

Layout electrónico de la base móvil omnidireccional del robot de asistencia FRIDA
Registro de actividades
Rodrigo Gamboa Herrera

Introducción

En este documento recopilo los momentos claves para el desarrollo del remake de la PCB Cisne del robot Frida, históricamente utilizado para controlar la base omnidireccional del brazo robótico de múltiples ejes. Junto con los equipos de programación y mecánica, desarrollamos un modelo de prototipo funcional y repasamos los requerimientos del sistema para que el producto final pueda ser fácilmente integrado a la parte ya existente del brazo.

Frida es un robot de servicio pensado para ayudar a todo tipo de personas, enfocado principalmente en ayudar a aquellas con problemas de movilidad en entornos como hospitales u hogares. Fue desarrollado con módulos que le ayudan a moverse libremente y entender las peticiones del usuario: software para interacción humano-robot, navegación con evasión de obstáculos, mapeo de espacios tridimensionales, manipulación de objetos, detección de objetos, rostros, reconocimiento facial, síntesis de voz a texto y viceversa. Estos y muchos otros de sus componentes son los que le permiten tener una navegación de forma totalmente autónoma como robot con capacidades físicas de desplazamiento y manipulación.



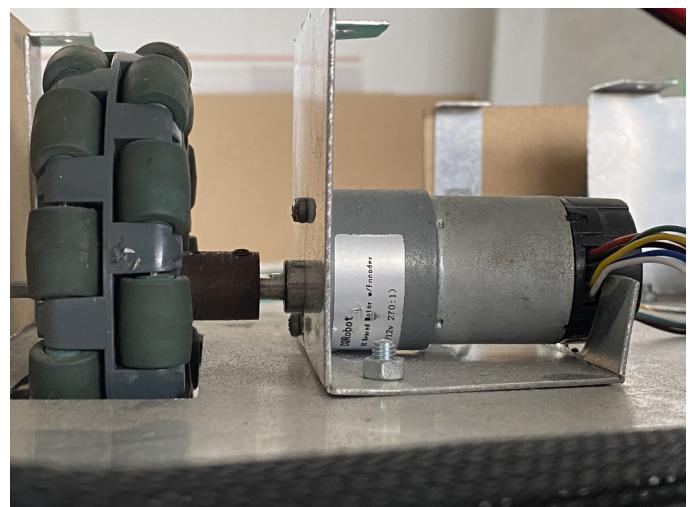
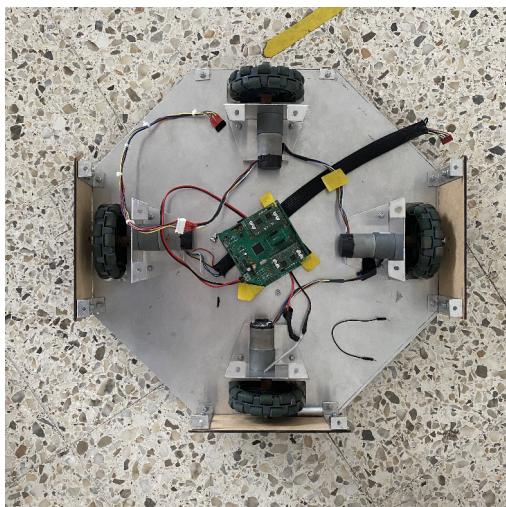
En su diseño y estado actual, Frida consta de 6 de elementos principales muy importantes, que le permiten realizar la totalidad de sus funciones:

- Base móvil: Originalmente una base de movimiento estilo diferencial, que le permite movimiento en ambos sentidos; la base comercial EAI Dashgo B1. Modificada con NVIDIA Jetson Nano.
- Brazo: UFACTORY xARM 6. Robot manipulador con motor lineal directo de 6 ejes o grados de libertad. Permiten la manipulación de y reposicionamiento de objetos independiente.
- Computadoras integradas: NVIDIA Jetson Nano como base y NVIDIA Jetson AGX Xavier.
- Baterías: 2 baterías de polímero de iones de litio de 24V cada una para energizar a la base y el brazo robótico y otra batería de 14.8V para las computadoras.
- Visión: Cámara estéreo ZED2 para percepción espacial y rastreo de movimiento.
- Módulos relevantes adicionales: Soporte de base móvil (Dashgo) hacia el brazo, red LAN, gripper, botón de emergencia.

Base móvil

La base utilizada en el modelo original, la DashGo de Dobot es una base bastante robusta dado que soporta una carga de hasta 50kg sin problemas y viene equipado con un LiDAR de alta precisión [2]. Sin embargo, su movimiento es diferencial, aspecto que no solo limita sino también dificulta la navegación autónoma y movimiento en conjunto con el brazo para reposicionamientos más complejos. Esto sumado a que su hoja de datos es virtualmente inexistente y ha sido descontinuado por el fabricante, orilló a los roborregos a desarrollar una solución alternativa casera que cumpla con los requisitos de uso.

Como primera fase de la evolución de la base omnidireccional se realizó un prototipo funcional capaz de mover cargas pesadas, aunque con un poco de dificultad. Esta, como se puede ver en las figuras 2 y 3, es omnidireccional y cuenta con 4 motores de alto torque y 4 ruedas aptas para movimientos laterales.



A pesar de que esta versión puede cargar el peso esperado, debido a las dificultades que presenta para hacerlo se decidió pasar a la siguiente fase del desarrollo con un nuevo prototipo con nuevos motores, un modelo mecánico distinto y una PCB rediseñada. Se espera que con estos cambios la nueva base pueda llevar a cabo sus tareas pesadas y ligeras sin ninguna complicación física. Para

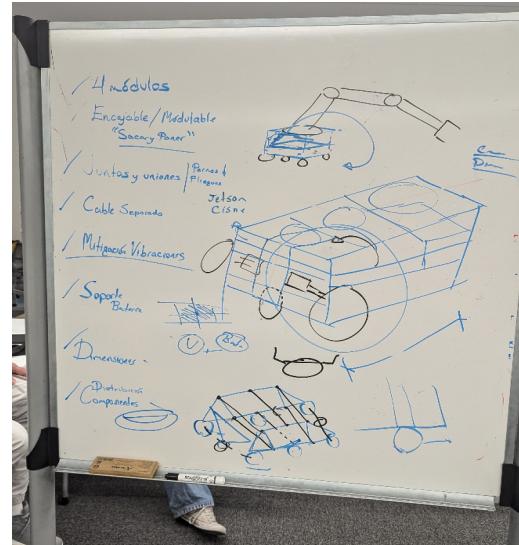
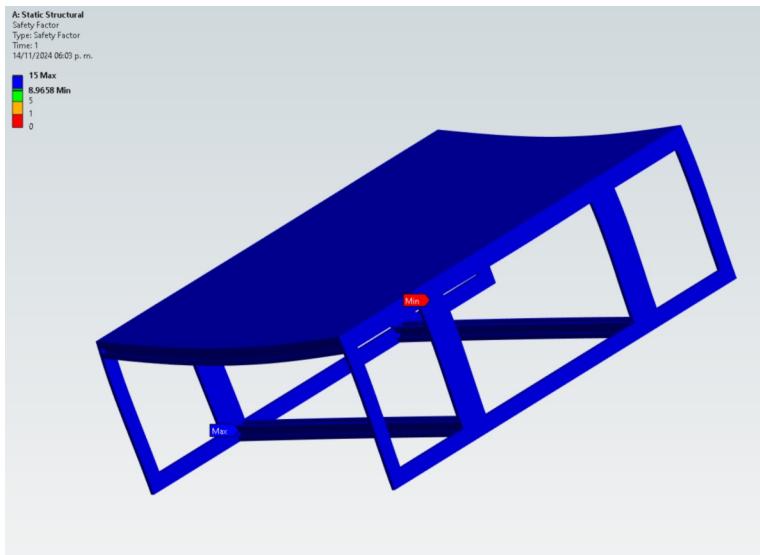


esto, el equipo de mecánica comenzó elaborando un nuevo modelo de para la base que, a diferencia del anterior, fuera resistente a deformaciones ante la carga y tuviera un mejor balance; teniendo una repercusión positiva en el área electrónica, pues esto ayudaría a reducir la potencia consumida por los nuevos motores, y al mismo tiempo reducir el estrés, mejorar el control y

por tanto, también la velocidad de operación.

Nueva propuesta

Se diseñó una base mecánica de 4 módulos que pudiera soportar hasta 70kg (equipo mecánico). Esta cuenta con soportes para la batería, mitigación de vibraciones y un espacio para la distribución cómoda de componentes.



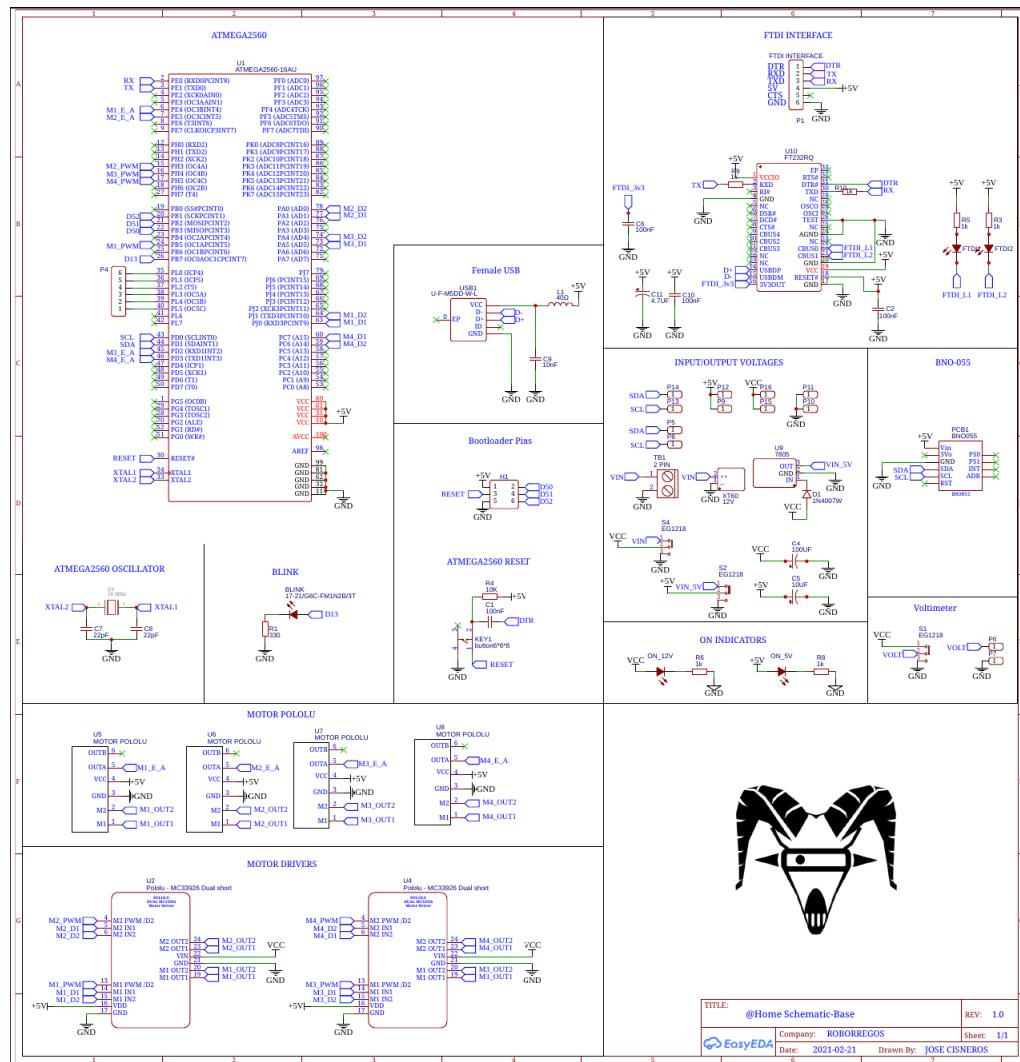
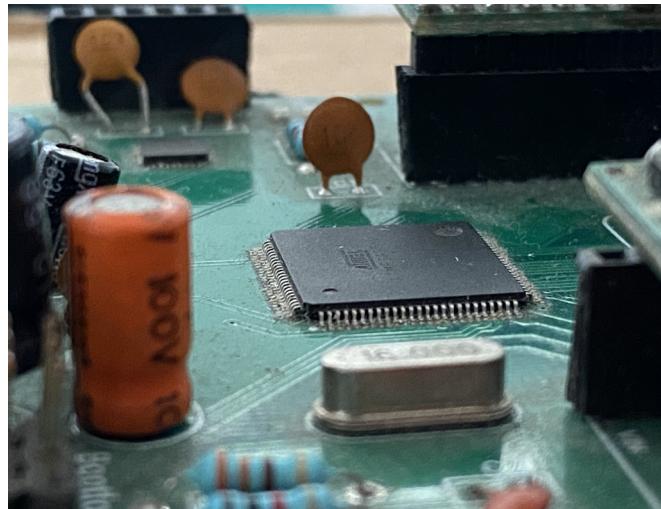
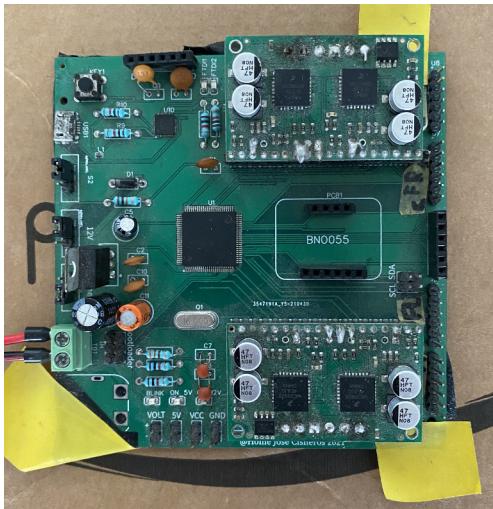
Se espera que esta funcione con motores *Panda Bear PLUS* de *Westwood Robotics*. Estos son motores de **925g (113 x 113 x 50)mm** con un sistema de refrigeración líquida integrado. Tiene un torque pico de larga duración (**15 segundos de 33Nm**) y un torque pico de corta duración (**1.5 segundos de 67Nm**). Más que suficiente al considerar la base con una carga de 70 kilogramos de acuerdo a los cálculos realizados (**12Nm por motor**). Su voltaje de operación es de **9V a 50.4V** y su constante de velocidad es de **7.1RPM/V** [3]; esta velocidad, aunque quizás parezca un poco lenta, es

adecuada para la carga pesada, y al mismo tiempo resulta beneficiosa al tomar en cuenta la morfología del brazo robótico, que fácilmente podría desbalancearse o volcarse con una velocidad inadecuada o no controlada con cuidado. De la misma forma, estos motores cuentan con sus propios sensores de velocidad, torque y muchos otros elementos que facilitan su control y delegan gran parte de su implementación a la programación de sus drivers mediante SDK *PyBEAR*.

Aunque los motores de *Westwood Robotics* son una pieza importante para el movimiento óptimo de la base dados los altos requerimientos de peso, se decidió continuar por el momento con un diseño que funcione con motores *Pololu* clásicos de alto torque alimentados por 12V.

Control eléctrico de los motores

En la primera fase del diseño de la base móvil se utiliza un PCB que integra lectura de *encoders* de cuadratura, control de motores por drivers, interfaz de comunicación serial con un módulo FT232 y un ATMEGA2560. A este módulo se le es delegada la lógica completa del control del desplazamiento de la base, siguiendo la estrategia modular empleada en el resto del sistema de Frida.



Para el rediseño decidimos mantener el layout original, de tal forma que los componentes generales sean los mismos, pero actualizados por versiones más recientes o convenientes para el uso que se les dará. Antes de pasar a detalle los cambios que se realizaron, sintetizo brevemente los elementos importantes de algunos de los componentes del sistema.

Encoders por cuadratura

Los motores usados en el modelo ofrecen **dos canales de salida de onda cuadrada** cada uno como encoders de cuadratura. Básicamente su salida representa el bloqueo de luz temporal emitido por una fuente de luz hacia un sensor que atraviesa a una rueda en un estilo similar al de la figura X, que aunque no es necesariamente la misma técnica física utilizada por Pololu, es equivalente lógicamente a eso. La técnica física utilizada por los encoders integrados en los motores es en realidad un disco magnético (no utiliza luz) y sensores del efecto Hall. De acuerdo a datos proporcionados por ellos:

"A two-channel Hall effect encoder is used to sense the rotation of a magnetic disk on a rear protrusion of the motor shaft. The quadrature encoder provides a resolution of 64 counts per revolution of the motor shaft when counting both edges of both channels. To compute the counts per revolution of the gearbox output, multiply the gear ratio by 64.

The Hall sensor requires an input voltage, Vcc, between 3.5 and 20 V and draws a maximum of 10 mA. The A and B outputs are square waves from 0 V to Vcc approximately 90° out of phase. The frequency of the transitions tells you the speed of the motor, and the order of the transitions tells you the direction. The following oscilloscope capture shows the A and B (yellow and white) encoder outputs using a 12 V motor at 12 V and a Hall sensor Vcc of 5 V"



Entonces en esta imagen, asumiendo que no hay una caja de engranajes, la frecuencia de la señal amarilla (o cian) es directamente proporcional a la velocidad de giro del eje del motor, y el desfase indica la dirección del giro. Si contamos únicamente un sentido de los flancos de uno de cualesquiera de los canales, 16 representan una revolución completa, por lo que en el caso del ejemplo, el eje del motor gira alrededor de 156 veces por segundo (2.507kHz / 16). En cambio, si contamos ambos flancos en ambos canales, una revolución son 64 flancos, entonces el

encoder por cuadratura no solo permite determinar la dirección del giro del eje, sino también provee un mayor grado de precisión de lectura de velocidad. Si hubiera una caja de engranajes de cambio, entonces solo haría falta dividir la frecuencia acorde a la proporción [gearbox].

