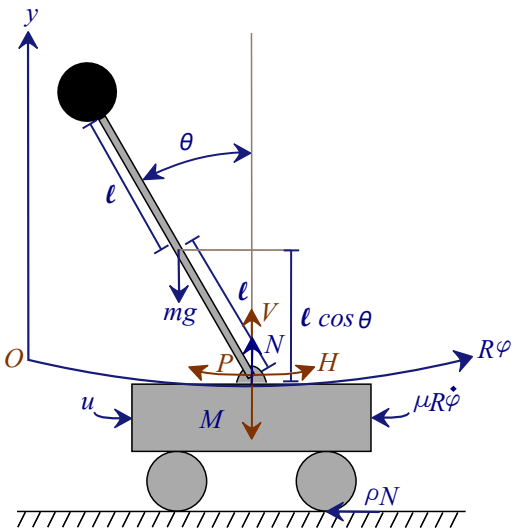


Figura 1: Sistema de péndulo invertido de trayectoria circular.

4. Diseño de la Planta

La implementación de la planta consta dos partes, la primera corresponde al diseño mecánico del sistema, el cual consta del carro con el péndulo invertido y de la base sobre la cual girará el mismo, la otra parte corresponde al diseño electrónico. En la Fig. 2 se puede observar el sistema completo, compuesto por:

1. Carro Sistema péndulo invertido.
2. Base del Carro.

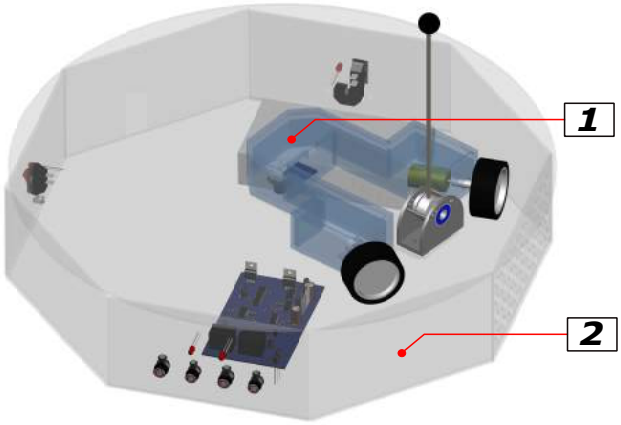


Figura 2: Sistema de péndulo invertido de trayectoria circular.

En la Tabla 2 se pueden observar los accesorios utilizados para el ensamble de las piezas del sistema.

Tabla 2: Accesorios para el ensamble de las piezas.

Nombre	Accesorio	Cantidad
Tornillo 1/8″ Longitud: 28 mm	 TRL18	8
Tornillo 1/8″ Longitud: 18 mm	 TRC18	28
Tuerca 1/8″	 TU18	40
Arandela	 AR	30
Prisionero Bristol 1/8‘‘ Longitud: 6 mm	 PB18	4
Rodamiento 1/8″ Diámetro exterior: 7 mm	 RO18	1
Rodamiento 3/8″ Diámetro exterior: 2,2 mm	 RO38	2

4.1. Diseño carro

El Carro es el encargado de generar el movimiento necesario para mover el péndulo sobre él y mediante el controlador mantenerlo en equilibrio. En la Fig. 3 se puede observar el esquema general del carro con cada una de sus partes.

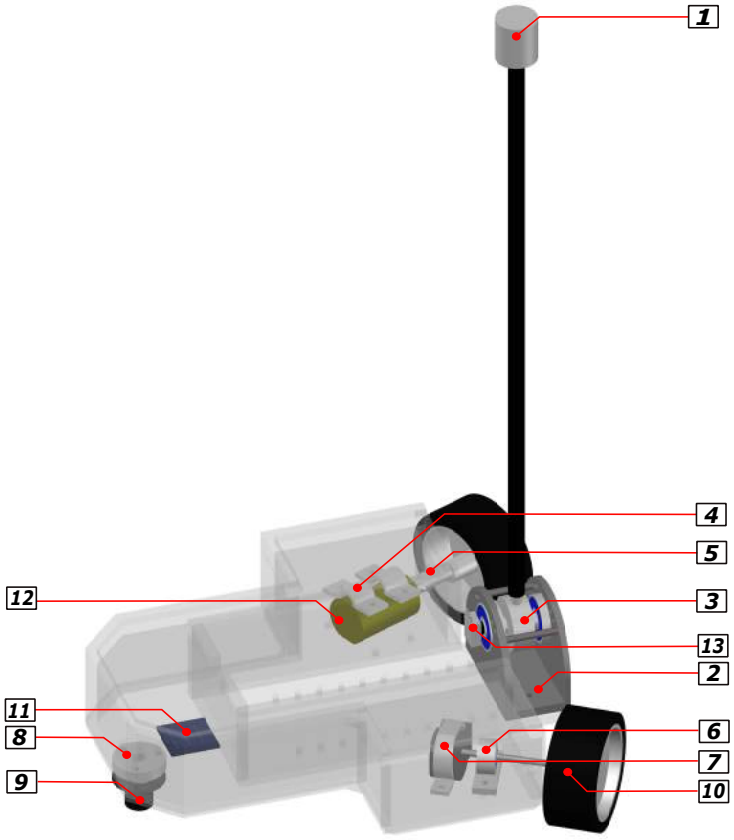


Figura 3: Diseño del carro.

4.1.1. Partes del carro

1. **Péndulo**: Varilla vertical que realiza el respectivo movimiento angular y la cual se desea mantener en equilibrio sobre su eje vertical. En un extremo tiene una terminación en tornillo para poder ser atornillada en la pieza que acopla el péndulo con el potenciómetro, tiene una longitud mínima de 32,5 *cm* y máxima de 80 *cm*.Ver Fig. 4.

