

Sistemas Embebidos: ESP32

OCW

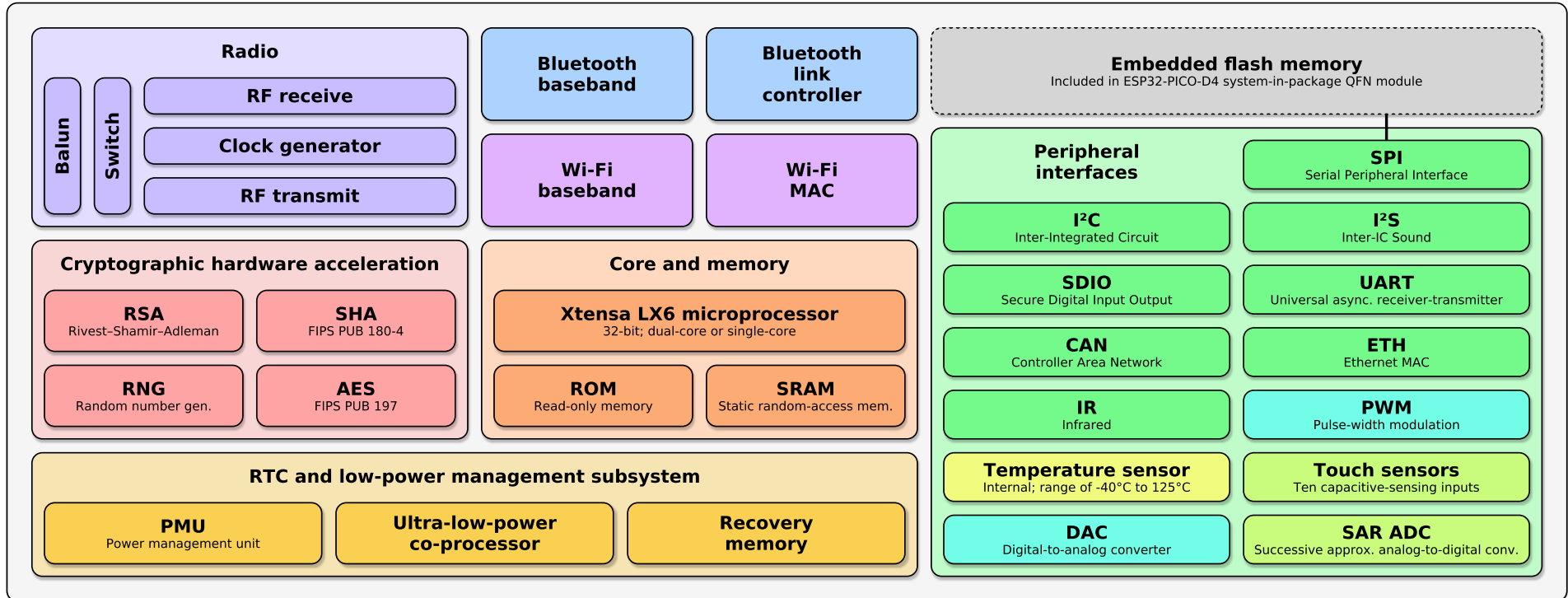
Introducción

¿Qué es ESP32?

- **ESP32 es una familia de microcontroladores de bajo costo y bajo consumo con Wi-Fi y Bluetooth integrada.**
- **Utiliza single-core o dual-core microprocesador Tensilica Xtensa LX6**
- **Incluye interruptores de antena, balun de radiofrecuencia, amplificador de potencia, amplificador receptor de bajo ruido, filtros, y módulos de administración de energía**
- **Creado y desarrollado por la compañía china, con sede en Shanghai, Espressif Systems**
- **Fabricado por Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Limited (TSMC) en tecnología e 40nm.**
- **Sucesor del microcontrolador ESP8266.**
- **Diseñado para alcanzar el mejor rendimiento en radiofrecuencia y energía, mostrando ser robusto, versátil y robusto en amplia variedad de aplicaciones y condiciones de consumo.**

ESP32: Diagrama de bloques

Espressif ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Microcontroller — Function Block Diagram