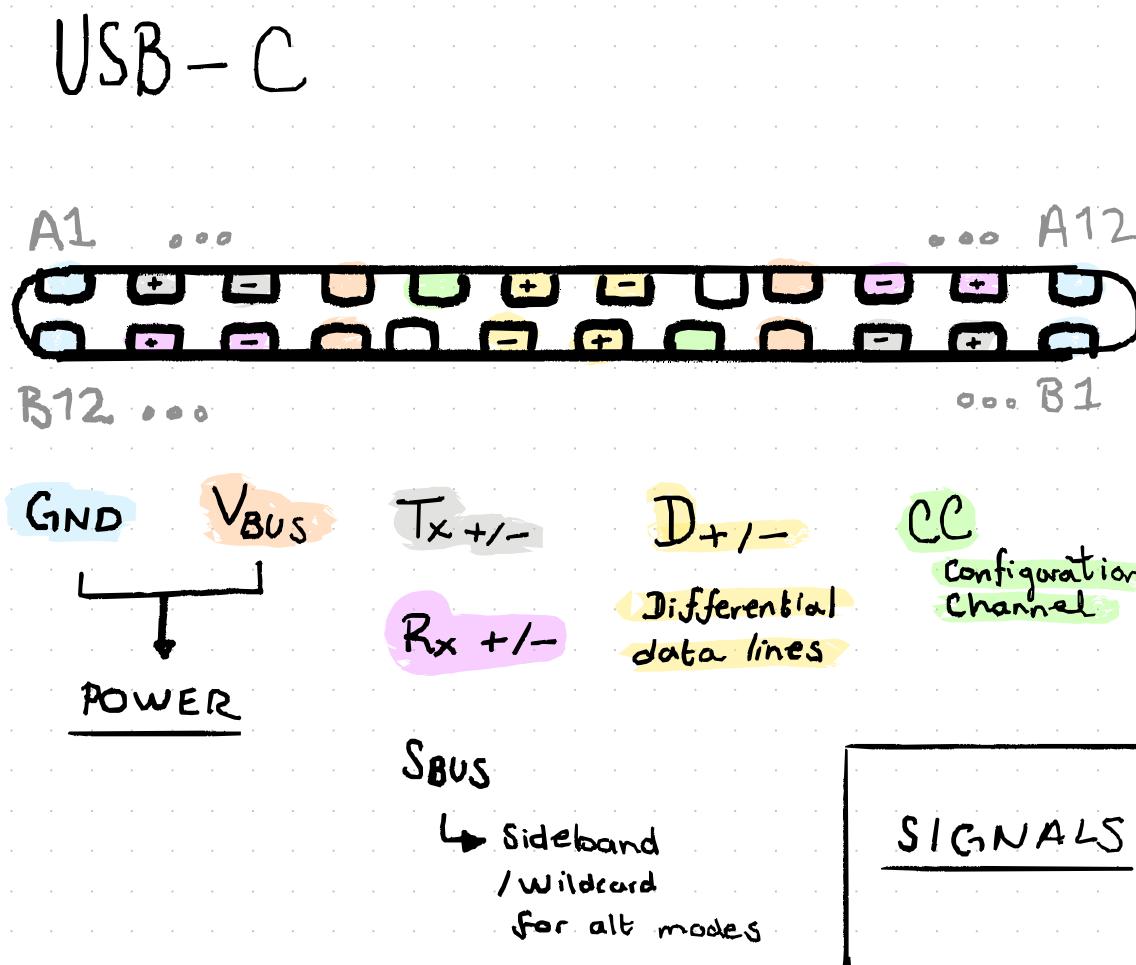
Cuatro de los cables del moño de seis pines corresponden a los encoders: dos para corriente y dos para la salida de la lectura de datos.

De tal forma que verde: tierra de encoders; azul: vcc de encoders; amarillo: salida A; Blanco: salida B.

USB Tipo C

El interfaz de datos más comúnmente utilizado, y más versátil en la actualidad parece ser el USB Tipo C, pues no solo permite su conexión en ambos sentidos, sino que cuenta con distintos pines nuevos para funcionalidad extra en protocolos alternativos y comunicación entre dispositivos para la configuración inicial (sumados a los 4 predilectos del USB clásico (Vbus, Gnd, D+ & D-). Es la entrada utilizada en los esquemáticos oficiales de Espressif para la implementación del ESP32 C6 con USB-Serial-UART [wroom].

Esencialmente, tiene 12 pines en cada lado, que al girarse 180° terminan teniendo el mismo acomodo dado su arreglo espejado. A los pines de cada lado se les denomina por una letra (A o B, por el lado) y un número del 1 al 12 (por el orden). Aunque en la implementación oficial existen varios pines para comunicación serial y demás métodos de transmisión de datos, únicamente utilizaremos los clásicos **D+** y **D-**; un par de **Rx** y **Tx**; y los **Vbus** y **Gnd**. Sin embargo, es relevante repasar la función de cada pin y cómo haremos cortos entre los pines de potencia redundantes de cada lado [].



Drivers para motores de DC

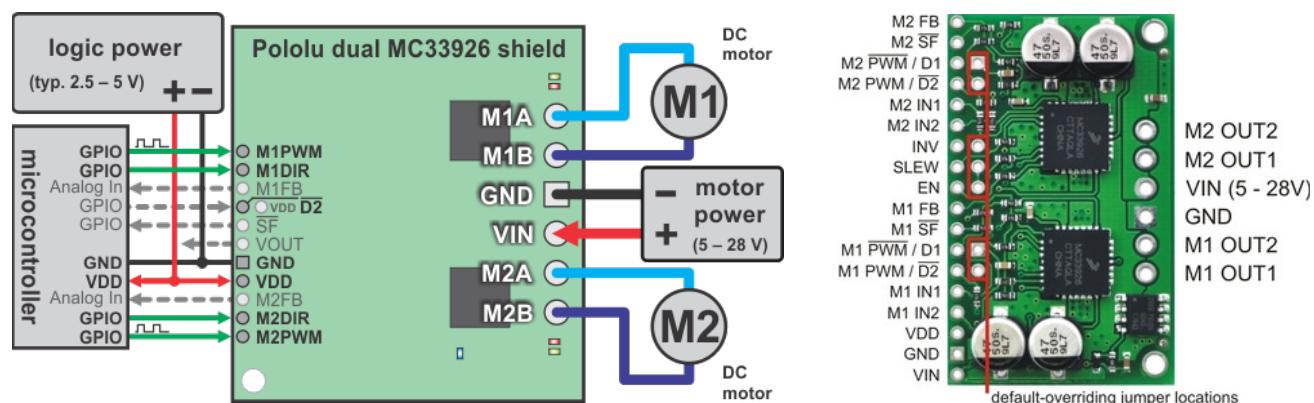
El modelo original utiliza el *shield* de Pololu 1213 con driver doble: una placa formada esencialmente por dos circuitos integrados **MC33926**; cada uno de estos es un Puente H controlado con ondas moduladas por ancho de pulso a 20 kHz [nxp], lo que lo hace ideal para el control de cargas inductivas, es decir, motores de inducción.

Esto funciona por dos principios básicos:

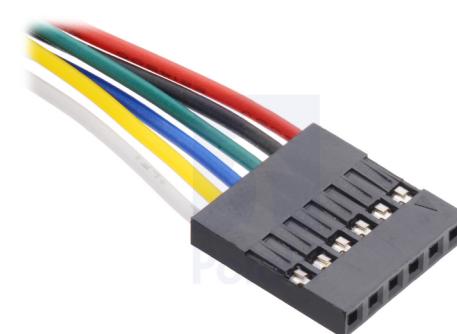
- Todas las señales **periódicas** pueden ser descompuestas en su suma equivalente de funciones senoidales y un **offset**. A esto se le llama Análisis de Fourier [wikifourier].
- Con las señales periódicas (en estado estable), la impedancia de un inductor puede obtenerse con la expresión $Z = j\omega L$ [haytcircuitalanalysis].

Entonces, cuando la frecuencia es alta, también lo es la resistencia a componentes en tales frecuencias, dejando paso libre al componente fijo del offset dada su impedancia; 0 Hz = 0 Ω.

Un arreglo de conexiones completo hacia un microcontrolador es proporcionado por Pololu en la siguiente imagen [pololu0j55]:



Color	Función
Rojo	Motor Power +
Negro	Motor Power -
Verde	Encoder GND
Azul	Encoder Vcc (3.5 – 20 V)
Amarillo	Encoder A Output
Blanco	Encoder B Output



Descripción de los pines de **Pololu 1213** [pololu1213]

PIN [IN/OUT]	Descripción	PIN [IN/OUT]	Descripción
M1 IN2 [O]	Ajuste lógico para la salida del pin OUT2.	M1SF [I]	Salida de <i>status flag</i> . Cuando ocurre un error: overcurrent u over-temperature en el motor M1 es LOW. Normalmente HIGH. Al igual que <u>M2SF</u> , está en un pull-up HIGH débil. Esto les permite unificarse hacia una sola salida.
M1 IN1 [O]	Ajuste lógico para la salida del pin OUT1.	M2SF [I]	Salida de <i>status flag para el motor M2</i> .
M2 IN2 [O]	"	M2PWM / D2 [O]	"
M2 IN1 [O]	"	M2PWM / D1 [O]	"
M1PWM / D2 [O]	Ajuste lógico para habilitar la salida en OUT2 y OUT1, de lo contrario esta está en modo de alta impedancia (flotando). Normalmente desactivado como LOW.	INV	Ajuste para inversión lógica en la salida de los pines OUT1 y OUT2 respecto a IN1 e IN2. Tiene efecto en ambos M1 y M2. Normalmente LOW (sin inversión).
M1PWM / D1 [O]	Ajuste lógico para habilitar la salida en OUT2 y OUT1, de lo contrario esta está en modo de alta impedancia (flotando). Normalmente desactivado como HIGH.	SLEW	Selección de ajuste de <i>slew rate</i> . Una entrada en LOW resulta en un tiempo de cambio de 1.5µs a 6µs, de lo contrario el tiempo de cambio es de 0.2µs a 1.45µs. Para frecuencias de PWM mayores a 10 kHz , debe ser HIGH. Tiene efecto en M1 y M2. Por defecto en LOW.
M1FB [I]	Salida analógica de lectura de corriente a través del motor M1. Aproximadamente 525mV/A para ≤	EN	Enable . Cuando la entrada es LOW, ambos MC33926 están en modo <i>low-current sleep</i> ; modo normal de

	500mA.		<i>operación en HIGH.</i>
M2FB [I]	Lectura de corriente a través del motor M2. “		<i>15 pines por cada par de motores</i>

In/Out respecto al microcontrolador

La posibilidad de flotar o aterrizar ambos pines OUT1 y OUT2 mediante D1 o D2 nos permite cierta versatilidad para decidir como deseamos que los motores actúen cuando la salida en OUT1 y OUT2 no es HIGH. Entonces, sin este espacio de control un duty cycle de cero tendría un significado incierto, pues no podríamos especificar si deseamos que los motores hagan *drift* o frenen con la oposición de la EMF.

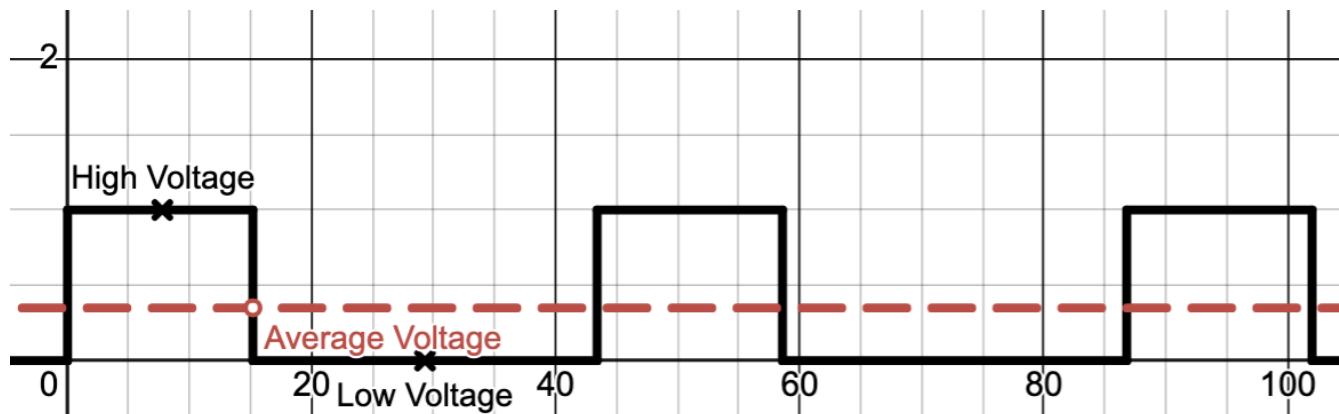
Entradas				Salidas				Modo
D2	D1*	IN2	IN1	OUT2	OUT1	SF		
H	H	H	L	H	L	H	Forward	
H	H	L	H	L	H	H	Reverse	
H	H	L	L	L	L	H	Brake	
L	H	X	X	Z	Z	L**	Coast	

L = LOW H = HIGH X = D/C Z = HIGH IMPEDANCE

* Asumiendo un control PWM directo únicamente en D2.

** Status Flag es LOW cuando OUT1 y OUT2 son deshabilitados.

A pesar de que es posible aplicar la señal con PWM directamente en los pines lógicos IN2 o IN1, es preferible hacerlo en los pines D2 o D1, pues el rango LOW (o HIGH si se usa D1) de la señal significaría **coast** en lugar de **brake**, lo que permitiría un flujo más suave en el giro del motor.



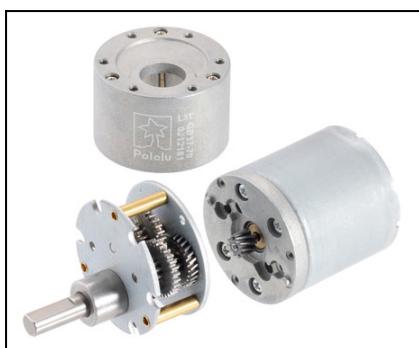
Señal con PWM con un duty cycle de 35%

Motores Brushless DC Pololu 37D

Los motores que elegimos para este diseño son los 37Dx73L (igual que sus dimensiones en milímetros) con una caja de cambio metálica de 150:1, lo que le da un gran torque. Como mencionamos en otra página, estamos utilizando la versión con encoders. Existen dos versiones, la de **12V** y la de **24V**, que es la que estamos usando, dado que permite tener una mayor potencia en el motor con menor cantidad de corriente [pololu4697].

Rated Voltage	Stall Current	No-Load Current	Gear Ratio	No-Load Speed (RPM)	Extrapolated Stall Torque		Max Power (W)
					(kg · cm)	(oz · in)	
24 V	3 A	0.1 A	1:1 (no gearbox)	10,000	0.55	8	-
			6.3:1	1600	3.5	49	14
			10:1	1000	5.5	76	14
			19:1	530	9.5	130	13
			30:1	330	15	210	13
			50:1	200	23	320	12
			70:1	140	31	430	10*
			100:1	100	39	540	8*
			131:1	79	47	650	6*
			150:1	68	56	780	6*

De acuerdo a esta hoja, el motor elegido tiene un torque teórico máximo de 56 kg·cm, cuando el motor se estanca y la corriente es de 3A (muy por arriba del máximo recomendable para uso normal); de acuerdo a la página web del vendedor, estancar o sobrecargar los motores puede reducir su tiempo de vida e incluso dañarlos de forma inmediata: estancar el motor puede resultar en daño térmico al bobinado y a las escobillas, incluso si es por algunos pocos segundos. Por esto se recomienda operar el motor con cargas continuas de hasta 25 kg·cm y el 25% de la corriente de estancamiento [pololu4697].



Máximos recomendados para operación del motor:

Continuo

Corriente : 750 mA

Carga : 10 kg·cm

Potencia : **6W**

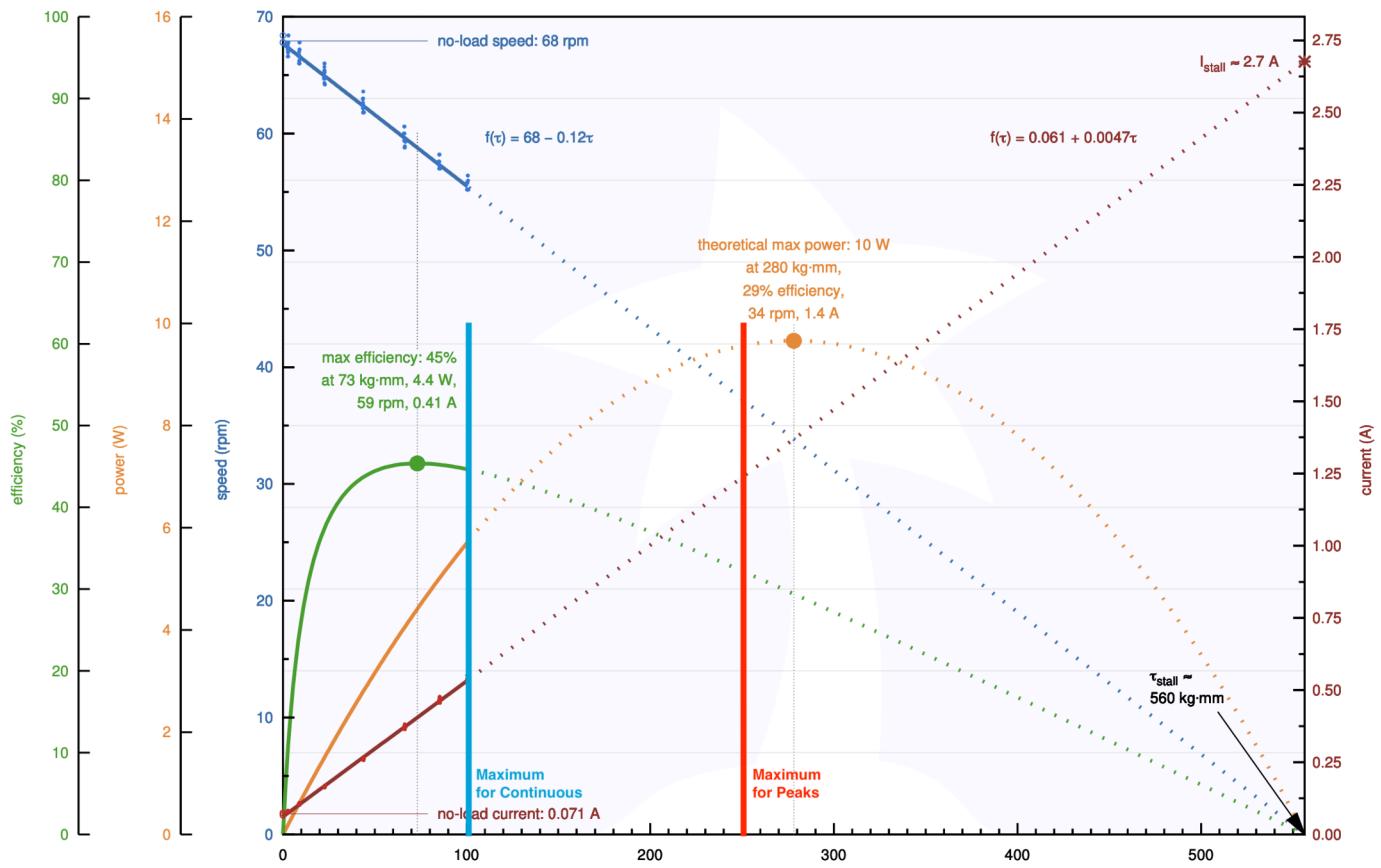
Instantáneo

Corriente : 1.125 A

Carga : 25 kg·cm

Potencia : **10W**

Pololu Items #4687 #4697 (150:1 Metal Gearmotor 37D 24V) Performance at 24V

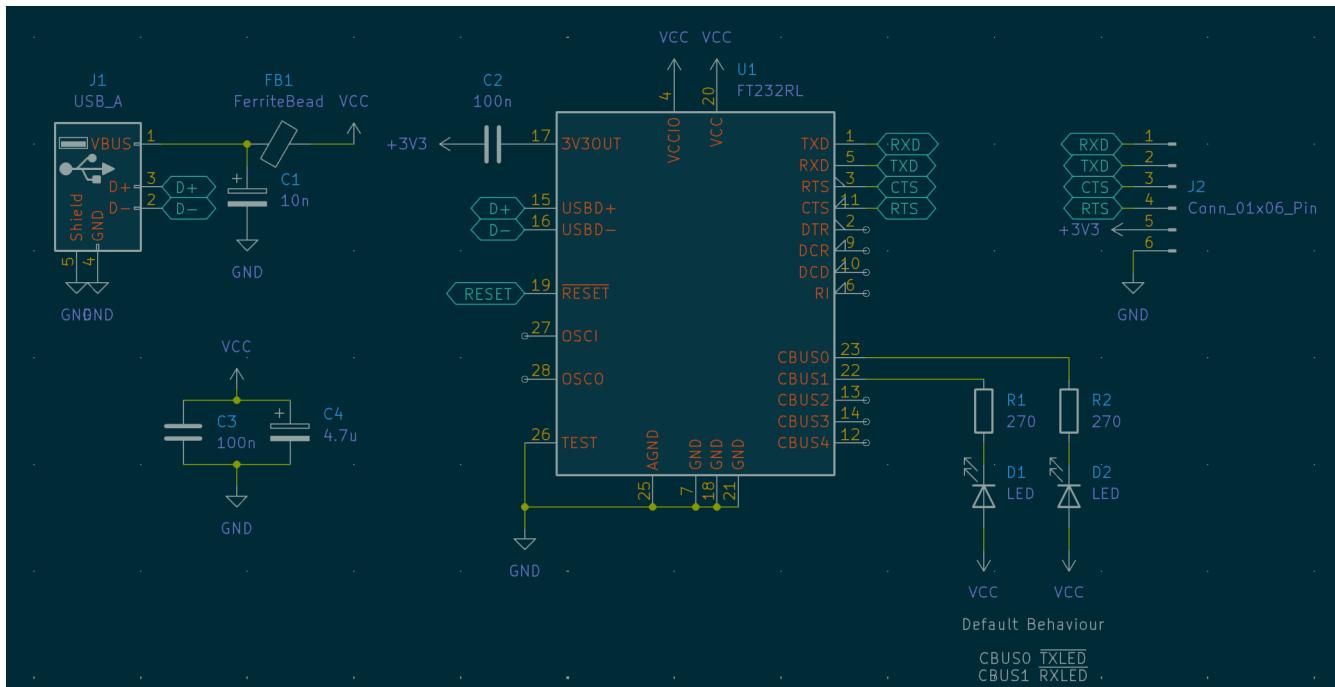


[pololudatasheet]