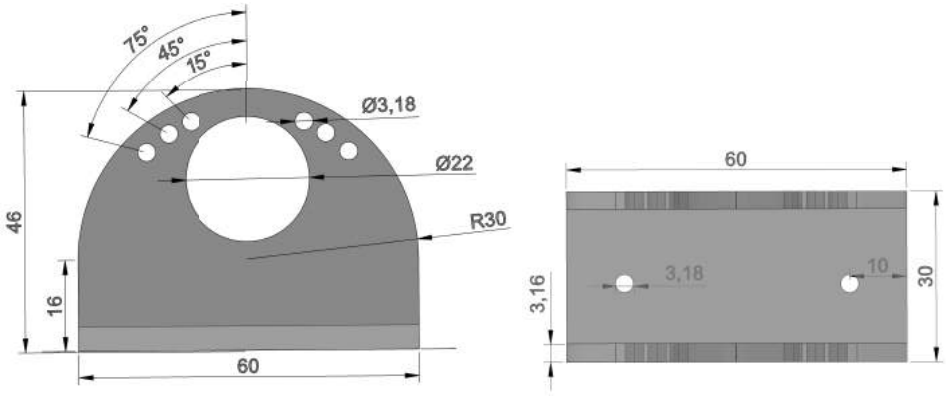


Figura 4: Péndulo.

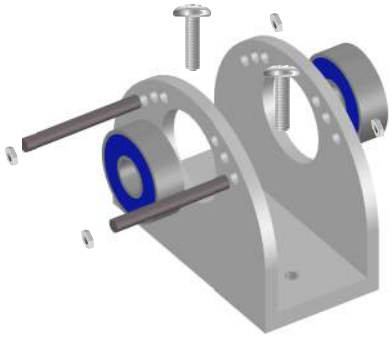
2. **Pieza mecánica para el movimiento del péndulo**: Permite el movimiento libre del péndulo y adicionalmente limita de tres formas posibles el rango de movimiento del mismo. Ver Fig. 5.

3. **Acople péndulo-potenciómetro**: Acopla el péndulo con el potenciómetro para que de esta manera el potenciómetro se mueva conforme se mueve el péndulo, y así realizar una lectura adecuada del ángulo o la posición angular en la que se encuentra el péndulo. Ver Fig. 6.

4. **Acople motor**: Mantiene el motor ajustado y estable en el carro. Ver Fig. 7.

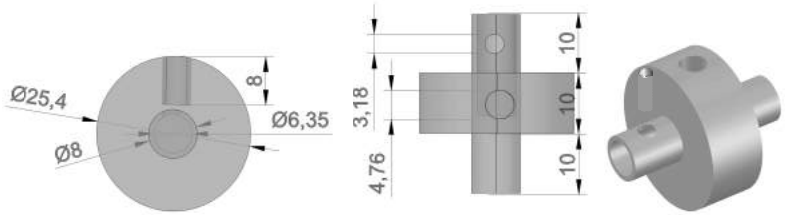


(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior.



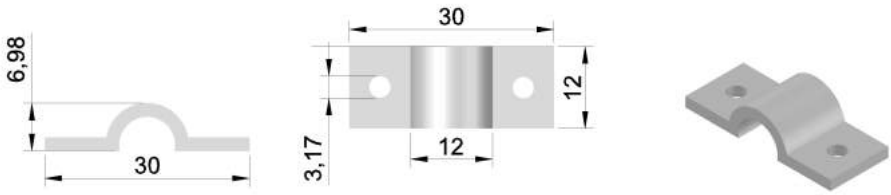
(c) Vista General.

Figura 5: Pieza mecánica para el movimiento del péndulo.



(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

Figura 6: Acople péndulo-potenciómetro.



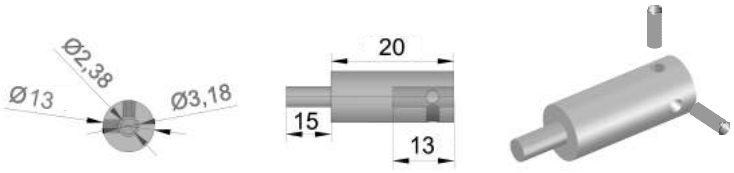
(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

Figura 7: Acople motor.

5. **Acople motor-llanta**: Transmite directamente el movimiento del motor a la llanta, para llevar a cabo el movimiento del carro. Ver Fig. 8.

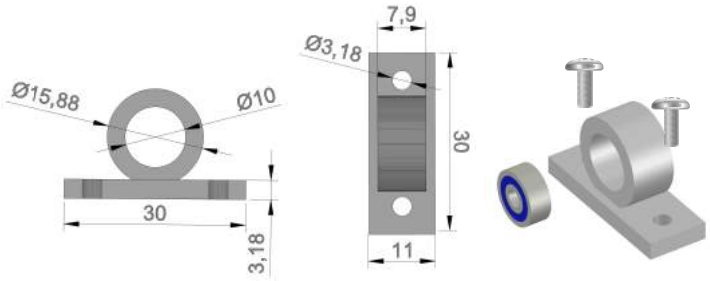
6. **Chumacera llanta libre**: Permite el movimiento libre de la otra llanta del carro y de igual forma la mantiene estable. Ver Fig. 9.

7. **Acople encoder**: Sostiene el encoder para mantenerlo estable sobre el carro. Ver Fig. 10.



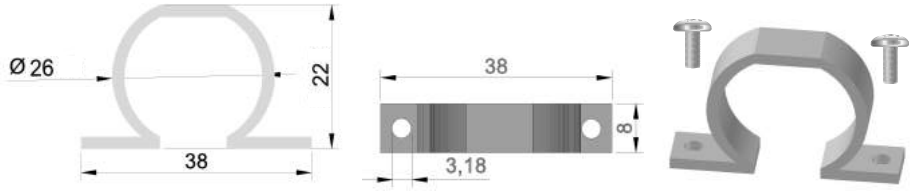
(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

Figura 8: Acople motor-llanta.



