

Rev.	Descripción de la Modificación			Fecha	Firma
00	Creación del documento			MAY'15	NOL
01	Modificaciones de contenido			MAY'30	NOL
-	-				
PROYECTO N°	CANT.	OBSERVACIONES			PEDIDO EN PLANO N° POS.
			NOMBRE / NAME	FIRMA / INITIALS	FECHA / DATE
		PROYECTADO	Nahuel Olguin nahuelolguin98@gmail.com	NOL	MAY'15
		REVISADO			
		APROBADO			
<h1>ECOLASER 200</h1>					
<p>TITULO DEL DOCUMENTO:</p> <h2>MANUAL DEL PRODUCTO</h2>					
DOCUMENTO N°				REVISIÓN	HOJA

Contenido

1.	Idea conceptual	1
2.	Construcción del equipo	3
2.1	Modulo laser	3
2.2	Carcasa.....	5
3.	Sistema mecánico.....	6
3.1	Transmisiones	6
3.2	Selección de componentes mecánicos	7
4.	Sistema electrónico y firmware	10
4.1	Microcontrolador	10
4.2	Drivers motores PaP	15
4.3	Modulo Reloj	19
4.4	Modulo LED RGB.....	21
4.5	Comunicación con la aplicación del usuario para la configuración del equipo.	22
4.6	Sistema de seguridad.....	23

1. Idea conceptual

El proyecto se diseñó siguiendo el pensamiento de robot angular de dos grados de libertad que posee como efector final el láser. El sistema cuenta con la capacidad de realizar trayectorias reprogramables grabadas por el usuario a los horarios previstos para poder espantar aves. En la figura 1 se observa una vista general del sistema completo.

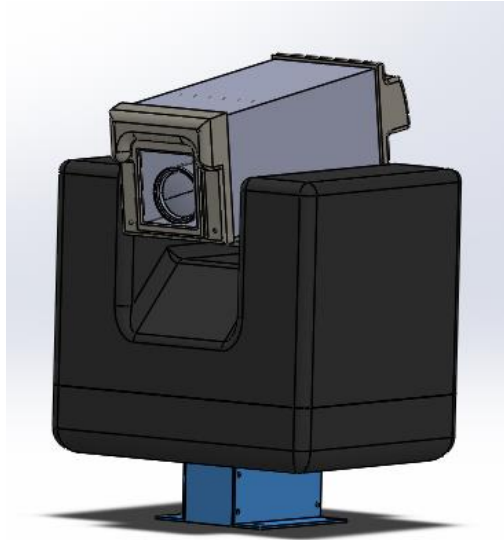


Figura 1: Sistema completo

El sistema cuenta con un microcontrolador STM32F411RE el cual se encarga de controlar todos los periféricos tales como: motores, luces led RGB, laser y ventiladores. Además se cuenta con una memoria que permite almacenar los datos necesarios para que el sistema pueda seguir las trayectorias deseadas de forma precisa.

El control de periféricos y de la memoria se basa en las instrucciones del programa cargado en el microcontrolador cuyo lenguaje es C y fue desarrollado en el entorno de desarrollo integrado (IDE) “STM32CubeIDE”.

A lo largo del documento se profundiza más fondo en cada uno de los periféricos que conforman el sistema y sus características. En la figura 2 se observan algunas de las especificaciones técnicas generales del equipo ecolaser 200.

ecolaser 200

Especificaciones técnicas

Clase de láser	3B (clasificado conforme a la normativa IEC 60825-1:2014)
Color del haz de láser	Verde
Vida útil de la fuente del	5.000 hs
Distancia máxima de funcionamiento del láser	300 metros
Rango de proyección horizontal	0° a +355°
Rango de proyección vertical	-45° a +45°
Velocidad máx. horizontal	7,5°/segundo
Velocidad máx. vertical	7,5°/segundo
Voltaje de funcionamiento	220 Voltios (CA)
Consumo de energía	45 W (Potencia max. de funcionamiento.)
Portátil	Si
Peso	9 kg
Dimensiones (LxAxAI)	35x35x45 cm
Resistencia	IP54 (no apto para exteriores)
Temperatura de funcionamiento	-5°C a 45°C
Temperatura de almacenamiento	-15°C a 60°C
Humedad relativa	20% a 95 % (sin condensación)

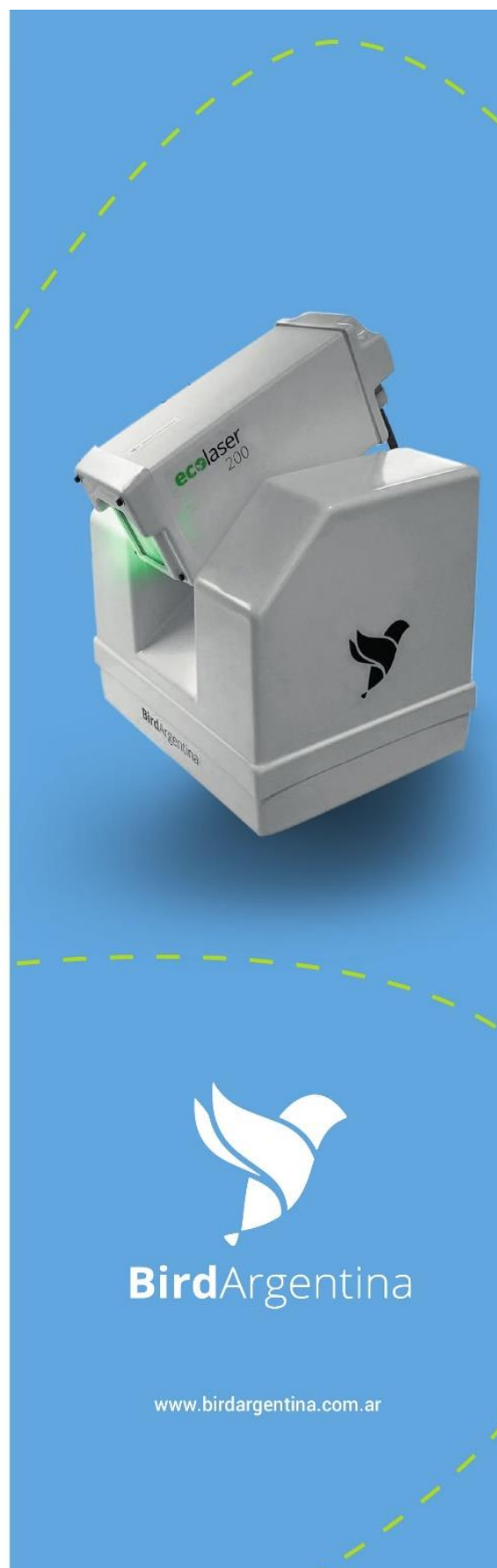


Figura 2: Especificaciones técnicas del producto

2. Construcción del equipo

El equipo se proyectó para funcionar en ambientes industriales de interiores, cumpliendo un grado de protección IP54 para evitar problemas con polvo y suciedad. La temperatura máxima de funcionamiento es de 50 grados centígrados gracias al material utilizado, sin embargo, no se recomienda su uso en ambientes exteriores ya que la exposición al sol y a los agentes externos pueden fragilizar las piezas plásticas.