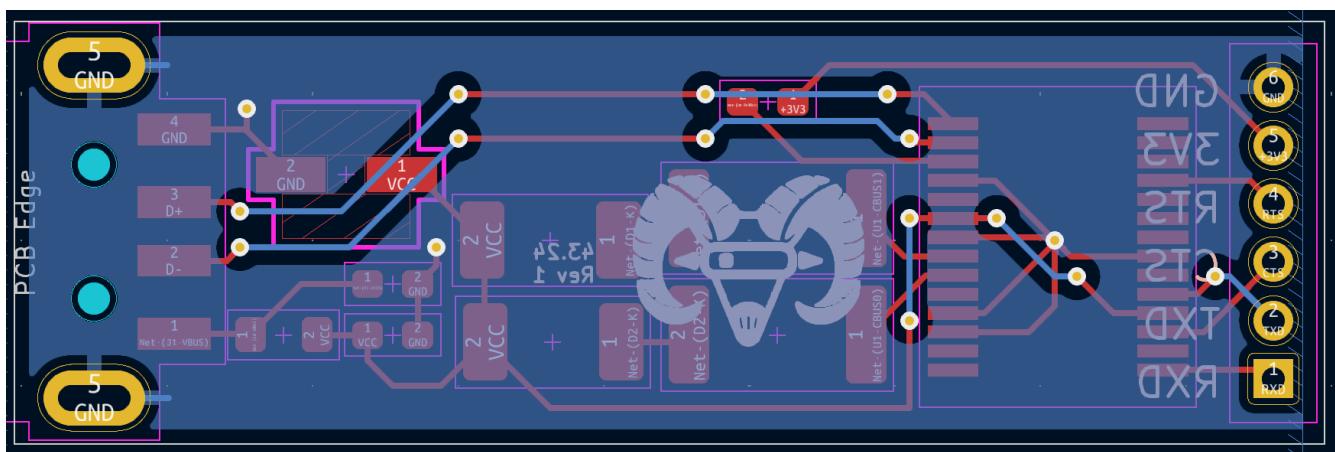
Dado que el hardware no puede controlar la carga que se pone sobre la base, una forma de poder detectar si nuestro motor está operando en las condiciones adecuadas es a través de los sensores de corriente por efecto Hall ya mencionados en alguna página anterior, combinado con la lectura de los encoders por cuadratura; por ejemplo, podríamos reducir el ciclo de trabajo de la onda con PWM cuando exista una sobrecarga, o simplemente producir un error para detener los motores. Por ejemplo, refiriéndonos a la hoja de rendimiento, podríamos establecer un límite de tiempo a la corriente cuando se encuentra en la zona entre la barra azul y la barra roja, e inmediatamente detener la operación cuando pasa más allá de la barra roja. Los sensores de corriente de los drivers pueden leer la corriente con precisión a partir de 500mA, hasta 5A, por lo que esto no debería presentar un problema más allá de la lectura de la salida analógica (525 mV/A).

FT232

El diseño original de la placa cuenta con un FT232 integrado, utilizado para comunicación serial entre una computadora y el microcontrolador, sea ya para su programación o simplemente para transferir datos. En un trabajo previo, desarrollamos una implementación de un pequeño PCB.



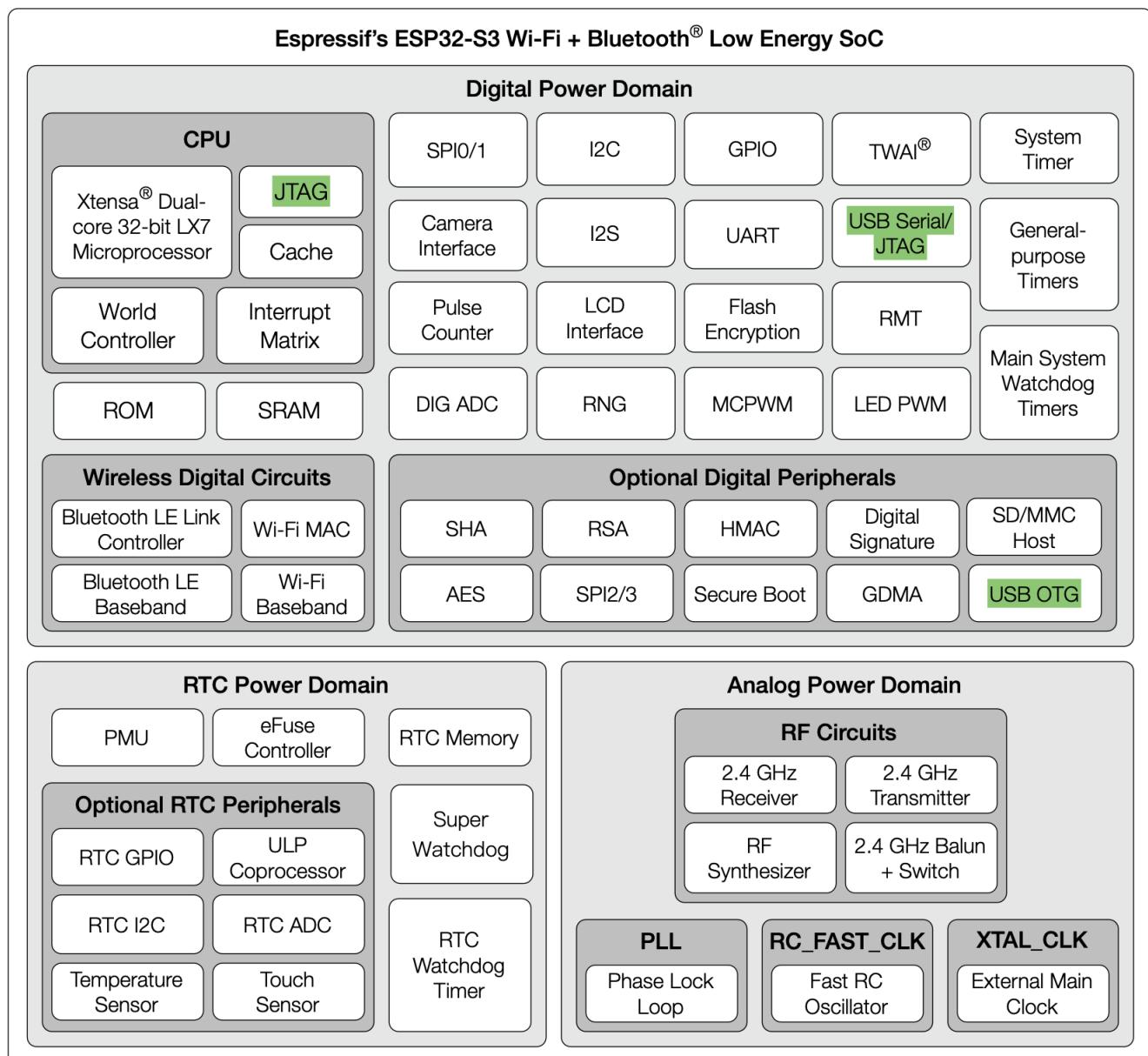
Gran parte de este diseño fue inspirado de la hoja de datos del circuito integrado de FTDI, en donde se consideraba que la fuente de corriente sería la misma del puerto USB en lugar de una batería interna. La implementación de la primera fase de la placa de la base de Frida parece ser prácticamente ideal, por lo que decidimos mantenerla como se pensó originalmente y sin cambios mayores más que el puerto de conexión y otros ajustes para un mejor paso ininterrumpido de señales.



La distribución en PCB de los componentes del diagrama utilizó un plano de tierra (en azul) para mejorar la calidad de las señales al actuar como una amplia fuente de electrones para las líneas fijas de DC, o en otras palabras, un drenaje de corriente.

En este diseño se utilizaron dos capacitores en paralelo para filtrar ruido e inestabilidad de altas y bajas frecuencias, con $4.7 \mu\text{F}$ y 100nF respectivamente, teniendo las bajas frecuencias la mayor carga de corriente dado que su origen es de una fuente distinta [capstackex]. Estos capacitores son visibles como C3 y C4 en el esquemático.

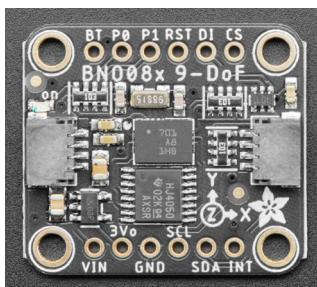
Esta sección del diseño no hace más falta en la segunda fase de la propuesta del diseño, puesto que el microcontrolador elegido, ESP32-S3, ofrece dos puertos para una conexión USB directa con las interfaces USB-Serial-JTAG y USB-OTG [esp32s3datasheet].



Adafruit BNO085

Sensor de nueve grados de libertad que permite la lectura precisa de orientación, aceleración y campo magnético; implementa algoritmos de fusión de sensores, lo que permite interpretar los datos de los tres sensores mencionados con algoritmos avanzados, dando al usuario la salida final como un **cuaternión** o **matriz de rotación** sobre un canal **I2C** o **UART**, ya no será problema tener que lidiar con el tedioso *drift* de giroscopio en el MPU6050 ni mantener el registro del movimiento pasado [adafruitbno085]. El IC/sensor BNO055 ofrece, de la misma forma, todas estas lecturas, sin embargo su versión más reciente, la BNO085 es una mejora que provee una mayor precisión y sensibilidad, mejor calibración, algoritmos más avanzados y un menor consumo de potencia.

A diferencia de su predecesor, BNO055, esta versión ha arreglado la violación al protocolo de I2C que causaba problemas con algunos microcontroladores, el ESP32 incluido entre ellos [bno055i2c]. En la versión entregada del PCB se utiliza un *placeholder* que implementa los pines de señales que usa esta implementación; son básicamente los mismos del sensor usado en la primera fase del diseño. De todas formas, si hubiera algún problema con la implementación de la comunicación por I2C, el canal UART también está disponible en este circuito integrado como en el controlador. Estamos pendientes de hacer un footprint y símbolo de este modelo o encontrar uno en internet.



De acuerdo al sitio web de Adafruit y sus esquemáticos, las especificaciones de los pines de alimentación y los de comunicación son las siguientes:

- **VIN:** Pin de potencia, conecta a un regulador de voltaje que rebaja a 3.3V una entrada de hasta 5V. El mínimo de entrada es de 3.3V por lo que no habría problema en alimentarlo con el voltaje estándar del resto del circuito.
- **3Vo:** Pin de salida de 3.3V del regulador, permite una salida de corriente de hasta 100mA; debo admitir que este pin me da una idea muy macabra que quizás o no involucre usarlo como regulador para otro componente....
- **I2C SCL/SDA:** Ambos pines tienen un pull-up de $10\text{k}\Omega$ a VIN.
- **I2C DI:** Cuando está en un pull-up a HIGH, cambia la dirección para I2C de **0x4A** a **0x4B**.
- **UART SCL:** Data IN al sensor, corresponde a TX en el microcontrolador.
- **UART SDA:** Data OUT del sensor, corresponde a RX en el microcontrolador.
- **SPI SCL:** SPI Clock pin, es una entrada al sensor.
- **SPI SDA:** Función doble como DO/MISO.
- **SPI DI:** Data in. Entrada hacia el sensor.
- **SPI CS:** Chip select
- **SPI INT:** Interrupt Active Low, salida del sensor.
- **RST:** Reset Active Low.
- **PS1 y PS0:** Permiten la selección de protocolo I2C/UART-RVC/UART/SPI de acuerdo al datasheet, en ese mismo si se sigue una cuenta binaria de 0 a 3 [bnopins].

Reguladores de voltaje

Originalmente, en la primera fase del desarrollo de la placa fue utilizado un clásico **LM7805** para reducir el voltaje de entrada de 12V a los 5V que requería el ATMEGA2560 y los demás periféricos; esta, aunque es una opción muy confiable y adecuada en términos de precisión y manejo de corriente, presenta grandes pérdidas en calor debido a la caída de voltaje de 7V, quizás esta pérdida pudiera haber sido aceptable hasta cierto punto en el diseño original, pues el microcontrolador utilizado tiene un consumo de corriente mínima, sin embargo, dados los periféricos, las pérdidas de energía en calor no bajan de los 1.2W, como explicamos en la presentación. Aún usando 12V, este regulador puede considerarse adecuado dada su ubicuidad y mantiene una mayor eficiencia si se utiliza para regular voltajes cercanos al de salida que tengan ruido, pues también tiene una muy buena supresión de este.

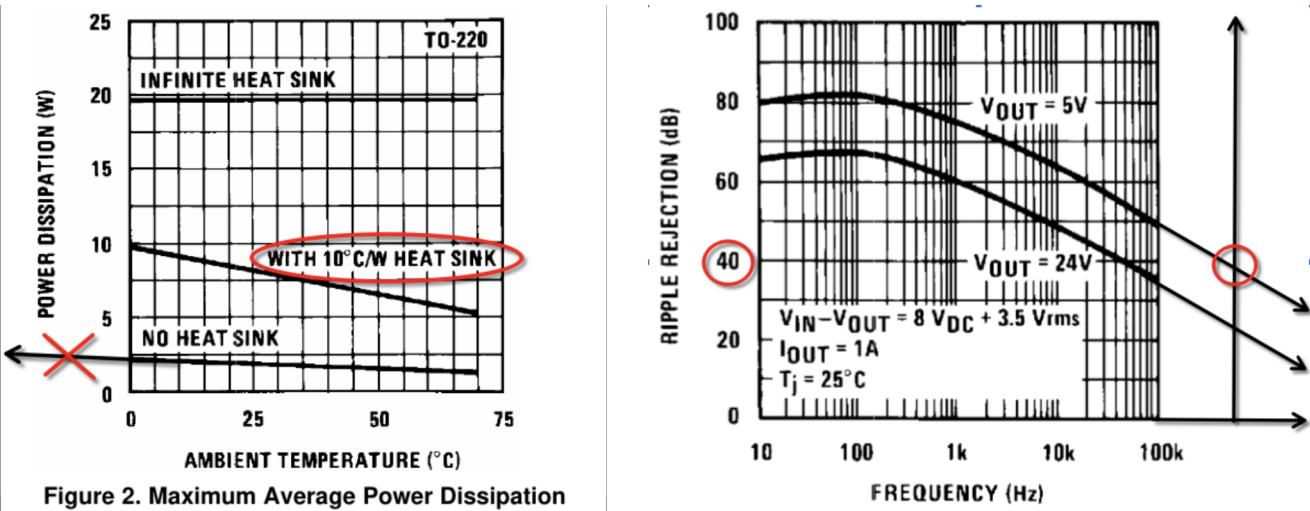


Figure 2. Maximum Average Power Dissipation

Ahora la batería es de **24V**, por lo que usar este regulador ahora definitivamente significaría mucho calor y mucha pérdida. Una breve búsqueda en la página web de Texas Instruments nos llevó a encontrar el regulador que en lugar de ser lineal, es de conmutación (buck step-down) y utiliza **FCCM** (forced continuous current modulation), lo que le permite reducir el ruido grandemente a pesar de no ser lineal y mantener una eficiencia muy alta al ser de conmutación; **TPS562246** [stepdown1ti]; un problema que surgió de este es que soporta hasta **17V** de entrada para regulación, por lo que buscamos uno que tuviera características similares para mayores voltajes: **TPS62932** sin FCCM dada su baja eficiencia; de igual manera, las frecuencias de conmutación son tan altas que un inductor adecuado podría suprimir el ruido, que está alrededor de los **500 kHz** y puede llegar hasta **2.1 MHz**. Este voltaje pasaría entonces por un LDO (Low Dropout Linear Regulator) para eliminar cualquier interferencia remanente de la conmutación (viene pre-ajustado a 3.3V y solo requiere de dos capacitores), este es el **SGM2212-3.3** de SG Micro. Esta sería la línea de alimentación de 3.3V para los osciladores, comunicaciones y tareas con alta sensibilidad de tiempo; entonces la línea directa de 5V únicamente sería utilizada por los encoders del motor de DC, que no utiliza relojes; viene en los empaquetados **TO-263-3** y **SOT-223-3**, usamos este último. De igual forma, existe una versión de voltaje ajustable, **SGM2212-ADJ**, con el paquete TDFN-3x3-8L [sgm2212].

En la siguiente página se muestran algunos datos de los reguladores de voltaje como referencia.

