LISTADO DE MATERIALES E INSTRUMENTACIÓN (`BOM`) — MÓDULO 08

Hardware de Control en Lazo Cerrado `PID` , Etapa de Potencia `MOSFET PWM` , Sensórica `I2C` y Visión en el Borde (`CSI`)

Curso: Ingeniería en Internet de las Cosas (`IoT`) con Arduino y Raspberry Pi

Módulo: 08 — Control en Lazo Cerrado (`PID`), Protocolo `RPC` , `Edge AI` y Captura Visual por Eventos

---

1. Computación de Supervisión (`Edge AI`) y Controlador de Tiempo Real (`PID`)

Ítem	Cant.	Designador	Componente / Especificación Técnica	Función en el Sistema
01	1	`SBC1`	**Raspberry Pi 4 Modelo B / Raspberry Pi 5 (`4 GB` o `8 GB` RAM)**	Supervisor de planta, cliente `RPC` correlacionado, motor `Isolation Forest` y captura de cámara `CSI` .
02	1	`U1`	**Arduino UNO R3 (`ATmega328P-PU` @ `16 MHz`)**	Ejecución determinista del lazo cerrado `PID` discreto cada $T_s = 100\ ms$ y protección de sobrecorriente.
03	1	`CAM1`	**Cámara Oficial Raspberry Pi `CSI` (`IMX219 8MP` o `IMX708 12MP`) con cinta `FFC` de 15/22 pines**	Captura fotográfica `1920x1080` dirigida por eventos ante detección de anomalías mecánicas o térmicas.

---

2. Etapa de Potencia `PWM` de $12\ V\ DC$ y Protección contra Transitorios Inductivos

Ítem	Cant.	Designador	Componente / Especificación Técnica	Función en el Sistema
04	1	`Q1`	**Transistor** `MOSFET` **Canal N de Nivel Lógico** `IRLZ44N` **(** `TO-220` **,** $V_{DSS}=55\ V$**,** $I_D=47\ A$**,** $R_{DS(on)}=0.022\ \Omega$ **@** $V_{GS}=5\ V$**)**	Conmutador de potencia en lado bajo (*Low-Side Switch*) gobernado por la señal `PWM` del pin `D9` ($490\ Hz$).
05	1	`HS1`	**Disipador de Aluminio Anodizado para cápsula** `TO-220` **(**$19 \times 15 \times 25\ mm$**) con tornillo** `M3` **y pasta térmica**	Evacuación térmica de pérdidas por conducción y conmutación del transistor `Q1`.
06	1	`D1`	**Diodo Rectificador de Rueda Libre** `1N4007` **(** `DO-41` **,** $1000\ V$**,** $1.0\ A$**) o** `1N5819` **(** `Schottky` $40\ V$**)**	Supresión del pico inductivo inverso ($V_L = -L \cdot dI/dt$) en cada corte del ciclo `PWM`.
07	1	`R_GATE`	**Resistencia de Película Metálica de** $220\ \Omega$ **(**$1/4\ W$**,** $\pm 1\%$**)**	Limita el pico de corriente de carga de la capacitancia de compuerta (C_{iss}) y amortigua oscilaciones parásitas (*ringing*).
08	1	`R_PD`	**Resistencia de Anclaje (** `Pull-Down` **) de** $10\ k\Omega$ **(**$1/4\ W$**,** $\pm 1\%$**)**	Mantiene la compuerta (`Gate`) firmemente en $0\ V$ durante el reinicio o alta impedancia del microcontrolador.
09	1	`ACT1`	**Planta Térmica / Ventilador Axial Industrial de** $12\ V\ DC$ **(**$380\ mA$ **nominal,** $> 850\ mA$ **rotor bloqueado)**	Actuador físico del lazo de regulación térmica y banco de pruebas de anomalías mecánicas.
10	1	`PSU1`	**Fuente Conmutada Industrial de** $12\ V\ DC\ /\ 3.0\ A$ **(**$36\ W$**) con riel negativo común en estrella**	Alimentación dedicada para la etapa de potencia de $12\ V$, desacoplada del riel lógico de $5\ V$.

3. Sensórica de Realimentación de Estado (`T_actual` e `I_motor`)

Ítem	Cant.	Designador	Componente / Especificación Técnica	Función en el Sistema
11	1	`U2`	**Módulo Sensor de Corriente y Tensión de Lado Alto** `INA219` **(** `I2C 0x40` **) con Shunt Kelvin de** $0.100\ \Omega$ **(**1%**,** $2\ W$**)**	Medición en tiempo real de $I_{motor}[k]$ y $V_{bus}[k]$ para protección de sobrecorriente y vector de `Edge AI`.
12	1	`U3`	**Sonda Ambiental Digital** `Bosch BME280` **(** `I2C 0x76` **) o** `DS18B20` **impermeable**	Medición de la variable controlada $y[k] = T_{actual}$ con resolución de $0.01\ ^\circ C$.

