Listado de Materiales (BOM) — Módulo 11: Banco de Inyección de Fallas, Instrumentación Forense y Puesta en Marcha

- **Curso:** Internet de las Cosas (`IoT`) con Arduino y Raspberry Pi (`MecatroboticApp`)
- **Módulo 11:** Protocolo de Estrés `FI-01..FI-05` , Diagnóstico de Campo (`Anexo A`) y Gemelo Digital (`Anexo B`)

---

1. Componentes del Banco de Inyección de Fallas (`Fault Injection Switchbox`)

Ítem	Designador	Componente / Especificación Técnica	Cantidad	Función en las Pruebas `FI-01` a `FI-05`
1	`SW1`	Interruptor de palanca miniatura `SPDT` (5 A / 125 V AC, montaje en panel o PCB)	1	Inyección de falla `FI-01` : apertura en caliente del lazo del termistor `NTC` hacia `A0` .
2	`SW2`	Interruptor de palanca bipolar `DPDT` / `DPST` de corte simultáneo	1	Inyección de falla `FI-02` : interrupción limpia del par diferencial `RS-485` (`A` y `B`).
3	`SW3`	Interruptor de palanca `SPST` de potencia (10 A / 12 V DC)	1	Inyección de falla `FI-04` : desconexión de la línea de $+12$ V del ventilador detrás del sensor `INA219` .
4	`TP1..TP6`	Torreta / Puntos de prueba dorados para punta de osciloscopio o analizador lógico (`Test Points`)	6	Medición de tiempos de reacción ($\Delta t < 100$ ms), flancos `DE/RE` y rizado de fuente.
5	`R_PU_I2C`	Resistencias de película metálica de 3.3 kΩ $\pm 1\%$ (1/4 W)	2	*Pull-ups* externos reforzados para líneas `SDA` y `SCL` ante cables de más de 30 cm (`Anexo A.2`).
6	`J_TERM`	Bloques de terminales enchufables tipo Phoenix / KF2EDG de 5.08 mm (2 y 4 polos)	4	Inserción no destructiva de la caja de inyección de fallas entre la estación y el campo.

---

2. Instrumentación de Diagnóstico y Verificación (`FAT / SAT`)

Ítem	Instrumento / Herramienta	Especificación Mínima Recomendada	Aplicación en la Puesta en Marcha
1	**Analizador Lógico USB de 8 Canales**	Compatible con `Saleae Logic` / `Sigrok PulseView` (24 MHz, entradas CMOS 3.3 V / 5 V)	Verificación de la cola de transmisión `RS-485` (`Serial.flush()` + 100 µs antes de bajar `DE/RE`) y medición exacta del tiempo de reacción en `FI-01` .
2	**Multímetro Digital True-RMS (`DMM`)**	Categoría `CAT III 600V` , medición de resistencia, tensión DC y continuidad con alarma sonora	Verificación de tierra común (`GND`), resistencia en frío del `NTC` (10 kΩ a 25 ^\circC) y resistencias terminadoras de 120 Ω en el bus `RS-485` .
3	**Fuente de Alimentación DC de Laboratorio o Industrial**	Salida doble o independiente: 12 V DC / 3 A (Potencia) + 5.1 V DC / 3 A oficial para Raspberry Pi	Prevención de reinicios por *brown-out* (`vcgencmd get_throttled = 0x0`) al conmutar cargas inductivas.

---

3. Requerimientos de Software para el Gemelo Digital (`Anexo B` — Alternativa Sin Hardware)

Componente de Software	Versión Recomendada	Propósito en el Laboratorio Virtual
Visual Studio Code + **Extensión** `Wokwi Simulator`	Última versión estable	Simulación a nivel de ciclo de instrucción del `ATmega328P` / `ESP32` y exposición del puerto serie por TCP (`rfc2217://localhost:4000`).
`PlatformIO` **o** `Arduino CLI`	Core ≥ 6.1	Compilación reproducible de los archivos `.hex` y `.elf` requeridos por `wokwi.toml` .
`Docker Desktop` **o** `Docker Engine` + `Compose v2`	≥ 24.0	Ejecución idéntica de `eclipse-mosquitto:2` , `influxdb:2.7` , `nodered/node-red` y `grafana/grafana-oss` .
`Python 3.11+` + `pyserial` + `paho-mqtt`	`pyserial >= 3.5`	Soporte nativo para `serial.serial_for_url("rfc2217://localhost:4000", baudrate=115200)` .