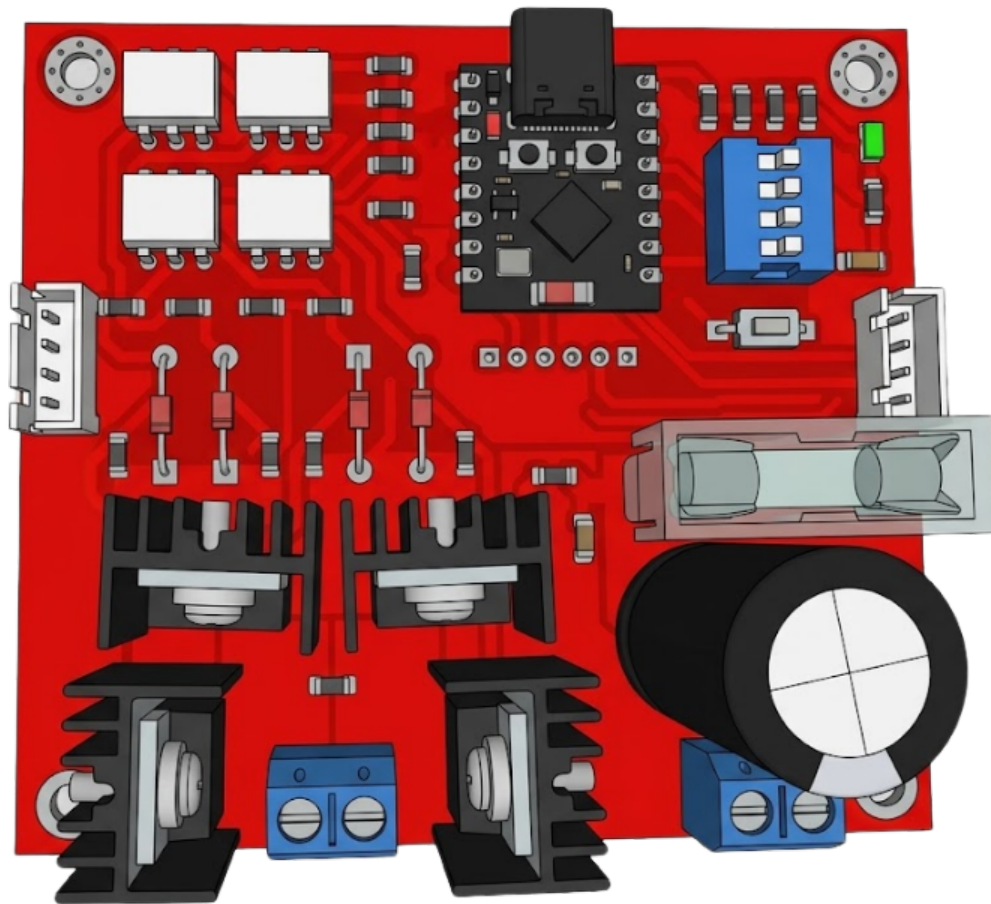


# Módulo Puente H con ESP32-C3 Datasheet

Universidad Iberoamericana Ciudad de México



<b>Descripción</b>	Controlador de motor DC basado en topología de puente H discreto, con 2 MOSFET canal N y 2 MOSFET canal P, aislamiento mediante optoacopladores y control embebido mediante ESP32-C3 SuperMini.
<b>Alimentación de potencia</b>	12 V a 24 V DC nominal.
<b>Corriente de diseño</b>	Objetivo original: hasta 8 A a 24 V. Recomendación preliminar de uso continuo: 4 A a 5 A; uso intermitente: hasta 8 A.
<b>Modos de control</b>	Test, WiFi, Bluetooth BLE, Bluetooth clásico mediante módulo HC-05, e I <sup>2</sup> C en cascada.

