PLANOS Y ESQUEMÁTICOS DE CIRCUITO E INGENIERÍA — MÓDULO 10

Planos en Protoboard (Estilo Tinkercad), Placa Portadora Madre PCB FR-4 con Montaje por Soldadura y Arquitectura Capstone

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

Módulo: 10 — Proyecto Integrador Final (*Capstone*) — Estación Inteligente de Monitoreo y Control

---

1. Plano 1 (Estilo Tinkercad / Fritzing): Montaje Integral en Protoboard de la Estación Mecatrónica Completa

En este primer plano maestro se detalla el conexionado completo sobre protoboard de todos los subsistemas de la Estación Inteligente:

- **Sensores analógicos y digitales (`NTC/DS18B20`, `LDR`, `BME280` e `INA219`):** Alimentados y desacoplados con condensadores cerámicos de $100\ nF$.
- **Etapa de potencia dual:** Transistor `MOSFET IRLZ44N` en `D9` con diodo *flyback* `1N4007` para el ventilador `PWM` de $12\ V$ y módulo de relé optoacoplado en `D7` para el calefactor, alimentados desde la fuente externa de $12\ V/3\ A$ con retorno en estrella.
- **Enlace diferencial `RS-485` (`MAX485`):** Conectado a `TX/RX/D4` del Arduino y enlazado por par trenzado con resistencias terminadoras de $120\ \Omega$ hacia la **Raspberry Pi 4B** con unidad `SSD USB 3.0`.

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



---

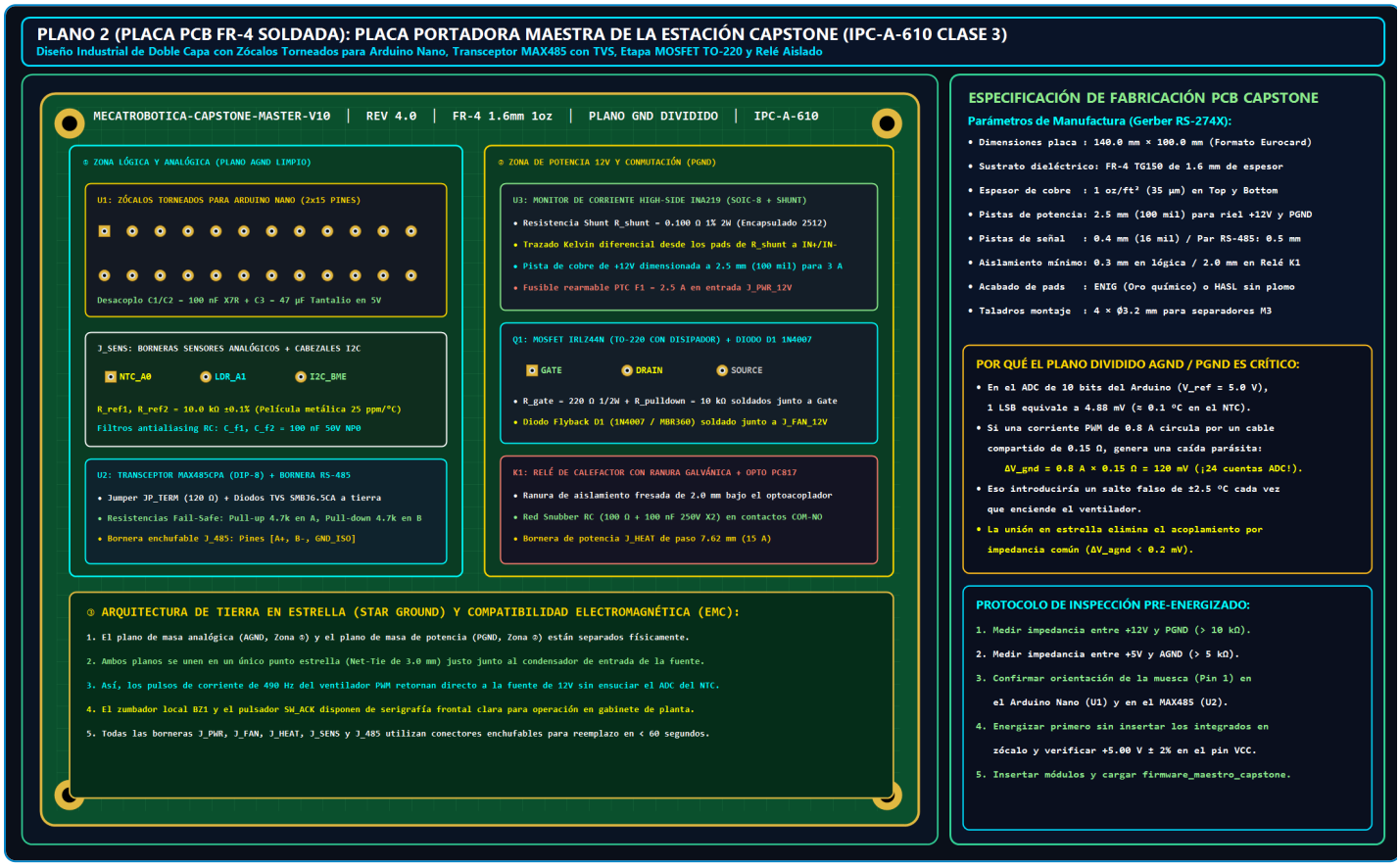
2. Plano 2 (Placa de Circuito Impreso PCB FR-4): Placa Portadora Madre con Montaje por

