



Proyecto IoT: ILUMINET

Integrantes:

- MÁRQUEZ José Luis
- PAEZ Tiziano
- GONZÁLEZ A. Juan Diego
- CARBALLO Macarena
- GUZMÁN Lilen
- PANTOJA Paola

Docente:

- GONZÁLEZ Mario

Índice

Análisis técnico de los componentes seleccionados:	2
Tecnologías y sensores	4
Anexo: Glosario Técnico de Componentes del Proyecto ILUMINET	5
Hardware	5
1. Microcontroladores: ESP32 y ESP8266	5
2. Fuente de Alimentación para el microcontrolador: Mean Well LRS-35-5	5
3. Sensor de Corriente AC (No Invasivo): SCT013-005	6
4. Módulo de Comunicación 2G: SIM800L	6
5. Módulo de Comunicación RF: TX-RX-RF433MHZ	7
6. Sensores (Presencia y Luminosidad)	7
Software y Plataformas	7
1. Broker MQTT: Mosquitto	7
2. Base de Datos: InfluxDB	8
3. Visualización: Grafana	8
4. Procesamiento de Flujos: Node-RED	8
5. Proxy Inverso / Servidor Web: Nginx	9
Estimación de Costos de Componentes – Proyecto ILUMINET	10
Tabla de Costos por Unidad (Precios en Pesos Argentinos - ARS)	10
1. Costo por Gateway (Unidad Central)	10
2. Costo por Nodo Sensor (Unidad de Luminaria)	11
Análisis y Proyección de Costos	12
Docker en el Proyecto ILUMINET	13
Contenedores Utilizados y sus Funciones	14
1. Portainer - Gestión de Contenedores	14
2. Nginx - Proxy Inverso y Gateway	14
3. Mosquitto - Broker MQTT	14
4. InfluxDB - Base de Datos Temporal	15
5. Node-RED - Orquestación Inteligente	15
6. Grafana - Visualización y Analytics	16
Componentes Principales:	16
1. Dispositivos IoT (Capa Física):	16
2. Backend propuesto para el prototipo de esta solución:	16

3. Frontend y Monitoreo	18
CERTIFICADOS DIGITALES Y SEGURIDAD EN COMUNICACIONES PARA EL PROYECTO ILUMINET	18
1.1 Propósito del Documento	18
1.2 Alcance del Sistema	18
1.3 Requisitos de Seguridad	19
2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE CERTIFICADOS DIGITALES	19
2.1 Conceptos Básicos	19
2.1.1 Certificado Digital	19
2.1.2 Infraestructura de Clave Pública (PKI)	19
2.2 Componentes de un Certificado X.509	19
3. COMPARATIVA DE ALGORITMOS CRIPTOGRÁFICOS	20
3.1 Análisis de Algoritmos Disponibles	20
3.1.1 RSA (Rivest-Shamir-Adleman)	20
3.1.2 ECC (Elliptic Curve Cryptography)	20
3.2 Equivalencia de Seguridad	20
3.3 Rendimiento en Dispositivos Embebidos	21
3.3.1 ESP32 (Gateway)	21
3.3.2 ESP8266 (Nodo)	21

Análisis técnico de los componentes



ISPC

Tecnologías y sensores

INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO CÓRDOBA

Elemento	Modelo / Ejemplo	Función
Microcontrolador	ESP32/ESP8266	Procesa sensores y envía datos por MQTT
Fuente alimentación comutada MCU	Mean Well LRS-35-5	Alimentación del microcontrolador 220v/5v
Sensor de presencia	PIR / Microondas	Detecta movimiento en el área iluminada
Sensor de luminosidad	BH1750	Mide nivel de luz ambiental
Sensor de corriente DC	ACS712/WCS2702	Monitorea consumo entrada DC a la lámpara WCS2702 No invasivo
Sensor de corriente CA (N/I)	SCT013-005	Monitorea la corriente de entrada al driver
Luminaria	LED 50-200 W, 220 V	Iluminación de acuerdo a ubicación.
Módulo de comunicación RF	TX-RX-RF433MHZ	Envía estado de las luces en puntos nodo al "gateway" del procesador.
Módulo comunicación 2G	SIM800L	Envío de datos a través de internet, en los nodos "maestros".
Broker MQTT	Mosquitto	Comunicación entre nodos y plataforma
Base de datos	InfluxDB	Almacenamiento histórico de datos
Visualización	Grafana	Dashboards de consumo, estado y detección
Procesamiento de flujos	Node-RED	Orquestación de datos y conexión con DB
Proxy inverso	NGINX	Gestiona la seguridad y conexiones.

Anexo: Glosario Técnico de Componentes del Proyecto ILUMINET

Este documento ofrece un análisis técnico de cada uno de los componentes de hardware y software seleccionados para el desarrollo del sistema ILUMINET, justificando su elección y describiendo su función dentro de la arquitectura.