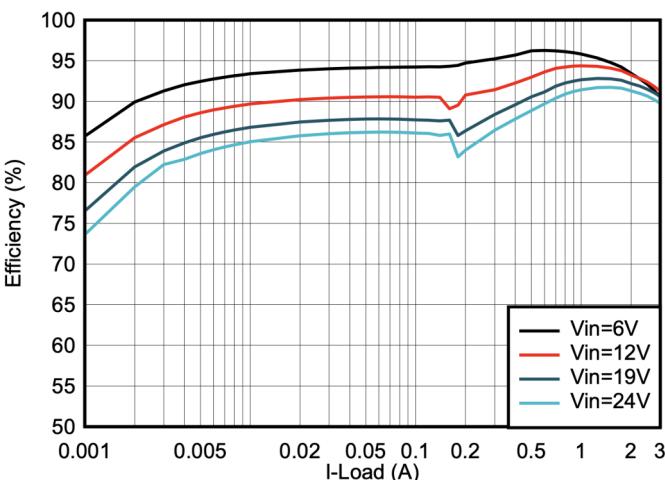


Figure 8-18. TPS62933 Efficiency, $V_{OUT} = 3.3\text{ V}$, $f_{SW} = 500\text{ kHz}$, $L = 4.7\text{ }\mu\text{H}$

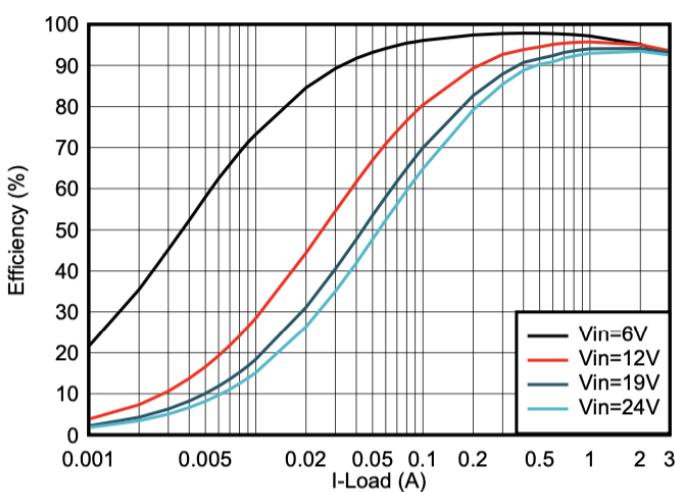
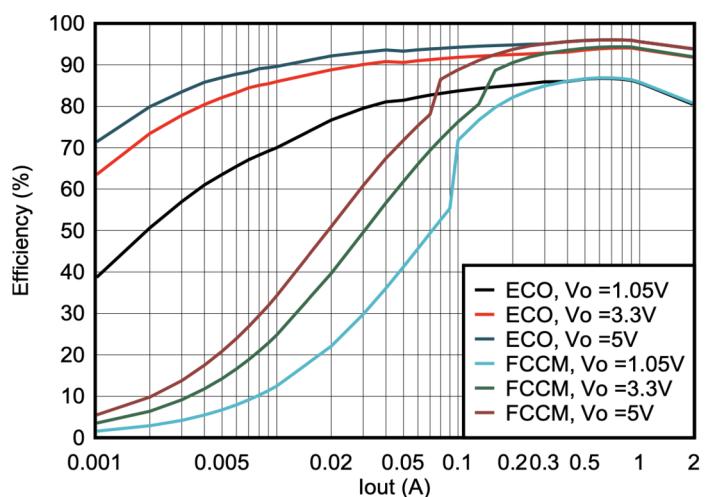


Figure 8-22. TPS62933F Efficiency, $V_{OUT} = 5\text{ V}$, $f_{SW} = 500\text{ kHz}$, $L = 6.8\text{ }\mu\text{H}$

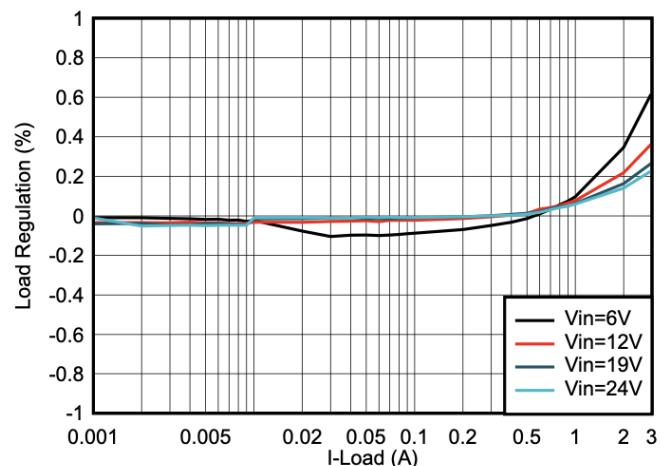


Figure 8-28. TPS62933F Load Regulation, $V_{OUT} = 5\text{ V}$, $f_{SW} = 500\text{ kHz}$

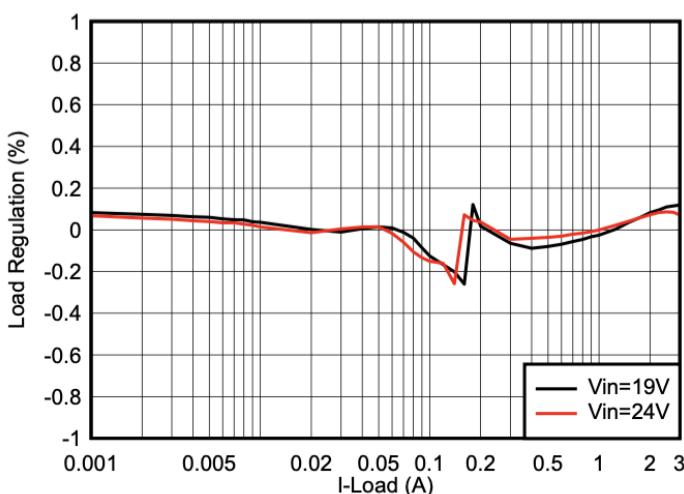
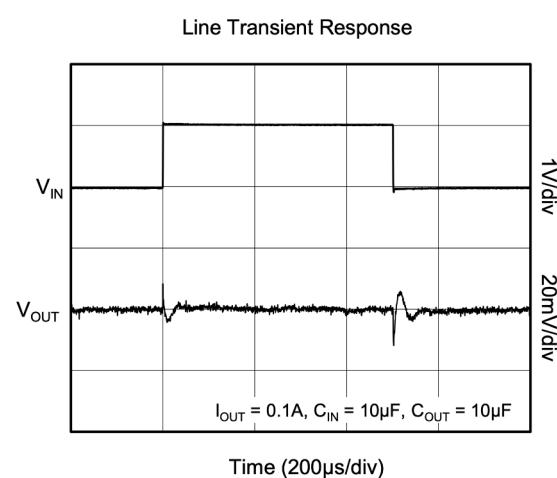


Figure 8-26. TPS62933 Load Regulation, $V_{OUT} = 12\text{ V}$, $f_{SW} = 500\text{ kHz}$



SGM2212

ESP32 S3

Después de pasar por bastantes variaciones de microcontroladores, tanto como de Espressif como de distintas marcas, terminamos eligiendo el ESP32-S3 dado su versatilidad, alta disponibilidad de pines de GPIO, distintos protocolos de comunicación, alta capacidad de SRAM y ROM y sobretodo la conexión directa que ofrece para ser programado con una interfaz USB desde una computadora, es decir, no requiere de un módulo FT232. Brevemente sus características: CPU Xtensa dual-core 32bit LX7; 512 kB SRAM; 384 kB ROM; 2 ADC; 45 GPIO; 3 canales UART, 2 canales I2S (SPI).

De igual forma, se considera un diseño con el ESP32-S2, que sí implementa la conversión USB-UART con un módulo FT232, sin la lectura completa de los status flag de los drivers para los motores DC.

Ambos modelos, S2 y S3 contienen un reloj interno de 8MHz, que permite su funcionamiento sin usar un resonador ni oscilador externo; en la misma forma en que fue implementada la comunicación por USB directa para la programación, también es posible integrar un periférico USB (actualmente no implementado) para otro tipo de comunicación a través de USB OTG.

El microcontrolador ESP32 P4 [esp32p4] también fue considerado, pero dada su oscuridad y falta de documentación fue descartado; este tiene una alta cantidad de pines, reloj interno, y parece no implementar interfaces para protocolos de radiofrecuencia que no nos son de utilidad para este diseño.

Enlaces relacionados:

Footprints y símbolos anotados de ESP32 para KiCAD

<https://github.com/espressif/kicad-libraries>

Comparación de ESP32-S3 con ESP32-S2

<https://products.espressif.com/#/product-comparison?names=ESP32-S3,ESP32-S2&type=SoC>

Guía de diseño de hardware (en PCB) para ESP32-S2

<https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines/en/latest/esp32s2/schematic-checklist.html>

Guía y explicación de la interfaz USB integrada en S3

<https://www.youtube.com/watch?v=hJSBTFsOnoA>

PCB

La entrega final de la distribución continua en desarrollo, sin embargo, se considera que se realice en un arreglo de 4 capas conductoras, de tal forma que los planos sean:

- L1** Señales digitales y analógicas (100kHz I2C & 8MHz)
- L2** Split plane: Plano de alimentación digital (3.3V) y Tierra sobre áreas de alta frecuencia
- L3** Tierra común
- L4** Split plane: Plano de potencia (24V) y Plano de buffer (5V) separados físicamente por 2cm.

Si bien este arreglo puede ser un poco apretado, parece que es adecuado para la reducción de ruido e interferencia electromagnética entre planos y líneas de corriente; entre las consideraciones estudiadas para el diseño de los planos del PCB:

- Utilizar **vías** lo menos posible, pues tienen efectos capacitivos e inductivos en los planos al atravesarlos físicamente; utilizar **microvías** si es posible.
- En frecuencias a partir de los kHz, el efecto capacitivo entre los planos permite que el camino de retorno de una señal pueda ser directamente entre los planos, similar a una forma circular.
- Óptimamente los planos de señales y tierra y alimentación y tierra deben estar lo más cercano posible para evitar que los campos entre ellos se expandan hacia donde no se desea.

Guía útil y referencia para diseño multi-capa:

<https://www.youtube.com/watch?v=QAOEtfvCaMw> (Phil's Lab)

<https://resources.altium.com/p/pcb-stackup-basics> (también de Phil's Lab)

Stackups recomendados, de diferente cantidad de capas.

4 Layers	6 Layers	8 Layers	10 Layers
Signal	Signal	Signal	Signal
GND	GND	GND	GND
GND	Signal	Signal	Signal
Signal	PWR	PWR	PWR
	GND	GND	GND
	Signal	Signal	Signal

Calculadoras de KiCAD

Parameters

Current (I):	5.0	A
Temperature rise (ΔT):	6	°C
Conductor length:	20	mm
Copper resistivity:	1.72e-08	$\Omega \cdot m$

If you specify the maximum current, then the trace widths will be calculated to suit.

If you specify one of the trace widths, the maximum current it can handle will be calculated. The width for the other trace will then be calculated.

The controlling value is shown in bold.

The calculations are valid for currents up to 35 A (external) or 17.5 A (internal), temperature rises up to 100 °C, and widths of up to 400 mils (10 mm).

The formula, from IPC 2221, is

$$I = K \cdot \Delta T^{0.44} \cdot (W \cdot H)^{0.725}$$

where:
I is maximum current in A
 ΔT is temperature rise above ambient in °C
W is width in mils
H is thickness (height) in mils
K is 0.024 for internal traces or 0.048 for external traces

External Layer Traces

Trace width (W):	3.77065	mm
Trace thickness (H):	35	μm
Cross-section area:	0.131973	mm²
Resistance:	0.0026066	Ω
Voltage drop:	0.013033	V
Power loss:	0.065165	W

Internal Layer Traces

Trace width (W):	9.80912	mm
Trace thickness (H):	35	μm
Cross-section area:	0.343319	mm²
Resistance:	0.00100198	Ω
Voltage drop:	0.00500992	V
Power loss:	0.0250496	W

Ancho necesario de trazos para evitar sobre-calentamientos o destruirlos con el paso de la corriente.

Parameters

Finished hole diameter (D):	0.4	mm
Plating thickness (T):	0.035	mm
Via length:	1.6	mm
Via pad diameter:	0.6	mm
Clearance hole diameter:	1.0	mm
Z0:	50	Ω
Applied current:	1	A
Plating resistivity:	1.72e-08	Ω · m
Substrate relative permittivity:	4.5	...
Temperature rise:	10	°C
Pulse rise time:	1	ns

Results

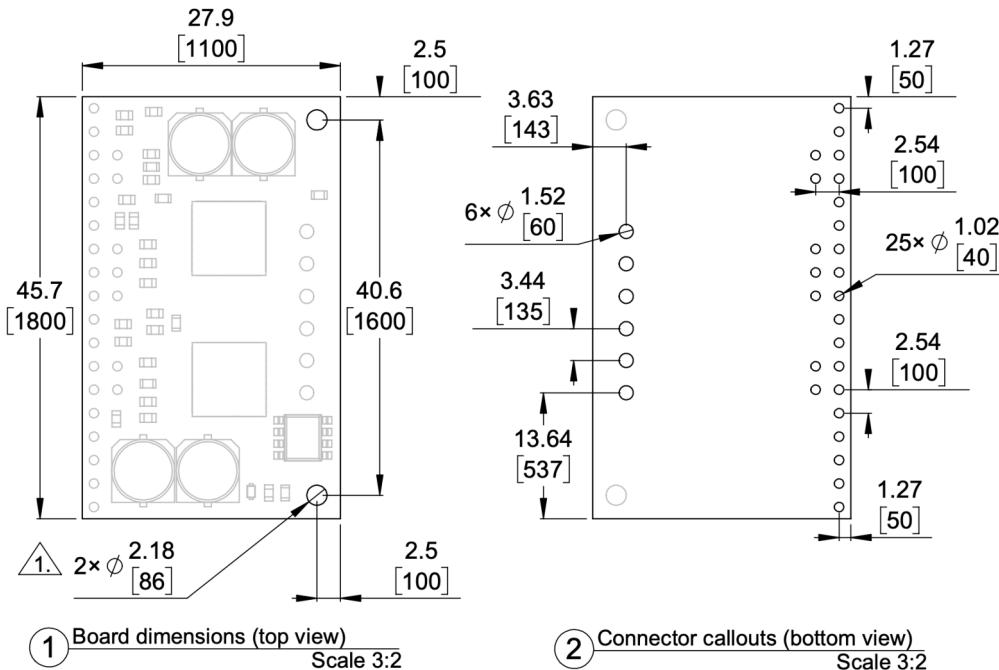
Resistance:	0.000575362 Ω
Voltage drop:	0.000575362 V
Power loss:	0.000575362 W
Thermal resistance:	83.2937 °C/W
Estimated ampacity:	2.9993 A
Capacitance:	0.599508 pF
Rise time degradation:	32.9729 ps
Inductance:	1.20723 nH
Reactance:	3.79262 Ω

The diagram shows a cross-section of a via. It consists of a central circular pad, a middle ring of plating, and an outer clearance hole. Dimension lines indicate the 'D' (finished hole diameter) across the top of the via and the 'T' (plating thickness) as the height of the middle ring.

Calculadora de capacitancia e inductancia de vías para ser tomado en cuenta en diseños multiplano.

Creación de Footprint

Algunos de los componentes usados no incluyen sus footprints en los sitios del fabricante, entonces nosotros tenemos que hacerlas para poder encajar todo bien en la tarjeta. En este caso resultó no ser muy complicado, solo es cuestión de acomodar los *drill holes* para poder acomodar los pines de los headers y la pieza quede bien colocada encima. Afortunadamente Pololu ofrece planos para esto con las dimensiones de sus PCB, ubicaciones y separación de los hoyos:



Dependiendo del fabricante, puede que alguna unidad de medida funcione mejor que otra para acomodar las partes, por ejemplo: en este esquemático se muestran unidades en milímetros, sin embargo, debajo también se muestra una unidad con mayor precisión, que es el **mil**. Equivale a una milésima de pulgada: $1 \text{ mil} = \frac{1}{1000} \text{ inch} = 25.4 \mu\text{m} = .0254 \text{ mm}$. También se le suele llamar **thou** [mil].