2.1 Modulo laser

El módulo láser consta de dos tapas plásticas y un gabinete de acero, este material se eligió principalmente para disipar el calor generado por el láser ya que su habitáculo es estanco.

Se hizo este desarrollo para diferenciar el equipo de otros dispositivos que están en el mercado mundial. Las tapas se fabrican con matrices para plástico termo moldeado y el gabinete se hace con chapa de acero plegada y posteriormente pintada electrostáticamente. En la figura 3 se observa el modulo láser.

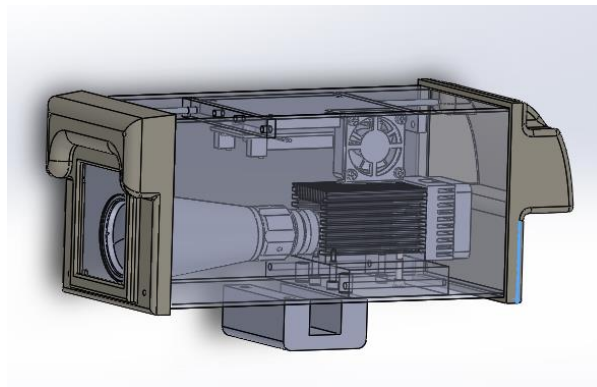


Figura 3: Modulo laser

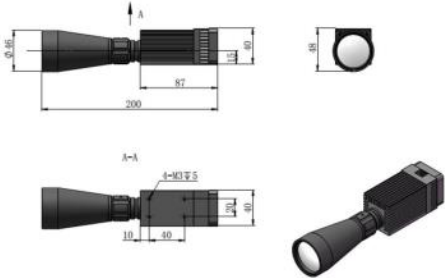
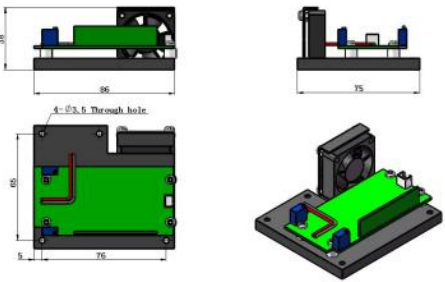
El láser y su driver es un dispositivo comprado a la empresa Changchun New Industries Optoelectronics Tech.Co. El mismo es sujetado al gabinete por tornillos. Para que cumpliera con el grado IP54 se le adicionaron juntas de goma entre el caño y la carcasa, prensacables y tornillos con o’rings.

El modelo de láser utilizado es el “PGL-V-H-532” el cual es un láser verde de estado sólido bombeado por LD. Este laser se caracteriza por ser ultra compacto, tener una larga vida útil, bajo costo y fácil operación. Es ampliamente utilizado en colimación, tratamiento médico láser, experimentos científicos, instrumentos ópticos, exhibiciones láser y espectáculos de iluminación láser, entre otros.

En la figura xx se observan las especificaciones técnicas del láser, y las dimensiones del láser y la fuente de alimentación.

SPECIFICATIONS

Wavelength (nm)	532±1
Operating mode	CW
Output power (mW)	>200
Power stability (rms, over 4 hours)	<10%
Transverse mode	TEM ₀₀
Beam diameter at the aperture (mm)	30
Beam diameter of 50m (mm)	60
Operating temperature (°C)	0~45
Power supply (12VDC)	PSU-I-OEM

PGL-V-H-532	Power Supply
 <p>200(L) × 40(W) × 48(H) mm³</p>	 <p>86 (L) × 75(W) × 38(H) mm³</p>

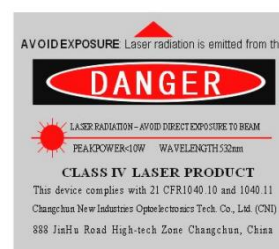


Figura 4: Especificaciones y dimensiones del láser

2.2 Carcasa

Para facilitar la estanquidad se decidió colocar los motores PaP y electrónica que no generara demasiado calor dentro de un mismo cuerpo, la carcasa. De esta manera se evita problemas de ruido eléctrico y se disminuye la cantidad de cables que deben ingresar o salir de este cuerpo equipo. Al equipo sólo entran los cables de alimentación por debajo del mismo, a través de un eje que es hueco. Además, los cables que entran por este eje están sujetos a rotaciones por lo que agregar más cables por ahí generaría no solo problemas de ruidos eléctricos sino también de atascamiento mecánico. El ruido eléctrico se reduce teniendo la mayor parte de componentes en un solo cuerpo porque así se reduce la cantidad de cables que pasan por conectores estancos, que obligan a mezclar potencia con señal por una sección pequeña.

El material inicial elegido era PLA, pero pensando en que podía estar en ambientes de temperaturas elevadas o que estuviera expuesto de manera parcial a la luz de sol se reemplazó por poliestireno de alto impacto. Este tipo de plástico posee mayor resistencia a la temperatura y al sol respecto al PLA. Para el prototipo se fabricó la misma con impresión 3D, para la producción se pasó a fabricación con matrices para plástico termo moldeado. En la figura xx se observa una imagen del modelo 3D de la carcasa.

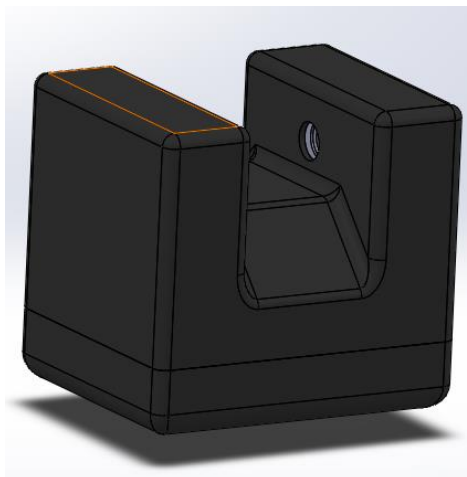


Figura 5: Modelo 3D de carcasa

3. Sistema mecánico

El dispositivo fue pensado como un robot, por lo que la nomenclatura que se utiliza es la propia de la convención de Denavit-Hartenberg. La articulación 0 es la primera que hay contando desde la base, encargada del movimiento horizontal, y la 1 es la segunda articulación, encargada del movimiento vertical.

3.1 Transmisiones

En un principio se pensó utilizar una transmisión de relación 1:6 hecha de correas dentadas se decidió usar sinfín y corona de 1:60 de relación por las siguientes:

- El torque en la articulación 1 era insuficiente.
- Con correas o engranajes la carga de la articulación 1 cae al quedar desenergizado, además es más propensa a perturbaciones externas.
- El sin fin y corona es una transmisión con muy elevado cociente entre relación de transmisión y volumen ocupado, aunque también tiene sus desventajas.