**Autor:** Sebastián Méndez Villegas

**Fecha:** 26 de marzo de 2026

## Índice

<b>1. Resumen</b>	<b>2</b>
<b>2. Características</b>	<b>2</b>
<b>3. Arquitectura general del sistema</b>	<b>3</b>
3.1. Bloques funcionales . . . . .	3
3.2. Lógica general de conmutación . . . . .	3
<b>4. Descripción de interfaces y conectividad</b>	<b>4</b>
4.1. Microcontrolador principal . . . . .	4
4.2. Conectores auxiliares . . . . .	5
<b>5. Indicadores y elementos de usuario</b>	<b>5</b>
<b>6. Funcionamiento del módulo y modos de operación</b>	<b>5</b>
6.1. Selección de modo mediante DIP switch . . . . .	6
6.2. Modos de operación . . . . .	6
6.3. Secuencia de arranque y estado seguro . . . . .	7
6.4. Botón local y estados de operación . . . . .	7
6.5. Indicaciones mediante LED . . . . .	7
6.6. Ingreso de comandos y prioridad de control . . . . .	7
6.7. Ejecución mediante rampas . . . . .	8
6.8. Ventajas de la arquitectura propuesta . . . . .	8
<b>7. Lógica del puente H</b>	<b>9</b>
<b>8. Condiciones eléctricas y estimación de capacidad</b>	<b>9</b>
8.1. Supuestos usados para esta estimación . . . . .	9
8.2. Estimación de caída de tensión y pérdida por conducción . . . . .	10
8.3. Conclusión técnica sobre la corriente del módulo . . . . .	10
<b>9. Recomendaciones de operación</b>	<b>10</b>
9.1. Arranque seguro . . . . .	10
9.2. PWM . . . . .	11
9.3. Protección . . . . .	11
<b>10. Referencias</b>	<b>11</b>

### 1. Resumen

El presente documento describe un módulo de puente H discreto diseñado para accionar cargas de corriente continua desde una fuente nominal de 12 V a 24 V. La etapa de potencia emplea dos MOSFET canal N y dos MOSFET canal P, mientras que la interfaz de control se implementa con un ESP32-C3 SuperMini y optoacopladores para aislar la lógica de control de la etapa de potencia.

Además del control local, la tarjeta incorpora varios modos de operación: modo de prueba, conectividad WiFi, Bluetooth BLE, Bluetooth clásico mediante HC-05 e I<sup>2</sup>C con conectores de entrada y salida, lo que facilita encadenar múltiples módulos en una arquitectura maestro–esclavo.

### 2. Características

- Topología de puente H con 4 MOSFET discretos: 2 canal P en alto lado y 2 canal N en bajo lado.
- Control mediante ESP32-C3 SuperMini.
- Aislamiento entre lógica y potencia usando optoacopladores 4N25.
- Alimentación de potencia nominal de 12 V a 24 V.
- Indicadores LED para potencia, lógica y estado de usuario.
- Fusible de entrada para protección primaria.
- Disipadores térmicos en los transistores de potencia.
- Conectividad múltiple: WiFi, BLE, UART para HC-05 e I<sup>2</sup>C.
- Conectores I<sup>2</sup>C de entrada y salida para expansión en cascada.
- Selector DIP de 4 posiciones, de las cuales 3 están actualmente cableadas.

