PLANOS Y ESQUEMÁTICOS DE CIRCUITO E INGENIERÍA — MÓDULO 07

Planos en Protoboard (Estilo Tinkercad), Placa PCB FR-4 con Montaje por Soldadura y Diagramas de Arquitectura

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

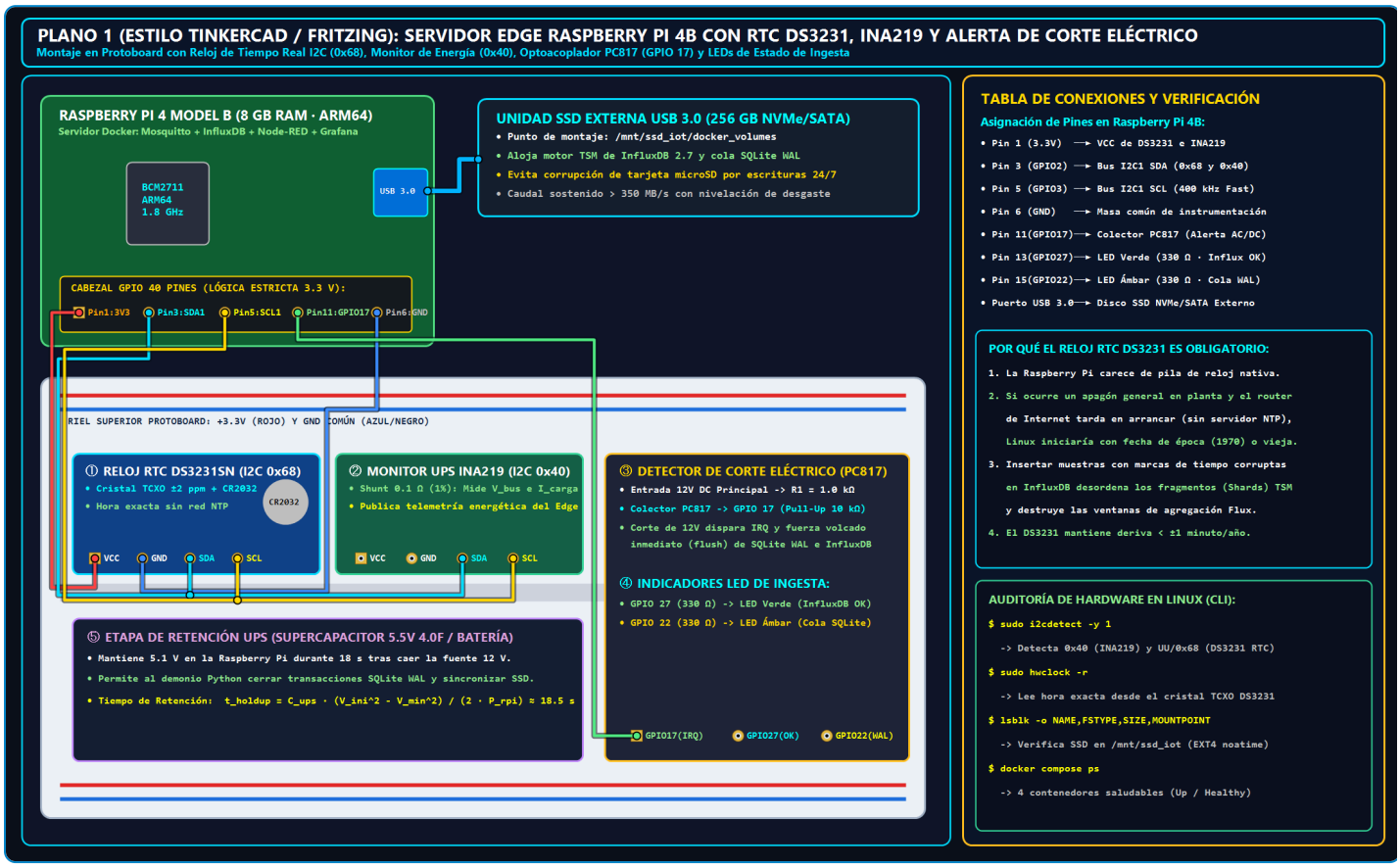
Módulo: 07 — Persistencia en Series Temporales, Docker, Node-RED, InfluxDB y Grafana

