

Informe técnico del diseño del sistema de control

Versión 2

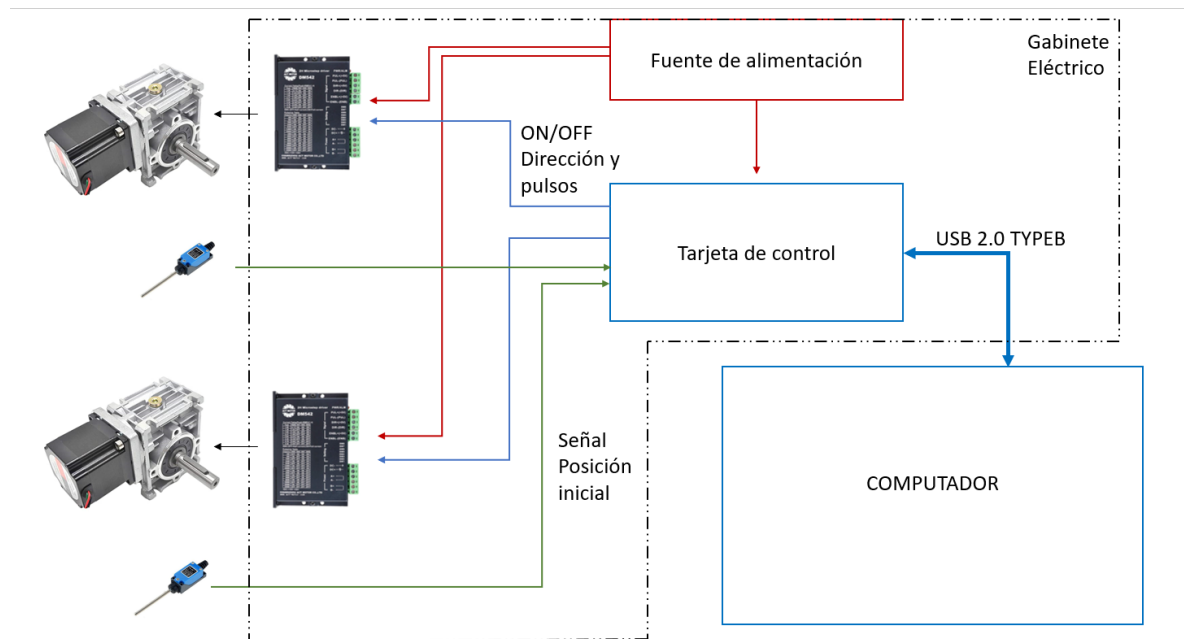
Elaboró: Oscar Quiroz

Actividades:

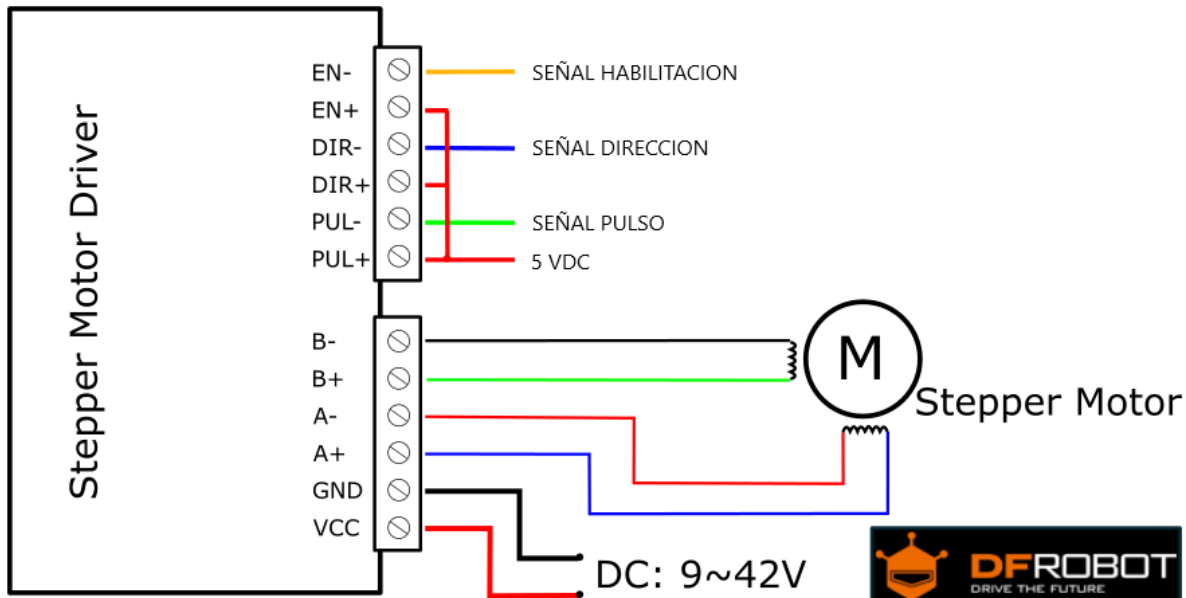
- Diseño conceptual del sistema de control.
- Elección de actuadores y sensores.
- Diseño de circuito electrónico, esquemático y layout.
- Rutina de control, software en escritorio y firmware en máquina.

Diseño conceptual del sistema de control.

Se requiere controlar la posición de un sistema gimbal con precisión mediante el uso de motores paso-paso, uno por cada eje de rotación. Cada motor tendrá su propio driver que es alimentado a 24VDC y recibe señales de control de la tarjeta principal. La tarjeta a su vez tiene comunicación bidireccional al computador por medio de USB2.0. El sistema debe tener dos sensores finales de carrera para establecer con seguridad los límites de rotación. El esquema general es el siguiente:



Los drivers poseen 2 borneras de alimentación con capacidad de 9 - 42VDC y 4 borneras para conexión al motor, un par por cada bobina. Hay 3 señales de control PNP (se activan en nivel bajo de voltaje) que proporcionan sentido de giro, habilitación y pulso (un paso por cada pulso).



Se puede configurar el micro paso y salida corriente con el interruptor DIP 6. Hay 7 tipos de micro pasos (1, 2 / A, 2 / B, 4, 8, 16, 32) y 8 tipos de control de corriente (0.5A, 1A, 1.5A, 2A, 2.5 A, 2.8A, 3.0A, 3.5A) en total.

Nota: Estas configuraciones serán establecidas en pruebas, cualquier cambio deberá ser configurado también en el software de control.

La tarjeta de control debe estar entonces en capacidad de controlar 3 señales por cada driver, para un total de 6, adicionalmente la lectura de los dos finales de carrera y comunicación USB2.0

Elección de actuadores y sensores.

Para el calculo de los motores se usó como referencia “*Manual: Sistema de motores paso a paso SureStep. Automationdirecto.com – Apéndice A*”

Calculo motor cenit

Resolución de la carga

$$\theta_{paso} = \left(\frac{d_{carga}/i}{L_{\theta}} \right) = \left(\frac{360^{\circ}/80}{0.05} \right) = 90 \text{ pasos/rev}$$

Donde:

θ_{paso} resolución mínima requerida

d_{carga} es el desplazamiento de la carga por cada rotación del actuador

i es la razón de reducción del reductor de velocidad (GearBox)

L_{θ} es la resolución deseada

Determinación perfil de movimiento

$$P_{total} = \frac{D_{total} * i}{(d_{carga})} \theta_{paso} = \frac{90^{\circ} * 80}{360^{\circ}} 90 = 1800 \text{ pulsos}$$

Donde:

P_{total} son los pulsos totales

D_{total} es la distancia total de movimiento

i es la razón de reducción del reductor de velocidad (GearBox)

d_{carga} es el desplazamiento de la carga por cada rotación del actuador

θ_{paso} resolución mínima requerida

$$f_{trapez} = P_{total} * \frac{(f_o - t_{acele})}{(t_{total} - t_{acele})} = 3272 \text{ Hz}$$

$$\Delta_{vel} = 3272 \text{ Hz} * \frac{\frac{60s}{1min}}{90} = 2181 \text{ RPM}$$

Donde:

f_{trapez} es la frecuencia máxima del tren de pulsos a ser generado para un movimiento trapezoidal.

f_o es la frecuencia inicial

t_{acele} es el tiempo de aceleración

t_{total} es el tiempo de duración del movimiento

Δ_{vel} es la velocidad del movimiento en RPM

Torque del motor requerido

$$J_{total} = J_{rel} + \left(\frac{J_{mesa}}{i^2} \right) = 1.4351 \times 10^{-4} + \left(\frac{0.4807 \text{ Kg}m^2}{80^2} \right) = 0.0002186 \text{ Kg}m^2$$

$$T_{acel} = J_{total} \left(\Delta_{vel} / \Delta_t \right) * \frac{2\pi}{60} = 0.332 \text{ Nm}$$

$$T_{motor} = T_{acel} + T_{resist} + J_{motor} \left(\Delta_{vel} / \Delta_t \right) * \frac{2\pi}{60} = 1.563 \text{ Nm}$$

Donde:

J_{total} es la inercia total del motor

J_{rel} es la inercia del reductor

J_{mesa} es la inercia de la mesa

i es la razón de reducción del reductor de velocidad (GearBox)

T_{acel} es el torque requerido para acelerar la inercia

Δ_{vel} es la velocidad del movimiento en RPM

Δ_t es el tiempo de aceleración

T_{resist} es el torque resistivo

T_{motor} es el torque a ser suministrado por el motor

Calculo motor azimut

Resolución de la carga

$$\theta_{paso} = \left(\frac{d_{carga}/i}{L_{\theta}} \right) = \left(\frac{360^\circ / 80}{0.05} \right) = 90 \text{ pasos/rev}$$

Determinación perfil de movimiento

$$P_{total} = \frac{D_{total} * i}{(d_{carga})} \theta_{paso} = \frac{360^\circ * 80}{360^\circ} 90 = 7200 \text{ pulsos}$$

$$f_{trapez} = P_{total} * \frac{(t_o - t_{acele})}{(t_{total} - t_{acele})} = 13090 \text{ Hz}$$

$$13090Hz * \frac{60s}{90} = 8726 RPM$$

Torque del motor requerido

$$J_{total} = J_{rel} + \left(\frac{J_{mesa}}{i^2} \right) = 1.4351 \times 10^{-4} + \left(\frac{0.6784 Kgm^2}{80^2} \right) = 0.0002495 Kgm^2$$

$$T_{acel} = J_{total} \left(\Delta_{vel} / \Delta_t \right) * \frac{2\pi}{60} = 1.52 Nm$$

$$T_{motor} = T_{acel} + T_{resist} + J_{motor} \left(\Delta_{vel} / \Delta_t \right) * \frac{2\pi}{60} = 4.95 Nm$$

Se eligieron finales de carrera con barra flexible y sujeción atornillada con protección IP65, tienen un contacto normalmente abierto y uno normalmente cerrado, ambas configuraciones podrían usarse una vez se definan como parámetros en el firmware de control.