Para este *footprint*, solo estaremos usando los hoyos para ajustar los pines de los headers junto con su respectivo *courtyard* y *silkscreen*; de acuerdo a algunos footprint de muestra en KiCad, este tipo de pines tienen pads y hoyos con las siguientes características, dependiendo de si llevan señales o la tierra:



Hoyo

Diámetro hoyo : 0.5 mm

Pad

Tipo : Rectangular

Dimensión x : 0.85 mm

Dimensión y : 0.85 mm



Hoyo

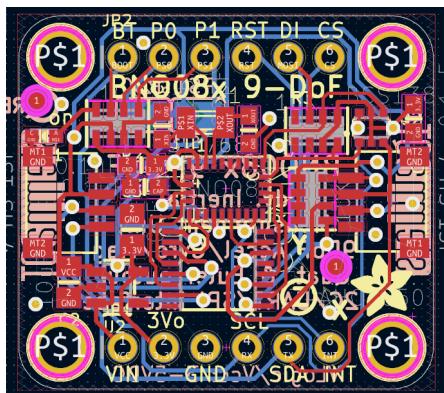
Diámetro hoyo : 0.5mm

Pad

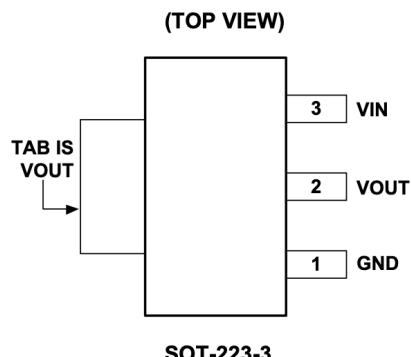
Tipo : Circular

Diámetro : 0.85mm

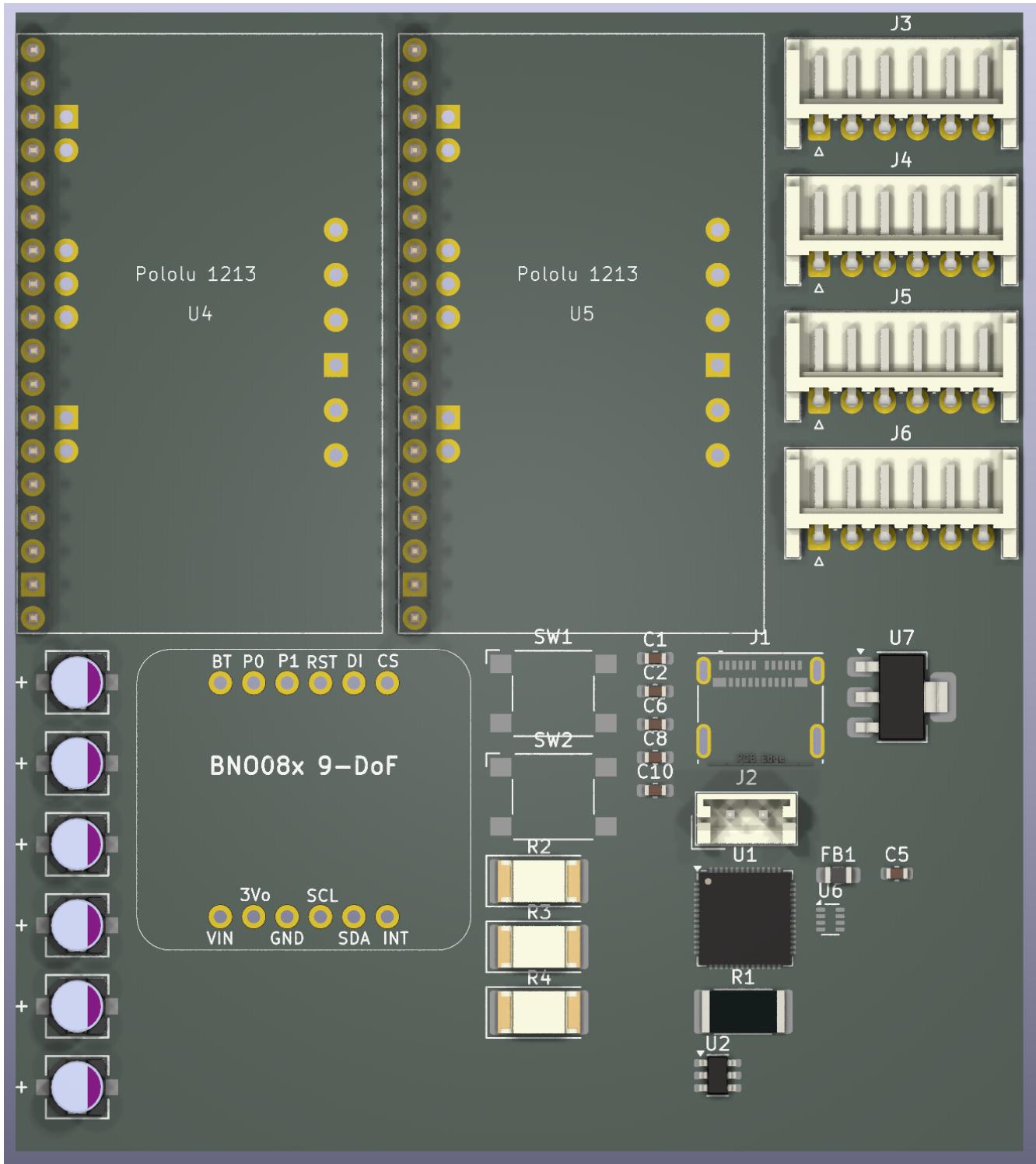
A pesar de que los hoyos de los seis pads del lado derecho (vista superior) son ligeramente más grandes, se mantienen todos del mismo tamaño en la footprint dado que los pines usados son los mismos para ambos lados (2.54mm, 0.65mm Ø); de la misma forma, el pad mantiene las dimensiones, dado que tiene superficie de contacto suficiente para la corriente esperada (1A ~ 3A) de acuerdo a la calculadora del programa.



Para el footprint del BNO085 resultó muy conveniente el esquemático en EAGLE de acceso libre proporcionado por Adafruit [bnogit]. Fue importado en el editor, eliminadas todas las capas excepto los hoyos. Se mantuvo parte del silkscreen original como referencia de alineación y la capa *edge cuts* fue reemplazada por *courtyard*.



La huella del paquete SOT-223-3 viene ya en el programa, entonces solo fue necesario coincidir los pines del símbolo con la hoja de datos y la huella.



Vista previa de los componentes sin acomodar en la PCB. A algunos pads les falta *solder paste*, y algunos modelos 3D en otros lados (pendiente). De igual forma, sería conveniente añadir silkscreen a algunas partes de la tarjeta, pero eso ya será para el final.

Copper Pour

Copper Thickness Conversion Chart

oz	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9
mils	1.37	2.06	2.74	4.11	5.48	6.85	8.22	9.59	10.96	12.33
inch	0.00137	0.00206	0.00274	0.00411	0.00548	0.00685	0.00822	0.00959	0.01096	0.01233
mm	0.0348	0.0522	0.0696	0.1044	0.1392	0.1740	0.2088	0.2436	0.2784	0.3132
µm	34.80	52.20	69.60	104.39	139.19	173.99	208.79	243.59	278.38	313.18

[pourcu]

Copper Weight Minimum Spacing Rules

The thicker your copper requirements are, the more spacing is required between copper features on your PCB.

Cu Weight	Min. Recommended Space between Copper Features and Min. Trace width
1oz	3.5 mil (0.089mm)
2oz	8 mil (0.203mm)
3oz	10 mil (0.254mm)
4oz	14 mil (0.355mm)

TIP: The spacing shown in this chart is to be used as a general guide. Different factories will have slightly different capabilities. This should give you a general idea of what min spacing and min trace width to target when setting your design rules. The more spacing you can give between copper features the better.

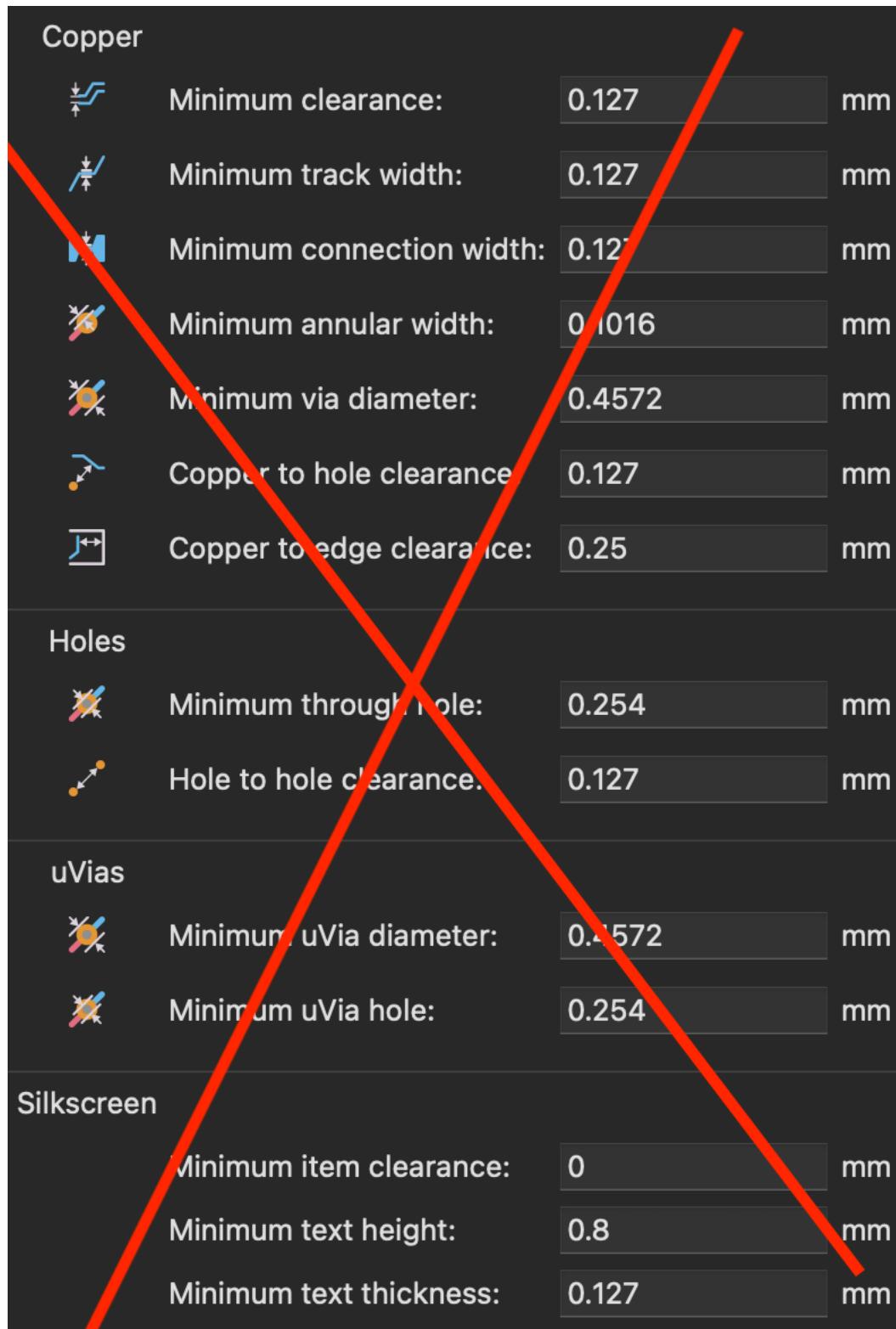
It is easier to print narrow traces than it is to etch a narrow gap between them, but for consistency, use the same dimensions for spacing and trace widths for your design rules.

[pourcu]

Se eligió un grosor de cobre de ~~52.20 µm / 5oz~~ en todas las capas para tener una mejor conductividad y trazos menos amplios (en comparación con 1oz) en el espacio limitado; de tal forma que:

Copper layers:	4	▼	<input checked="" type="checkbox"/> Impedance controlled		
Layer	Id	Type	Material	Thickness	🔒
	F.Silkscreen	Top Silk Screen	Not specified	...	
	F.Paste	Top Solder Paste			
	F.Mask	Top Solder Mask	Not specified	...	0.01 mm
	F.Cu	Copper			0.0522 mm
	Dielectric 1	PrePreg	FR4	...	0.1 mm
	In1.Cu	Copper			0.0522 mm
	Dielectric 2	Core	FR4	...	1.24 mm
	In2.Cu	Copper			0.0522 mm
	Dielectric 3	PrePreg	FR4	...	0.1 mm
	B.Cu	Copper			0.0522 mm
	B.Mask	Bottom Solder Mask	Not specified	...	0.01 mm
	B.Paste	Bottom Solder Paste			
	B.Silkscreen	Bottom Silk Screen	Not specified	...	

~~Los constraints se ajustaron acorde a los de los métodos de fabricación de OSH Park como referencia, aunque dado que no estamos cerca de ningún límite inferior no debería haber mucho problema con otros fabricantes, entonces:~~



Copper			
	Minimum clearance:	0.127	mm
	Minimum track width:	0.127	mm
	Minimum connection width:	0.127	mm
	Minimum annular width:	0.1016	mm
	Minimum via diameter:	0.4572	mm
	Copper to hole clearance:	0.127	mm
	Copper to edge clearance:	0.25	mm
Holes			
	Minimum through hole:	0.254	mm
	Hole to hole clearance:	0.127	mm
uVias			
	Minimum uVia diameter:	0.4572	mm
	Minimum uVia hole:	0.254	mm
Silkscreen			
	Minimum item clearance:	0	mm
	Minimum text height:	0.8	mm
	Minimum text thickness:	0.127	mm

Cambio de planes

Los constraints de fabricación de OSH Park no permiten pads muy cercanos, pues su parámetro para **clearance** es muy grande. Una posible solución podría ser la delegación de secciones con partes pequeñas, como el ESP32, USB o reguladores a módulos externos, por lo tanto usaremos las reglas de otro fabricante popular: **PCBWay**.

1 4-layers PCB



Thickness: **1.6MM** Finished Outer Copper: **2OZ**

Inner Copper: **1.5OZ** Inner layer Residual copper ratio: **70%**

Layer	Material	Thickness (mm)	Thickness after lamination(mm)
L1-CU	Outer Base Copper 1.5OZ	0.0525	0.0525 (Plating to 2OZ)
PP	7628 RC46% DK:4.74	0.1960	0.1803
L2-CU	Inner Copper 1.5OZ	0.0525	
CORE	Core DK:4.6	0.8950	1.0 (Core with Cu)
L3-CU	Inner Copper 1.5OZ	0.0525	
PP	7628 RC46% DK:4.74	0.1960	0.1803
L4-CU	Outer Base Copper 1.5OZ	0.0525	0.0525 (Plating to 2OZ)

* Thickness after lamination: 1.47mm, tolerance: ±10%

* Finished PCB Thickness: 1.57mm, tolerance: ±10%

* Inner layer Residual copper ratio > 60%, it is suitable to choose a lamination structure with 70% inner layer Residual copper ratio.

Entonces, para las capas exteriores tenemos cobre de 2 onzas, y para las capas interiores, cobre de 1.5 onzas.

Sumando estos grosores con las capas prepreg y core, tenemos un grosor final de 1.6mm

[pcbwystackup]

Min Trace		0.1mm/4mil	Min manufacturable trace is 4mil(0.1mm), strongly suggest to design trace above 6mil(0.15mm) to save cost.
Min Spacing			Min manufacturable spacing is 4mil(0.1mm), strongly suggest to design spacing above 6mil(0.15mm) to save cost.
Outer Layer Copper Thickness		1oz/2oz/3oz(35μm/70μm/105μm)	Also known as copper weight. 35μm=1oz, 70μm=2oz, 105μm=3oz. Please view the below "Standard PCB" or contact us if you need copper weight greater than 3oz.
Inner Layer Copper Thickness		1oz/1.5oz(35μm/50μm)	Inner copper weight as per customer's request for 4 and 6 layers(Multi-layer laminated structure). Please contact us if you need copper weight greater than 1.5oz.

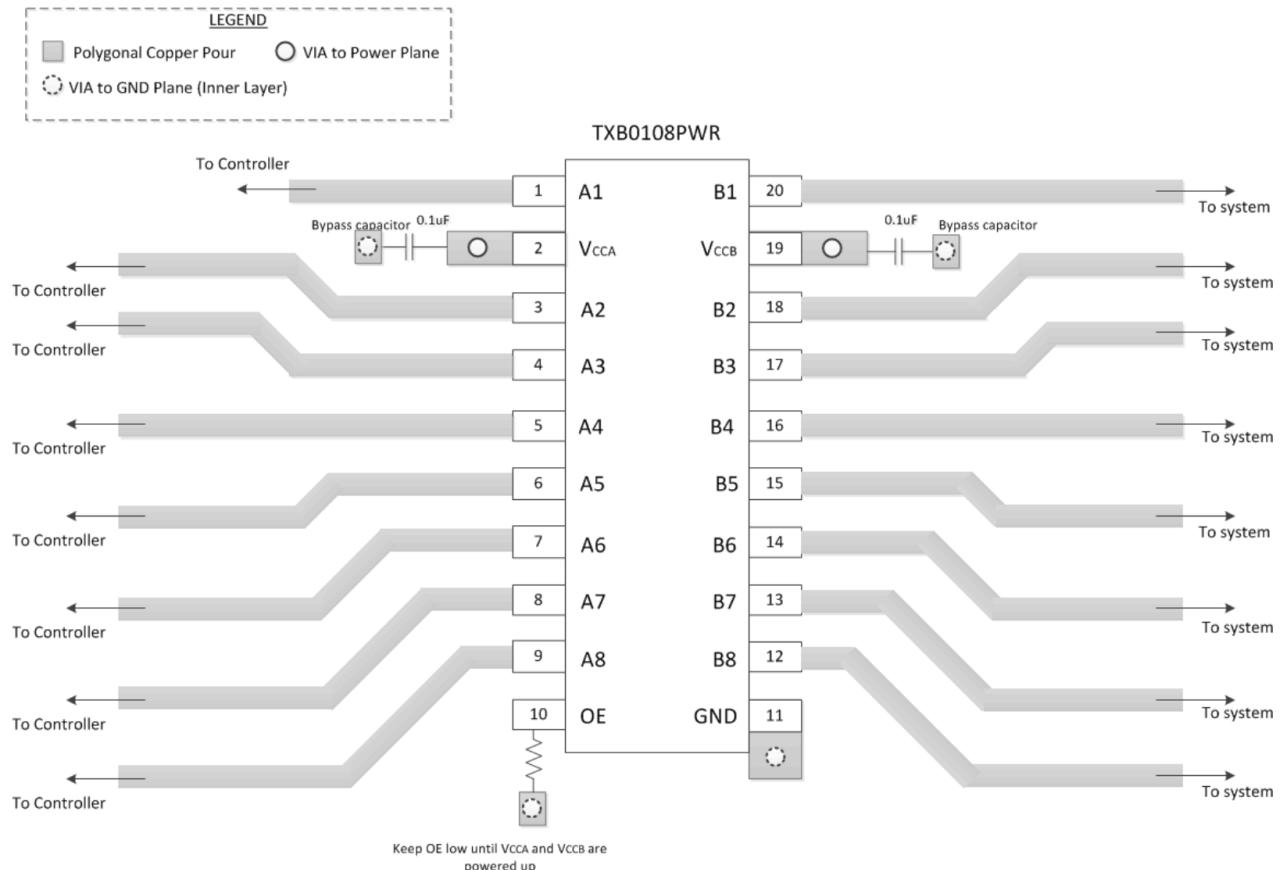
Thermal relieves in filled zones

<https://forum.kicad.info/t/understanding-thermal-reliefs/45609/4>

Logic Level Shifter

Se utiliza para reducir el voltaje de los estados lógicos, nosotros utilizamos un **TXB0108**. Muy simple de usar, de acuerdo a la hoja de datos, se conecta de la siguiente forma [txb0108ds].

10.2 Layout Example



The output-enable (OE) input circuit is designed so that it is supplied by VCCA and when the (OE) input is low, all outputs are placed in the high-impedance state. To ensure the high-impedance state of the outputs during power-up or power-down, the OE input pin must be tied to GND through a pulldown resistor and must not be enabled until VCCA and VCCB are fully ramped and stable. The minimum value of the pulldown resistor to ground is determined by the current-sourcing capability of the driver.

Límites y especificaciones de fabricación

<https://www.pcbway.com/capabilities.html>

¿Cómo elegir la relación de tamaño hueco/anillo? Estándares, y más sobre teardrops

<https://resources.altium.com/p/pcb-size-and-pad-size-guidelines>

Utilidad de los teardrops

<https://resources.altium.com/p/how-to-increase-design-yield-quality-with-teardrops>

Cambios a la última revisión

Corrección: Cambio de 5V a 3.3V para VCC en el driver carrier de Pololu 1213; ESP32 tiene un voltaje I/O de 3.3V: lectura de los encoders.

Corrección: Fueron conectados los 8 pines de los encoders de cuadratura al ESP32 en los pines GPIO correspondientes al cristal resonante (2), JTAG (4) y UART (2).

Corrección: Aunque ya habían sido ajustados manualmente los parámetros de DRC, se importaron las **Custom Rules** completas para fabricación multi-layer y fabricación avanzada de PCBWay para evitar fallos en el diseño [pcbwayrules]. Es importante modificar (eliminar lo que no se usará y quitar gato de comentarios de lo que sí) el script a las necesidades, el nuestro quedó de esta forma:

siguiente página...