---

1. Plano 1 (Estilo Tinkercad / Fritzing): Montaje en Protoboard con RTC DS3231, INA219 y Alerta de Corte Eléctrico

En este primer plano de alta legibilidad se detalla el conexionado sobre protoboard del servidor Edge **Raspberry Pi 4B** acoplado a una unidad **SSD USB 3.0**, un reloj de tiempo real de alta precisión **DS3231SN (** `0x68` **)**, un monitor de potencia **INA219 (** `0x40` **)** y un detector optoacoplado de caída de alimentación principal **PC817** conectado al pin `GPIO 17`.

📐 Plano 1: Montaje en Protoboard Estilo Tinkercad



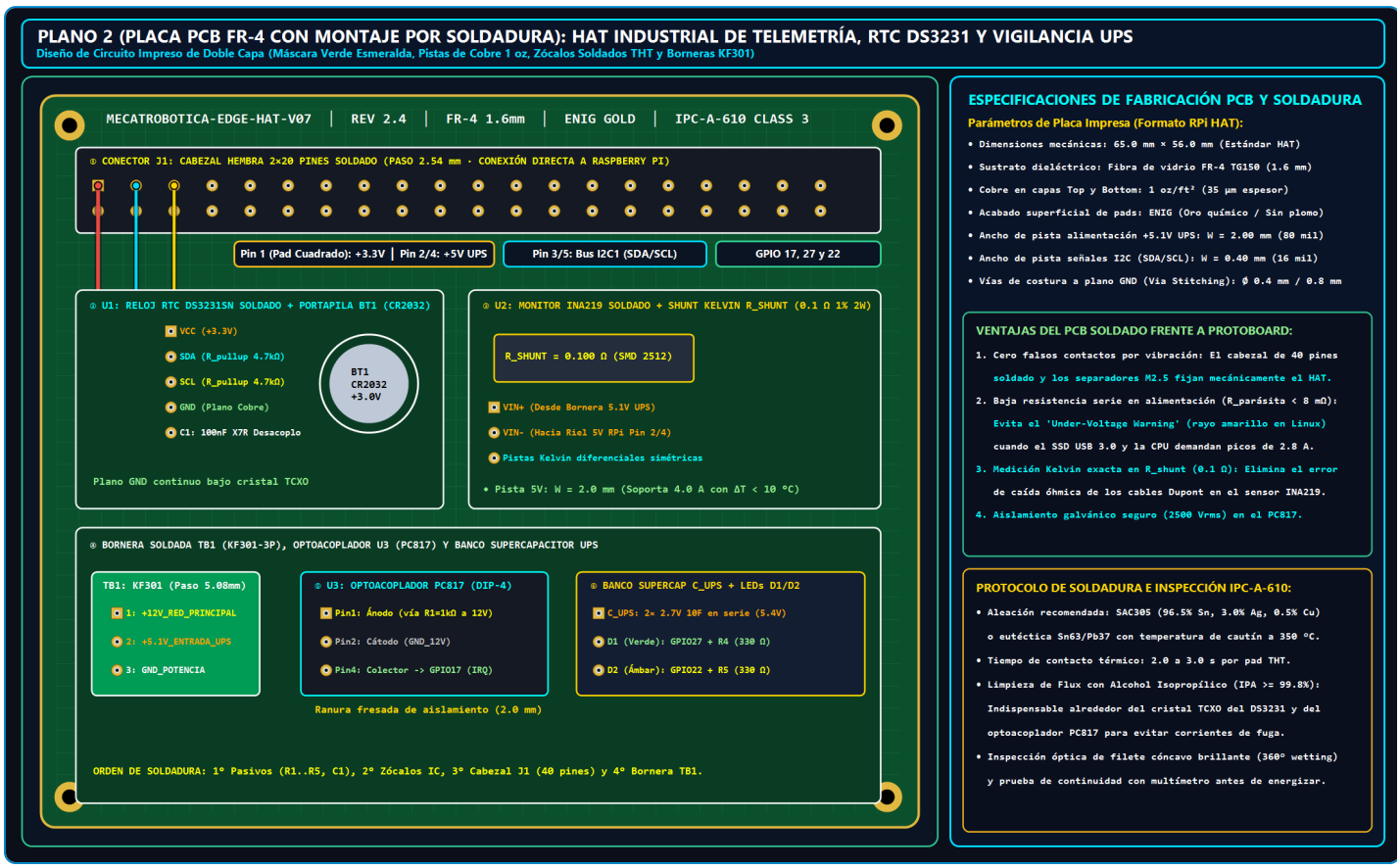
---

2. Plano 2 (Placa de Circuito Impreso PCB FR-4): Montaje por Soldadura de HAT Industrial para Raspberry Pi

Para servidores que operan las 24 horas de los 365 días del año en gabinetes sometidos a vibraciones de maquinaria, los cables puente Dupont sobre protoboard presentan riesgo de desconexión y caída óhmica en el riel de $5.1\ V$. Este segundo plano presenta el diseño de una **placa de circuito impreso de doble capa en fibra de vidrio FR-4 (** `MECATROBOTICA-EDGE-HAT-V07` **)** con montaje por soldadura (`IPC-A-610 Clase 3`):

- **Conector `J1` (2×20 pines hembra paso $2.54\ mm$ soldado)**: Acopla rígidamente el HAT sobre la Raspberry Pi junto con cuatro separadores mecánicos `M2.5`.
- **Pistas de potencia de $2.0\ mm$ de ancho y medición Kelvin en `R_SHUNT` ($0.100\ \Omega$)**: Soportan picos de corriente de hasta $4.0\ A$ con una caída resistiva despreciable.
- **Bornera de tornillo `TB1 (KF301)` soldada y ranura de aislamiento bajo el optoacoplador `PC817`**: Separan físicamente el riel industrial de $12\ V\ DC$ de la lógica de $3.3\ V$ del procesador Broadcom.