Hardware

1. Microcontroladores: ESP32 y ESP8266

- **Función:** Son el cerebro de los dispositivos en campo. El **ESP8266** se utiliza en los nodos finales por su bajo costo y eficiencia para tareas simples como leer sensores y comunicarse por RF. El **ESP32**, más potente y con doble núcleo, se emplea como **gateway**, ya que debe gestionar simultáneamente la comunicación RF de múltiples nodos, la conexión a internet vía GPRS y la ejecución de protocolos de seguridad más complejos.
- **Análisis Técnico:** La elección de esta familia de microcontroladores de Espressif Systems es estratégica. Ambos cuentan con conectividad inalámbrica integrada, un bajo consumo energético y una amplia comunidad de desarrollo. Esta arquitectura de dos niveles (nodos simples y gateway inteligente) optimiza los costos y el rendimiento.
- **Fuente:** [Hoja de datos del ESP32](#)

2. Fuente de Alimentación para el microcontrolador: Mean Well LRS-35-5

- **Función:** Provee una alimentación estable de **5V en corriente continua (DC)** a partir de la red eléctrica de **220V en corriente alterna (AC)** para energizar toda la electrónica del gateway.
- **Análisis Técnico:** La elección de este modelo industrial no es casual. El módulo **SIM800L** genera picos de consumo de hasta 2 Amperios al transmitir. La fuente LRS-35-5 puede entregar hasta **7 Amperios**, ofreciendo un margen de seguridad superior al 150%. Esto garantiza que el sistema nunca se reinicie por caídas de tensión, asegurando la máxima fiabilidad operativa 24/7.
- **Fuente:** [Hoja de datos de la serie LRS-35](#)

3. Sensor de Corriente AC (No Invasivo): SCT013-005

- **Función:** Mide el consumo energético total de la luminaria en la línea de entrada de 220V AC. Este es el dato clave para cuantificar el ahorro energético.
- **Análisis Técnico:** Es un transformador de corriente de núcleo partido. Se eligió el modelo de **5 Amperios** porque ofrece la máxima precisión para la corriente esperada (~0.45A para una lámpara de 100W). Modelos de mayor amperaje (como 30A o 100A) darían lecturas imprecisas. Su naturaleza no invasiva permite una instalación segura sin cortar cables de alta tensión.

4. Módulo de Comunicación 2G: SIM800L

- **Función:** Dota al gateway ESP32 de **conectividad a internet a través de la red celular GPRS**.
- **Análisis Técnico:** Es la pieza fundamental que permite la autonomía del sistema en cualquier ubicación con cobertura celular, eliminando la dependencia de redes WiFi. Es un módulo de bajo costo y consumo moderado, ideal para enviar los pequeños paquetes de datos del protocolo

MQTT. Su principal requerimiento es una fuente de alimentación robusta, como la Mean Well seleccionada.

- **Fuente:** [Hoja de datos del SIM800L](#)

5. Módulo de Comunicación RF: TX-RX-RF433MHZ

- **Función:** Establece el enlace de comunicación inalámbrica local entre los nodos ESP8266 y el gateway ESP32 en una **topología punto-multipunto**.
- **Análisis Técnico:** La frecuencia de 433MHz ofrece un buen balance entre alcance y bajo consumo. Es una solución de muy bajo costo que permite crear una red local sin la complejidad ni el consumo de una red WiFi. Dado que es un medio de transmisión abierto, la seguridad (cifrado y autenticación) debe ser gestionada por software.

6. Sensores (Presencia y Luminosidad)

- **Función:** El **sensor PIR** detecta la presencia de personas o vehículos a través de su radiación infrarroja. El **sensor LDR** (o un fotodiodo/fototransistor) mide la cantidad de luz ambiental para determinar si es de día o de noche.
- **Análisis Técnico:** Son los "ojos y oídos" del sistema. Permiten que la lógica de control tome decisiones inteligentes, como encender la luz solo cuando alguien está cerca y es de noche, siendo la base del ahorro energético.

Software y Plataformas

1. Broker MQTT: Mosquitto

- **Función:** Actúa como un servidor central de mensajería. Gestiona la comunicación entre todos los gateways y el backend utilizando el protocolo MQTT.

- **Análisis Técnico:** MQTT es el protocolo estándar para IoT por ser extremadamente ligero y eficiente. El modelo de **publicación/suscripción** permite desacoplar los dispositivos del backend, lo que facilita enormemente la escalabilidad del sistema. Mosquitto es una implementación de código abierto, robusta y ampliamente utilizada.

2. Base de Datos: InfluxDB

- **Función:** Almacena todos los datos históricos generados por los sensores (consumo, presencia, estado, etc.).
- **Análisis Técnico:** Se eligió InfluxDB por ser una base de datos **optimizada para series temporales**. Esto significa que es extremadamente eficiente para escribir y consultar datos que llevan una marca de tiempo, como las lecturas de los sensores. Su integración nativa con Grafana es perfecta para la visualización.

3. Visualización: Grafana

- **Función:** Es la herramienta que permite crear los **dashboards o tableros de control** para monitorear todo el sistema en tiempo real.
- **Análisis Técnico:** Grafana se conecta directamente a InfluxDB para consultar los datos y presentarlos de forma gráfica e intuitiva (mapas de estado, gráficos de consumo histórico, alertas visuales). Es una plataforma potente y flexible, ideal para la visualización de métricas de IoT .