Corrección: Cambio de footprint y modelo de USB-C a uno más conveniente a nuestro uso: USB4105-GF-A, o USB4105 de GCT en general.

Corrección: Cambio de nivel lógico de 5V a 3.3V para los drivers, pues también es permitido y no funcionaría por sí solo con el microcontrolador de otra forma.

Corrección: Pines CC1 y CC2 del puerto USB-C pulled-down, para poder comunicar a la computadora su rol en el protocolo USB OTG. Antes flotando...

Corrección: Agregados capacitores para debounce en los botones.

Corrección: Re acomodo del orden de los nets en el ESP32 para facilitar las conexiones con los drivers.

Adición: Se agregó un indicador LED para el estado encendido, pues aunque el BNO085 tiene un LED, igual hacía falta uno en la tarjeta principal.

PCB

El arreglo de las capas final quedó de la siguiente forma:

- Señales digitales de baja frecuencia y elementos para componentes SMD. (rojo)
- **PREPREG**
- Plano de 3.3V y rutas para 5V/arreglos y acomodos con capa roja. (verde)
- **CORE**
- Plano de tierra ininterrumpido (excepto por through-holes) que lleva las 4 señales analógicas del feedback de los drivers en los margenes. (naranja)
- **PREPREG**
- Plano de 24V por parte derecha. Interrumpido por rutas para el control PWM de los motores. Usado (muy) mínimamente en el lado izquierdo para desapretar conexiones frontales. (azul)

El ancho de todas las rutas fue establecido de acuerdo a la cantidad de corriente que llevan, el máximo ancho útil que permiten los componentes y la densidad del empaquetado en el área, siendo usados entonces únicamente los siguientes anchos, dependiendo del componente:

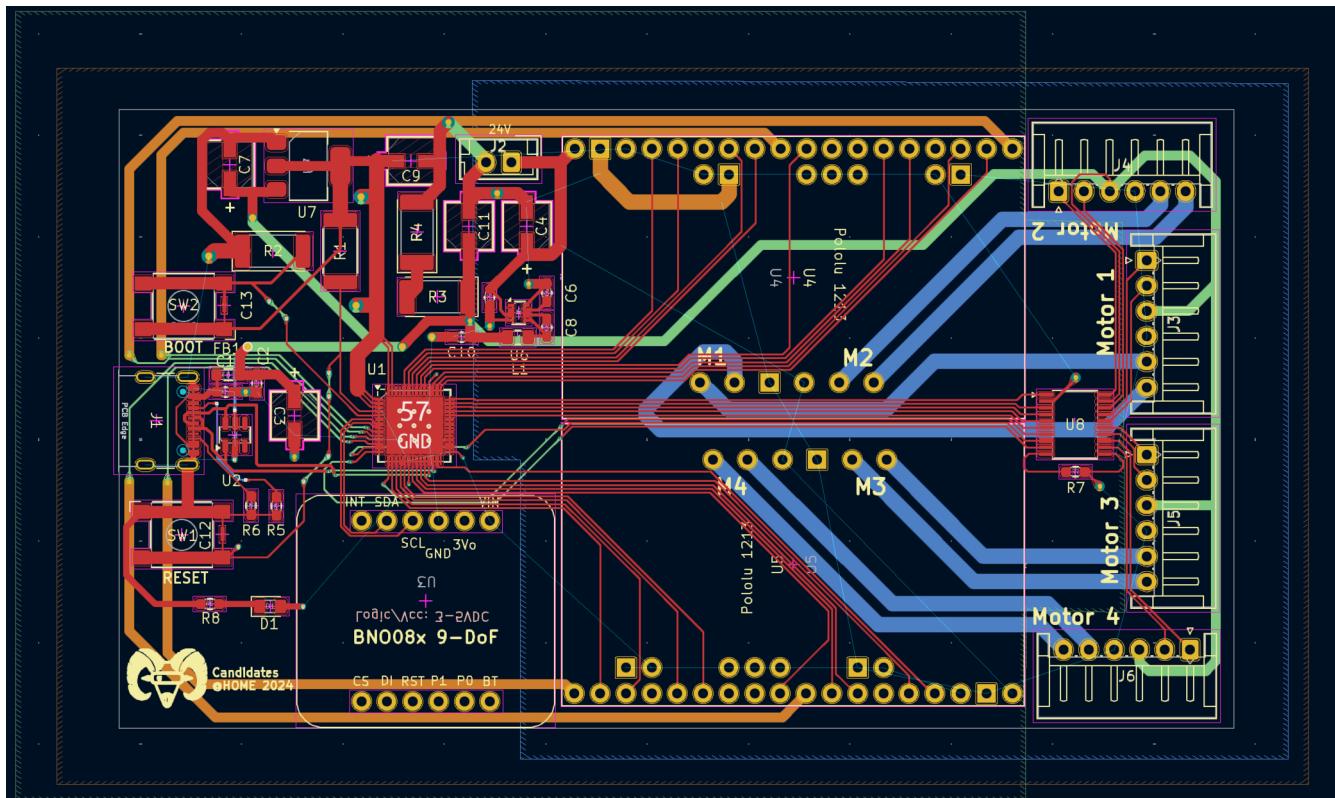
Track: 0.200 mm (7.87 mils)
Track: 0.300 mm (11.81 mils)
Track: 0.600 mm (23.62 mils)
Track: 0.950 mm (37.40 mils)
Track: 1.000 mm (39.37 mils)
Track: 1.219 mm (48.00 mils)
Track: 1.500 mm (59.06 mils)

Se agregaron *teardrops* en las vias (y microvias) en las que fuera conveniente, y todas las dimensiones y chequeos de regla fueron de acuerdo al proceso de fabricación de **PCBWay**.

Entonces, un repaso breve de las capas:

Sugiero de todas formas revisar los archivos en kicad.org o tu computadora. Rellenados de cobre removidos para mejor claridad en algunas imágenes; los cuadrados de colores indican la zona correspondiente: naranja: ground plane; azul: 24V; verde: 3.3V.

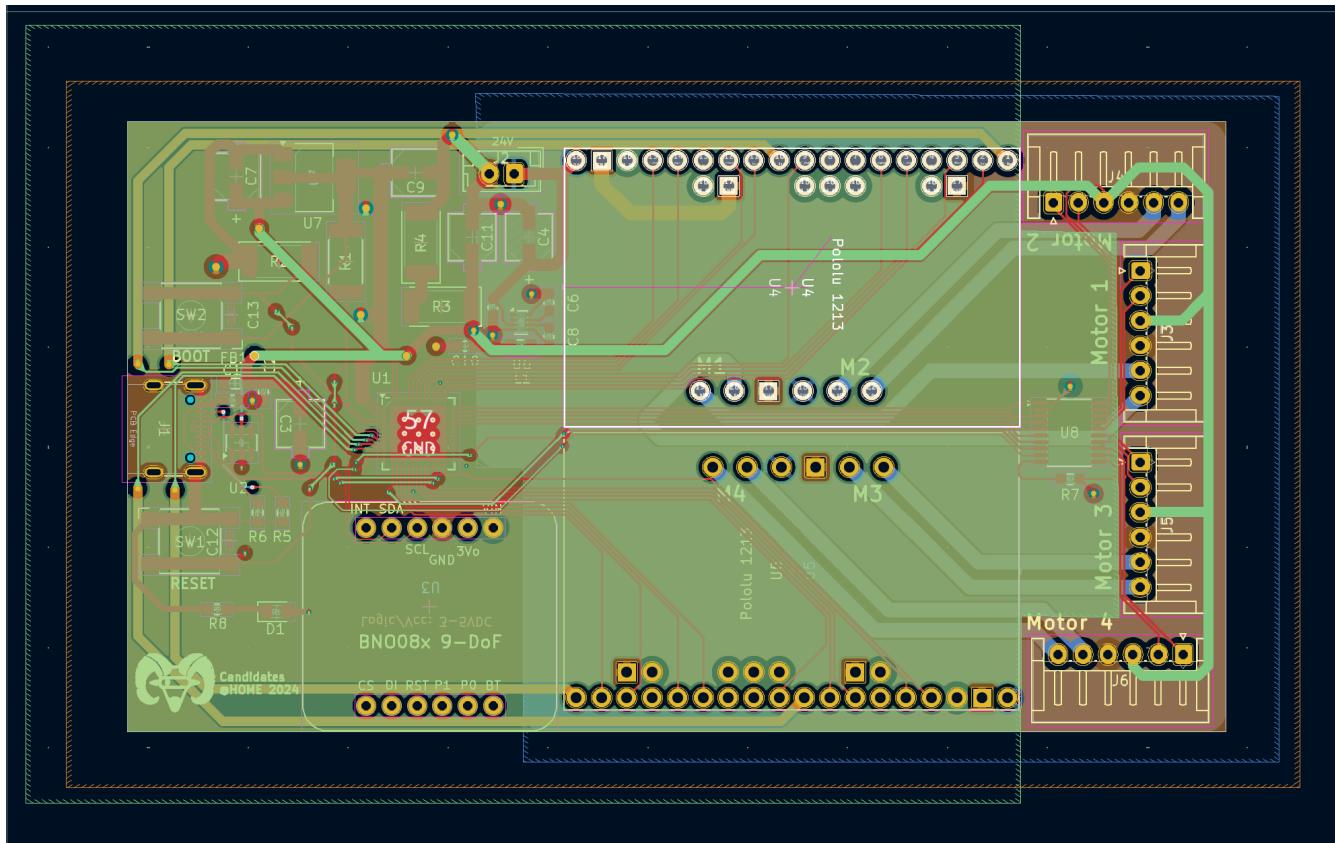
Frontal (rojo)
F.Cu (frontal)



Arriba a la izquierda tenemos la parte donde se reduce el voltaje de 24V a 5V, y de nuevo a 3.3V: **U7** y **U6**. En esta parte fueron usadas rutas bastante amplias, como lo permitieran los pads para reducir el calentamiento y posibles pérdidas, el microcontrolador se pone sobre un pad gigante de tierra, entonces esa área tiene microvías para tal propósito.

Primera capa interna

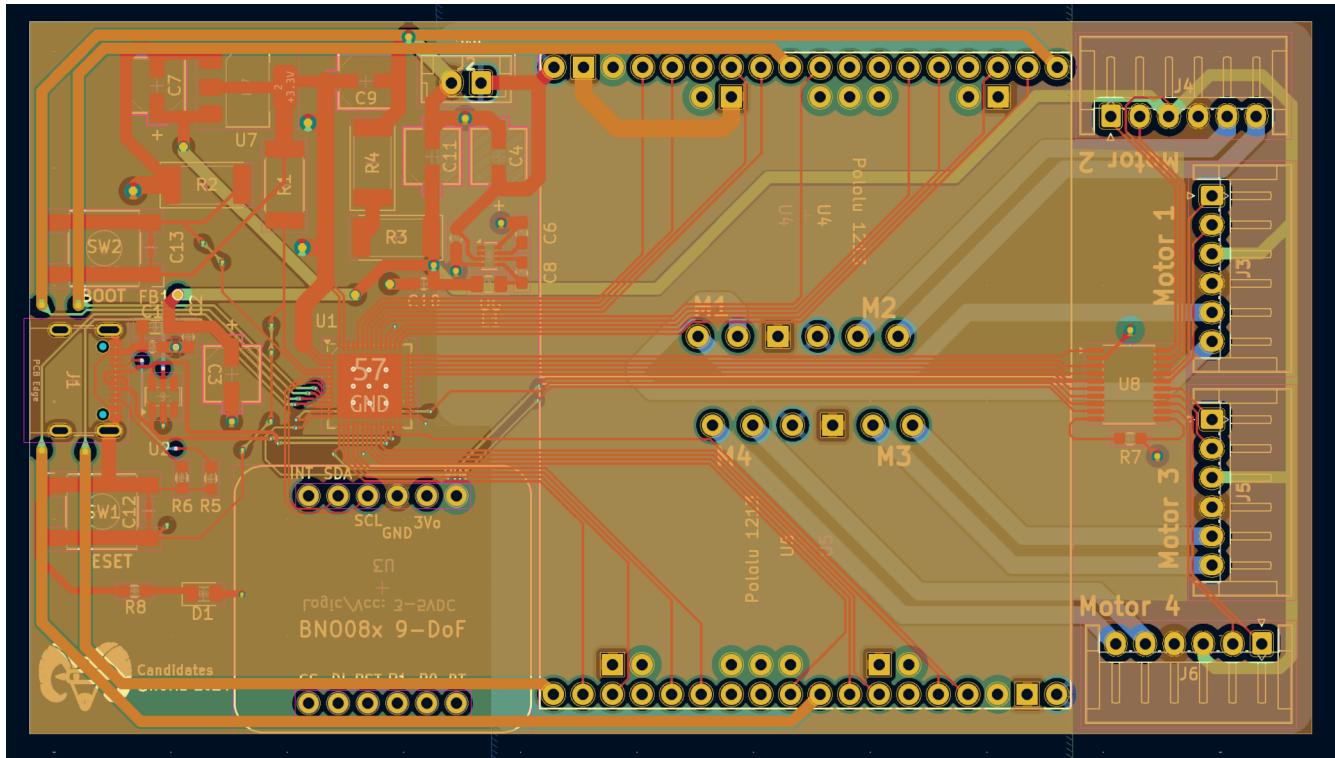
In1.Cu



Se muestra el plano de 3.3V relleno, las rutas se mantienen en un mínimo para, como he mencionado, desapretar rutas en la otra capa y conectar 5V a la única parte del circuito que los requiere, los encoders. Aunque el plano está interrumpido en algunas partes, es lo suficientemente amplio e uniforme para poder dar referencias adecuadas a los componentes.

Segunda capa interna

In2.Cu

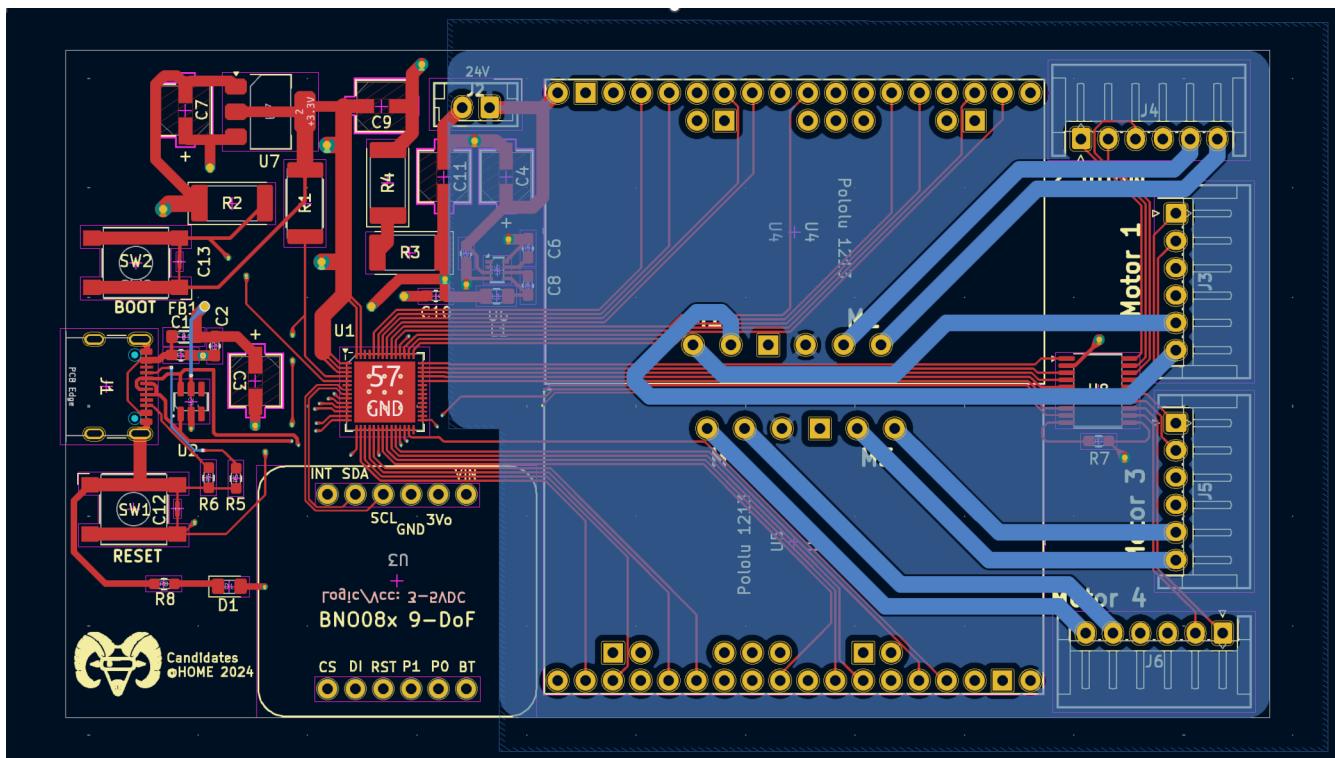


Capa básicamente ininterrumpida de tierra en la parte útil de la tarjeta; se pueden observar las rutas de las 4 señales analógicas pasar por alrededor hasta llegar a sus correspondientes pines en el microcontrolador (después de pasar por microvías). En la parte superior, por el medio se puede observar una ruta sobre el relleno de cobre: esta fue para compensar que uno de los pads de tierra únicamente pudo tener un *thermal spoke* dada su adyacencia con la línea analógica, entonces incrementa su ancho sin cambiar la zona.

Esta capa es la más importante pues mantiene una separación física y eléctrica entre las capas de señales y la capa de potencia.

Capa inferior (externa)

B.Cu



Las otras capas han sido ocultas, se puede observar la zona de 24V, hasta cierto punto apartada del resto de los componentes de la tarjeta que no la necesitan. También se usa la capa de 24V para las rutas de PWM hacia los motores. Se pueden ver igual en el lado izquierdo también unas rutas delgadas usadas para ajustes finales pues ya no había más espacio por esa zona en las capas correspondientes.