📐 Plano 2: Placa PCB FR-4 con Montaje por Soldadura

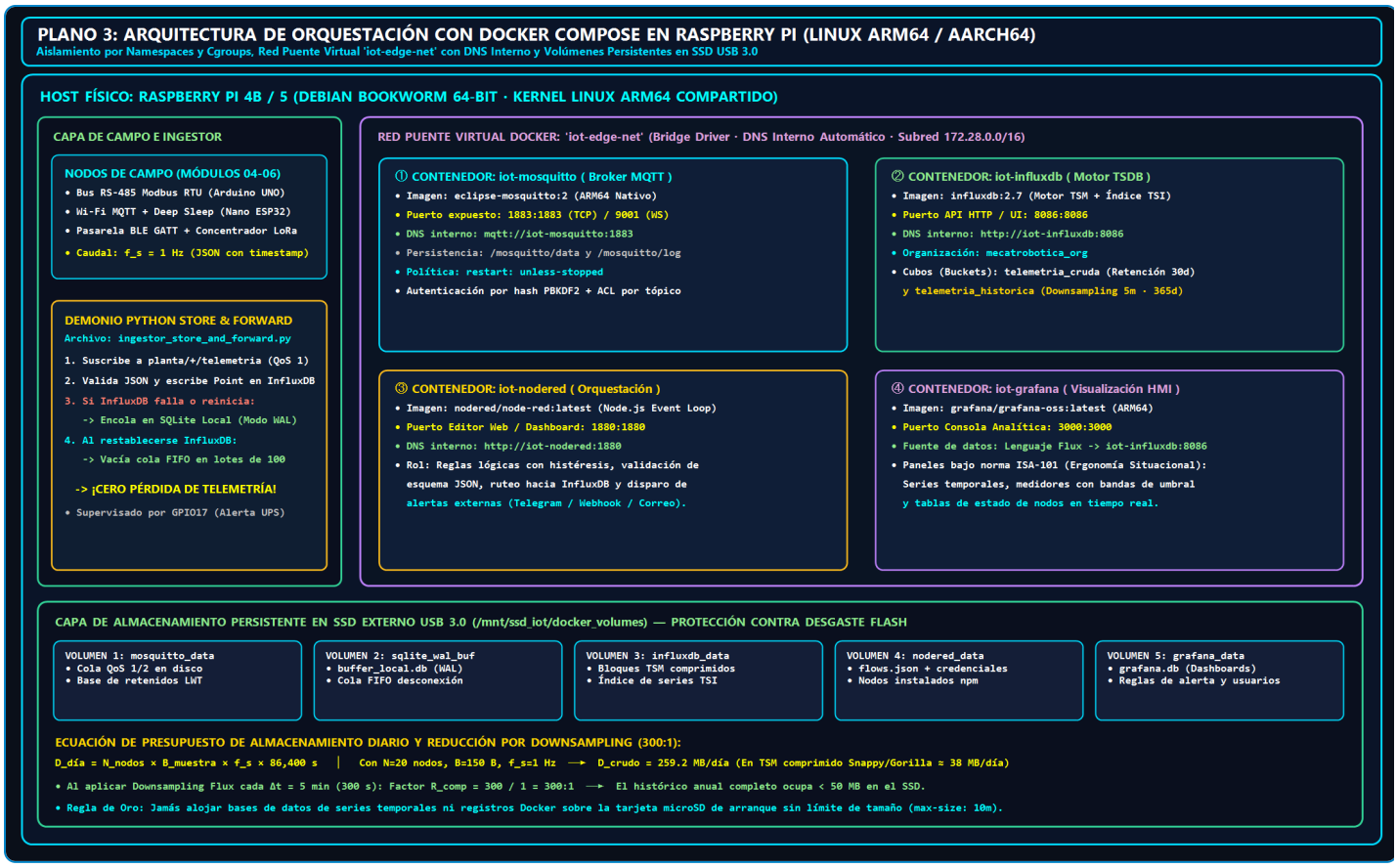


---

3. Plano 3: Arquitectura de Orquestación con Docker Compose en Linux ARM64

Representación detallada de la red puente aislada `iot-edge-net`, el mapeo de puertos de red (`1883`, `8086`, `1880` y `3000`) y la vinculación de los cinco volúmenes persistentes sobre la unidad externa **SSD USB 3.0** (`/mnt/ssd_iot/docker_volumes`).