4. Procesamiento de Flujos: Node-RED

- **Función:** Es el "pegamento" que une a todos los servicios del backend. Orquesta el flujo de datos: recibe los mensajes de MQTT, los procesa, los almacena en InfluxDB y ejecuta la lógica de control.
- **Análisis Técnico:** Su **interfaz de programación visual basada en flujos** permite crear lógicas complejas de forma rápida y sencilla . Para ILUMINET,

gestiona desde el procesamiento de datos hasta la generación de alertas, actuando como el motor de reglas del sistema .

5. Proxy Inverso / Servidor Web: Nginx

- **Función:** Actúa como el **punto de entrada único** para todo el tráfico web dirigido al backend. Gestiona las solicitudes de los usuarios y las redirige de forma segura al servicio interno correspondiente (Grafana, Node-RED, etc.).
- **Análisis Técnico:** La inclusión de Nginx como **proxy inverso** es una práctica estándar para robustecer la arquitectura. Permite centralizar la gestión de la seguridad, especialmente la **terminación SSL/TLS**, lo que significa que Nginx maneja todo el cifrado HTTPS. Esto simplifica la configuración de los demás servicios (que pueden operar internamente sobre HTTP) y asegura que toda la comunicación externa sea segura. Además, Nginx es extremadamente eficiente y de alto rendimiento, capaz de manejar miles de conexiones simultáneas con un consumo mínimo de recursos, lo que garantiza la escalabilidad del acceso a las plataformas de monitoreo.

Estimación de Costos de Componentes – Proyecto ILUMINET

A continuación, se desglosa el costo estimado para la fabricación de una unidad de **Gateway** y una unidad de **Nodo Sensor**.

Tabla de Costos por Unidad (Precios en Pesos Argentinos - ARS)

1. Costo por Gateway (Unidad Central)

Componente	Modelo / Especificación	Precio Estimado (ARS)
Microcontrolador	Módulo ESP32 con WiFi y Bluetooth	\$16.000
Fuente de Alimentación	Módulo Hi-Link HLK-20M05 (5V 4A)	\$18.000
Comunicación Celular	Módulo SIM800L con antena	\$9.000
Comunicación RF	Módulo Receptor RF 433MHz	\$2.500
Varios	PCB, cables, conectores, gabinete	\$7.000
Subtotal por Gateway		\$52.500

Esta es la unidad que se conecta a internet y gestiona varios nodos.

2. Costo por Nodo Sensor (Unidad de Luminaria)

Esta es la unidad que va en cada poste de luz, equipada con todos los sensores.

Componente	Modelo / Especificación	Precio Estimado (ARS)
Microcontrolador	Módulo ESP8266 (NodeMCU / D1 Mini)	\$7.500
Sensor de Luminosidad	Módulo digital BH1750	\$3.500
Sensor de Presencia	Módulo PIR HC-SR501	\$2.000
Sensor de Corriente AC	SCT-013-005 (5A) + Módulo ZMCT103C	\$15.000
Comunicación RF	Módulo Transmisor RF 433MHz	\$1.500
Varios	PCB, cables, conectores	\$2.500
Subtotal por Nodo Sensor		\$32.000

Análisis y Proyección de Costos

- **Costo Inicial (Prototipo):** Para construir el primer prototipo funcional, que consistiría en **1 Gateway y 1 Nodo**, el costo estimado de hardware sería:
 - $\$52.500 \text{ (Gateway)} + \$32.000 \text{ (Nodo)} = \84.500 ARS
- **Escalabilidad:** La arquitectura del proyecto está diseñada para ser costo-eficiente al escalar. Un solo Gateway (costo más alto) puede gestionar a múltiples Nodos (costo más bajo). Si, por ejemplo, un Gateway puede manejar 10 Nodos, el costo para equipar 10 postes sería:
 - 1 x Gateway: \$52.500
 - 10 x Nodos: $10 * \$32.000 = \320.000
 - **Costo Total (1 Gateway + 10 Nodos): \$372.500 ARS**
 - **Costo Promedio por Poste: \$37.250 ARS**

Esta estimación proporciona una base para el análisis de viabilidad económica del informe, demostrando no solo el costo del prototipo sino también cómo se comportan los costos en un despliegue más amplio.

Arquitectura e Implementación del Proyecto



Docker en el Proyecto ILUMINET

INSTITUTO SUPERIOR
POLITÉCNICO CÓRDOBA

¿Qué es Docker?

Docker es una plataforma de contenedores que permite empaquetar aplicaciones y sus dependencias en unidades estandarizadas llamadas contenedores. Estos contenedores son entornos aislados, portátiles y consistentes que se ejecutan en cualquier sistema con Docker instalado.

¿Por qué usamos Docker en ILUMINET?

- Consistencia del entorno: Garantiza que la aplicación funcione igual en desarrollo, pruebas y producción.
- Consistencia del entorno: Comportamiento idéntico en desarrollo, testing y producción.
- Aislamiento de servicios: Cada componente opera independientemente sin conflictos.
- Facilidad de despliegue: Implementación rápida y reproducible con un solo comando.
- Escalabilidad: Replicación sencilla de servicios según demanda.
- Gestión de dependencias: Cada servicio mantiene sus propias dependencias.
- Portabilidad: Ejecución en cualquier sistema operativo sin modificaciones.
- Versionado: Control preciso de versiones de cada componente.