La transmisión que se seleccionaron (figura 6) son de la marca Transpower las cuales tienen la ventaja de que el juego es casi nulo, dándole mucha precisión y repetibilidad mecánica al equipo.



Figura 6: Transmisión utilizada

3.2 Selección de componentes mecánicos

Para facilitar la fabricación a futuro de los equipos se seleccionó componentes que se encontraran fácilmente en el país. Los tornillos que se utilizaron son Allen cabeza cilíndrica de acero inoxidable o negros de métrica 3 o métrica 5 con alturas distintas. Las tuercas expuestas a la intemperie son inoxidables y las interiores comunes, en algunos casos se utilizaron remaches roscados. Tanto rodamientos como retenes son de uso común.

Los motores PaP que se utilizaron (figura 7) son de los que, dentro del tamaño de brida más chico, nema 17, entregan más torque. La ventaja de utilizar este tipo de motores es que funcionan a lazo abierto y no requieren sensores de posición. Para poder utilizar hubo que cerciorarse que no hubiera pérdida de pasos en los mismos.

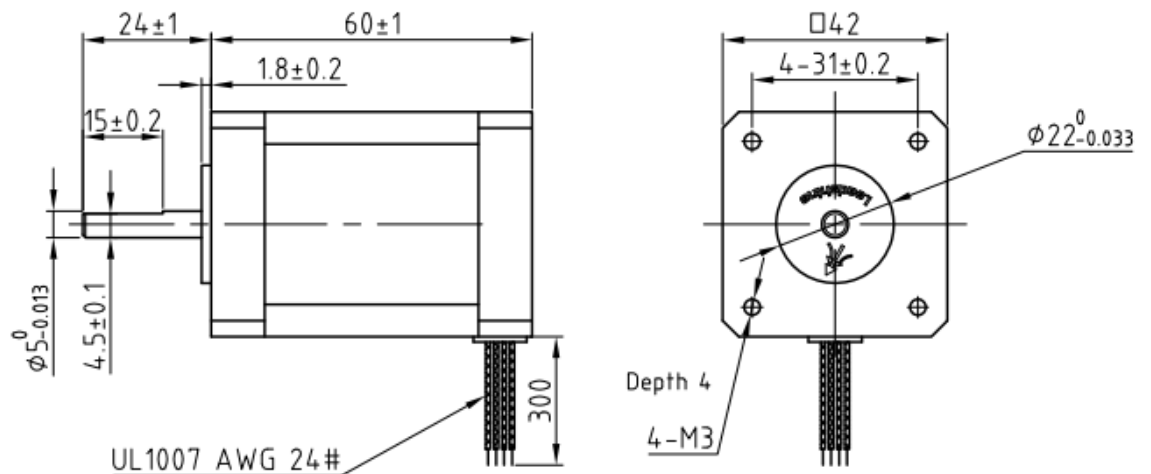


Figura 7: motor PaP

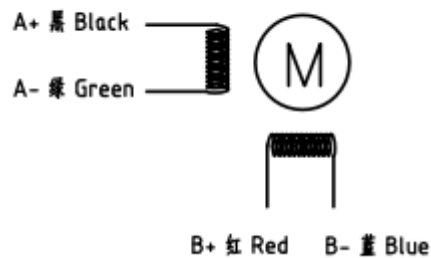
Los motores que fueron utilizados son el 42CM08-1A y el 42HS08, en las figuras 8 y 9 se muestran respectivamente las dimensiones, diagramas de conexión y las especificaciones técnicas de ambos motores.

Si bien ambos motores son útiles en ambas articulaciones y se utilizan de acuerdo a la disponibilidad de ambos, es importante observar que el motor 42CM08-1A tiene un torque levemente mayor que el 42HS08. Por lo que es recomendable colocar este motor en la articulación superior del sistema donde se somete al mismo a mayor carga.

Dimension: (Unit: mm)



Motor Connctions:



Common Rating

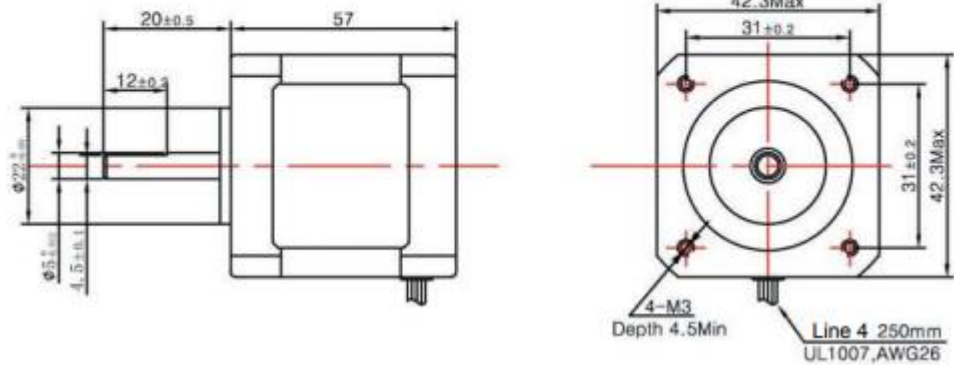
Step angle	1.8°
Position accuracy	$1.8 \pm 0.09^\circ$
Dielectric strength	500VAC 1min
Insulation resistance	100M Ω m(500VDC)
Insulation class	B
Temp rise(Max)	80K
Radial play	Max.0.02mm(Load 450g)
Axial play	Max.0.08mm(Load 900g)

Specification:

Current/phase	1.5 A
Voltage	4.5 V
DC Resistance/phase $\pm 10\%$	3.0 Ω
Inductance/phase $\pm 20\%$	6.9 mH
Holding torque	0.8 N·M
Inertia	0.11 kg·cm ²
Weight	0.5 kg

Figura 8: dimensiones, esquema y especificaciones del motor 42CM08-1A

● appearance diagram



● convention index and parameter specification

Step Angle	1.8°
Angle Accuracy	±5%
Phase	2
Temperature Rise	80K
Rotor inertia	114gfcm ²
Dielectric Strength	500VAC
Insulation Resistance	100Mohm (500VDC)
Shaft Radial Play	0.03MAX
Insulation level	B
Weight	0.5Kg
Holding Torque	7.1 (kg. cm)
Resistance/phase	2.5 (ohm)
Current/phase	1.5 (A)
Voltage/phase	3.75 (V)
Inductance/phase	6.5 (MH)
Body and cover color	Both body and cover is black
Rotate direction(front)	Clockwise