(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

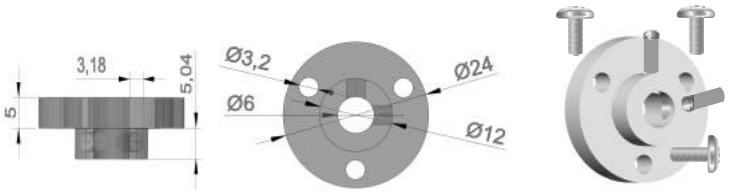
Figura 9: Chumacera llanta libre.



(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

Figura 10: Acople Eencoder.

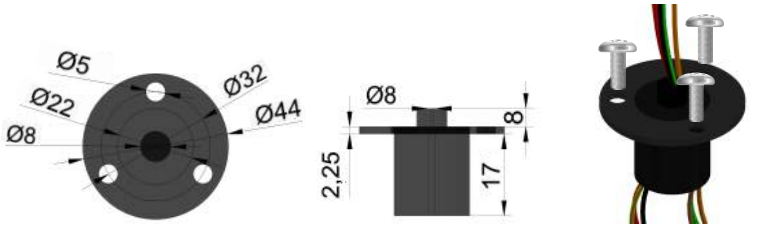
8. **Acople anillo colector-carro**: Acopla el carro con el anillo colector que es el que une el carro con su base y permite que el carro gire más de 360° sin que los cables sufran daños. Ver Fig. 11.



(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

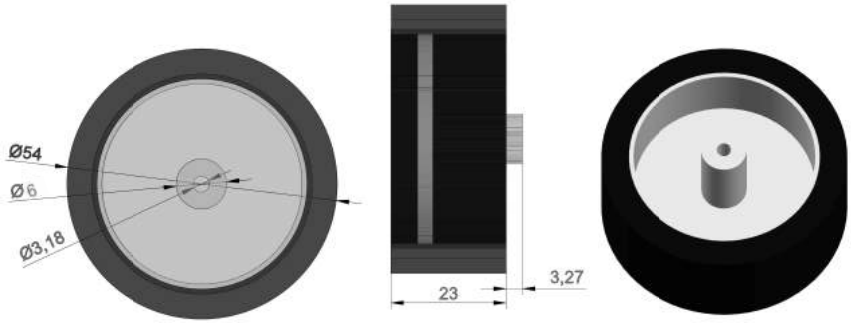
Figura 11: Acople anillo colector-carro.

9. **Anillo Colector (Slip Ring)**: Permite que el carro pueda girar libremente sin enredar los cables que conectan el carro con su base. Ver Fig. 12.
10. **Llantas**: Permiten el movimiento del carro. Ver Fig. 13.
11. **Mini baquela**: Para la conexión del anillo colector con el potenciómetro, el motor y el encoder.
12. **Motor**.
13. **Potenciómetro**.



(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

Figura 12: Anillo Colector (Slip Ring).



(a) Vista Frontal. (b) Vista Superior. (c) Vista General.

Figura 13: LLanta.

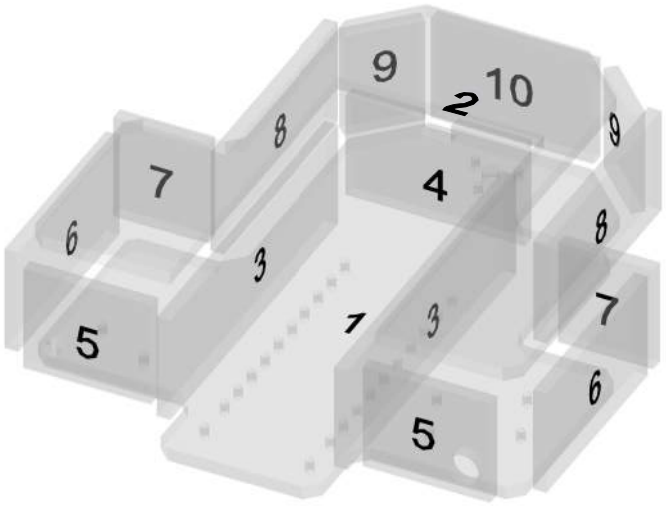
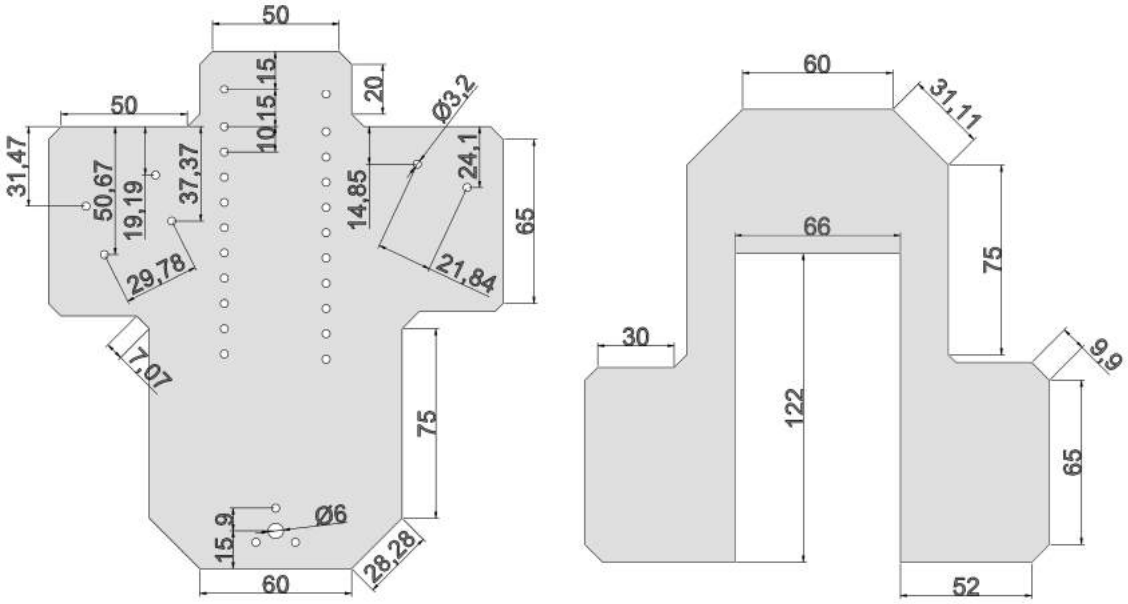


Figura 14: Ensamble carrocería.