Contenedores Utilizados y sus Funciones

1. Portainer - Gestión de Contenedores

Función: Interfaz web para administración y monitoreo visual de toda la infraestructura Docker

Beneficios específicos para ILUMINET:

- Monitorización en tiempo real del estado de todos los servicios
- Gestión visual de logs, recursos y configuraciones
- Interfaz intuitiva para operaciones (start/stop/restart)
- Ideal para demostración y gestión por usuarios no técnicos

2. Nginx - Proxy Inverso y Gateway

Función: Punto único de entrada y enrutamiento inteligente para todos los servicios web

Configuración ILUMINET:

- Enrutamiento por paths: /api, /dashboard, /monitoring, /manage
- Terminación SSL/TLS centralizada
- Rate limiting y protección básica
- Compresión GZIP y caché de archivos estáticos
- Balanceo de carga preparado para expansión futura

3. Mosquitto - Broker MQTT

Función: Middleware de mensajería para comunicación bidireccional con dispositivos IoT

Configuración específica para ILUMINET:

- Tópicos MQTT:
 - iluminet/sensores/+/datos (datos de telemetría)
 - iluminet/control/+/comandos (comandos hacia dispositivos)
 - iluminet/estado/+/actualizacion (estados del sistema)
- Autenticación y autorización configurada.
- Persistencia de mensajes QoS 1/2.
- Bridge configuration para múltiples gateways.

INSTITUTO SUPERIOR
POLITÉCNICO CÓRDOBA

4. InfluxDB - Base de Datos Temporal

Función: Almacenamiento optimizado para series temporales de datos de sensores.

Datos almacenados en ILUMINET:

- Mediciones de consumo energético en tiempo real.
- Estados históricos de luminarias.
- Datos de sensores (presencia, luminosidad, temperatura).
- Métricas de rendimiento del sistema.
- Configuración de retención automática de datos.

5. Node-RED - Orquestación Inteligente

Función: Plataforma de integración y automatización de flujos de trabajo

Flujos implementados:

- Procesamiento de datos MQTT en tiempo real
- Transformación y enriquecimiento de datos de sensores
- Lógica de control automático (presencia → intensidad lumínica).
- Generación de alertas inteligentes (telegram, email).
- API REST unificada para frontend e integraciones.
- Comunicación bidireccional con dispositivos IoT.

6. Grafana - Visualización y Analytics

Función: Plataforma de dashboards interactivos para monitoreo y análisis

Dashboards para ILUMINET:

- Consumo energético en tiempo real e histórico.
- Mapa de estado de luminarias con geolocalización.
- Métricas de eficiencia y ahorro energético.
- Alertas proactivas y panel de mantenimiento.
- Reportes automáticos de rendimiento del sistema.

Componentes Principales:

1. Dispositivos IoT (Capa Física):

- ESP8266: Microcontroladores en cada poste de luz, equipados con sensores PIR (movimiento) y LDR (luz ambiental).
- ESP32: Actúa como gateway central, recibiendo datos vía RF 433MHz de los nodos ESP8266. Envía los datos a través de la red móvil celular a través del módulo SIM800L.
- Comunicación: Protocolo RF 433MHz para comunicación local entre nodos y gateway con un esquema punto/multipunto.

2. Backend propuesto para el prototipo de esta solución:

Node-RED: Plataforma única que funciona como:

- Servidor API REST.
- Procesador de datos en tiempo real.
- Motor de reglas de negocio.
- Sistema de alertas.
- Portainer: Gestión visual de todos los contenedores.

- Nginx: Proxy inverso y gateway de API.

Portainer: Panel de control para:

- Monitoreo visual de estado de contenedores.
- Gestión de recursos y logs.
- Operaciones de administración.
- Backup y restore de configuraciones.

Nginx: Gateway inteligente que proporciona:

- Punto único de acceso unificado.
- Enrutamiento basado en paths.
- Seguridad y rate limiting.
- Terminación SSL centralizada.

Mosquitto MQTT: Broker de mensajería para comunicación entre dispositivos y backend

- Arquitectura pub/sub para escalabilidad.
- Persistencia de mensajes críticos.
- Autenticación de dispositivos.
- Bridge para múltiples protocolos.

InfluxDB: Base de datos temporal optimizada para series de tiempo

- Alta velocidad de ingestión de datos.
- Consultas eficientes de series temporales.
- Retención configurable de datos.
- Integración nativa con Grafana.

3. Frontend y Monitoreo

- **Grafana:** Dashboard de visualización para monitoreo en tiempo real
- **Nginx:** Sirve como punto único de acceso para todas las interfaces web
- **Interfaz Web:** Dashboard básico integrado en Node-RED

INSTITUTO SUPERIOR
POLITÉCNICO CÓRDOBA

CERTIFICADOS DIGITALES Y SEGURIDAD EN COMUNICACIONES PARA EL PROYECTO ILUMINET

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

1.1 Propósito del Documento

Este informe establece la estrategia de seguridad para las comunicaciones en el proyecto ILUMINET, centrándose en la implementación de certificados digitales para garantizar la confidencialidad, integridad y autenticación de todos los componentes del sistema.