● wiring diagram

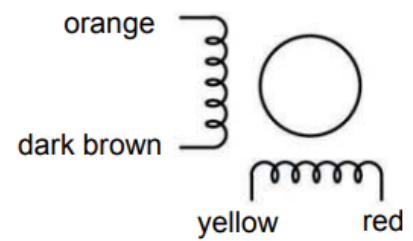


Figura 9: dimensiones, esquema y especificaciones del motor 42HS08

4. Sistema electrónico y firmware

Para controlar todo el dispositivo se utiliza una placa de desarrollo que tiene un microcontrolador ARM que trae resuelto todo el diseño electrónico CMD. El microcontrolador tiene capacidades que superan las demandadas por el proyecto, lo cual da margen a futuro de agregar alguna funcionalidad. Además, en caso de ser necesario cambiar el microcontrolador por uno de la misma marca de mayores prestaciones se puede reutilizar, en gran medida, el código del firmware. Esta placa se montó sobre una diseñada según las necesidades del proyecto:

- Etapa de conectores de potencia.
- Etapa de alimentación para electrónica de señal.
- Conectores robustos que soportaran vibraciones.
- Que dichos conectores quedaran accesibles.
- Conexionado para los módulos de reloj, Bluetooth, GSM y medición de temperatura.
- Posibilidad de agregar filtros de señal en caso de tener problemas de ruido eléctrico.
- Microcontrolador marca Microchip de redundancia que en caso de detectar fallas en el microcontrolador ARM lo reinicia.
- Led RGB para identificación de estado del equipo: funcionamiento, espera, falla, etc.

4.1 Microcontrolador

Para seleccionar el microcontrolador se consideraron los siguientes requerimientos mínimos:

- Soportar temperaturas de -10 a 80°C.
- Manejar dos encoders??????? por hardware, requiere 2 timers.

- 1 interrupción de timer para movimientos.
- 1 comunicación UART, para tener un módulo Bluetooth.
- 5 salidas digitales, para 2 motores PaP (si es necesario) y activación del láser.
- 2 entradas digitales
- I2C para comunicación con RTC.
- Entrada Analógica para termocupla.

El microcontrolador utilizado que cumplió con todos los requerimientos es la NUCLEO-F411RE (figura 10), es una placa de desarrollo STM32 Nucleo-64 con un microcontrolador STM32F411RE, el cual está basado en el núcleo Arm Cortex-M4 de 32 bits, que opera a una frecuencia de hasta 100 MHz.

La placa NUCLEO-F411RE es compatible con Arduino Uno V3 y tiene encabezados ST morpho, lo que facilita la expansión de la funcionalidad mediante una amplia selección de shields especializados. Ofrece opciones flexibles de alimentación, incluyendo ST-LINK USB VBUS o fuentes externas.

Incluye hasta 11 temporizadores, 1 ADC de 12 bits y hasta 13 interfaces de comunicación como I2C, USART y SPI. Además cuenta con 512 KB de memoria Flash y 128 KB de SRAM.



Figura 10: microcontrolador NUCLEO-F411RE

En la figura 11 se observan todos los pines correspondientes a la placa NUCLEO-F411RE.

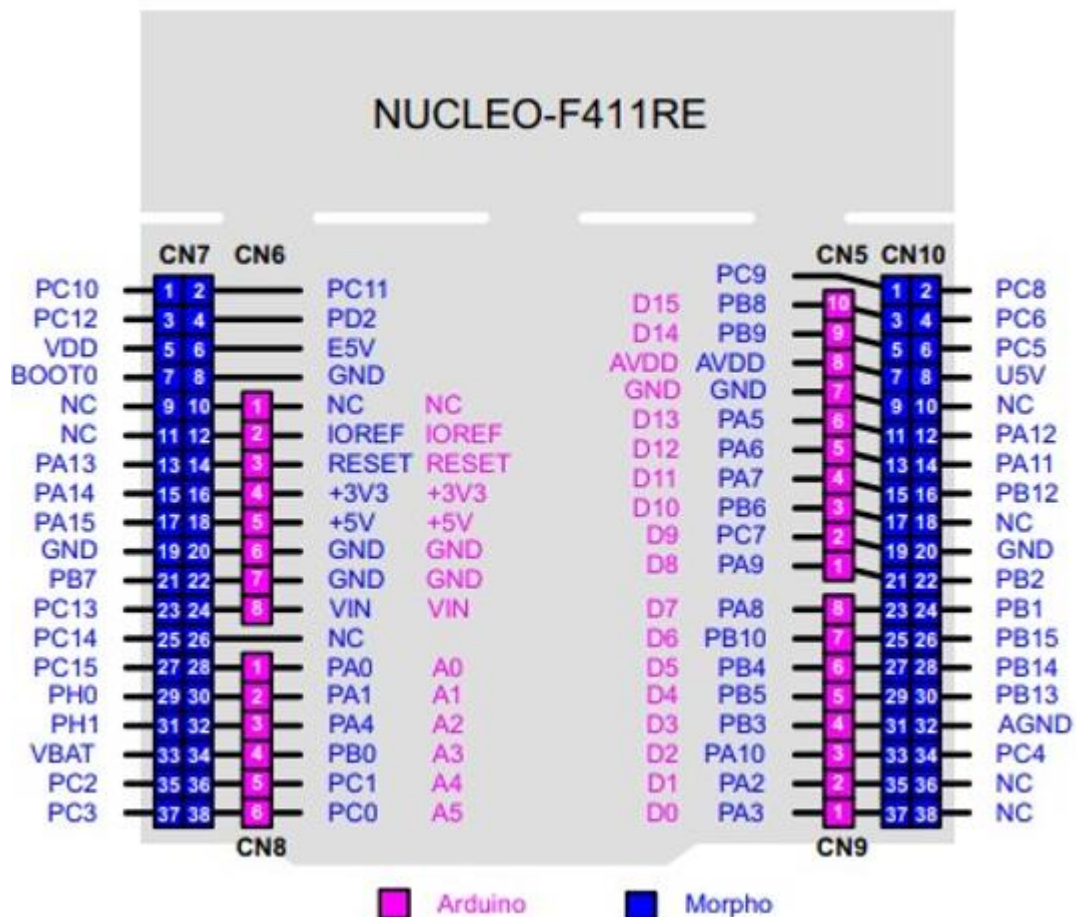


Figura 11: Pines NUCLEO-F411RE

En las tablas 1 y 2 se observan las funciones y usos asignados a cada uno de los pines. Se observa que los usos son variados, como por ejemplo control de los motores, ventiladores, laser, finales de carrera, LED RGB, sensores, transmisión, recepción, etc.

En la figura 12 se observa el esquema electrónico del microcontrolador, donde al igual que en las tablas 4 y 5, también se observan las señales de entrada y salida correspondientes a cada pin.