4.1.2. Ensamble carrocería

En la Fig. 14, se muestran cada una de las caras que componen la carrocería y de igual forma se puede observar como ensamblar cada una de ellas:

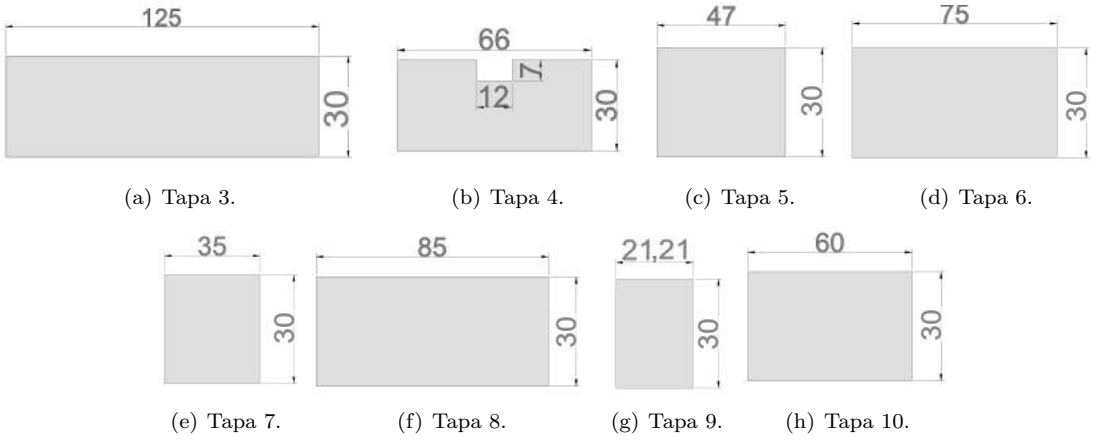
1. Tapa Inferior. (Fig. 15 (a)).
2. Tapa Superior. (Fig. 15 (b)).
3. a 10. Paredes. (Fig. 16).



(a) Tapa Inferior.

(b) Tapa Superior.

Figura 15: Tapas carro.



(a) Tapa 3. (b) Tapa 4. (c) Tapa 5. (d) Tapa 6.

(e) Tapa 7. (f) Tapa 8. (g) Tapa 9. (h) Tapa 10.

Figura 16: Paredes del carro.

4.2. Diseño base del carro

Sobre la Base, el carro ejecutará sus trayectorias circulares (derecha-izquierda) y adicionalmente dentro de ella se ensambla el circuito electrónico, la alimentación general del sistema, conectores, indicadores, entre otros. En la Fig. 17 se puede observar el esquema general de la base carro con cada una de sus partes.

4.2.1. Partes de la base carro

1. **Alimentación planta**: Conexión planta con tomacorriente.
2. **Interruptor encendido/apagado de la planta**: Encendido hacia arriba.
3. **LED indicador encendido planta**: Cuando se observa que ambos LED's están encendidos (LED azul y LED verde), indica que el sistema se está alimentando correctamente, sin embargo, si sólo se enciende el LED azul quiere decir que el sistema solo se está alimentando con VCC y si se enciende únicamente el LED verde sólo se está alimentando con -VCC.

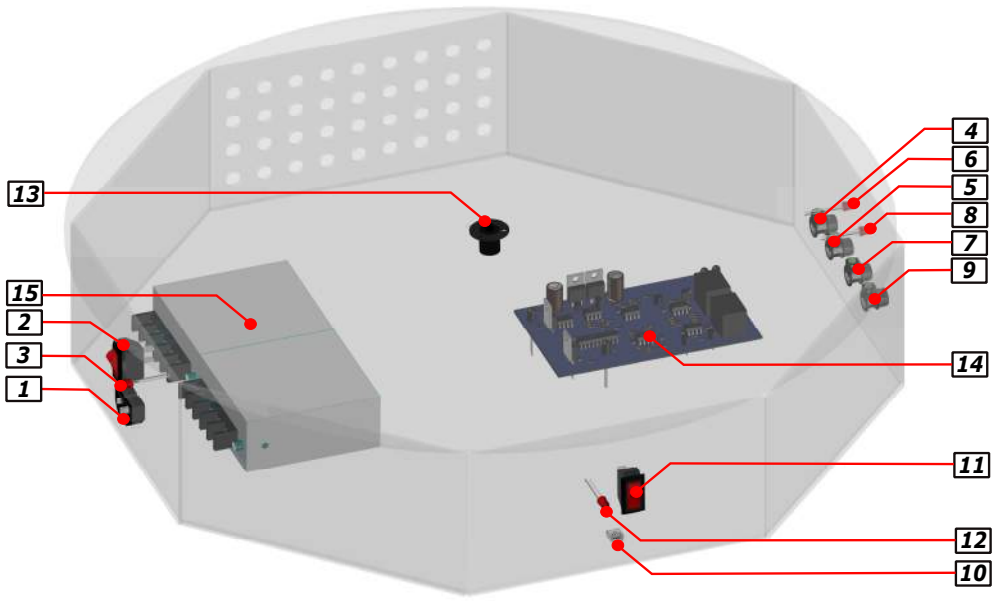


Figura 17: Diseño de la base del carro.