Archivo DRC en la siguiente página (hacer zoom)

```

(version 1)
#PCBWay Custom DRC for Kicad 7

# ----- Minimum trace width and spacing (PICK ONE) -----
# 2oz copper
(rule "Minimum Trace Width and Spacing (outer layer)"
(constraint track_width (min 0.1524mm))
(constraint clearance (min 0.1778mm))
(layer outer)
(condition "A.Type == 'track'"))

(rule "Minimum Trace Width and Spacing (inner layer)"
(constraint track_width (min 0.1524mm))
(constraint clearance (min 0.1778mm))
(layer inner)
(condition "A.Type == 'track'"))

# -----
# Drill/hole size - listed here to maintain order of rule application. Must not override rule set in Via hole/diameter size below.
(rule "drill hole size (mechanical)"
(constraint hole_size (min 0.15mm) (max 6.3mm)))

# ----- Via hole/diameter size (PICK ONE) -----
# 4-layer advanced
(rule "Minimum Via Diameter and Hole Size"
(constraint hole_size (min 0.15mm))
(constraint via_diameter (min 0.3mm))
(condition "A.Type == 'via'"))

# ----- Drill/hole size -----
(rule "PTH Hole Size"
(constraint hole_size (min 0.2mm) (max 6.35mm))
(condition "A.Type != 'Via' && A.isPlated()"))

(rule "Minimum Non-plated Hole Size"
(constraint hole_size (min 0.5mm))
(condition "A.Type == 'pad' && !A.isPlated()"))

(rule "Pad Size"
(constraint hole_size (min 0.5mm))
(constraint annular_width (min 0.25mm))
(condition "A.Type == 'Pad' && A.isPlated()"))

(rule "Minimum Castellated Hole Size"
(constraint hole_size (min 0.6mm))
(condition "A.Type == 'pad' && A.Fabrication_Property == 'Castellated pad'"))

(rule "Min. Plated Slot Width"
(constraint hole_size (min 0.5mm))
(condition "(A.Hole_Size_X != A.Hole_Size_Y) && A.isPlated()"))

(rule "Min. Non-Plated Slot Width"
(constraint hole_size (min 0.8mm))
(condition "(A.Hole_Size_X != A.Hole_Size_Y) && !A.isPlated()"))

# ----- Minimum clearance -----
# rule "hole to hole clearance (different nets)"
# (constraint hole_to_hole (min 0.5mm))
# (condition "A.Net != B.Net"))

(rule "via to track clearance"
(constraint hole_clearance (min 0.254mm))
(condition "A.Type == 'via' && B.Type == 'track'"))

(rule "via to via clearance (same nets)"
(constraint hole_to_hole (min 0.254mm))
(condition "A.type == 'via' && B.type == A.type && A.Net == B.Net"))

(rule "pad to pad clearance (with hole, different nets)"
(constraint hole_to_hole (min 0.5mm))
(condition "A.Type == 'pad' && B.Type == A.Type && A.Net != B.Net"))

(rule "pad to pad clearance (without hole, different nets)"
(constraint clearance (min 0.127mm))
(condition "A.Type == 'Pad' && B.Type == 'Pad'"))

(rule "NPTH to Track clearance"
(constraint hole_clearance (min 0.254mm))
(condition "A.Pad_Type == 'NPTH, mechanical' && B.Type == 'track'"))

(rule "NPTH with copper around"
(constraint hole_clearance (min 0.20mm))
(condition "A.Pad_Type == 'NPTH, mechanical' && B.Type != 'track'"))

(rule "PTH to Track clearance"
(constraint hole_clearance (min 0.33mm))
(condition "A.isPlated() && A.Type != 'Via' && B.Type == 'track'"))

(rule "Pad to Track clearance"
(constraint clearance (min 0.2mm))
(condition "A.isPlated() && A.Type == 'Via' && B.Type == 'track'"))

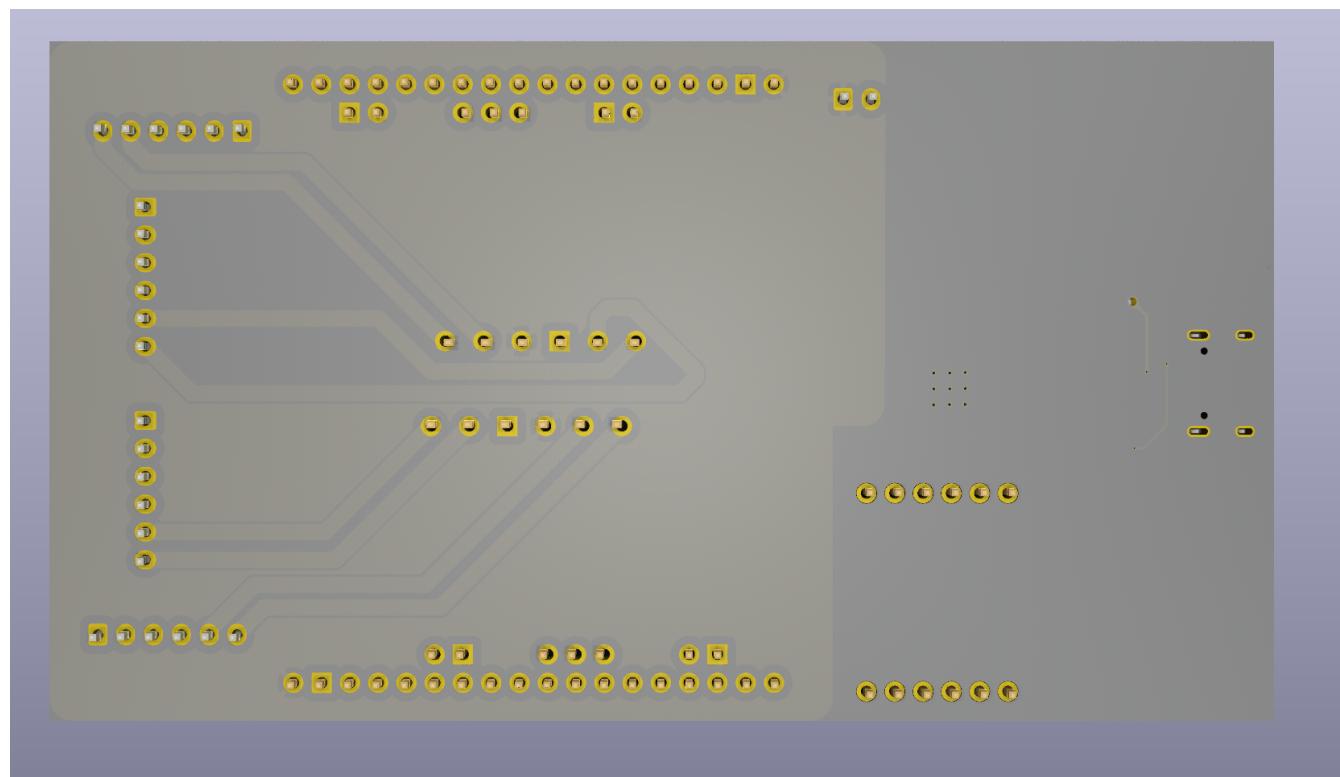
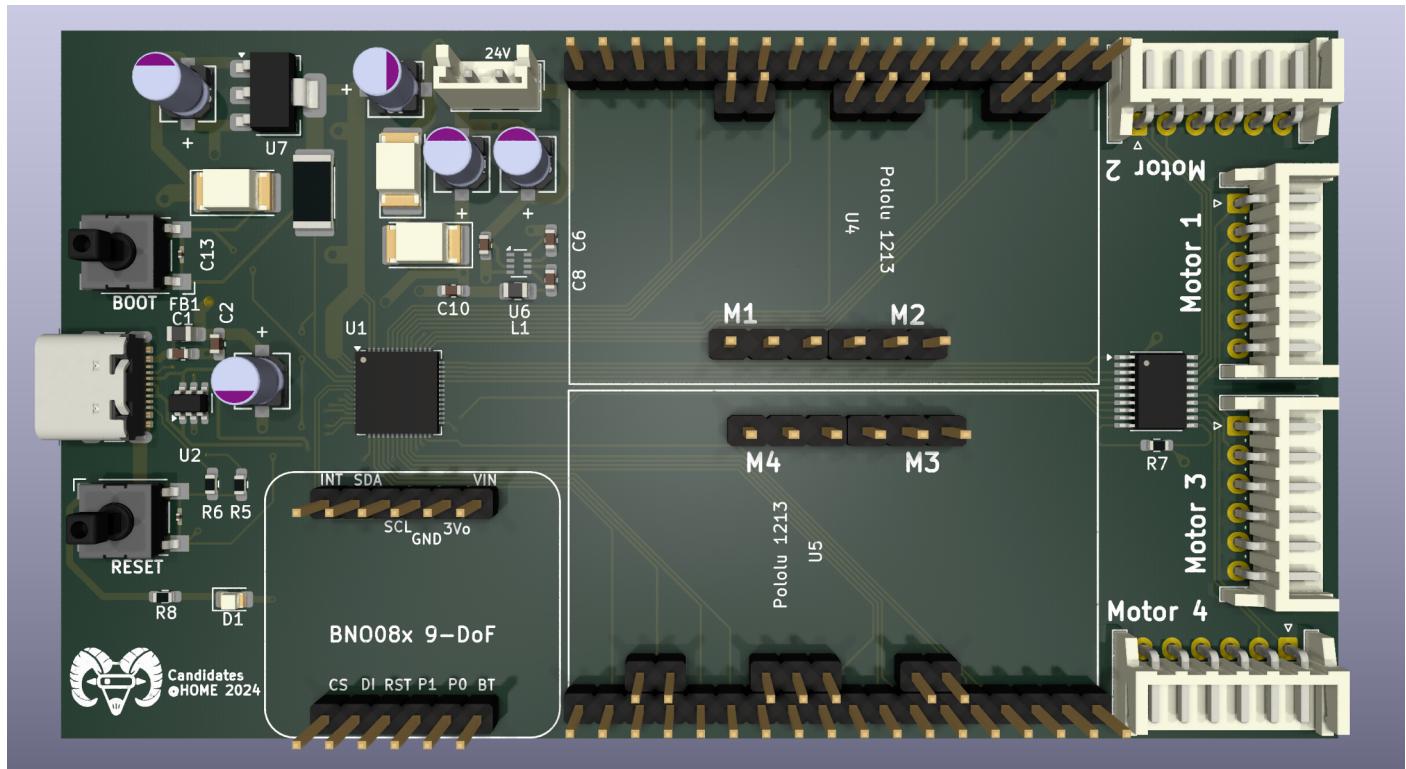
# ----- Board Outlines (PICK ONE) -----
#Default Routed Edge Clearance
(rule "Trace to Outline"
(constraint edge_clearance (min 0.3mm))
(condition "A.Type == 'track'"))

# ----- silkscreen -----
(rule "Minimum Text"
(constraint text_thickness (min 0.15mm))
(constraint text_height (min 0.8mm))
(layer "?_Silkscreen"))

(rule "Pad to Silkscreen"
(constraint silk_clearance (min 0.15mm))
(layer outer)
(condition "A.Type == 'pad' && (B.Type == 'text' || B.Type == 'graphic')"))

```

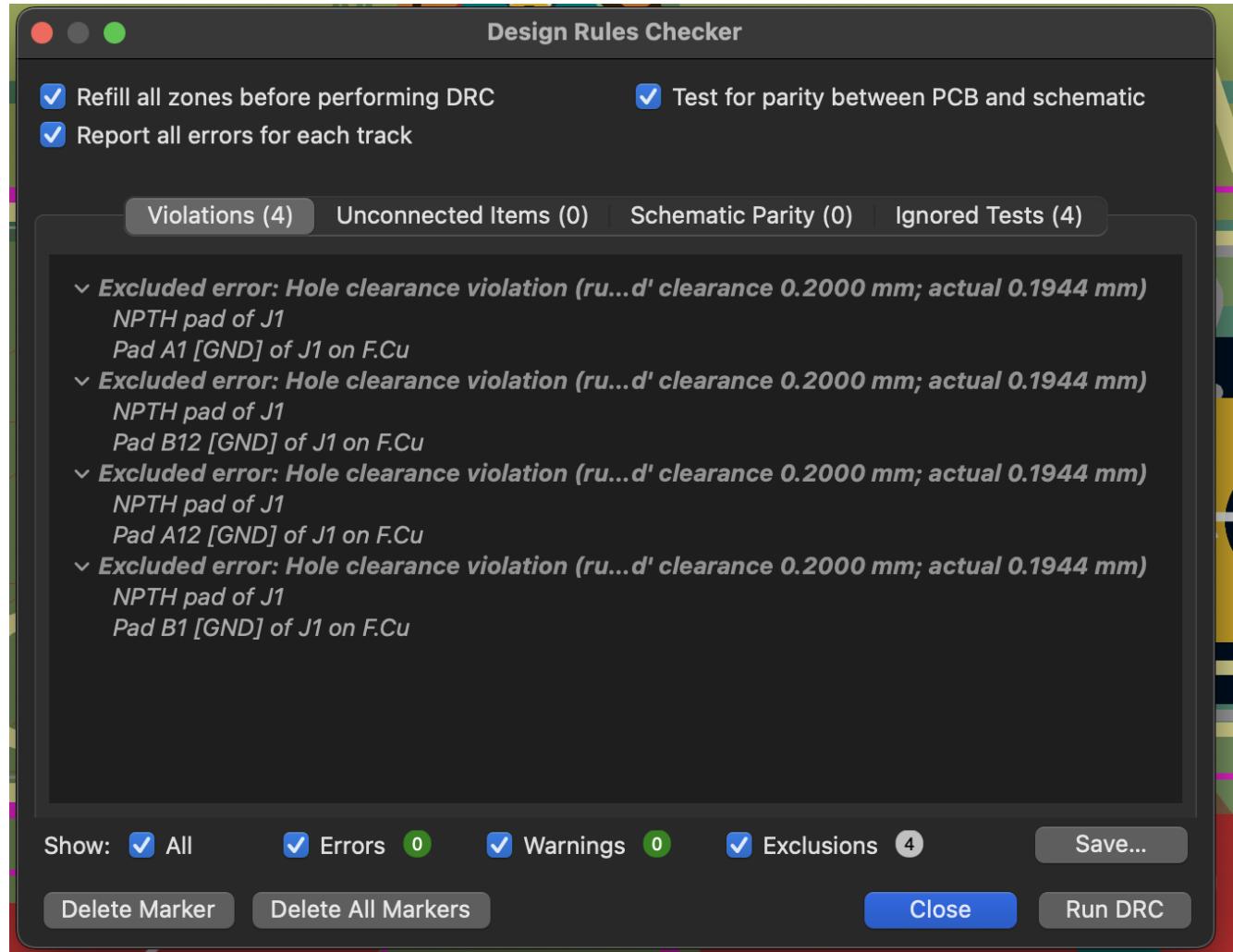
PREVIEEW 3D!



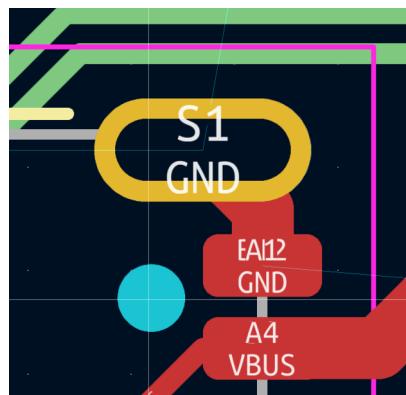
(atrás no hay nada)

No se incluyen **NPTH** para el montaje pero aún hay suficiente espacio para eso si hace falta.

DRC



Las exclusiones son por la tolerancia de la precisión taladro, que expone mínimamente una parte de un pad en el conector USB-C, sin embargo esto puede ajustarse en la página web de PCBWay. Este error viene con el componente, pues el receptáculo es pequeño.



Clearance violation con el NPTH (puntito azul donde está el crosshair) con el pad de tierra del mismo receptáculo USB-C.

Pricing And Build Time

PCB Price	Price Comparison Matrix		
	Build Time	Qty	Total
<input checked="" type="checkbox"/>	4-5 days	5	\$140.95
<input type="radio"/>	Express 24hours 	5	\$455.49
<input type="radio"/>	Express 48hours 	5	\$227.73
<input type="radio"/>	Express 72hours 	5	\$181.20

 Final price is subject to our review.

Shipping Cost: \$19.98

 UNITED STATES OF AMERICA  DHL

DHL 2-4 business days, wt:0.12kg 

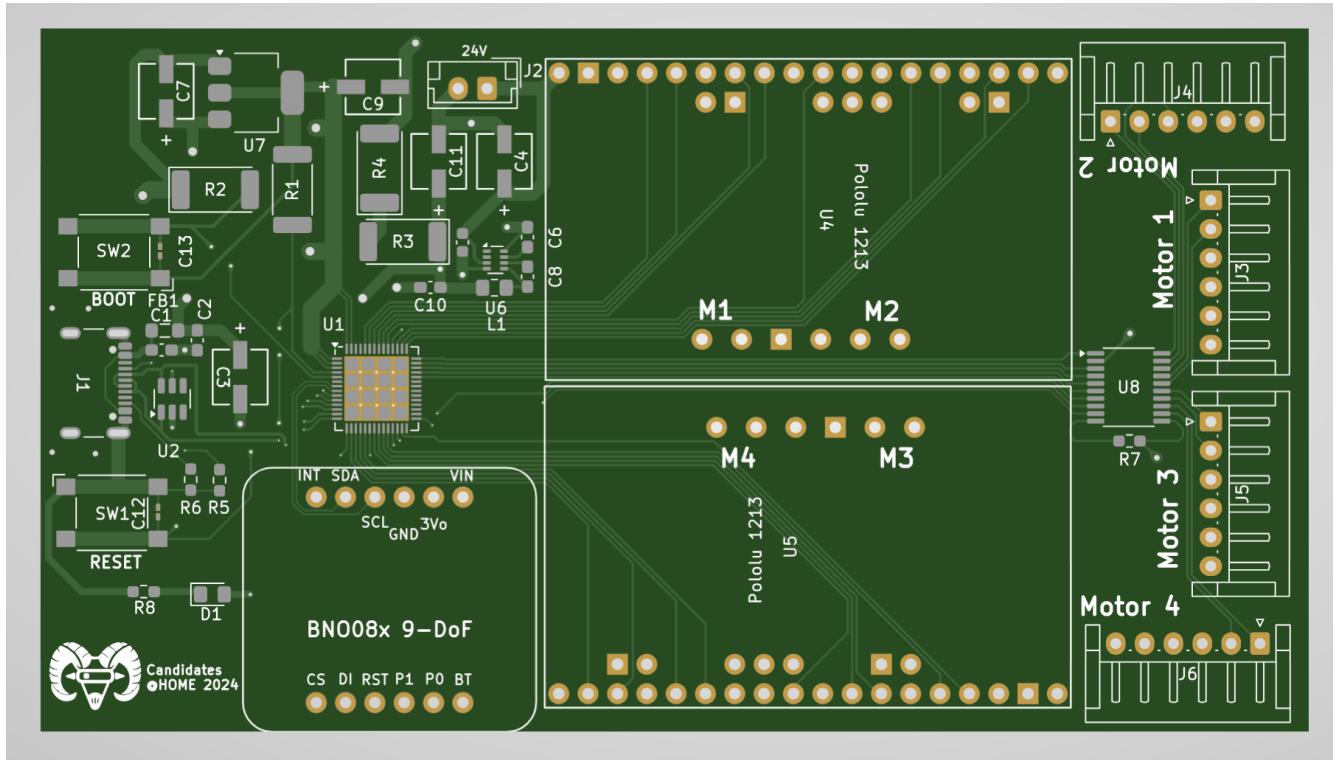
 Shipment Date 2024/12/29 AM	 Delivery Date 2025/1/1
--	---

PCB Cost:  \$140.95
Shipping: \$19.98
Total: **\$160.93**

Notice: Customs duties and VAT are not included!