CN7				
NUCLEO	uC	FUNCIÓN	USO	
1	PC10			
2	PC11			
3	PC12			
4	PD2			
5	VDD			
6	E5V	Alimentación	5V externo	
7	BOOT0			
8	GND			
9	NC			
10	NC			
11	NC			
12	IOREF			
13	PA13	TMS		
14	RESET	RESET	BRESET	
15	PA14	TCK		
16	3V3			
17	PA15	GPIO_INPUT	FINAL DE CARRERA 0	pull up
18	5V			
19	GND			error 1
20	GND			
21	PB7	GPIO_INPUT	FINAL DE CARRERA 1	pull up
22	GND			
23	PC13	GPIO_EXTI13		Blue botton
24	VIN			
25	PC14			
26	NC			
27	PC15			
28	PA0	GPIO_OUTPUT	Pulsos pic	wake up
29	PH0			
30	PA1	ADC_Reader	Reserva sensor	
31	PH1			
32	PA4	GPIO_OUTPUT	FANS	
33	VLCD			
34	PB0	GPIO_OUTPUT	Rojo RGB	
35	PC2	GPIO_OUTPUT	Láser	
36	PC1			
37	PC3	ADC_Reader	Sensor temp	
38	PC0	GPIO_OUTPUT	ALIMENTACIÓN SIM800	

Tabla 1: Función y uso de cada pin (Canal 7)

CN10				
NUCLEO	uC	FUNCIÓN	USO	Observ
1	PC9			
2	PC8			
3	PB8	I2C SCL	SCL reloj	
4	PC6	USART6_TX	RX Bluetooth	
5	PB9	I2C SDA	SDA Reloj	
6	PC5			
7	AVDD			
8	U5V			
9	GND			
10	NC			
11	PA5	LD2 (led verde)	LD2	
12	PA12	Pin de Debug		
13	PA6			
14	PA11	Pin de Debug		
15	PA7			
16	PB12	GPIO_OUTPUT	Pulsos motor 0	
17	PB6			
18	PB11			
19	PC7	USART6_RX	TX Bluetooth	
20	GND			
21	PA9	USART1_TX	RX? SIM800	
22	PB2	GPIO_OUTPUT	Dirección motor 0	
23	PA8	GPIO_OUTPUT	Reset Bluetooth	
24	PB1			
25	PB10	GPIO_OUTPUT	Encendido Bluetooth	
26	PB15	GPIO_OUTPUT	Enable motor 0	
27	PB4	GPIO_OUTPUT	Azul RGB	
28	PB14	GPIO_OUTPUT	Pulsos motor 1	
29	PB5	GPIO_OUTPUT	Verde RGB	
30	PB13	GPIO_OUTPUT	Dirección motor 1	
31	PB3	SWO		
32	AGND			
33	PA10	USART1_RX	TX? SIM800	
34	PC4	GPIO_OUTPUT	Enable motor 1	
35	PA2	USART2_TX	UART2_TX	
36	NC			
37	PA3	USART2_RX	UART2_RX	
38	NC			

Tabla 2: Función y uso de cada pin (Canal 10)

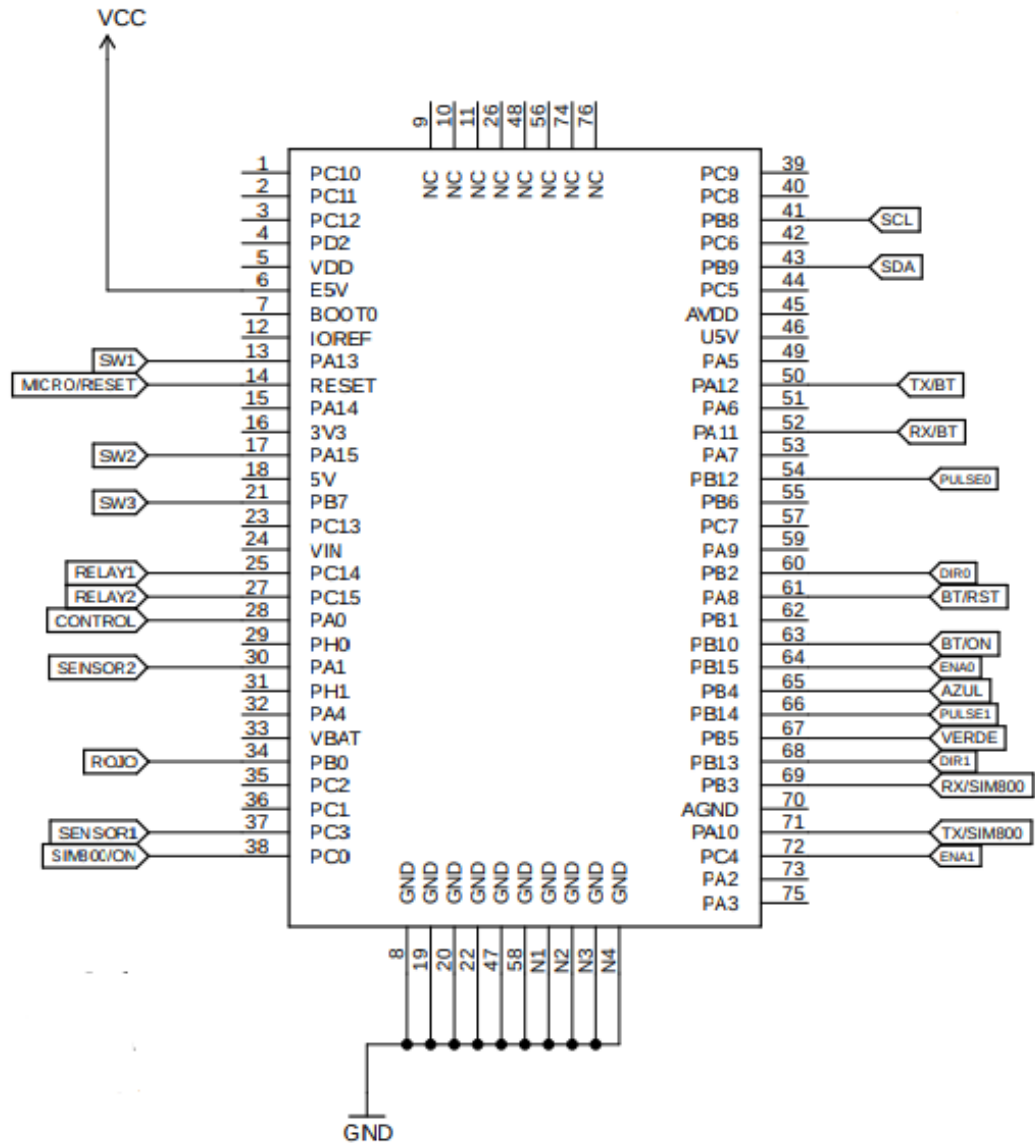


Figura 12: Esquema electrónico microcontrolador

4.2 Drivers motores PaP

El modelo del driver del motor paso a paso es “31306-MS” el cual es un controlador de puente completo de 3A. Las especificaciones del controlador son:

- Entrada de 10-35VDC (24V nominal)
- Salida seleccionable hasta 3A máximo.
- Paso completo y micro-pasos de 1/2, 1/8, 1/16.
- Tipo de Motor: Diseñado para motores paso a paso híbridos de 4 o 6 cables.