4. **Conector Tierra**: Para acoplar las tierras de la planta con la del controlador.
5. **Conector salida ángulo**: Valor analógico del ángulo en un rango de voltaje de -9 V a 9 V, para un rango en el ángulo de -90^o a 90^o.
6. **LED indicador corto salida ángulo-fuente**: Cuando el LED (azul claro) está encendido, indica que se está haciendo corto con VCC o -VCC.
7. **Conector salida velocidad**: Valor analógico de la velocidad angular del carro en un rango de voltaje de -10 V a 10 V, para un rango de velocidad de -10 rad/s a 10 rad/s.
8. **LED indicador corto salida velocidad-fuente**: Cuando el LED (azul oscuro) está encendido, indica que se está haciendo corto con VCC o -VCC.
9. **Conector entrada voltaje motor**: Voltaje otorgado por el controlador al motor en un rango de voltaje de -12 V a 12 V.
10. **Conector comunicación planta-PC**: Para conectar un cable mini USB y de esta manera establecer comunicación serial entre la planta y el computador.
11. **Interruptor encendido/apagado comunicación**: Encendido hacia arriba.
12. **LED indicador encendido comunicación**: Cuando el LED (rojo) está encendido indica que la comunicación se está ejecutando.
13. **Anillo Colector (Slip Ring)**: Evita que se enreden los cables entre la base del carro y el carro.
14. **Circuito Electrónico**.
15. **Fuentes de alimentación para el sistema**.

4.2.2. Ensamble de la base del carro

En la Fig. 18, se muestran cada una de las caras que componen la base y de igual forma se puede observar como ensamblar cada cara.

11. Tapa Inferior. (Fig. 19 (a)).
12. Tapa Superior. (Fig. 19 (b)).
13. a 17. Paredes. (Fig. 20).

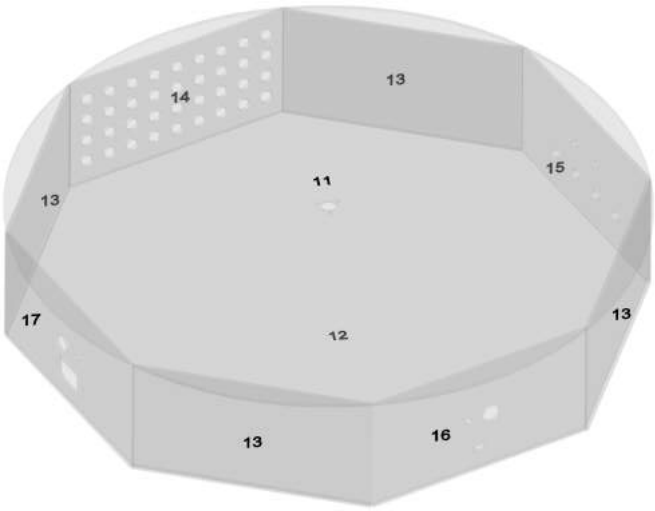
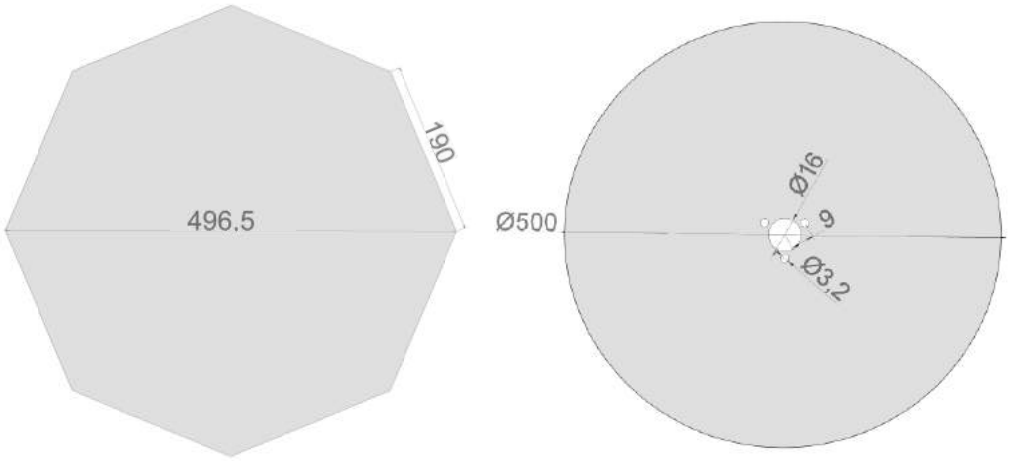


Figura 18: Ensamble de la base del carro.



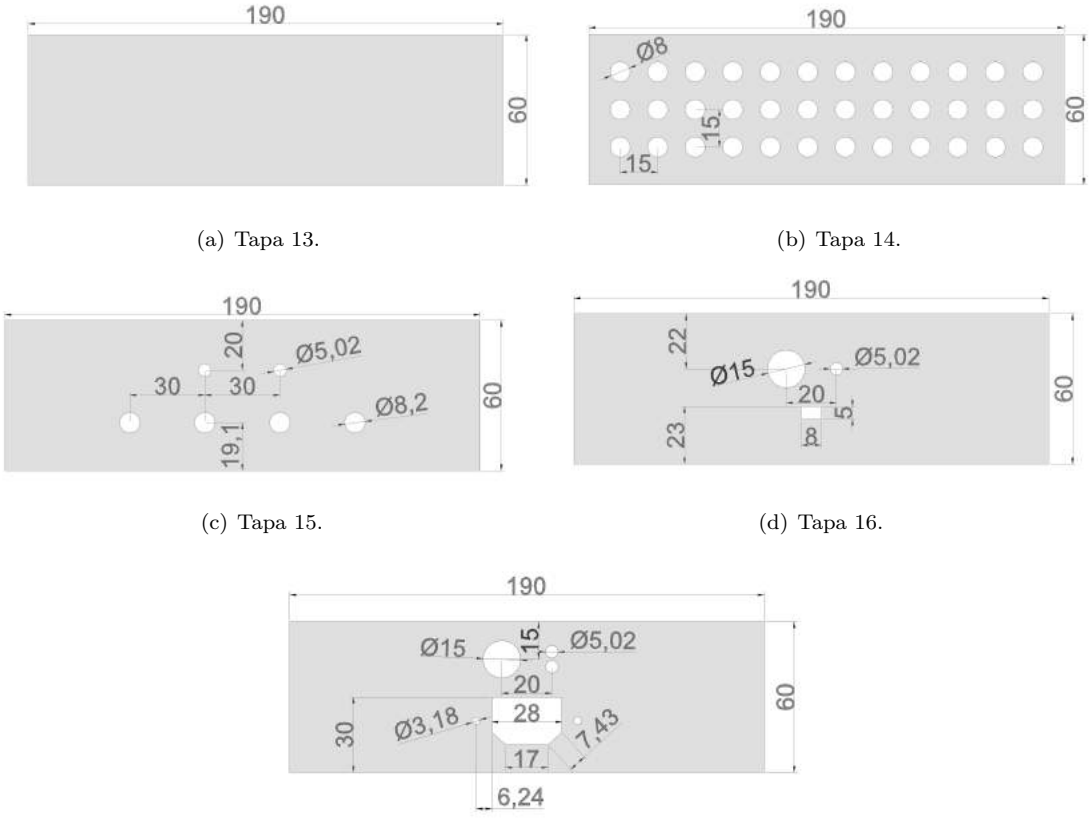
(a) Tapa Inferior. (b) Tapa Superior.