### 3. Arquitectura general del sistema

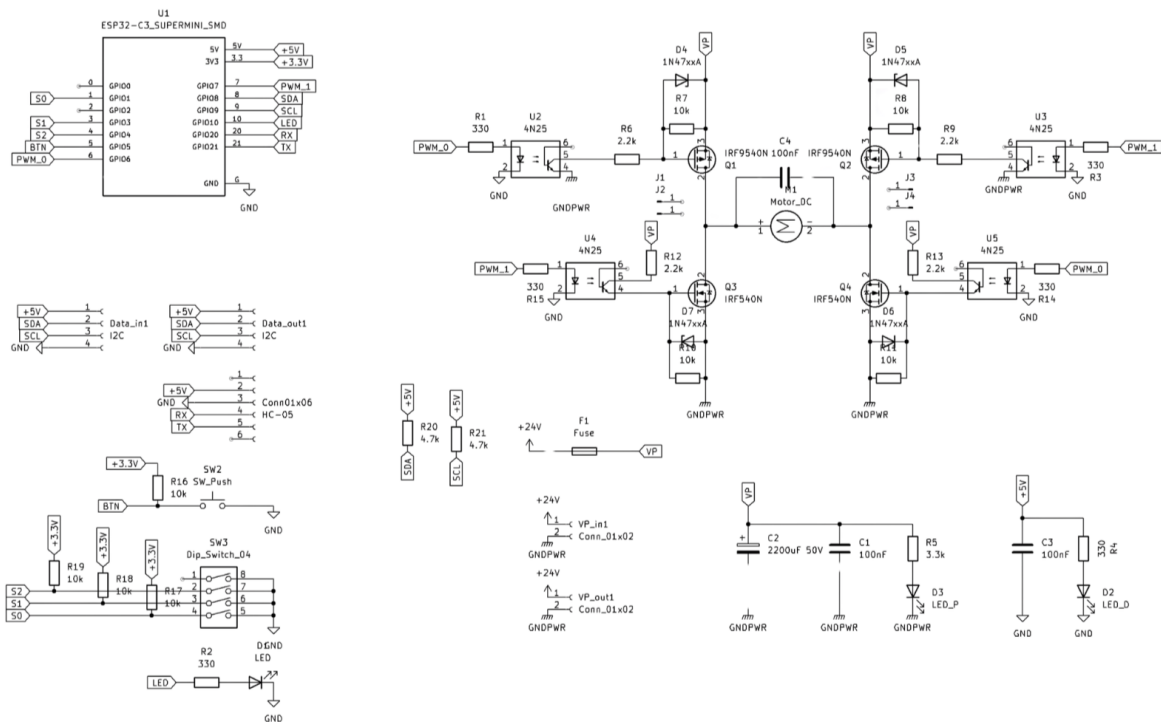


Figura 1: Esquema del puente H.

#### 3.1. Bloques funcionales

El módulo puede entenderse en cinco bloques:

1. **Etapa de potencia.** Implementa el puente H con los MOSFETs de alto y bajo lado.
2. **Aislamiento de control.** Los optoacopladores separan la electrónica digital del circuito de conmutación de potencia.
3. **Control embebido.** El ESP32-C3 administra modos de comunicación, lógica de mando y estados del sistema.
4. **Interfaz de expansión.** Los conectores I<sup>2</sup>C permiten integrar varios módulos dentro de una red sencilla.
5. **Protección e indicación.** Incluye fusible de entrada, capacitor de filtrado, LEDs de estado y botón local.

#### 3.2. Lógica general de conmutación

A partir del esquemático, la señal IN\_0 activa una diagonal del puente y IN\_1 activa la diagonal opuesta. Esto da una estructura muy simple para control de sentido de giro, pero también implica una regla importante:

**Advertencia de operación:** el estado lógico en el que IN\_0 = 1 y IN\_1 = 1 debe considerarse **prohibido**, existe riesgo de conducción simultánea y cortocircuito entre rieles de potencia.

## 4. Descripción de interfaces y conectividad

### 4.1. Microcontrolador principal

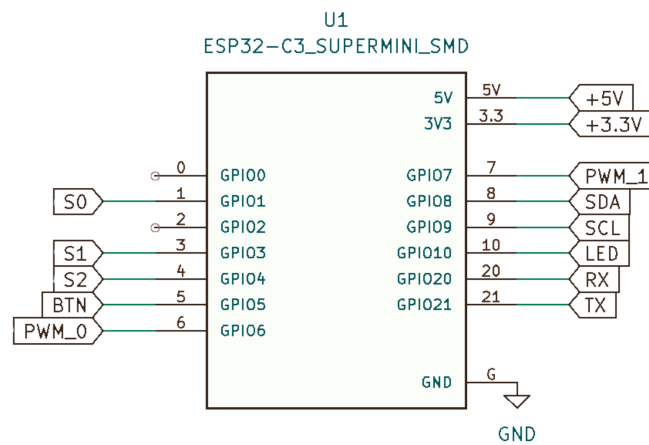


Figura 2: Asignación de señales observada en el esquemático del ESP32-C3 SuperMini.