📐 Plano 3: Arquitectura Docker Compose ARM64

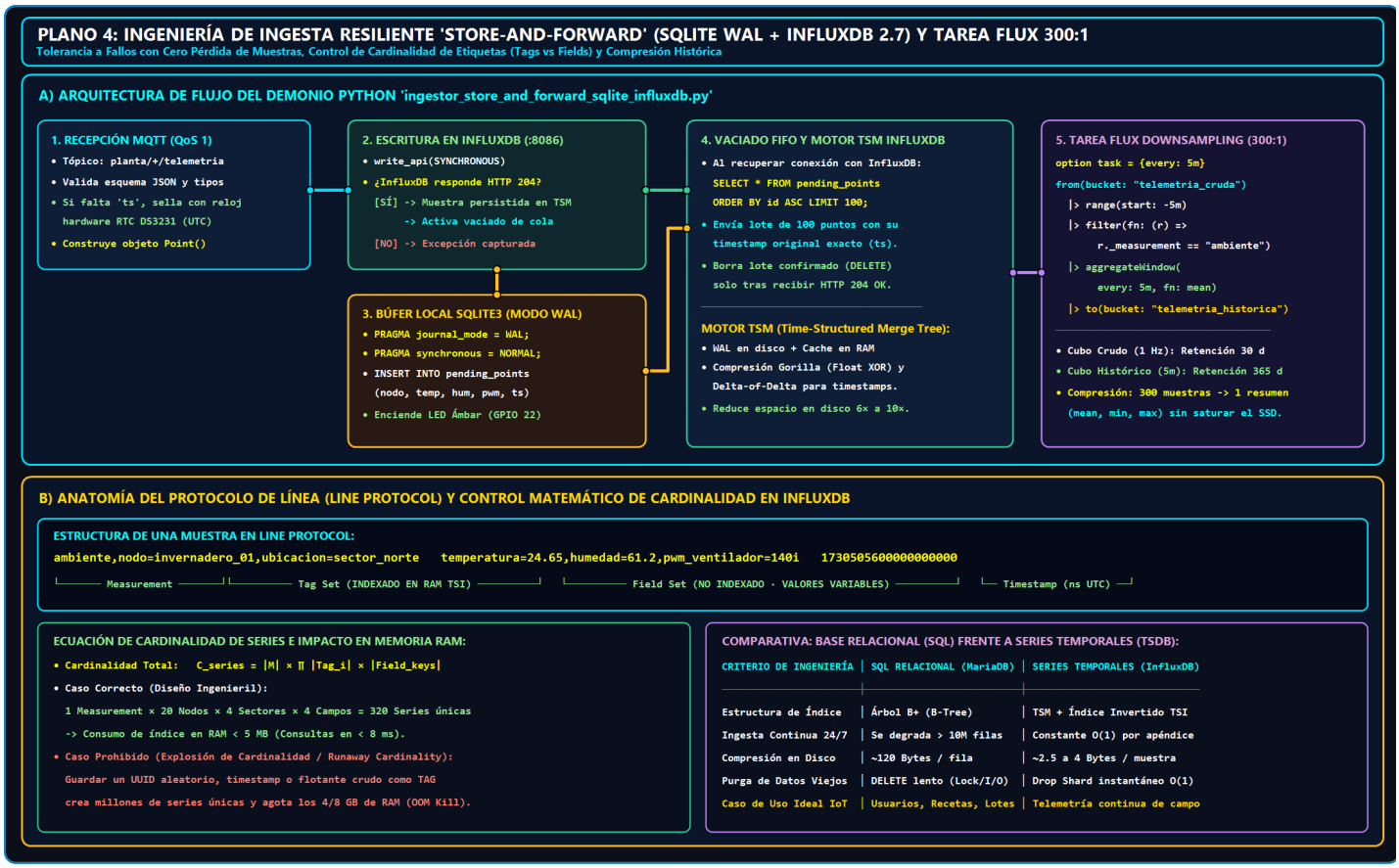


---

4. Plano 4: Flujo Store-and-Forward (SQLite WAL + InfluxDB 2.7) y Tarea Flux 300:1

Diagrama de ingeniería del demonio suscriptor en Python con conmutación automática a cola `SQLite3 WAL` ante caídas de red, recuperación por lotes FIFO (`LIMIT 100`), anatomía del *Line Protocol* y control de cardinalidad.

📐 Plano 4: Flujo Store-and-Forward y Tarea Flux 300:1



---

5. Plano 5: Ergonomía Visual ISA-101 en Grafana y Flujo de Reglas con Histéresis en Node-RED

Diseño de paneles de alto desempeño con banda operativa sombreada, semántica cromática estricta (cian/esmeralda nominal, ámbar preventivo y rojo crítico) y máquina de estados con histéresis en Node-RED.