- Corriente de Mantenimiento: Reduce automáticamente a la corriente de mantenimiento cuando no hay entrada de paso.
- Corriente de Salida: La corriente de salida es seleccionable por interruptor, con un rango de 0.3A a 3A.
- Protecciones: Protegido contra sobrecalentamiento y sobrecorriente, y cuenta con apagado por bajo voltaje.
- Entradas Aisladas: Entradas de paso, dirección y habilitación ópticamente aisladas (nivel de +5V).
- Conexiones: Tiras de terminales para entradas y salidas.
- Indicadores LED: LEDs para indicar alimentación y funcionamiento.

Advertencias importantes:

- ¡Verificar la conexión dos veces! El chipset 6560 puede dañarse si el motor o la fuente de alimentación no están conectados correctamente.
- No conectar un motor con una corriente nominal superior a 3A a este controlador.
- ¡No ajustar la corriente por encima de la corriente nominal del motor!

En la figura 13 se observa el driver y en la figura 14 un esquema del mismo con la descripción de cada uno de los terminales que lo componen.

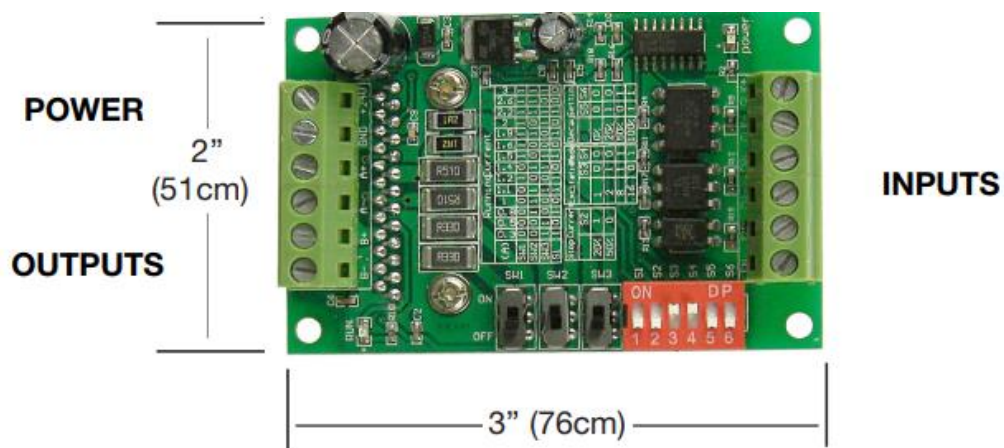
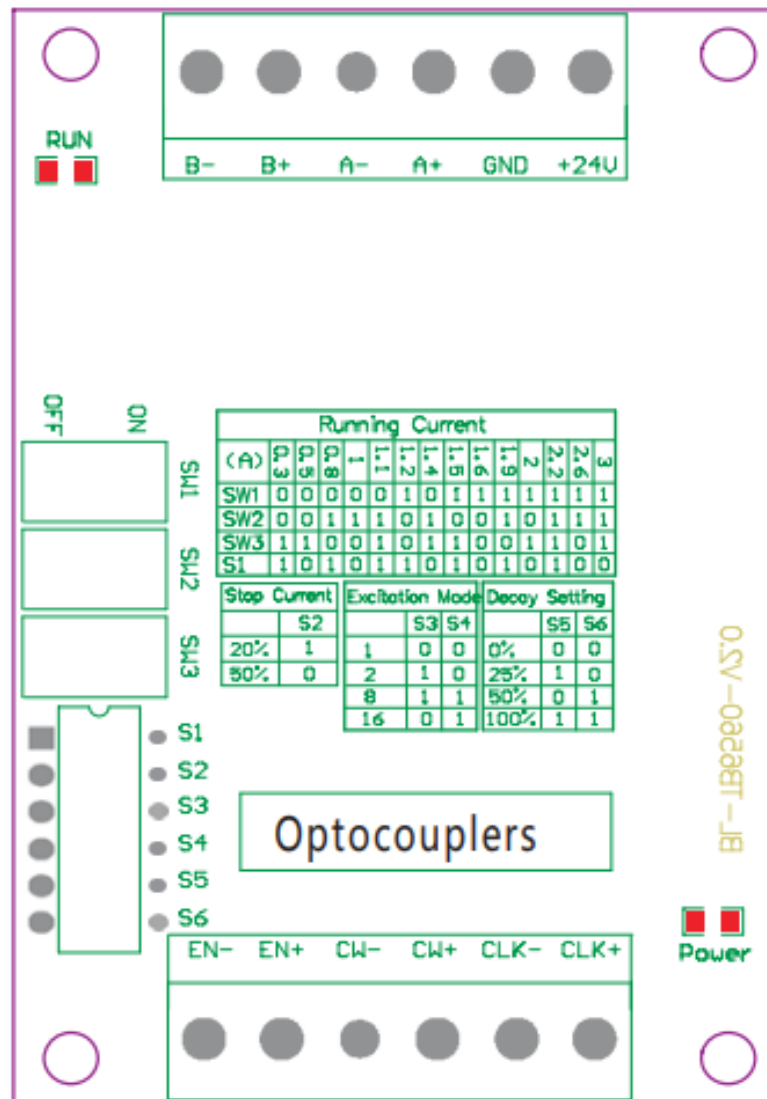


Figura 13: Driver 31306-MS para motor PaP

Los distintos ajustes del driver se realizan mediante los interruptores “SW” y “S” en el controlador y son importantes para optimizar el rendimiento del motor y evitar daños por sobrecorriente.



Wiring Terminal symbol	Description
+24V, GND	Power positive and negative
A+, A-	Motor phase A
B+, B-	Motor phase B
CLK+, CLK-	Pulse positive and negative
CW+, CW-	Direction positive and negative
EN+, EN-	Enable positive and negative

Figura 14: Terminales de Driver 31306-MS

Running Current: Es la corriente de funcionamiento seleccionable para el motor paso a paso. Puede ajustarse entre 0.3A y 3A. Este ajuste se realiza mediante los interruptores SW1, SW2 y SW3 para garantizar que la corriente no exceda la corriente nominal del motor.

Running Current														
(A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current (Corriente de Parada): Se refiere al porcentaje de la corriente de funcionamiento que el motor recibirá cuando no esté recibiendo pulsos de paso. Hay dos ajustes disponibles:

- 20%: El motor recibirá el 20% de la corriente de funcionamiento.
- 50%: El motor recibirá el 50% de la corriente de funcionamiento.

Stop Current	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Excitation Mode: Se refiere al modo de excitación del motor, que determina cómo se energizan las bobinas del motor para crear movimiento. Los modos disponibles son whole step (paso completo), half step (medio paso), 1/8 step y 1/16 step, seleccionables con los interruptores S3 y S4. Estos modos afectan la resolución y suavidad del movimiento del motor.