Con base en el esquemático compartido, el ESP32-C3 emplea GPIO dedicados para control del puente, LED de usuario, lectura del DIP switch, botón local y bus I<sup>2</sup>C.

Tabla 1: Señales principales asociadas al ESP32-C3.

Señal	GPIO / red	Función
<b>PWM_0</b>	GPIO6	Salida de mando hacia una diagonal del puente H.
<b>PWM_1</b>	GPIO7	Salida de mando hacia la diagonal opuesta del puente H.
<b>SDA</b>	GPIO8	Datos del bus I <sup>2</sup> C.
<b>SCL</b>	GPIO9	Reloj del bus I <sup>2</sup> C.
<b>LED</b>	GPIO10	LED de usuario / depuración.
<b>RX / TX</b>	GPIO20 / GPIO21	Comunicación UART para módulo HC-05 u otra depuración serial.
<b>S0, S1, S2</b>	GPIO1, GPIO3, GPIO4	Lectura de posiciones cableadas del DIP switch.
<b>BTN</b>	GPIO5	Botón local con resistencia pull-up.

## 4.2. Conectores auxiliares

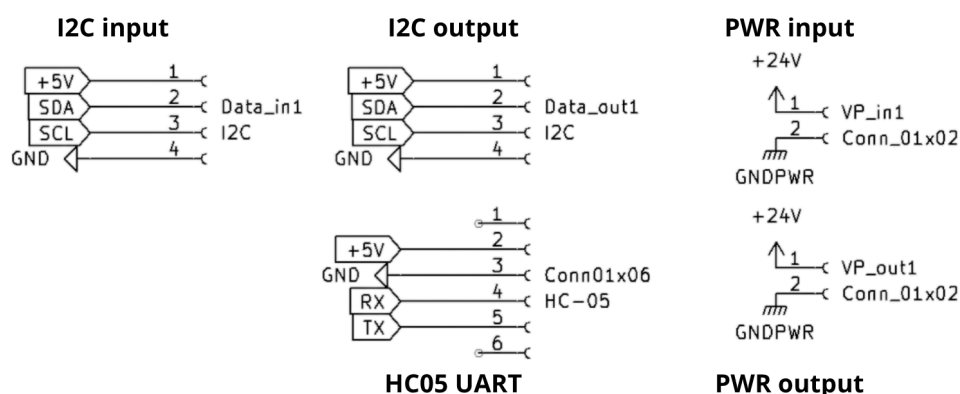


Figura 3: Conectores auxiliares mostrados en el esquemático: I<sup>2</sup>C de entrada/salida y encabezado para HC-05.

Tabla 2: Resumen de conectores externos del módulo.

Conector	Pines	Descripción
Entrada de potencia	2	Entrada principal de 24 V DC hacia la etapa de potencia.
Salida al motor	2	Terminales del puente H hacia la carga DC.
Data_in I <sup>2</sup> C	4	+5V, SDA, SCL, GND. Se usa para recibir el bus desde el módulo anterior o desde un maestro.
Data_out I <sup>2</sup> C	4	Réplica del bus para encadenar el siguiente módulo.
Header HC-05	6	Incluye +5V, GND, RX, TX; útil para Bluetooth clásico o depuración UART.
USB-C del ESP32-C3	–	Programación, alimentación de la parte digital y depuración local.

## 5. Indicadores y elementos de usuario

Tabla 3: LEDs e interfaz local.

Elemento	Función
LED_P	Indica presencia de la alimentación de potencia (red de 24 V).
LED_D	Indica presencia de la alimentación digital de 5 V.
LED de usuario	LED conectado al ESP32-C3 para estados de firmware, depuración o señalización local.
Botón local	Entrada manual para prueba, reset lógico o interacción futura de firmware.
Fusible de entrada	Protección primaria ante sobrecorriente o falla catastrófica en la etapa de potencia.