📐 Plano 5: Ergonomía Visual ISA-101 y Flujo Node-RED

PLANO 5: DISEÑO DE INTERFACES HMI BAJO NORMA ISA-101 EN GRAFANA Y FLUJO DE REGLAS EN NODE-RED

Conciencia Situacional para Operadores de Planta, Jerarquía de 3 Niveles, Histéresis de Alerta y Disponibilidad Operativa (SLA)

A) PANEL DE SUPERVISIÓN INDUSTRIAL GRAFANA (:3000) DISEÑADO BAJO ESTÁNDAR ANSI/ISA-101.01

TEMPERATURA PROCESO (NODO 01)

24.6 °C

Banda Nominal: [18.0 .. 28.0 °C] (OK)

HUMEDAD RELATIVA Y PRESIÓN

61.2 %RH | 1013 hPa

Sensor Bosch BME280 (I2C 0x76)

PRE-ALARMA PREVENTIVA (ADVERTENCIA)

29.4 °C (Sector Sur)

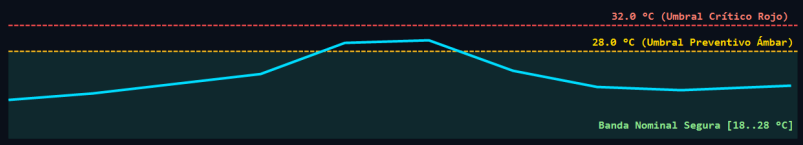
Supera umbral preventivo > 28.0 °C

ALARMA CRÍTICA ISA-18.2 (PRIORIDAD 1)

0 ALARMAS ACTIVAS

Disponibilidad SLA: A = 99.982% (Online)

CURVA DE SERIE TEMPORAL CON BANDA OPERATIVA SOMBREADA (CONSULTA FLUX aggregateWindow)



REGLAS DE ORO DE ERGONOMÍA VISUAL ISA-101:

1. Prohibido el efecto 'Árbol de Navidad': Si todo brilla en rojo, verde y amarillo saturado, el operador sufre fatiga visual y no detecta fallos.
2. Fondos oscuros mate (#0A101C / #121E36) y rejillas de bajo contraste para descanso ocular en turno 24/7.
3. Reserva cromática estricta:
   - Cian / Esmeralda -> Operación dentro de consigna
   - Ámbar (#FFBE1E) -> Desviación preventiva
   - Rojo (#FF5050) -> Alarma crítica que exige acción
4. Incluir siempre unidades físicas (°C, %RH, mA, dBm).

B) FLUJO DE ORQUESTACIÓN EN NODE-RED (:1880) CON HISTÉRESIS DE ALARMA Y CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD (SLA)

① MQTT In
planta/+/telemetria
(QoS 1 · JSON)

② JSON Parser &
Schema Validator
(Verifica llaves)

③ Function Node
Filtro Histéresis
(T_on=30, T_off=28.5)

④ RBE / Filter
Report by Exception
(Bloquea spam)

⑤ Salida Dual:
• InfluxDB Batch Out
• Alerta Telegram/MQTT

LÓGICA JAVASCRIPT CON MEMORIA DE CONTEXTO E HISTÉRESIS EN NODE-RED:

```
const T_ALARMA_ON  = 30.0; // Umbral de disparo (°C)
const T_ALARMA_OFF = 28.5; // Umbral de reposición (Banda ΔT = 1.5 °C)
let enAlarma = context.get('enAlarma') || false;
if (!enAlarma && msg.payload.temp >= T_ALARMA_ON) {
    enAlarma = true;  context.set('enAlarma', true);
    return [msg, { payload: { alerta: 'ALTA_TEMP', valor: msg.payload.temp } }];
} else if (enAlarma && msg.payload.temp <= T_ALARMA_OFF) {
    enAlarma = false; context.set('enAlarma', false);
}
```

INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA (MTBF / MTTR):

1. Ecuación de Disponibilidad Estacionaria (Availability):
   A = MTBF / (MTBF + MTTR) = T_operativo / T_total

2. Efecto de Docker 'restart: unless-stopped' + Healthchecks:
   Reduce el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) de horas (intervención humana manual) a menos de 3.5 segundos (reinicio automático).

3. Combinado con el búfer SQLite WAL (Store-and-Forward):
   La disponibilidad efectiva de datos alcanza el 100.0% frente a microcortes de red o reinicios de mantenimiento de contenedores.