ESP32: Resumen

• Memoria:

- 448 KB ROM, 520 KB SRAM, 16 KB SRAM en RTC, soporte para memoria externa por SPI

Periféricos:

- 34 × programmable GPIOs
- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 × 8-bit DAC
- 10 × touch sensors
- 4 × SPI
- 2 × I2S (audio)
- 2 × I2C
- 3 × UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- TWAI ® , compatible (CAN 2.0)
- RMT (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels
- Hall sensor

Seguridad:

- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Espressif Systems
- Cryptographic hardware acceleration:
 - AES
 - Hash (SHA-2)
 - RSA
 - ECC
 - Random Number Generator (RNG)

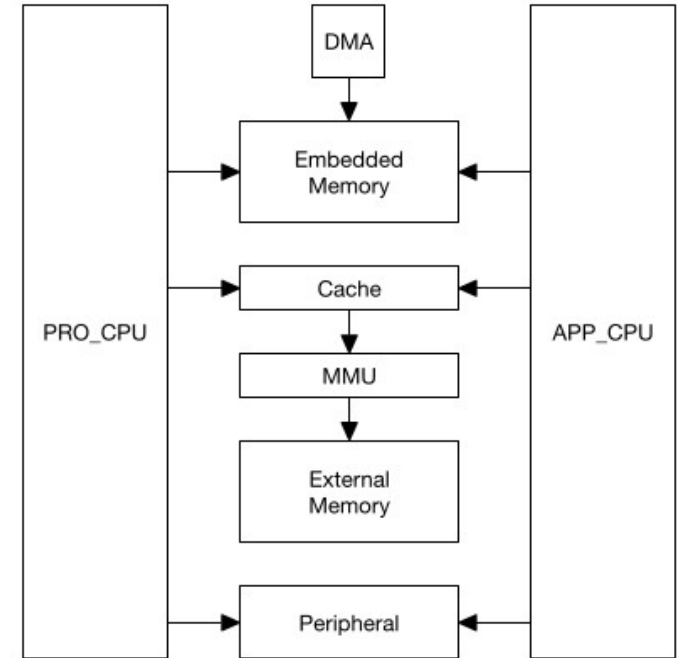
Relojes y Times:

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz ~ 60 MHz crystal oscillator (40 MHz only for Wi-Fi/Bluetooth functionality)
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 × 64-bit timers and 1 × main watchdog in each group
- One RTC timer
- RTC watchdog

ESP32: CPU

CPU: Xtensa ® 32-bit LX6 microprocessor

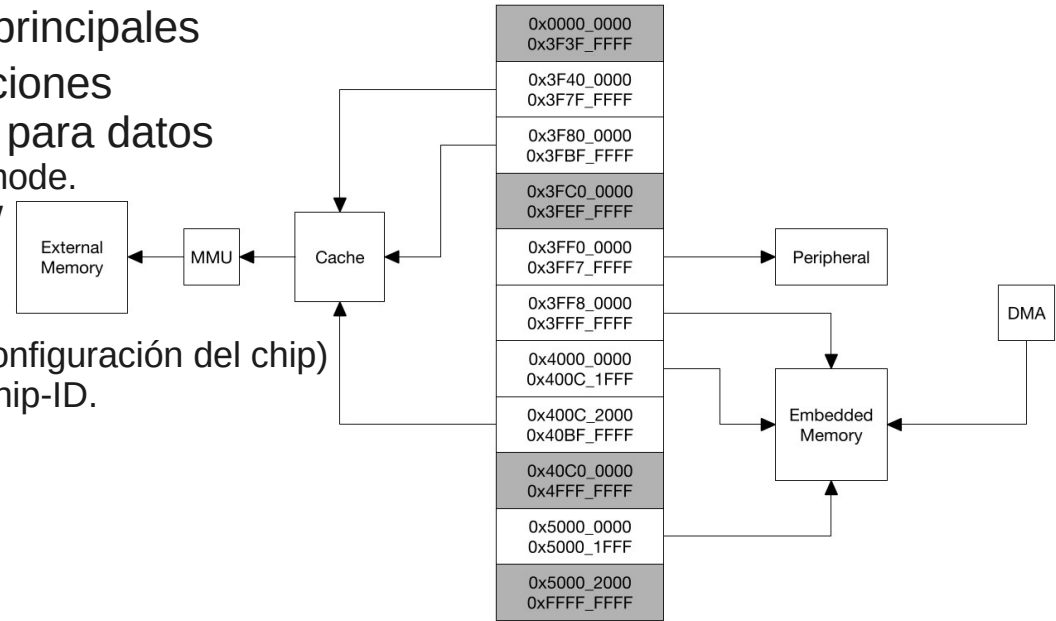
- dos CPUs: protocolo PRO_CPU y aplicación APP_CPU
 - en la mayoría de los casos son equivalentes
- arquitectura Harvard: acceso separado a datos e instrucciones
- hasta 240 MHz
- instrucciones de 16/24 bits
- soporte para punto flotante
- instrucciones tipo DSP
- 32 vectores de interrupción
- depuración JTAG