## 6. Funcionamiento del módulo y modos de operación

El módulo fue diseñado para operar como una tarjeta de control para un puente H de potencia gobernado por un ESP32-C3. Su arquitectura combina selección física de modo mediante DIP switch, una interfaz mínima local compuesta por un botón y un LED de estado, así como múltiples medios de comunicación

para recibir comandos. El objetivo es que la tarjeta pueda configurarse directamente desde hardware, arrancar en un estado seguro y ejecutar órdenes de forma controlada mediante rampas de aceleración.

### 6.1. Selección de modo mediante DIP switch

El módulo cuenta con un DIP switch físico de 4 posiciones; sin embargo, en la versión actual de la tarjeta solo 3 señales están conectadas al ESP32-C3. Por esta razón, en esta revisión se considera la siguiente asignación:

- **SW4:** reservado / no conectado en la versión actual.
- **SW1, SW2 y SW3:** selección del modo de operación del módulo.

Es importante señalar que el estado del DIP switch se **lee únicamente durante el arranque**. Por lo tanto, el modo de operación queda fijado al energizar la tarjeta y no cambia dinámicamente aunque posteriormente se modifiquen los interruptores.

### 6.2. Modos de operación

La lógica de selección utilizada es la mostrada en la Tabla 4. En esta notación se considera **ON = 1** y **OFF = 0**.

Tabla 4: Modos de operación definidos por el DIP switch.

SW3	SW2	SW1	Modo	Descripción
0	0	0	Prueba local	Habilita el modo de validación interna del módulo. La rutina de prueba no se ejecuta automáticamente al encender, sino que queda disponible para activarse mediante el botón o por comando.
0	0	1	WiFi	El módulo inicializa su interfaz inalámbrica WiFi y queda listo para recibir comandos remotos.
0	1	0	BLE	El módulo entra en modo Bluetooth Low Energy para recibir comandos inalámbricos.
0	1	1	HC-05	El control se realiza por Bluetooth clásico mediante un módulo externo HC-05 conectado por UART.
1	0	0	I <sup>2</sup> C Maestro	El módulo actúa como nodo maestro dentro de una arquitectura distribuida basada en I <sup>2</sup> C.
1	0	1	I <sup>2</sup> C Slave 1	Dirección reservada para firmware esclavo 1 en versiones futuras.
1	1	0	I <sup>2</sup> C Slave 2	Dirección reservada para firmware esclavo 2 en versiones futuras.
1	1	1	I <sup>2</sup> C Slave 3	Dirección reservada para firmware esclavo 3 en versiones futuras.

Esta codificación permite que una misma tarjeta pueda reutilizarse en diferentes funciones sin modificar el hardware ni reprogramar la selección de rol manualmente. Además, reserva de forma explícita los estados necesarios para una futura expansión en red.

### 6.3. Secuencia de arranque y estado seguro

Al energizar la tarjeta, el firmware sigue una secuencia de inicialización orientada a seguridad:

1. configura los pines de entrada y salida;
2. inicializa el puente H en estado seguro;
3. lee el estado del DIP switch;
4. selecciona el modo de operación;
5. deja el sistema en estado **DISARMED**.

El estado **DISARMED** significa que la tarjeta está encendida, el microcontrolador está funcionando y las interfaces de comunicación pueden estar activas, pero la salida hacia el puente H permanece deshabilitada. Esto evita arranques inesperados del motor al conectar la alimentación.

### 6.4. Botón local y estados de operación

El módulo incorpora un botón local que funciona como interfaz mínima de control. Su función principal es permitir la interacción básica con la tarjeta incluso sin una interfaz externa.

- **Pulsación corta:** conmuta entre los estados **ARMED** y **DISARMED**.
- **Pulsación sostenida:** en modo de prueba, activa o desactiva la rutina local de ejecución.

El estado **ARMED** indica que la tarjeta ya está habilitada para aceptar órdenes de movimiento. Sin embargo, esto no implica que el motor arranque por sí mismo; únicamente significa que el sistema está listo para ejecutar comandos válidos.

En modo de prueba, una pulsación sostenida habilita la rutina automática interna. Esta rutina genera referencias de velocidad con rampa ascendente y descendente, permitiendo validar el comportamiento del puente H y del sistema de potencia sin depender de un enlace externo.