 **Save to Cart**

Gerber cotizado



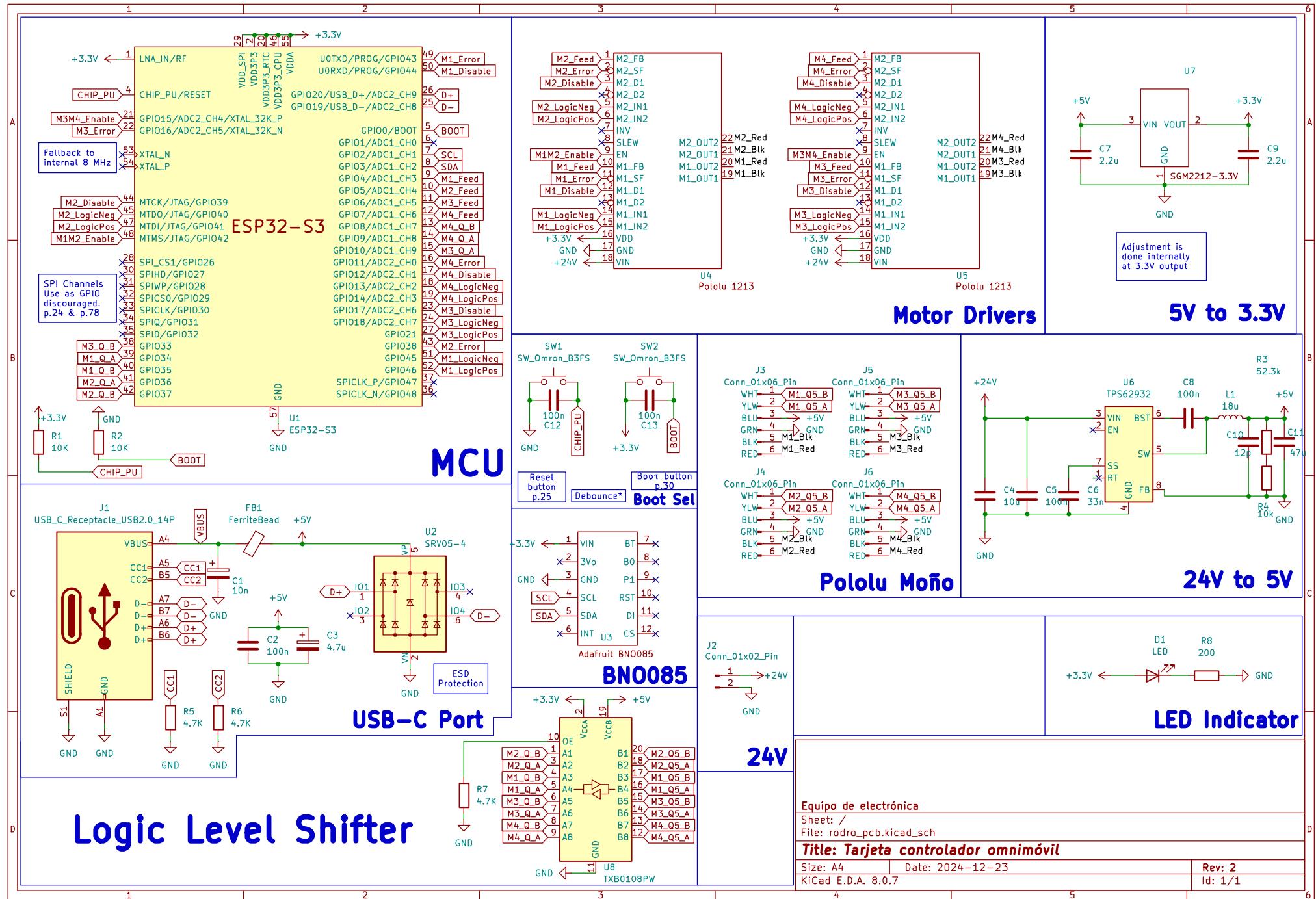
El alto precio es principalmente por el tamaño mínimo usado del taladro (0.2mm) para las microvías; PCBWay cataloga este tamaño como fabricación avanzada, sin embargo se pueden realizar modificaciones para usar un tamaño de ladrillo más grande o cotizar con otro fabricante, como JLCPCB que suele tener mejores precios.

Esquemático del arreglo especificado disponible en la siguiente página y en Drive del equipo para descarga (KiCAD v8 Archive) este incluye todo lo necesario para modificarlo: **footprints, símbolos, DRC, modelos 3D, etc.**

Para visualizar dinámicamente **en línea** sin descargar el programa, se puede subir el archivo **.sch** o **.brd** a KiCanvas por internet en el siguiente link <https://kicanvas.org/>

Altamente recomendado descargarlo o abrirlo en línea [!]

Gracias por leer (:



Bibliografía

[1] RobotShop USA, «UFACTORY xArm 6 Robot Manipulator w/ Direct-Drive Linear Motor», *RobotShop USA*. <https://www.robotshop.com/products/ufactory-xarm-6-robot-manipulator-w-direct-drive-linear-motor>

[2] R. Man, «EAI DashGo B1 ROS Robot - Robotic Gizmos», *Robotic Gizmos*, 15 de marzo de 2019. <https://www.roboticgizmos.com/eai-dashgo-b1-ros-robot/>

[3] «BEAR Series – Westwood Robotics». <https://www.westwoodrobotics.io/bearseries/>

<https://www.westwoodrobotics.io/bearseries/>

<https://www.roboticgizmos.com/eai-dashgo-b1-ros-robot/>

<https://github.com/RoBorregos/home?tab=readme-ov-file>

<https://oshwlab.com/joseacisnerosm1/homebase-atmega2560>

[gearbox] <https://www.pololu.com/product/4750>

[wroom] <https://www.espressif.com/en/products/devkits>

[nxp] <https://www.nxp.com/products/MC33926>

[wikifourier] https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_analysis

[haytcircuitanalysis] Engineering Circuit Analysis. Hayt, Kemmerly, Durbin

[pololu0j055] <https://www.pololu.com/docs/0J55/4.b>

[pololu1213] <https://www.pololu.com/product/1213>

[capstackex] <https://electronics.stackexchange.com/questions/21686/whats-the-purpose-of-two-capacitors-in-parallel>

[esp32s3datasheet] https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_datasheet_en.pdf

[bno055i2c] https://forums.adafruit.com/viewtopic.php?t=205215&cf_chl.tk=1SqLXvx2PwT7XfxPPg8QQrjiQZPttcoOu6RJA74A.Os-1734317578-1.0.1.1-y1La1F12AVs0ztU66feQEHeAwLA10WG55_uxltagnY

[bno055i2c] <https://learn.adafruit.com/adafruit-bno055-absolute-orientation-sensor/pinouts>

[bnopins] <https://learn.adafruit.com/adafruit-9-dof-orientation-imu-fusion-breakout-bno085/pinouts>

[stepdown1ti] <https://www.ti.com/product/TPS562246>

[stepdown2ti]

[sgm2212] <https://www.sg-micro.com/rect/assets/54089b71-cc25-4f36-af2e-34b07f00a108/SGM2212.pdf>

[esp32p4] <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32-p4>

[pololu4697] <https://www.pololu.com/product/4697>

[pololudatasheet] <https://www.pololu.com/file/0J1736/pololu-37d-metal-gearmotors-rev-1-2.pdf>

[mil] https://en.wikipedia.org/wiki/Thousandth_of_an_inch

[bnogit] https://github.com/adafruit/Adafruit_BNO08x

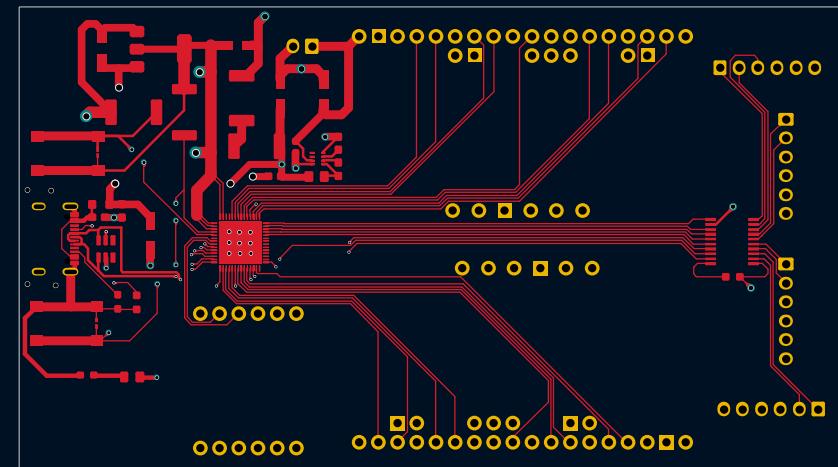
[pourcu] <https://pcbprime.com/pcb-tips/how-thick-is-1oz-copper/>

[pcbwystackup] <https://www.pcbway.com/multi-layer-laminated-structure.html>

[pcbwayrules] <https://github.com/pcbway/PCBWay-Design-Rules>

[txb0108ds] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/txb0108.pdf>

[disenoroger] <https://u.easyeda.com/join?type=project&key=69601385c53b9a46e32333169db7aa6e&inviter=f0e73b12d1154870b9258ae8c6af5a64>



Equipo de electrónica

Sheet:

File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 | Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6

A

A

B

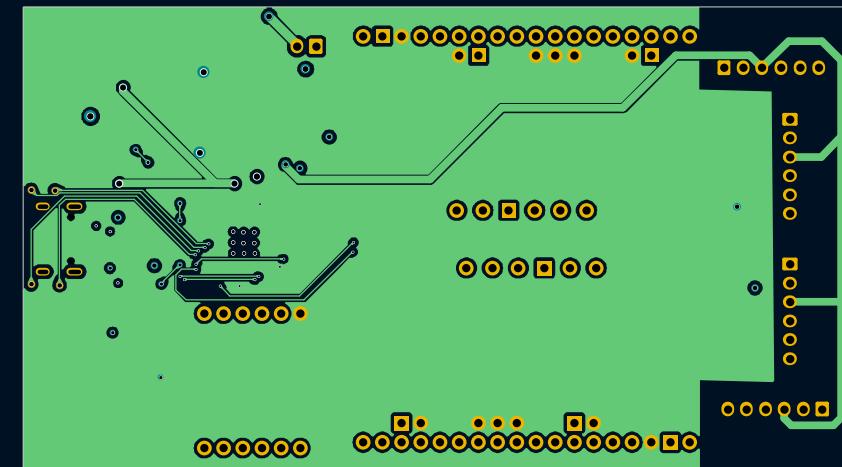
B

C

C

D

D



Equipo de electrónica

Sheet:

File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

A

A

B

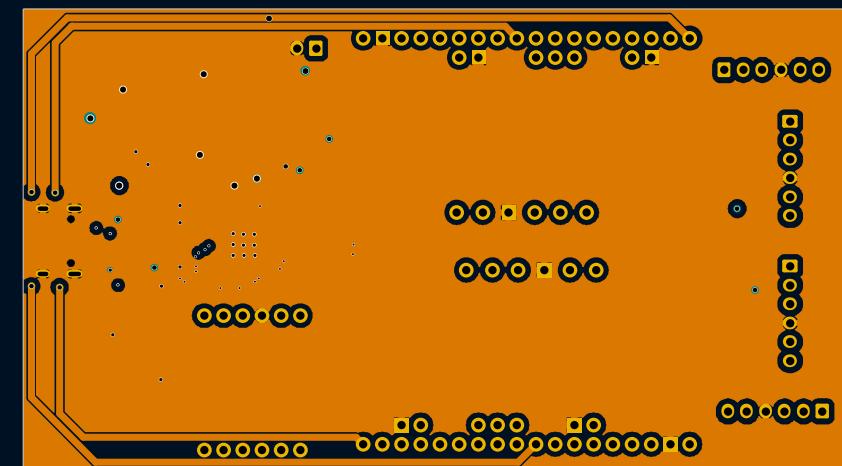
B

C

C

D

D



Equipo de electrónica

Sheet:

File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 Date: 2024-12-23

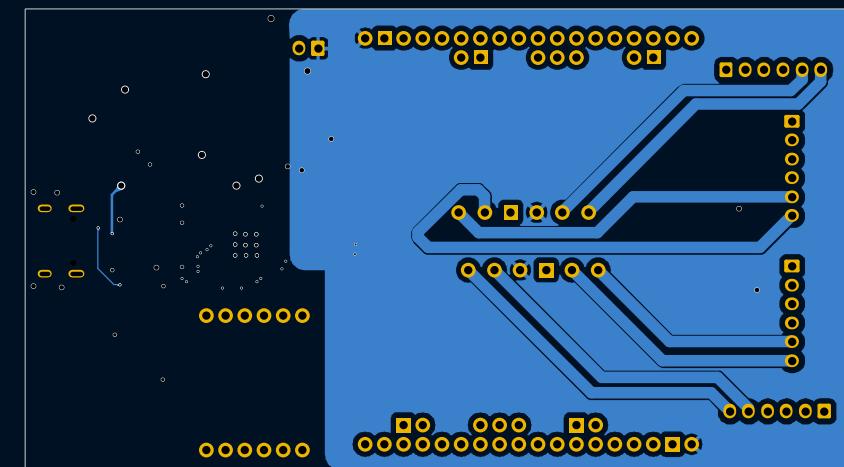
KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

A

B

C

D

Equipo de electrónica

Sheet:
File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

A

B

C

D



Equipo de electrónica

Sheet:
File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

A

A

B

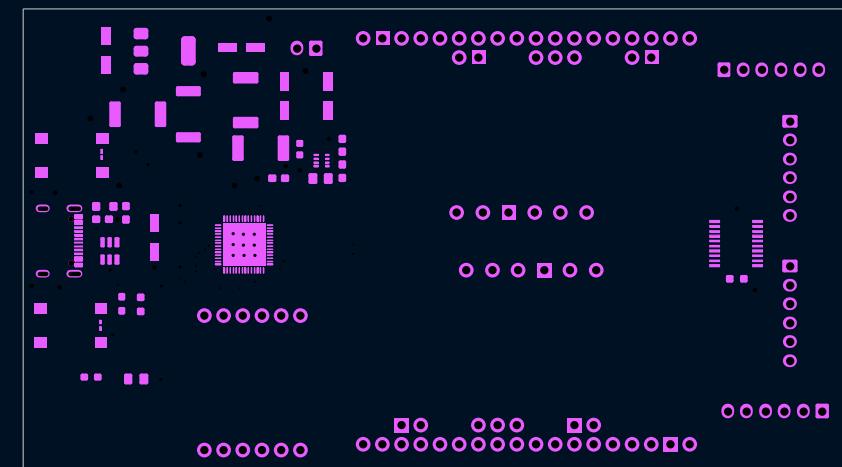
B

C

C

D

D



Equipo de electrónica

Sheet:

File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

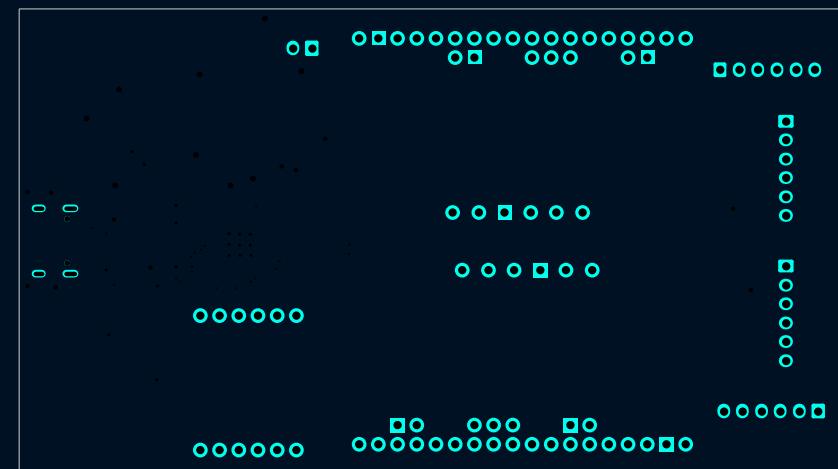
Size: A4 Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6



Equipo de electrónica

Sheet:

File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 | Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6

A

B

C

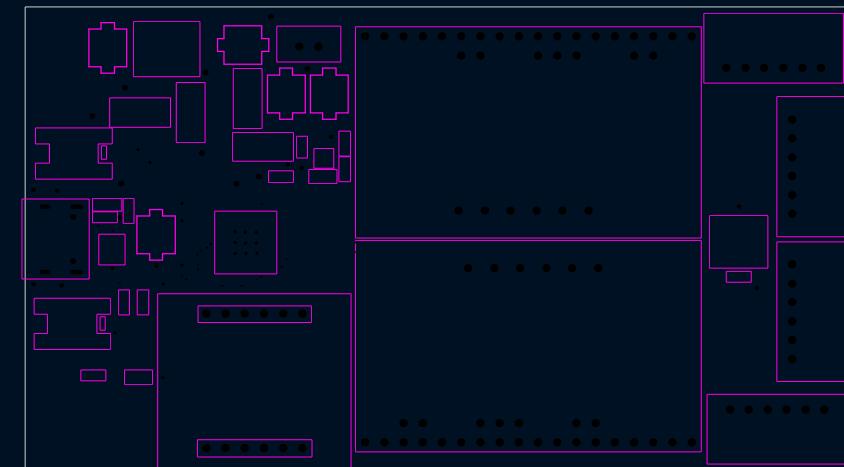
D

A

B

C

D



Equipo de electrónica

Sheet:
File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6

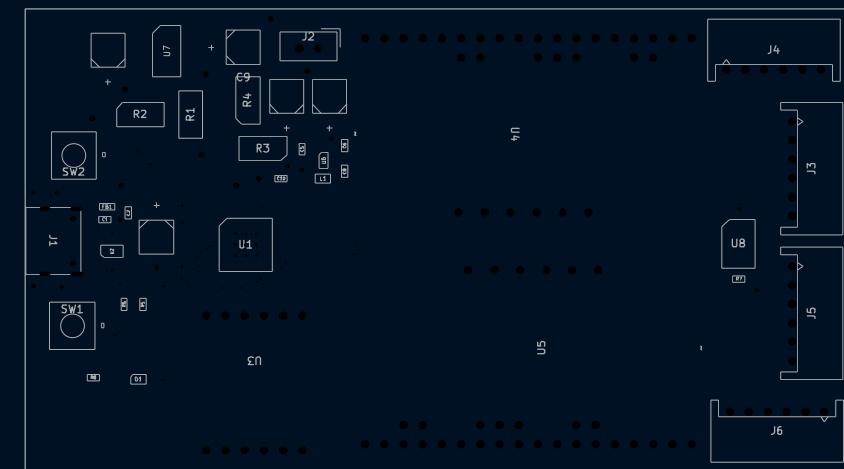
1 2 3 4 5 6

A

B

C

D



Equipo de electrónica

Sheet:

File: rodro_pcb.kicad_pcb

Title: Tarjeta controlador omnímovil

Size: A4 Date: 2024-12-23

KiCad E.D.A. 8.0.7

Rev: 1

Id: 1/1

1 2 3 4 5 6