Excitation Mode		
Step	S3	S4
whole	OFF	OFF
half	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Decay Setting (Ajuste de Decaimiento): Esta configuración ajusta cómo la corriente disminuye durante la transición entre los pasos del motor. Controla cómo se reduce la corriente en las transiciones para evitar vibraciones y mejorar la respuesta. Los ajustes disponibles son:

- 0%: Sin decaimiento, la corriente se mantiene constante sin decaer durante la transición entre pasos (respuesta más rápida y un movimiento más brusco, más ruido y vibraciones).
- 25%: Reducción del 25% de la corriente.
- 50%: Reducción del 50% de la corriente.
- 100%: Reducción completa de la corriente (movimiento más suave, pero más lento).

Decay Setting		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON

4.3 Modulo Reloj

El reloj utilizado en el sistema es el DS3231, el cual es un reloj de tiempo real (RTC) que utiliza la interfaz I2C para comunicarse con otros dispositivos (en este caso se comunica directamente con el microcontrolador). En la figura 15 se observa una imagen del módulo.

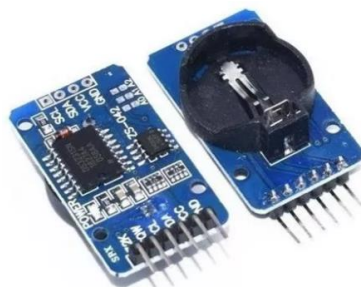


Figura 15: Modulo reloj DS3231

Su función principal es mantener un seguimiento preciso del tiempo, incluyendo segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. A diferencia de otros relojes electrónicos, el DS3231 no solo mide el tiempo, sino que también lleva un registro completo de la fecha.

Utiliza un oscilador de cristal compensado por temperatura (TCXO) para garantizar una alta precisión (Su desfase de tiempo es de aproximadamente 172 ms al día).

Puede funcionar con una alimentación que varía entre 2.3V y 5.5V. Incluso cuando se interrumpe la alimentación principal, el DS3231 mantiene la hora exacta gracias a una batería de respaldo. En la figura 16 se observa el esquema electrónico del dispositivo.

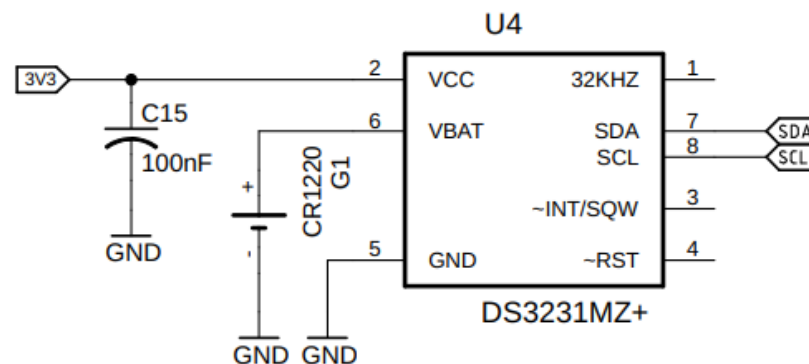


Figura 16: esquema electrónico reloj DS3231

El módulo DS3231 tiene cinco terminales que se utilizan para la comunicación y la alimentación:

1. VCC (3V3 o 5V): Este terminal se conecta a la fuente de alimentación. Puede ser 3.3V o 5V, según la versión del módulo.
2. GND: Este terminal se conecta a la tierra (0V) o al polo negativo de la fuente de alimentación.
3. SCL (Serial Clock Line): Es la línea de reloj del bus I2C. Se conecta al pin SCL del microcontrolador.
4. SDA (Serial Data Line): Es la línea de datos del bus I2C. Se conecta al pin SDA del microcontrolador.

5. SQW (Square Wave Output): Este terminal proporciona una señal de onda cuadrada con una frecuencia ajustable (1 Hz, 1 kHz, 4 kHz o 8 kHz). Puede utilizarse como una señal de interrupción o simplemente para generar una señal de reloj.

4.4 Modulo LED RGB

El módulo LED RGB (figura 17) es un tipo especial de diodo LED que combina los colores primarios: rojo, verde y azul (conocido como RGB por sus siglas en inglés). Estos tres colores se pueden ver individualmente o combinados para obtener una amplia gama de tonos de luz.

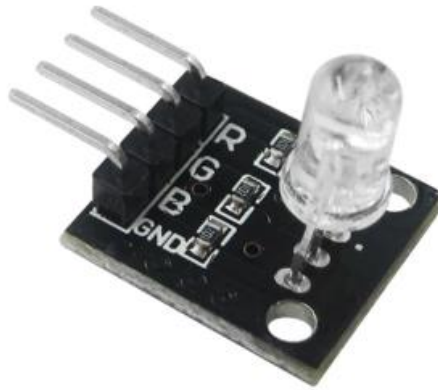


Figura 17: Módulo Led RGB

La estructura de un módulo LED RGB consiste en tres LEDs empaquetados en una carcasa de plástico transparente o semitransparente. Cada terminal corresponde a la señal de un color en particular, además del terminal de puesta a tierra. En la imagen 18 se observa el esquema electrónico del módulo.

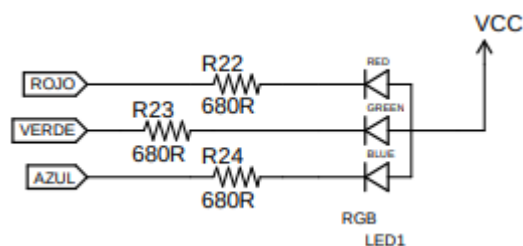


Figura 18: Esquema electrónico Led RGB

Este Led RGB indica el estado actual del sistema. En la tabla 3 se observa la descripción del estado actual dependiendo del color RGB que presenta el Led.

Descripción	Color RGB
Luz Estable: Temperatura máxima alcanzada Parpadeo: Sensor de temperatura desconectado	Violeta
Fallo Irrecuperable (Atascamiento, sensor o motor fallando)	Rojo
Estado de espera y selección de trayectoria	Azul
Calibración o Homing	Amarillo
Trayectoria en curso	Verde
Grabado de Trayectoria	Blanco
Configuración de Parámetros y grabado de memoria	Celeste
El robot está sin corriente o la electrónica está trabada/quemada	Apagado

Tabla 3: estados del sistema según Led RGB

4.5 Comunicación con la aplicación del usuario para la configuración del equipo

Para comunicar al robot con la aplicación que corre en la computadora del usuario hay dos formas: USB o Bluetooth. Con USB (figura 19) la conexión es más estable y permite mayor velocidad, la carcasa cuenta con un conector USB estanco en uno de sus costados. El inconveniente de usar USB es que hay ocasiones en que el equipo está instalado en lugares de difícil acceso o a mucha altura donde es muy incómodo o peligroso grabar las trayectorias. Para esos casos se pensó usar Bluetooth, evitando así depender del largo del cable USB. Esta tecnología permite una comunicación estable hasta 10m de distancia entre dispositivos sin obstáculos. La desventaja del Bluetooth es que es una comunicación más lenta y que a medida que se aumenta la distancia o hay obstáculos se pierden datos. El software de la aplicación tiene un sistema de verificación de errores para evitar esto.