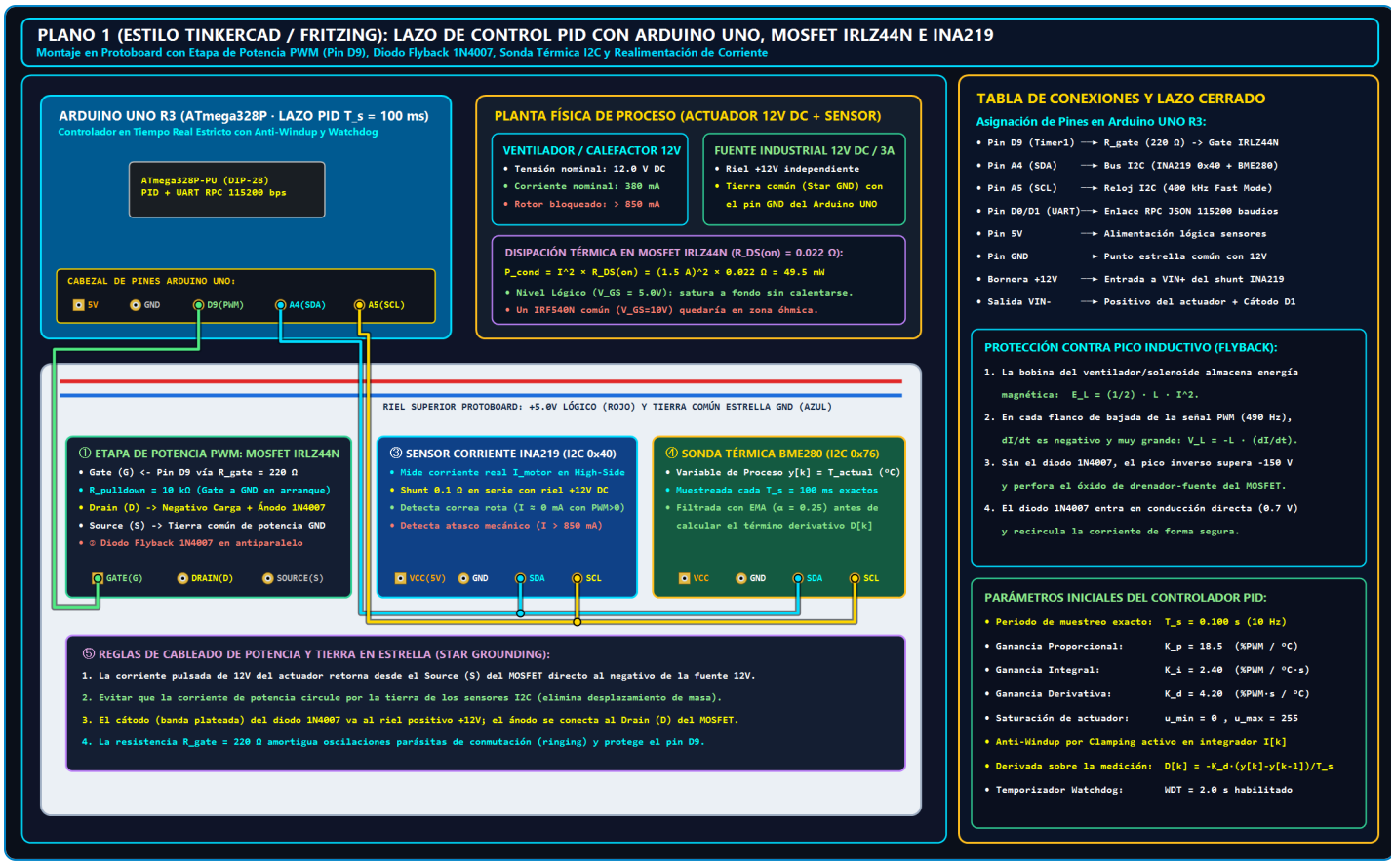
4. Insumos de Construcción para Placa Impresa Soldada (`PCB FR-4`) y Prototipo (`Tinkercad`)

Ítem	Cant.	Designador	Componente / Especificación Técnica	Función en el Sistema
13	1	`PCB1`	**Placa Virgen o Fabricada `FR-4` de Doble Capa (1.6 mm, cobre 1 oz/ft^2, pistas de potencia de 2.50 mm)**	Montaje definitivo por soldadura libre de falsos contactos y con partición de tierra `AGND` / `PGND`.
14	1	`SOCK1`	**Zócalo Torneado `DIP-28` de paso 2.54 mm + Cristal `HC-49S` 16.000 MHz + 2× 22 pF NP0**	Alojamiento seguro del microcontrolador `ATmega328P-PU` sin exponerlo al calor directo del cautín.
15	2	`TB1`, `TB2`	**Borneras de Tornillo para Circuito Impreso `KF301-2P` (paso 5.08 mm, 300 V / 15 A)**	Fijación mecánica firme de los cables de la fuente de 12 V DC y del actuador.
16	1	`F1`	**Fusible Polimérico Rearmable `PTC` de 3.0 A (`PPTC` radial)**	Protección contra cortocircuitos francos en la línea de +12 V.