1.2 Alcance del Sistema

ILUMINET comprende una arquitectura distribuida con múltiples capas:

- Dispositivos IoT (nodos ESP8266)
- Gateways de comunicación (ESP32)
- Servidores backend y frontend
- Sistemas de monitoreo y control

1.3 Requisitos de Seguridad

Las comunicaciones deben garantizar:

- Autenticación mutua entre componentes
- Cifrado de datos sensibles
- Integridad de la información transmitida
- Protección contra ataques de intermediario



INSTITUTO SUPERIOR
POLITÉCNICO CÓRDOBA

2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE CERTIFICADOS DIGITALES

2.1 Conceptos Básicos

2.1.1 Certificado Digital

Documento electrónico que verifica la identidad de una entidad en internet, funcionando como un pasaporte digital. Contiene información de identificación, clave pública y está firmado por una Autoridad Certificadora.

2.1.2 Infraestructura de Clave Pública (PKI)

Sistema que gestiona la creación, distribución y revocación de certificados digitales mediante una jerarquía de autoridades certificadoras.

2.2 Componentes de un Certificado X.509

- Información del sujeto: Identificación del propietario
- Clave pública: Para cifrado y verificación
- Periodo de validez: Fechas de activación y expiración
- Firma digital: Garantía de autenticidad por la CA
- Extensiones: Usos autorizados y restricciones

3. COMPARATIVA DE ALGORITMOS CRIPTOGRÁFICOS

3.1 Análisis de Algoritmos Disponibles

3.1.1 RSA (Rivest-Shamir-Adleman)

- Base matemática: Factorización de números primos grandes
- Longitudes comunes: 2048 bits y 3072 bits
- Ventajas: Amplia compatibilidad, verificación rápida
- Desventajas: Operaciones lentas, claves grandes, mayor consumo energético

3.1.2 ECC (Elliptic Curve Cryptography)

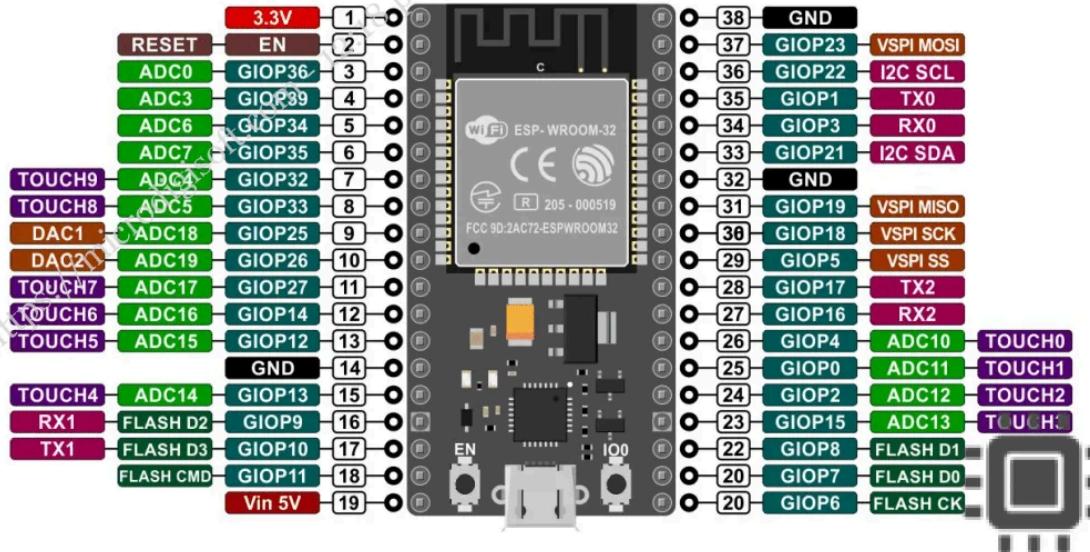
- Base matemática: Problema del logaritmo discreto en curvas elípticas
- Longitudes comunes: 256 bits (P-256) y 384 bits (P-384)
- Ventajas: Operaciones rápidas, claves pequeñas, menor consumo
- Desventajas: Verificación más lenta, menor compatibilidad legacy

3.2 Equivalencia de Seguridad

<u>Nivel Seguridad</u>	<u>ECC</u>	<u>RSA</u>	<u>Estado</u>
80 bits	160 bits	1024 bits	Inseguro
112 bits	224 bits	2048 bits	Aceptable
128 bits	256 bits	3072 bits	Recomendado
192 bits	384 bits	7680 bits	Alto