Soldadura (`MECATROBOTICA-CAPSTONE-CARRIER-V10`)

Para consolidar el proyecto final en un prototipo de grado industrial libre de la fragilidad de decenas de cables puente Dupont, este segundo plano presenta el diseño de la **Placa Portadora Madre en fibra de vidrio FR-4 de doble capa (`MECATROBOTICA-CAPSTONE-CARRIER-V10`)** con montaje por soldadura:

- **Zócalos hembra torneados soldados para el microcontrolador y módulos `I2C` :** Permiten insertar y reemplazar el controlador sin desoldar la placa base.
- **Partición física en tres zonas sobre el circuito impreso con unión en estrella (`Star Ground`):**
- **Zona Analógica y Sensórica (`AGND`):** Alejada de las trazas de conmutación para preservar la relación señal-ruido del ADC de 10 bits.
- **Zona Digital y Diferencial `RS-485` (`DGND`):** Con par diferencial simétrico para las líneas `A` y `B` del `MAX485` y diodos `TVS` hacia bornera `TB_RS485` .
- **Zona de Conmutación de Potencia (`PGND`):** Con pistas de cobre de $2.5\ mm$ de ancho para el `MOSFET IRLZ44N` , medición Kelvin en el shunt de $0.100\ \Omega$ del `INA219` y ranura fresada bajo el optoacoplador del relé.

📐 Plano 2: Placa Portadora Madre PCB FR-4 Soldada de la Estación Capstone



---

3. Plano 3: Arquitectura Maestra de Cuatro Capas de la Estación Inteligente Capstone

📐 Plano 3: Arquitectura Maestra de 4 Capas del Capstone



---

4. Plano 4: Máquina de 5 Estados Finitos (`FSM`), Coordinación Térmica y Flujo Bidireccional

📐 Plano 4: Máquina de Estados Finitos y Coordinación de Lazos



5. Plano 5: Estructura de Producción `/opt/mecatrobotica/capstone/`, Contenedores Docker y Servicios `systemd`

📐 Plano 5: Despliegue en Producción de Contenedores y Servicios Systemd

PLANO 5: ESTRUCTURA DE DIRECTORIOS DE PRODUCCIÓN Y DESPLIEGUE AUTOMATIZADO (LECCIÓN 10.2)
Árbol Estándar /opt/mecatrobotica/capstone, Orquestación Docker Compose + Unidades systemd y Aprovisionamiento en 6 Fases

1. ÁRBOL DE DIRECTORIOS EN LA RASPBERRY PI

```
/opt/mecatrobotica/capstone/
├── certs/                          # Permisos 0750 (root:mosquitto)
│   ├── ca.crt                      # Certificado Raíz CA X.509 (0644)
│   ├── server.crt                  # Certificado Broker con SAN (0644)
│   └── server.key                  # Clave Privada RSA-2048 (0600)
│
├── docker-compose.yml              # Pila declarativa ARM64 / x86_64
├── .env                            # Secretos y Tokens (chmod 0600)
│
├── firmware_arduino/               # Proyecto PlatformIO / Arduino CLI
│   ├── platformio.ini              # Configuración ATmega32BP
│   └── src/
│       ├── main.cpp                # Lazo determinista 20 Hz + FSM
│       └── DiscretePid.h           # PID con Anti-Windup y Derivada -y[k]
│
├── mosquitto/
│   └── config/
│       ├── mosquitto.conf          # Listener TLS 8883 + Cero anónimos
│       ├── passwd                  # Usuarios con hash SHA-512 + sal
│       └── acl.conf                # Matriz de mínimo privilegio
│
└── services/                       # Demonios systemd (Python .venv)
    ├── serial_mqtt_bridge.py       # Puente RS-485 <-> MQTTS 8883
    ├── store_and_forward_ingestor.py  # Ingestor SQLite WAL -> InfluxDB
    └── edge_anomaly_detector.py    # Detector INA219 + IsolationForest
```

2. PIPELINE DE DESPLIEGUE AUTOMATIZADO (despliegue_automatizado_capstone.sh)

FASE 1: Preparación de Sistema Operativo, Grupos POSIX y Entorno Virtual Python

- Verifica grupo 'dialout', instala dependencias ARM64 y crea /opt/mecatrobotica/capstone/.venv.

FASE 2: Aprovisionamiento Criptográfico PKI X.509 con Extensión SAN (OpenSSL)

- Genera ca.crt, server.crt y server.key incluyendo DNS local e IP estática en subjectAltName.

FASE 3: Endurecimiento de Red (UFW + Fail2ban) y Supervivencia Flash (log2ram + WDT)

- Aplica reglas de cortafuegos LAN, monta /var/log en RAM y activa RuntimeWatchdogSec=15.

FASE 4: Despliegue de Contenedores Docker Compose y Salud de InfluxDB v2

- Ejecuta 'docker compose up -d' y espera HTTP 200 en http://127.0.0.1:8086/health.

FASE 5: Compilación y Carga del Firmware Maestro en el Nodo Arduino

- Compila main.cpp + DiscretePid.h y verifica recepción de la primera trama con CRC-16 válido.

FASE 6: Registro y Arranque de Unidades systemd con Auto-Reinicio

- Habilita serial-mqtt-bridge, store-and-forward-ingestor y edge-anomaly-detector.