ESP32: Memoria

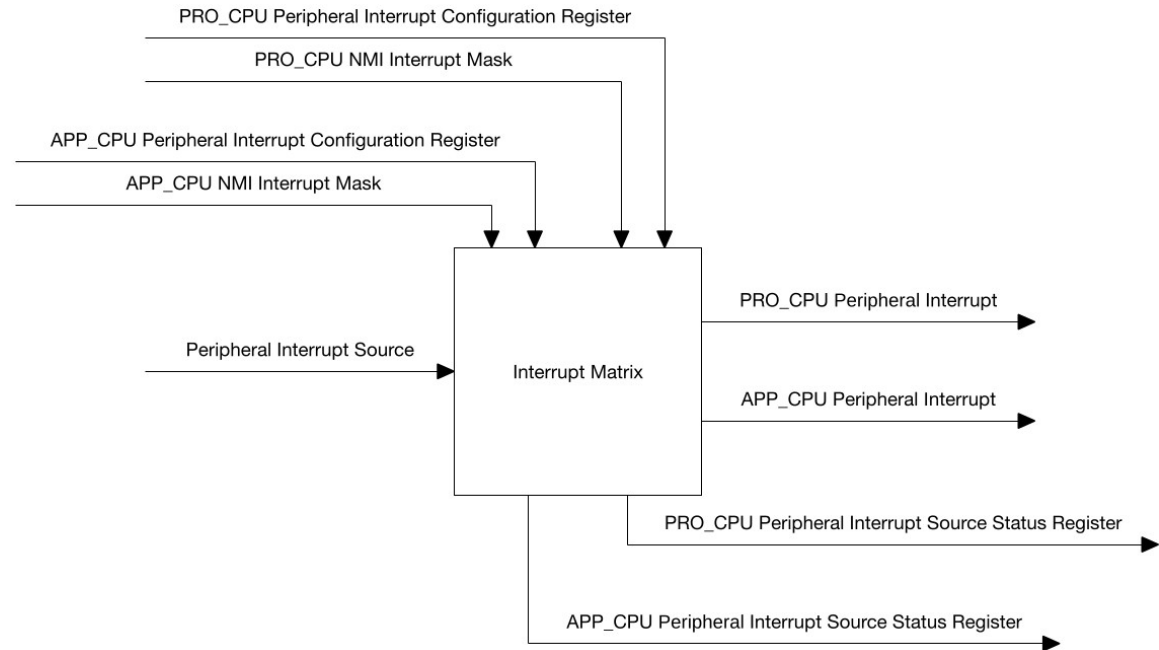
La memoria interna incluye

- 448 KB of ROM para arranque y funciones principales
- 520 KB on-chip SRAM para datos e instrucciones
- 8 KB de SRAM en RTC llamada RTC FAST para datos
 - accedida durante el despertar desde Deep-sleep mode.
- 8 KB of SRAM en RTC llamada RTC SLOW
 - usada por el ULP durante el Deep-sleep mode.
- 1 Kbit de eFuse
 - 256 bits usados por el sistema (dirección MAC y configuración del chip)
 - 768 bits resevados aplicación: flash-encryption y chip-ID.
- Memoria externa
 - acceso por QSPI y usan cache de alta velocidad
 - hasta 16 MB de Flash
 - hasta 8 MB de SRAM