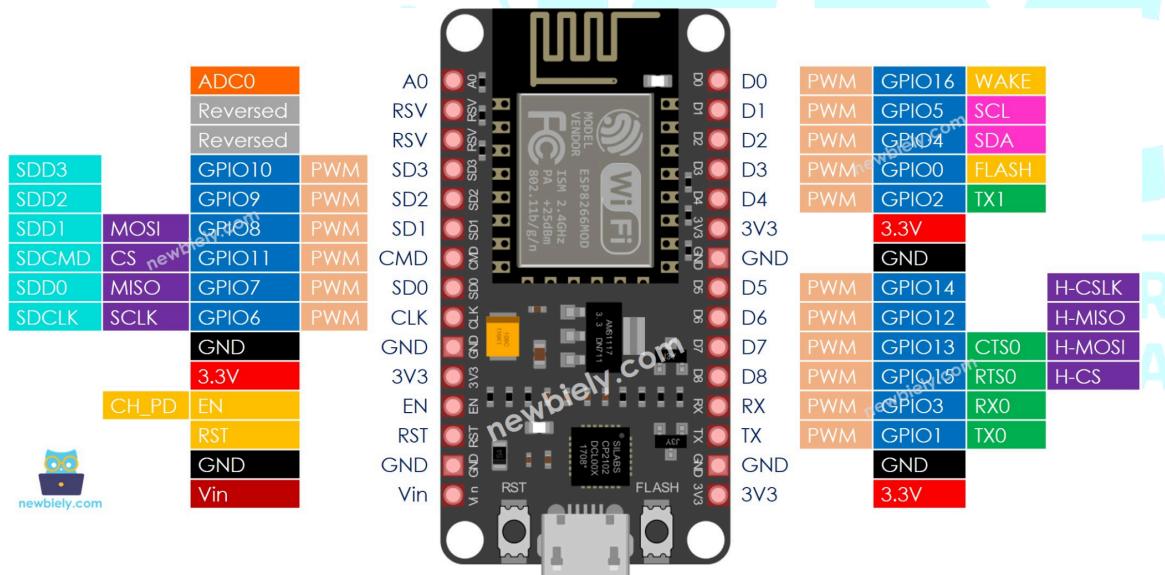
3.3 Rendimiento en Dispositivos Embebidos

3.3.1 ESP32 (Gateway)



- ECC-256: Handshake TLS ~2.1 segundos, uso memoria ~30KB
- RSA-2048: Handshake TLS ~3.8 segundos, uso memoria ~45KB
- RSA-3072: Handshake TLS ~6.5 segundos, uso memoria ~65KB

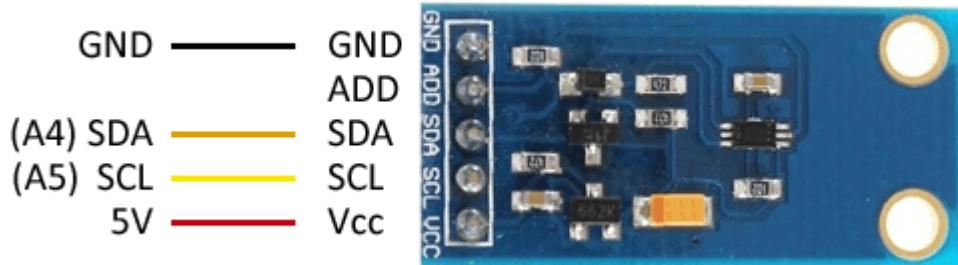
3.3.2 ESP8266 (Nodo)



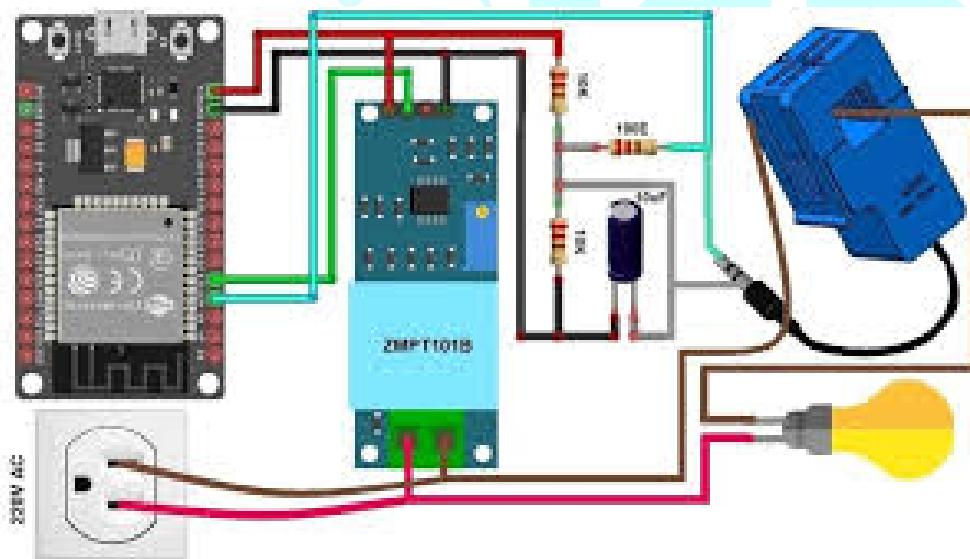
ESP8266 NodeMCU Pinout

- Limitaciones de memoria (80KB RAM) hacen inviable TLS completo
- Requiere soluciones de seguridad a nivel de aplicación

BH1750



SCT013-005 (La imagen es solo de referencia)