Figura 19: Tapas de la base.

4.3. Diseño sistema electrónico

La parte electrónica del sistema es la encargada de realizar la lectura de las variables del sistema por medio de sus respectivos sensores y actuador, proveer la alimentación necesaria a los componentes del sistema, proteger al sistema de cortos y/o daños en sus componentes debido a limitantes en los mismos, otorgar las salidas del sistema de forma analógica, establecer comunicación entre el sistema y un computador y dar señales de alerta o indicadores mediante LED's.

En la Fig. 21 se pueden observar las PCB's con cada uno de los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema, y en la Tabla 3 se muestran cada uno de dichos componentes con su correspondiente función y referencia en el mercado.



(a) Tapa 13.

(b) Tapa 14.

(c) Tapa 15.

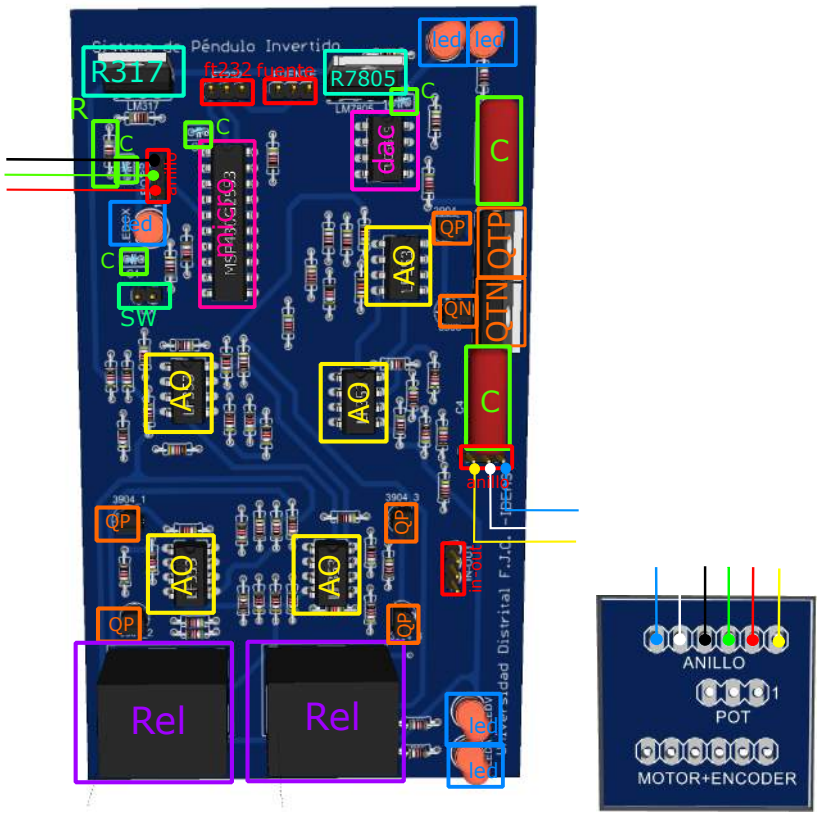
(d) Tapa 16.

(e) Tapa 17.

Figura 20: Paredes de la base.

Tabla 3: Componentes electrónicos.

Elementos	Objetivo	Cantidad	Referencia
Microcontrolador	Análisis de las variables del sistema	1	MSP430G2553
Potenciómetro lineal	Sensor de captura ángulo inclinación	1	
Motor	Movimiento carro	1	
Encoder	Sensor velocidad del carro	1	Pittman E22A
DAC	Etapa potencia motor	1	TLC5615
Tarjeta FT232	Comunicación con el PC	1	FT232
Transistores encapsulado TO-220	Etapa potencia motor	2	
Transistor NPN		1	TIP41
Transistor PNP		1	TIP42
Transistores encapsulado TO-92	Varios	6	
Transistor NPN		5	2N3904
Transistor PNP		1	2N3906
Amplificadores Operacionales	Atenuador voltaje motor	5	LF353
	Amplificador voltaje motor		
	Seguidor voltaje etapa potencia motor		
	Amplificador ángulo		
	Amplificador velocidad		
	Comparador para protección ángulo	1	
	Comparador para protección velocidad	1	
	Seguidor voltaje para canal del encoder		
Regulador de voltaje	Alimentación: 3.6 V del microcontrolador	1	LM317
Regulador de voltaje	Alimentación: 5V del DAC	1	LM7805
Resistencias	Varios	55	
Switch	Activar/desactivar comunicación micro-PC	2	
	Encendido/apagado de la planta		
Relés	Protección salidas sistema	2	JQC-3F
Condensadores	Varios	6	
LED's	Indicadores	5	



(a) Circuito eléctrico del sistema.

(b) Circuito adicional para ensamble del anillo colector con el motor, encoder y potenciómetro.

Figura 21: PCB's.