### 6.5. Indicaciones mediante LED

El LED de usuario funciona como un indicador visual del estado general del módulo. Su comportamiento permite identificar rápidamente la condición de operación:

- **DISARMED:** el LED muestra un patrón de destellos asociado al modo configurado por el DIP switch.
- **ARMED:** el LED permanece encendido de forma fija.
- **Prueba en ejecución:** el LED parpadea a **0.5 Hz**, es decir, un segundo encendido y un segundo apagado.
- **Falla:** el LED entra en un parpadeo rápido para indicar condición anómala.

Esta interfaz visual permite distinguir claramente si el sistema está solo configurado, habilitado o ejecutando una rutina activa.

### 6.6. Ingreso de comandos y prioridad de control

El módulo puede recibir comandos desde distintos medios de comunicación dependiendo del modo configurado. No obstante, la entrada por **USB-C** se mantiene activa como canal universal de depuración y control prioritario.

Esto significa que, aunque el módulo esté configurado en WiFi, BLE o HC-05, el puerto USB-C sigue permitiendo:

- consultar el estado interno del sistema;
- observar mensajes de depuración;
- enviar comandos manuales;
- tomar prioridad temporal sobre otros medios de comunicación.

Los comandos aceptados incluyen instrucciones discretas de movimiento:

- F (forward),
- B (backward),
- L (left),
- R (right),
- S (stop),
- T (test).

También es posible enviar consignas numéricas como  $-120$ ,  $0$ ,  $+100$  o  $+255$ . Si se recibe un valor fuera del rango permitido, el firmware lo satura automáticamente al intervalo  $[-255, 255]$ .

### 6.7. Ejecución mediante rampas

Una característica importante del firmware es que ningún comando de velocidad se aplica de forma instantánea a la salida del puente H. En lugar de ello, cada nueva consigna se transforma en un objetivo interno y el valor aplicado evoluciona progresivamente mediante una rampa.

Este enfoque ofrece varias ventajas prácticas:

- evita cambios bruscos de velocidad;
- reduce esfuerzos eléctricos y mecánicos;
- mejora la seguridad del arranque y frenado;
- hace más predecible el comportamiento del sistema.

Por lo tanto, tanto los comandos provenientes de USB, WiFi, BLE, HC-05 o del modo de prueba local convergen en una misma capa de control basada en rampas.

### 6.8. Ventajas de la arquitectura propuesta

La lógica implementada en el módulo presenta varias ventajas:

- permite seleccionar el modo de operación directamente desde hardware;
- garantiza un arranque seguro en estado **DISARMED**;
- ofrece una interfaz mínima local mediante botón y LED;
- mantiene un canal universal de servicio y depuración por USB-C;
- unifica todos los comandos en una misma lógica interna de ejecución por rampas;
- facilita la reutilización de la tarjeta en distintos escenarios sin modificar la arquitectura básica.

## 7. Lógica del puente H

Tabla 5: Tabla funcional para el control del motor.

IN_0	IN_1	Estado	Comentario
0	0	Salida deshabilitada / libre	Ambos caminos permanecen apagados.
1	0	Giro A	Activa una diagonal del puente. Puede combinarse con PWM.
0	1	Giro B	Activa la diagonal opuesta. Puede combinarse con PWM.
1	1	<b>Prohibido</b>	Cortocircuito interno.

## 8. Condiciones eléctricas y estimación de capacidad

### 8.1. Supuestos usados para esta estimación

La capacidad de corriente del módulo se estimó suponiendo que la etapa de potencia usa:

- **IRF540N** para los MOSFET de canal N, con  $R_{DS(on),max} = 44 \text{ m}\Omega$ ,  $I_D$  máximo de 33 A a 25 °C y  $V_{GS,max} = \pm 20 \text{ V}$ .
- **IRF9540N** para los MOSFET de canal P, con  $R_{DS(on),max} = 117 \text{ m}\Omega$ ,  $I_D$  máximo de -23 A a 25 °C y  $V_{GS,max} = \pm 20 \text{ V}$ .