Diseño de circuito electrónico, esquemático y layout

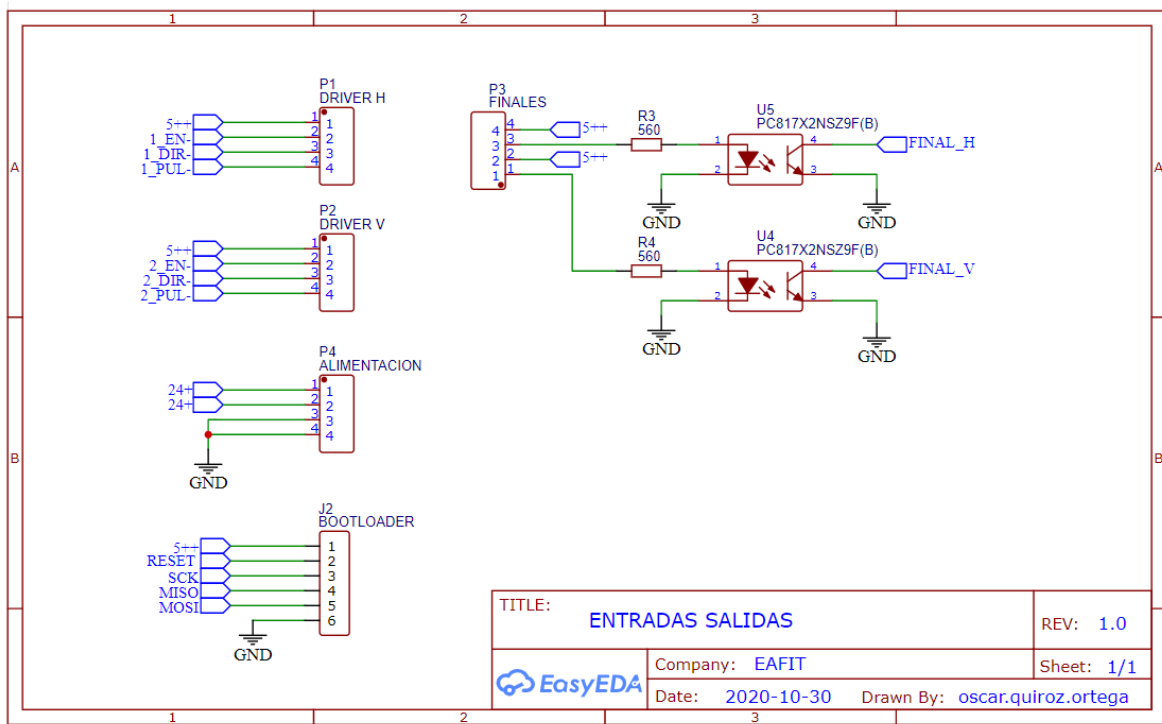
Definidos los requisitos de hardware, se puede iniciar con el diseño esquemático de la tarjeta de control. La tarjeta tendrá internamente un sistema regulación de voltaje, entradas y salidas opto-acopladas, interfaz de comunicación y microcontrolador:

```
graph LR; USB[INTERFAZ COMUNICACIÓN USB] <--> MC[MICROCONTROLADOR]; Aliment[INTERFAZ ALIMENTACIÓN] --> SR[SISTEMA DE REGULACION]; SR --> MC; SR --> ESO[ENTRADAS Y SALIDAS OPTOACOPLADAS]; MC --> ESO; ESO --> MC;
```

El diagrama de bloques ilustra la arquitectura de un sistema de control de velocidad de un motor de corriente continua. Los componentes y sus conexiones son los siguientes:

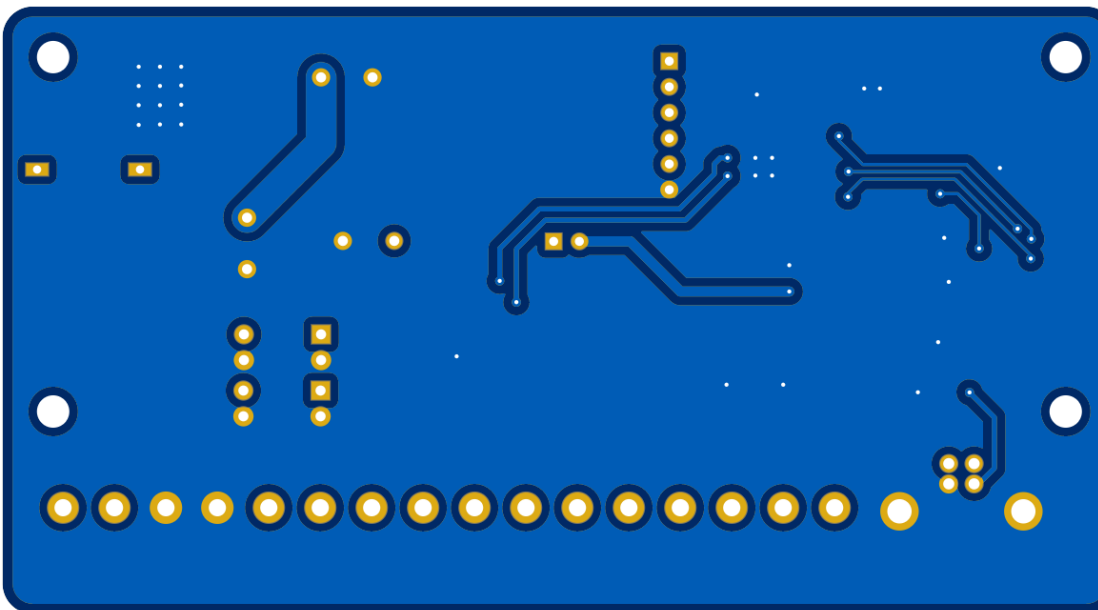
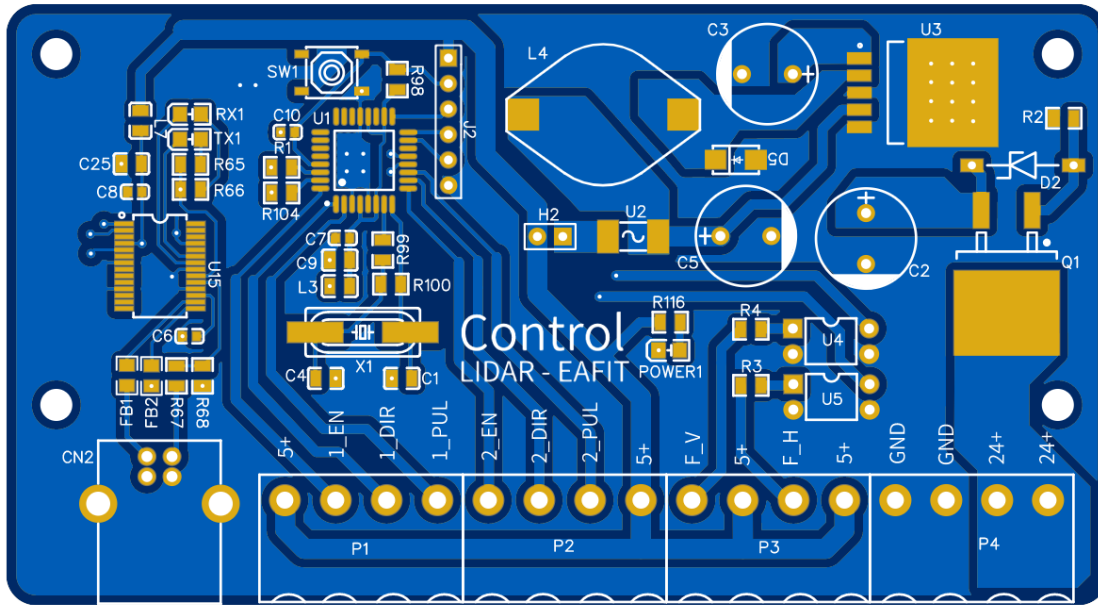
- INTERFAZ COMUNICACIÓN USB:** Se conecta al microcontrolador mediante una interfaz bidireccional.
- MICROCONTROLADOR:** Es el núcleo del sistema, recibiendo señales de la interfaz de comunicación USB y el sistema de regulación, y enviando señales a las entradas y salidas optoacopladas.
- INTERFAZ ALIMENTACIÓN:** Proporciona energía al sistema de regulación.
- SISTEMA DE REGULACION:** Recibe la alimentación y envía señales al microcontrolador y a las entradas y salidas optoacopladas.
- ENTRADAS Y SALIDAS OPTOACOPLADAS:** Se conectan al microcontrolador y al sistema de regulación, permitiendo la interfaz con el motor de corriente continua.