5. Puesta en Marcha

Para implementar un controlador en el sistema de péndulo invertido se ha de tener en cuenta:

5.1. Verificación previa funcionamiento del controlador

Antes de poner en marcha el controlador en la planta, es necesario verificar previamente las conexiones realizadas en el controlador, para evitar cortos y daños tanto en la planta como en el mismo.

5.2. Alimentación planta

Para suministrar el voltaje y corriente requerido para el funcionamiento de la planta, se debe en primer lugar conectar el cable de alimentación del conector correspondiente a la parte 1 de la Fig. 17 al tomacorriente.

5.3. Acceso a las variables del sistema

Por medio de los conectores de entrada/salida, se puede acceder a la única entrada del sistema que corresponde al voltaje en el motor y a las dos salidas que corresponden al ángulo o posición angular del péndulo y la velocidad angular del carro; teniendo en cuenta que el conector de entrada corresponde a la parte número 4 de la Fig. 17, el conector de salida del ángulo a la número 5 y el conector de salida de velocidad a la número 7, de la misma figura.

5.4. Implementación del controlador

Teniendo en cuenta el acceso a las variables del sistema, se procede a conectar estas variables en el controlador previamente diseñado e implementado.

5.5. Encendido del sistema

Antes de encender la planta se recomienda verificar que las conexiones entre en controlador y la planta estén correctas, para evitar cortos o conexiones que puedan afectar el buen funcionamiento de la misma. Con la revisión previa, se enciende la planta por medio del interruptor correspondiente a la parte número 2 de la Fig. 17, teniendo en cuenta que los LED's correspondientes a la parte número 3 de la misma figura se enciendan. Se ha de tener en cuenta que el encendido de alguno de los LED's correspondientes a las partes 6 y 8 de dicha figura., implica un corto de alguna de las salidas con la fuente, por tanto, si se observa algún comportamiento extraño en la planta se recomienda apagarla y verificar nuevamente las conexiones realizadas.

5.6. Puesta en marcha controlador

Encendida la planta, el controlador iniciará inmediatamente su funcionamiento, en esta etapa es importante observar con detalle el comportamiento del sistema debido a que el controlador puede presentar alguna falla.

5.7. Uso comunicación planta-PC

Si se desea implementar un controlador haciendo uso de un computador, se debe en primer lugar conectar un cable mini USB al conector correspondiente a la parte 10 de la Fig. 17 y por consiguiente al computador. A continuación, se debe encender el interruptor correspondiente a la parte número 11 de la misma figura e inmediatamente se encenderá el LED correspondiente a la parte número 12 de la misma. Al establecer la comunicación entre la planta y el PC, de igual forma que en el caso anterior, se debe observar con detalle el comportamiento del sistema debido a que el controlador puede presentar alguna falla. En cuanto al driver requerido para la correcta comunicación del PC, dependiendo del sistema operativo, este lo instala directamente al reconocer el dispositivo, o se puede descargar directamente de la página: ***www.ftdichip.com/Documents/InstallGuides.htm***

5.8. Registro funcionamiento del sistema

Si se observa que el controlador está cumpliendo con la función para la que fue diseñado: estabilizar el péndulo invertido, se procede a la toma de datos y/o registros según se deseen o se requieran.

5.9. Rango de variación del ángulo

En el diseño de la parte mecánica del carro, se mostró que este tiene limitantes en el rango de la posición angular del péndulo, esto con el objeto de evitar daños en las piezas mecánicas del mismo. Esta variación se realiza sobre la pieza que se muestra en la Fig. 5. Existen tres posibilidades de limitar el ángulo:

- Rango de 30^o: $[-15^o, 15^o]$
- Rango de 90^o: $[-45^o, 45^o]$
- Rango de 150^o: $[-75^o, 75^o]$

Por tanto si se desea variar este rango, es suficiente con cambiar de posición los tornillos ubicados a ambos lados de la pieza que se muestra en la Fig. 5 por medio de las tuercas, teniendo en cuenta que ambos tornillos deben encontrarse en la misma posición en magnitud, pero una opuesta de la otra.

5.10. Rango de variación de la posición del péndulo

En el diseño de la parte mecánica del carro, se mostró que se puede variar la posición del péndulo invertido sobre el carro. Esta variación se realiza sobre la pieza que se muestra en la Fig. 5 a través de la tapa inferior del carro que se muestra en la Fig. 15 (b). Las posiciones que este puede tener corresponden a:

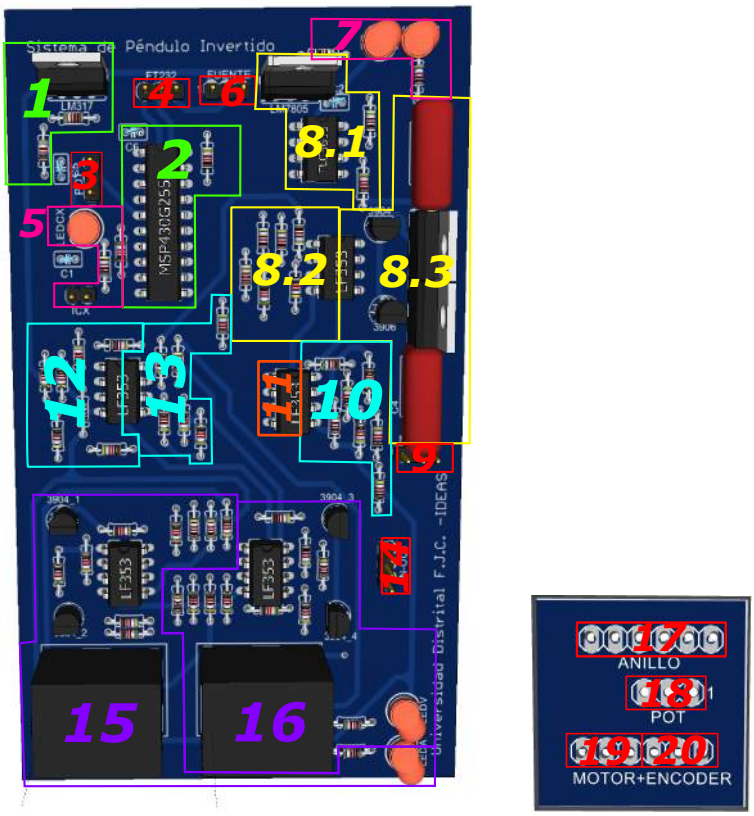
- Posición 0: Posición inicial ubicada a 175 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 1: Ubicada a 160 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 2: Ubicada a 150 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 3: Ubicada a 140 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 4: Ubicada a 130 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 5: Ubicada a 120 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 6: Ubicada a 110 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 7: Ubicada a 100 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 8: Ubicada a 90 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 9: Ubicada a 80 mm del eje de rotación del carro.
- Posición 10: Ubicada a 70 mm del eje de rotación del carro.