En conducción, la corriente pasa por **un MOSFET canal P y un MOSFET canal N** al mismo tiempo. Por ello, la resistencia total de conducción por trayectoria puede aproximarse como:

$$R_{eq} \approx R_{DS(on),P} + R_{DS(on),N} = 0,117 + 0,044 = 0,161 \Omega$$

## 8.2. Estimación de caída de tensión y pérdida por conducción

Tabla 6: Estimación de pérdidas por conducción por una diagonal activa, usando valores máximos de  $R_{DS(on)}$  a 25 °C.

Corriente	Caída aprox. en puente	Pérdida total	Pérdida aprox. en MOSFET P	Comentario
3 A	0,483 V	1,45 W	1,05 W	Operación cómoda para validaciones iniciales.
5 A	0,805 V	4,03 W	2,93 W	Nivel razonable para operación continua preliminar con disipadores.
6 A	0,966 V	5,80 W	4,21 W	Posible, pero ya exige buena evacuación térmica.
8 A	1,288 V	10,30 W	7,49 W	Debe tratarse como condición intermitente hasta validar temperatura real.

## 8.3. Conclusión técnica sobre la corriente del módulo

Aunque los valores absolutos de hoja de datos de los MOSFETs son mucho mayores que 8 A, esos números están especificados bajo condiciones ideales de encapsulado y disipación. En tu módulo real, la limitante práctica no será la cifra absoluta del semiconductor, sino:

- la disipación térmica real de los MOSFETs montados;
- el tamaño y desempeño de los disipadores;
- el valor del fusible instalado;
- el ancho de pistas y conectores;
- la elevación de  $R_{DS(on)}$  con temperatura.

**Recomendación preliminar de publicación:** declarar 24 V nominal, 4 A a 5 A **continuos** recomendados y hasta 8 A **intermitentes** mientras no se complete la validación térmica y no se documente el valor exacto del fusible.

En otras palabras: tu meta de 8 A no está descabellada para picos o pruebas cortas, pero como cifra de datasheet continuo todavía sería optimista. Para un documento serio, yo la bajaría a un rango continuo conservador y dejaría 8 A como capacidad objetivo o intermitente.

## 9. Recomendaciones de operación

### 9.1. Arranque seguro

- Inicializar IN\_0 y IN\_1 en cero.
- Leer el DIP switch al encender y fijar el modo antes de energizar la carga.
- No permitir cambios de sentido sin tiempo muerto.

### 9.2. PWM

El módulo está pensado para control de motor DC, pero la frecuencia PWM final no se declara aún en este datasheet porque depende de la validación conjunta de:

- velocidad de los optoacopladores;
- calentamiento en los MOSFETs;
- ruido electromagnético del cableado y la carga.

**Sugerencia práctica:** dejar la frecuencia PWM como *pendiente de caracterización* en la primera versión del datasheet. Es más profesional que fijar una cifra antes de medirla.

### 9.3. Protección

- Definir y documentar el valor nominal del fusible.
- Añadir en firmware una condición de *fault latch* si se detecta comando inválido.
- Considerar sensado de corriente en una revisión futura si el producto evolucionará a algo más industrial.

## 10. Referencias

1. Infineon Technologies. *IRF540N – 100V Single N-Channel Power MOSFET in a TO-220 package*. Disponible en: <https://www.infineon.com/part/IRF540N>
2. Infineon Technologies. *IRF9540N – -100V Single P-Channel Power MOSFET in a TO-220 package*. Disponible en: <https://www.infineon.com/part/IRF9540N>
3. Infineon Technologies. *IRF540N Datasheet*. Disponible en: [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRF540N-DataSheet-v01\\_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355e39f0d19a1](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRF540N-DataSheet-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355e39f0d19a1)
4. Sharp. *PC817 Series Photocoupler Datasheet*. Referencia empleada solo a nivel de familia para los optoacopladores tipo 817/817C.

Nota final: este documento está redactado como un datasheet entendible y publicable, pero con criterio de ingeniería conservador. Eso, honestamente, le da mucha más credibilidad que inflar especificaciones antes de medirlas.