The diagram shows a two-stage voltage regulation circuit. The first stage is a buck converter that takes a 24V input and steps it down to 5V. It consists of an IRLB8530N MOSFET (Q1) driven by a 10K resistor (R2), a ZMM10 diode (D1), and an inductor L1 (47uH). The output of the buck converter is connected to a 5V load through a 1KR118 resistor and a diode. The second stage is an LM2576S-5.0 regulator (U3) which takes the 5V input and provides a regulated 5V output. The regulator is configured with a 220uF capacitor (C3) on the input, a 1000uF capacitor (C5) on the output, and a 47uH inductor (L1) in the feedback loop. The output of the regulator is connected to a 5V load through a 1KR118 resistor and a diode.



Para el diseño del layout se tienen encuentra los requisitos estándar de diseño:

- Ubicar los conectores en un solo lado de la tarjeta para impedir el acoplamiento de altas frecuencias en los cables externos.
- Ubicar perforación de agujeros en los 4 extremos que permitan la sujeción de la PCB en otra superficie.
- Ubicar todos los componentes en un solo lado de la tarjeta para facilitar su ensamblaje.
- Usar un plano de retorno para todos los componentes.
- Usar pistas anchas para la distribución de líneas de energía
- Usar pistas anchas para las señales provenientes de conectores para disminuir impedancia.
- Usar labels que permitan identificar las señales en conectores



Rutina de control, software en escritorio y firmware en máquina.

El sistema de control es en lazo abierto, no hay realimentación de posición angular, los motores paso-paso se encargan de realizar el giro preciso de acuerdo a su configuración y número de pasos. La rutina de control consiste en la transmisión por parte del software de escritorio (CGimbal) al firmware en la tarjeta de control (FCC) los comandos de control, cada comando establece parámetros o ejecuta métodos e instrucciones dentro del firmware.

Rutina CGimbal

Start exe
Threshold events

```

IF portOpen
    Send command "CONF"
    Listen data
    Invoke visual components
WHILE
    Threshold events
    Listen data
    Send commands
    Invoke visual components

```

Rutina FCC

Init setup

Loop

```

    Listen port
    Read command
    Method execution
    Send response

```

Lista de comandos CGimbal - FCC

CONF	Devolver configuración inicial
VA035	Setear velocidad azimuth 0.35RPM
VC050	Setear velocidad cenit 0.5RPM
AApdu035000	Enviar angulo azimuth izquierda equivalente a 35000 pasos
AApdd070000	Enviar angulo azimuth derecha equivalente a 70000 pasos
PAPdu	Dar paso unitario azimuth derecha
PAPdd	Dar paso unitario azimuth izquierda
PACuo	Activar giro continuo azimuth derecha
PACdo	Activar giro continuo azimuth izquierda
PACdt	Desactivar giro continuo azimuth derecha
PACit	Desactivar giro continuo azimuth izquierda
ACpdu035000	Enviar angulo cenit abajo equivalente a 35000 pasos
ACpdd070000	Enviar angulo cenit arriba equivalente a 70000 pasos
PCpdu	Dar paso unitario cenit arriba
PCpdd	Dar paso unitario cenit abajo
ACCuo	Activar giro continuo arriba derecha
ACCdo	Activar giro continuo abajo izquierda
ACCdt	Desactivar giro continuo arriba derecha
ACCit	Desactivar giro continuo abajo izquierda
PG00500	Setear paso unitario en 500 pasos
INIT	Llevar a posición inicial

