GUÍA PASO A PASO DE LABORATORIO — MÓDULO 10

Proyecto Integrador Final (*Capstone*) — Especificación de Ingeniería, Interconexión Maestra y Despliegue de la Estación Inteligente

Curso: Internet de las Cosas (IoT) con Arduino y Raspberry Pi — Ingeniería Mecatrobótica

Módulo: 10 — Integración Full-Stack de las 4 Capas (Hardware Determinista, Bus RS-485, Servidor Edge Cifrado y Supervisión Analítica)

---

1. Objetivos de Ingeniería del Proyecto Integrador (Parte 1)

- Ensamblar el hardware completo de la **Estación Mecatrónica Inteligente de Control Térmico, Ambiental y Energético** (en doble protoboard estilo Tinkercad o sobre la Placa Portadora Madre soldada `MECATROBOTICA-CAPSTONE-CARRIER-V10`).
- Compilar y cargar en el controlador de campo Arduino el firmware integral de tiempo real estricto (`firmware_maestro_estacion_capstone.ino`) que unifica muestreo a $20\ \text{Hz}$ con filtro `EMA`, control `PID discreto` ($10\ \text{Hz}$) sobre ventilador `PWM`, histéresis sobre calefactor, máquina de 5 estados finitos (`FSM`), rearme físico, verificación `CRC-16` y *Watchdog* a $2\ \text{s}$.
- Interconectar el nodo Arduino con la pasarela **Raspberry Pi 4B** mediante el bus diferencial industrial **`RS-485`** (`MAX485` con terminación de $120\ \Omega$) y desplegar la estructura maestra `/opt/mecatrobotica/capstone/`.
- Levantar la pila de contenedores de producción (`docker_compose_capstone_produccion.yml`) con cifrado **`MQTTS TLS 1.3 (:8883)`**, listas `ACL`, persistencia en unidad `SSD` (`InfluxDB 2.7` + cola `SQLite WAL`) y paneles **ANSI/ISA-101** en `Grafana`.

---

2. Fase 1: Ensamblaje de la Estación Mecatrónica en Protoboard o Placa Portadora PCB

- **Subsistema de Percepción (Sensores de Campo en Arduino):**
- Conecta la sonda térmica `NTC 10k` / `DS18B20` a `A0`, el sensor de iluminación `LDR` a `A1`, y el bus `I2C` (`A4/SDA`, `A5/SCL`) al sensor ambiental **`BME280`** **(`0x76`)** y al monitor de potencia **`INA219`** **(`0x40`)**.
- **Subsistema de Actuación Dual y Seguridad Local:**
- Conecta el pin `D9 (PWM Timer1)` a la compuerta del **`MOSFET IRLZ44N`** (con resistencias de $100\ \Omega$ y $10\ \text{k}\Omega$ y diodo *flyback* `1N4007`) para modular el ventilador axial de $12\ \text{V DC}$.
- Conecta el pin `D7` a la entrada del **módulo de relé optoacoplado** para el elemento calefactor, el pin `D8` al zumbador de alarma local y el pin `D2` (`INPUT_PULLUP`) al botón físico de rearme.
- **Subsistema de Transporte Industrial `RS-485`:**
- Conecta `TX/RX` y `D4 (DE/RE)` del Arduino al transceptor **`MAX485`** y tiende el par trenzado diferencial (`A` y `B` con resistencias terminadoras de $120\ \Omega$) hacia el adaptador industrial `USB-RS485` de la Raspberry Pi.

📐 Plano 1: Montaje Integral en Protoboard de la Estación Inteligente Capstone



---

3. Fase 2: Despliegue de la Estructura `/opt/mecatrobotica/capstone/` en Raspberry Pi

- Ejecuta el script de aprovisionamiento automatizado en la Raspberry Pi:

  ```bash
  chmod +x despliegue_automatizado_capstone.sh
  sudo ./despliegue_automatizado_capstone.sh
  ```

- Verifica que los cuatro contenedores de producción estén saludables y escuchando únicamente en los puertos autorizados (`8883` y `3000` hacia LAN, `1883` , `8086` y `1880` confinados a `127.0.0.1`):

  ```bash
  docker compose -f /opt/mecatrobotica/capstone/docker_compose_capstone_produccion.yml ps
  ```

- Verifica la operación en tiempo real del puente demonizado `orquestador_edge_capstone_bridge.py` :

  ```bash
  journalctl -u capstone-bridge.service -f -n 30
  ```