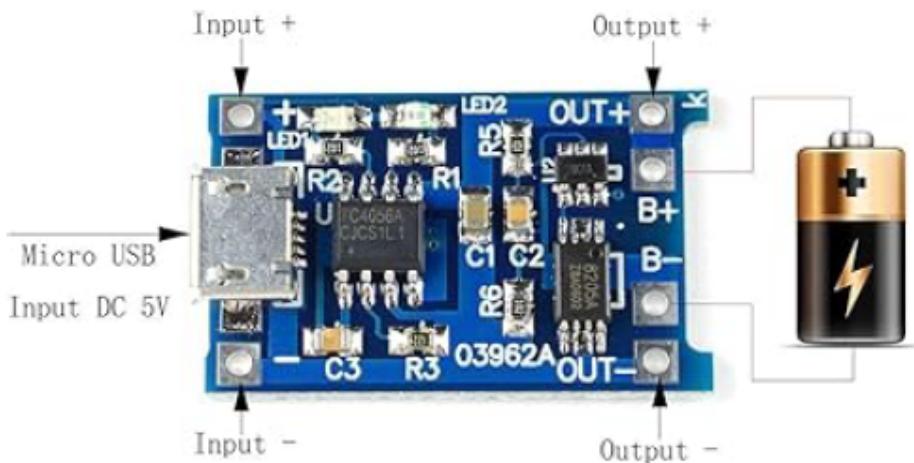
SIM800L (Solo para el ESP32)



PIR Sensor HC-SR501



TP4056 (módulo cargador y protección para batería de litio tipo 18650 solo para ESP32)



Batería de litio tipo 18650 (solo para ESP32)



Portapilas o soporte para batería 18650 (1 celda)

Mapa de conexión del **ESP8266 (NodeMCU)** con clasificación de pines

Dispositivo / Señal	Pin del dispositivo	Pin en ESP8266 (NodeMCU)	Tipo de pin / función	Notas de conexión
BH1750 (I ² C)	SDA	D2 / GPIO4 (SDA)	Digital (I ² C – SDA)	Pull-up 4.7 kΩ a 3.3 V si el módulo no la trae
	SCL	D1 / GPIO5 (SCL)	Digital (I ² C – SCL)	Pull-up 4.7 kΩ a 3.3 V si hace falta
	VCC	3.3 V	—	Alimentación a 3.3 V
	GND	GND	—	—
	ADD	a GND (o abierto)	—	Dirección 0x23 (a VCC → 0x5C)
PIR (HC-SR501 típico)	OUT	D0 / GPIO16	Digital (entrada)	Si el PIR está a 5 V, poné divisor 200 k/100 k o level-shifter a 3.3 V. Si usás PIR 3.3 V (AM312), directo. GPIO16 no afecta el arranque y es buen GPIO de entrada
	VCC	5 V (o 3.3 V si el modelo lo permite)	—	Verificar jumper/regulador del módulo
	GND	GND	—	—
Receptor RF 433 MHz	DATA	D7 / GPIO13	Digital (entrada)	Evitar D3 (GPIO0), D4 (GPIO2) y D8

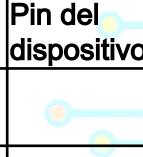
Dispositivo / Señal	Pin del dispositivo	Pin en ESP8266 (NodeMCU)	Tipo de pin / función	Notas de conexión
				(GPIO15) por motivos de boot . Si DATA sale a 5 V, usar divisor 100 k/100 k o level-shifter MOSFET a 3.3 V
	VCC	3.3 V o 5 V (según módulo)	—	Chequear hoja de datos
	GND	GND	—	—
SIM800L (2G)	TXD (salida del SIM)	D5 / GPIO14 (RX por SoftwareSerial)	Digital (RX – UART)	En ESP8266 usamos SoftwareSerial a 9600 bps: SIM TXD → D5 (GPIO14), SIM RXD ← D6 (GPIO12)
	RXD (entrada del SIM)	D6 / GPIO12 (TX por SoftwareSerial)	Digital (TX – UART)	Evitamos UART0 (D9/D10) porque la usa el USB
	PWRKEY	D4 / GPIO2 (opcional, vía NPN)	Digital (salida)	GPIO2 debe arrancar alto. Usar transistor NPN que tire PWRKEY a GND 1 s en lugar de conectar directo
	RST	D8 / GPIO15 (opcional)	Digital (salida)	GPIO15 debe estar bajo en boot; usar con precaución
	VCC	4.0–4.1 V desde buck dedicado	—	Con capacitores locales grandes y bead + TVS
	GND	GND	—	Masa en estrella
SCT013-005 (corriente)	Jack Tip (señal AC)**	ADS1115 AIN0	Analógica (entrada)	Serie 100 Ω + filtro RC (100 Ω + 100 nF). El Sleeve → AIN1 (Vref 1.65 V).
	Jack Sleeve	ADS1115 AIN1 (Vref ≈ 1.65 V)	Analógica (referencia)	Vref con divisor 10 k/10 k a 3.3 V + 100 nF a GND
	ADS1115 SDA	D2 / GPIO4 (SDA)	Digital (I ² C – SDA)	Comparte bus I ² C con BH1750
	ADS1115 SCL	D1 / GPIO5 (SCL)	Digital (I ² C – SCL)	—

Dispositivo / Señal	Pin del dispositivo	Pin en ESP8266 (NodeMCU)	Tipo de pin / función	Notas de conexión
	ADS1115 VDD	3.3 V	—	—
	ADS1115 GND	GND	—	—
	Jack Sleeve	Vref (0.5 V ó 1.65 V)	Analógica (referencia)	Vref: divisor (100 k/100 k a 1 V o 10 k/10 k a 3.3 V), 100 nF a GND.