Por tanto para realizar esta variación, es suficiente con cambiar de posición la pieza que se muestra en la Fig. 5, sobre la tapa inferior del carro por medio de tornillos, teniendo en cuenta que la posición de los tornillos este ubicada sobre el mismo eje.

6. Problemas y Soluciones

En caso de presentarse algún problema en la planta, es importante tener en cuenta las secciones anteriores donde se muestra cada una de las partes y piezas del sistema así como su funcionalidad y ubicación. Adicionalmente, se ha de tener en cuenta la Fig. 22, donde se muestra de forma más clara y detallada, las partes que componen el sistema electrónico de la planta:

1. Alimentación microcontrolador.
2. Microcontrolador.
3. Conexión pines potenciómetro al anillo colector
4. Conexión FT232.
5. Indicador comunicación Microcontrolador-PC.
6. Conexión fuente.
7. Indicador encendido.
8. Etapa motor:
   - 8.1. Etapa DAC.
   - 8.2. Etapa amplificación voltaje.
   - 8.3. Etapa potencia motor.
9. Conexión motor y canal del encoder al anillo colector.
10. Atenuador voltaje entrada motor.
11. Seguidor canal encoder.
12. Amplificador ángulo.
13. Amplificador velocidad.
14. Conexión pines entrada/salida.
15. Protección ángulo.



(a) (b)

Figura 22: Partes de los circuitos electrónicos.

16. Protección velocidad.
17. Conexión anillo colector.
18. Conexión potenciómetro.
19. Conexión motor.
20. Conexión encoder.

Por tanto, los posibles problemas que se pueden presentar en la misma pueden ser:

6.1. La planta no enciende

Puede deberse a:

- Mal estado del cable de poder.
- Mal estado tomacorriente.
- Fallas en el conector o interruptor de alimentación.
- Falla conexión de alguna de las fuentes de voltaje.
- Problema más delicado: Fallas en las Fuentes de Voltaje.

6.2. El LED indicador de encendido no funciona correctamente

Puede deberse a:

- Falla conexión de alguna de las fuentes de voltaje.
- Fallas en el LED.
- Problema más delicado: Fallas en las Fuentes de Voltaje.

6.3. El carro no gira

Puede deberse a:

- Falla etapa del motor: Puede deberse a fallas en la etapa del DAC, en la etapa de amplificación o a la etapa de potencia del motor.
- Falla acondicionamiento del voltaje de entrada del motor.
- Falla en la comunicación Planta-PC, en caso de usar la comunicación.
- Desacople llanta y motor.
- Desacople llanta libre.
- Desacople anillo colector.
- Fallas conexión anillo colector, motor o pin de entrada.
- Problema más delicado: Fallas en el motor, microcontrolador o anillo colector.

6.4. Problemas en la comunicación planta-PC

Puede deberse a:

- Fallas en el cable mini USB de comunicación.
- Fallas en el interruptor de comunicación.
- Fallas conexión FT232.
- Fallas en la alimentación del microcontrolador.
- Problema más delicado: Fallas en la tarjeta FT232 o microcontrolador.

6.5. El LED de comunicación no funciona correctamente

Puede deberse a:

- Fallas alimentación microcontrolador.
- Fallas en el interruptor de comunicación.
- Fallas en el LED.
- Problema más delicado: Fallas en el microcontrolador.

6.6. Problemas en el valor otorgado del ángulo

Puede deberse a:

- Fallas en la amplificación del valor del ángulo.
- Fallas en la alimentación del microcontrolador.
- Fallas en el acople entre potenciómetro y péndulo.
- Fallas conexión anillo colector, potenciómetro o pin de salida del ángulo.
- Fallas en la protección del ángulo.
- Problema más delicado: Fallas en el potenciómetro, anillo colector o microcontrolador.

6.7. Problemas en el valor otorgado de velocidad

Puede deberse a:

- Fallas en la amplificación del valor de la velocidad.
- Fallas en la alimentación del microcontrolador.
- Fallas en el acople entre eje llanta y encoder.
- Fallas en la conexión del anillo colector, encoder o pin de salida de velocidad.
- Fallas en la protección de velocidad.
- Problema más delicado: Fallas en el encoder o microcontrolador.

6.8. El LED indicador de corto se mantiene encendido

Puede deberse a:

- Falla etapa de protección de velocidad o ángulo, según el caso: Puede deberse a fallas en los comparadores, activación/desactivación de los relés o a los mismos relés.

6.9. El péndulo se mueve con dificultad o no se mueve

Puede deberse a:

- Falta de lubricación rodamientos.
- Desgaste rodamientos.
- Desacople piezas mecánicas.

6.10. El carro se mueve con dificultad o no se mueve

Puede deberse a:

- Obstáculos en el recorrido.
- Desacople piezas mecánicas.
- Problema más delicado: Falla en el motor o en el anillo colector.



NOTA:

Para más información puede consultar el libro de Tesis: Ángela Paola Duquino Sánchez. «Diseño e Implementación de un Sistema de Péndulo Invertido para la enseñanza de conceptos de control en ingeniería, a través del método de Variables de Estado». Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Proyecto Curricular de Ingeniería Electrónica. Bogotá, 2015.