Figura 19: Cable para conexión USB

Todas las trayectorias, temporizaciones, velocidades y otras configuraciones recibidas desde la aplicación son guardadas en la memoria flash del microcontrolador para que el firmware pueda acceder a ella cuando lo necesite, sin importar si el dispositivo fue desenergizado en algún momento.

4.6 Sistema de seguridad

Se cuenta con dos tipos de sensores: un sensor de temperatura y sensores de final de carrera. El primero se utiliza para proteger el driver del láser de quemarse, alcanzado un valor determinado el equipo entra en estado de emergencia recuperable. Esto significa que el mismo equipo reanuda el trabajo sin necesidad de intervención por parte del usuario. En este estado el aparato frena todos sus motores y apaga toda la electrónica a excepción de la placa de control y el ventilador del driver del láser, para poder seguir disipando el calor. Alcanzada una temperatura segura de funcionamiento se sale de estado de emergencia y se reanuda el trabajo.

El sensor de temperatura (figura 20) cuenta con tres terminales:

- VCC: Conexión a la fuente de alimentación (entre 4 V y 20 V).
- GND: Conexión a tierra.
- VSalida (VOUT): Proporciona una señal analógica proporcional a la temperatura. Se debe conectar a la entrada analógica del microcontrolador.

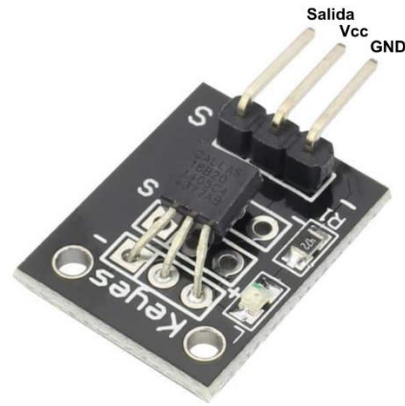


Figura 20: modulo sensor de temperatura

Los sensores de final de carrera (figura 21) tienen dos funciones, la primera es calibrar el equipo cada vez que es necesario y la segunda es proteger el equipo ante atascamientos mecánicos. Si durante la calibración los sensores no detectan nada pasado un lapso de tiempo determinado se supone que hay un desperfecto mecánico y el aparato entra en estado de emergencia crítico. Esto se puede dar cuando algo externo al robot está frenándolo, por algún desacoplamiento entre mecanismos, por el bloqueo de la transmisión o porque los mismos sensores están fallando. Para que el equipo salga del estado de emergencia crítica el usuario debe apagarlo, repararlo y volverlo a encender. En caso de no repararlo, al volver a encenderlo el sistema de seguridad se activará nuevamente.



Figura 21: final de carrera

En la figura 22 se observa el esquema electrónico y el principio de funcionamiento de los finales de carrera. Se observa que el dispositivo cuenta con tres terminales:

- Terminal B, C o COM (Común): es el punto de conexión común para el circuito eléctrico, es decir el punto de partida para la corriente eléctrica en el circuito.
- Terminal NC (Normalmente cerrado): En condiciones normales (sin activación del actuador), el circuito entre el terminal COM y el terminal NC está cerrado. Cuando el actuador se activa (por ejemplo, cuando se toca), el circuito se abre, interrumpiendo la conexión eléctrica entre estos dos terminales.
- Terminal NO (Normalmente Abierto): En condiciones normales, el circuito entre el terminal COM y el terminal NO está abierto. Cuando el actuador se activa, el circuito se cierra, estableciendo la conexión eléctrica entre estos dos terminales.

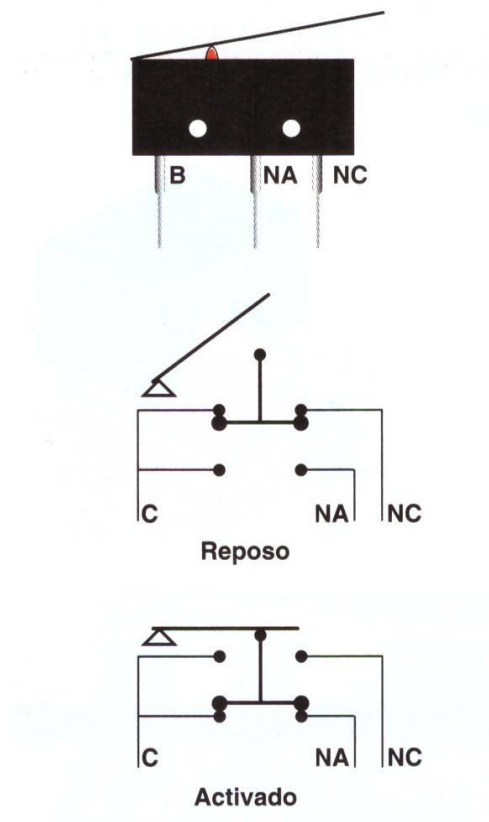


Figura 22: Esquema y funcionamiento del final de carrera

4.7 Firmware

Como se mencionó anteriormente, el código cargado en el microcontrolador del sistema se generó haciendo uso del IDE STM32Cube, debido a que reduce el esfuerzo, tiempo y costo asociados al desarrollo de aplicaciones para microcontroladores STM32.

Una ventaja importante de este IDE es la facilidad de depuración, ya que ofrece herramienta de desarrollo integrada que simplifica la depuración permitiendo una visualización en tiempo real de variables de datos y capacidades de depuración tales como interrupciones y desensamblado del código.

En STM32CubeIDE se puede editar el código, compilar el proyecto, programar la placa y depurar, todo en un solo entorno. Además, parte de la plataforma, permite configurar fácilmente el hardware y generar automáticamente el código C para la plataforma STM32.

El lenguaje original del programa es C, el cual se adhiere principalmente al paradigma imperativo, estructurado. En este enfoque, se describen detalladamente los pasos que debe seguir el programa para alcanzar un estado deseado. Este lenguaje de programación permite escribir código cercano al lenguaje máquina y es altamente eficiente.

Posteriormente se decidió realizar la traducción de código a Stateflow, el cual es un producto de MathWorks que proporciona un lenguaje gráfico para describir la lógica de decisión mediante diagramas de transición de estados, diagramas de flujo, tablas de transición de estados y tablas de verdad. Algunas de las ventajas que ofrece Stateflow son:

- Ofrece modelado grafico para representar el comportamiento del sistema mediante diagrama de estados y transiciones, lo cual hace que el código sea más legible y fácil de mantener que el código C directo.
- Presenta la capacidad de simular y verificar el comportamiento del sistema antes de implementarlo en el hardware, haciendo uso de elementos de interfaz de usuario y gráficos.

Maquina de estados ecolaser 200

- Permite generar automáticamente el código C correspondiente a partir del diagrama de estados.

Para obtener más información sobre el código del sistema ecolaser 200 y la máquina de estados generada en Stateflow para representar el comportamiento de dicho sistema, recomendamos leer el documento cuyo nombre es “Máquina de estados del sistema” correspondiente al sistema ecolaser 200.