Mapa de conexión del **ESP32-WROOM-32**

Dispositivo / Señal	Pin del dispositivo	Pin en ESP32	Tipo de pin	Notas de conexión
BH1750 (I^2C)	SDA	GPIO21 (SDA)	Digital (I^2C – SDA)	Pull-up 4.7 kΩ a 3.3 V si tu módulo no la trae
	SCL	GPIO22 (SCL)	Digital (I^2C – SCL)	Pull-up 4.7 kΩ a 3.3 V si hace falta
	VCC	3.3 V	—	Alimentación a 3.3 V
	GND	GND	—	—
	ADD	a GND (o abierto)	—	Dirección 0x23 (a VCC → 0x5C)
PIR (HC-SR501 típico)	OUT	GPIO34 (entrada-solo)	Digital (entrada)	Si el PIR está a 5 V, poné divisor 200 k/100 k hacia 3.3 V o un level-shifter. Si usás PIR 3.3 V (AM312), directo.
	VCC	5 V (o 3.3 V si el modelo lo permite)	—	Verifica jumper/regulador del módulo
	GND	GND	—	—
Receptor RF 433 MHz	DATA	GPIO27	Digital (entrada)	Si el receptor entrega 5 V en DATA, usar divisor 100 k/100 k o level-shifter MOSFET a 3.3 V
	VCC	3.3 V o 5 V (según módulo)	—	Chequear hoja de datos del receptor

Dispositivo / Señal	Pin del dispositivo	Pin en ESP32	Tipo de pin	Notas de conexión
	GND	GND	—	—
SIM800L (2G)	TXD (salida del SIM)	GPIO16 (RX2)	Digital (UART – RX)	UART2 del ESP32
	RXD (entrada del SIM)	GPIO17 (TX2)	Digital (UART – TX)	3.3 V lógico; OK para SIM800L
	PWRKEY	GPIO4 (opcional)	Digital (salida)	Llevar a GND ~1 s para encender → usar NPN + resistor (no conectar el pin del ESP32 directo)
	RST	(opcional) GPIO5	Digital (salida)	Normalmente no hace falta; reset por soft/AT
	VCC	4.0–4.1 V desde buck dedicado	—	Con $\geq 470 \mu\text{F}$ + 100 μF + 1 μF + 100 nF locales
	GND	GND	—	Masa común en estrella
SCT013-005 (corriente)	Jack Tip (señal)	ADS1115 AIN0	Analógica (entrada)	Cable a AIN0 vía 100 Ω serie; filtro RC 100 Ω + 100 nF
	Jack Sleeve	ADS1115 AIN1 (Vref 1.65 V)	Analógica (referencia)	Vref con divisor 10 k/10 k a 3.3 V + 100 nF a GND
	ADS1115 SDA	GPIO21 (SDA)	Digital (I^2C – SDA)	Comparte bus con BH1750
	ADS1115 SCL	GPIO22 (SCL)	Digital (I^2C – SCL)	—
	ADS1115 VDD	3.3 V	—	—
	ADS1115 GND	GND	—	—
Batería 18650 (1 celda Li-ion 3.7 V)	Rojo (B+) / Negro (B–)	—	—	Conectá a B+ y B- del módulo TP4056. Capacidad sugerida: $\geq 2200 \text{ mAh}$ (para ≥ 10 min autonomía SIM800L). Protegida si es posible
Módulo TP4056 (carga + protección)	IN+ / IN- (entrada 5 V)	—	—	IN+ a 5 V principal (LRS-35-5), IN- a GND.

Dispositivo / Señal	Pin del dispositivo	Pin en ESP32	Tipo de pin	Notas de conexión
				Carga la batería desde la fuente.
	B+ / B- (a batería 18650)			Conecta a los cables del portapilas (18650). Administra la carga y protege la celda contra sobre/sobredescarga.

Aclaración:

Si la luminaria posee un driver con entrada de control 0–10 V, este cuenta con dos cables identificados como DIM+ y DIM-, destinados a recibir la señal de control. Dado que el microcontrolador genera una tensión máxima de 3,3 voltios, se utiliza un amplificador operacional para elevar dicha tensión hasta 10 voltios, alcanzando así el rango requerido por el driver. De esta forma, el microcontrolador puede regular directamente la intensidad lumínosa de la lámpara, modificando un valor en el código y sin intervenir la línea de 220 V.

Si la luminaria dispone de un driver DALI (Digital Addressable Lighting Interface), el control del brillo no se realiza mediante una señal analógica, sino a través de comandos digitales transmitidos al driver.

Por último, las luminarias equipadas con zócalo NEMA o Zhaga incluyen conectores estandarizados, generalmente ubicados en la parte superior de la lámpara, donde se acopla el controlador externo. A través de esta conexión, el nodo o gateway envía la señal de control al driver interno. De esta manera, es posible regular el brillo, encender, apagar o monitorear la luminaria de forma externa, segura y profesional, sin necesidad de abrir su cuerpo ni modificar el diseño original.