5. Planos de Referencia para Inspección de Materiales y Montaje

5.1 Plano de Prototipado en Protoboard (`Plano 1`)

📐 Plano 1: Montaje en Protoboard del Lazo Cerrado PID

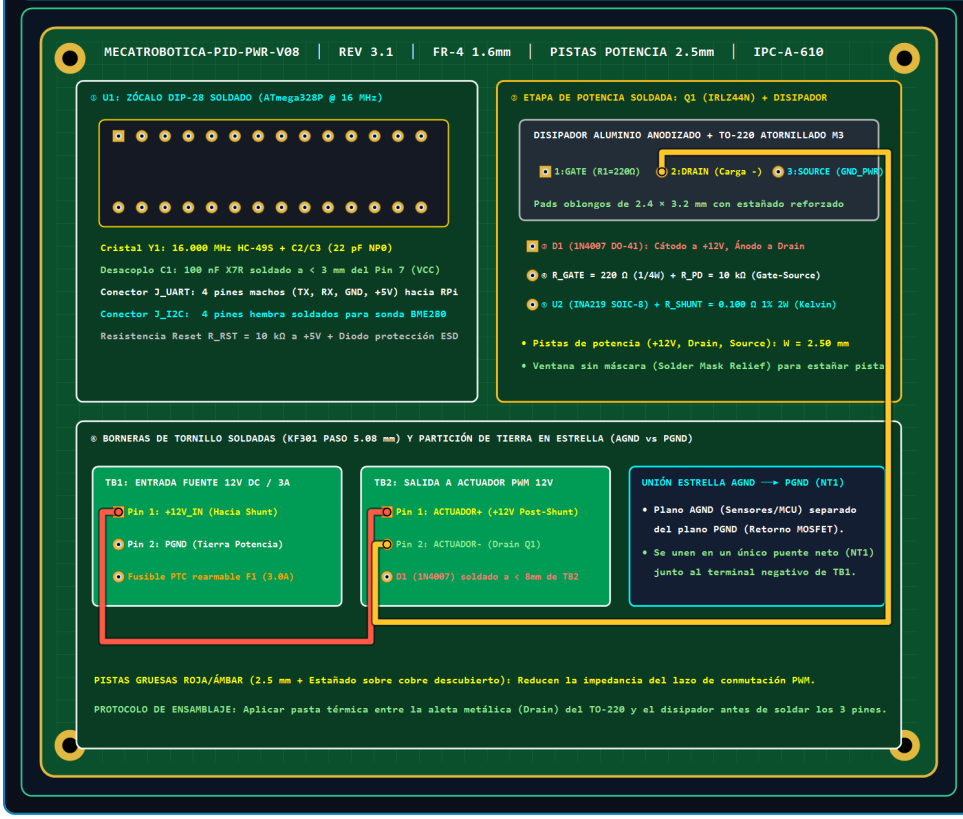


5.2 Plano de Circuito Impreso `FR-4` con Montaje por Soldadura (`Plano 2`)

📐 Plano 2: Placa PCB Soldada del Controlador PID de Potencia

PLANO 2 (PLACA PCB FR-4 CON MONTAJE POR SOLDADURA): CONTROLADOR PID DE POTENCIA E INSTRUMENTACIÓN

Circuito Impreso de Doble Capa con Pistas de Cobre de 2.5 mm para 12V/3A, Zócalo DIP-28 Soldado, MOSFET TO-220 con Disipador y Shunt Kelvin



INGENIERÍA DE PCB DE POTENCIA (IPC-2221)

Dimensionamiento de Pistas y Soldadura THT:

- Corriente máxima de diseño: $I_{max} = 3.0$ A continuos
- Espesor de cobre estándar: 1 oz/ft² (35 µm)
- Ancho de pista requerido (IPC-2221 para $\Delta T = 10$ °C):
  $W_{min} = 1.58$ mm ⟶ Diseñado con $W = 2.50$ mm
- Técnica de ventana sin máscara (Solder Mask Relief): Permite aportar soldadura de estaño-plata sobre la pista de Drain y Source, duplicando su sección útil.

POR QUÉ NO USAR PROTOBOARD CON CARGAS PWM > 1 A:

1. Los flejes elásticos de una protoboard tienen una resistencia de contacto de 80 a 250 mΩ por inserción.
2. A 2.5 A, los contactos se calientan, ablandan el plástico ABS y falsean la tensión de compuerta V_{GS}.
3. El rebote de tierra (Ground Bounce) por los pulsos PWM corrompe las lecturas del sensor térmico I2C.
4. En la placa PCB soldada con tierras separadas (AGND y PGND), el ruido conducido cae más de 40 dB.

LISTA DE INSPECCIÓN POST-SOLDADURA:

1. Verificar con óhmetro resistencia entre Gate y Source: Debe medir exactamente 10.0 kΩ ($R_{pulldown}$).
2. Verificar polaridad de D1 (1N4007): Banda del cátodo hacia +12V (si se invierte, provoca cortocircuito).
3. Comprobar ausencia de puentes de estaño entre los 3 pines del TO-220 (paso 2.54 mm).
4. Limpiar residuos de resina flux con IPA 99.8% antes de insertar el ATmega328P en su zócalo DIP-28.