ESP32: Matriz de interrupciones

- Reconduce interrupciones de periféricos a CPUs
 - Acepta 71 fuentes de interrupción de periféricos
 - Genera alguna de las 26 interrupciones de cada CPU



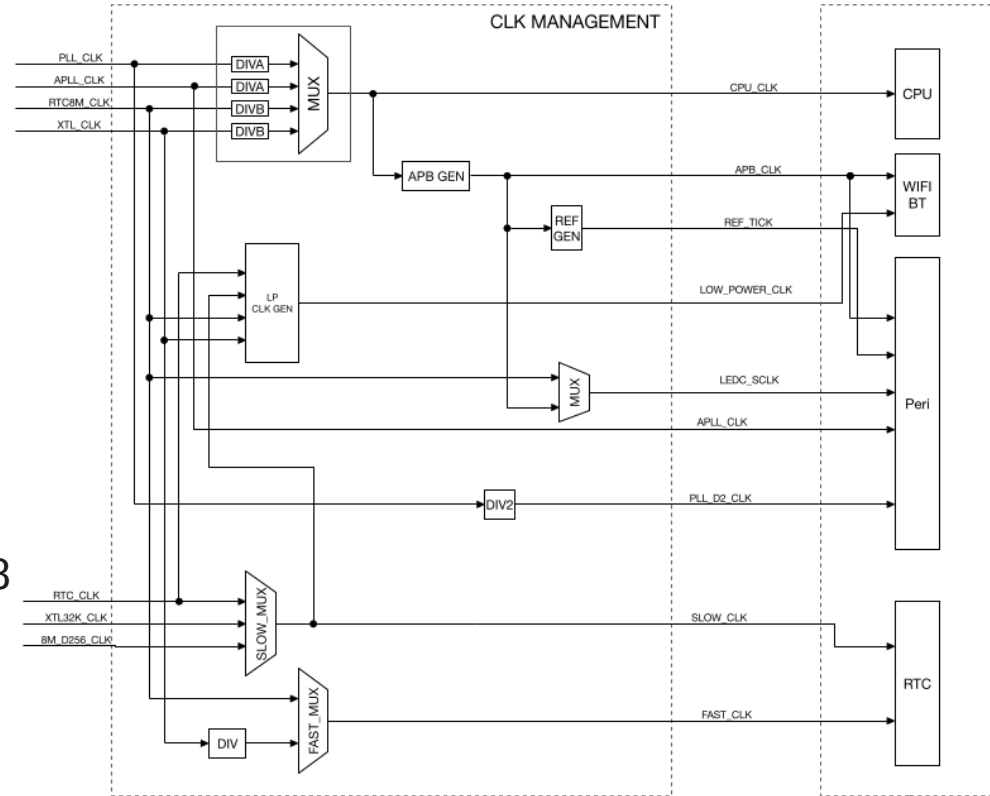
ESP32: Relojes

Reloj CPU: seleccionable por software

- cristal externo
- PLL conectado a cristal externo
- oscilador interno de 8 MHz

Reloj RTC

- cristal externo baja velocidad 32 kHz
- cristal externo dividido por 4
- oscilador RC interno: entorno a 150 kHz y ajustable
- oscilador interno 8 MHz
- reloj interno 31.25 kHz derivado del interno de 8 MHz dividido por 256

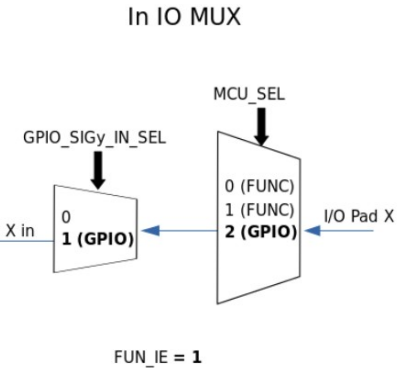
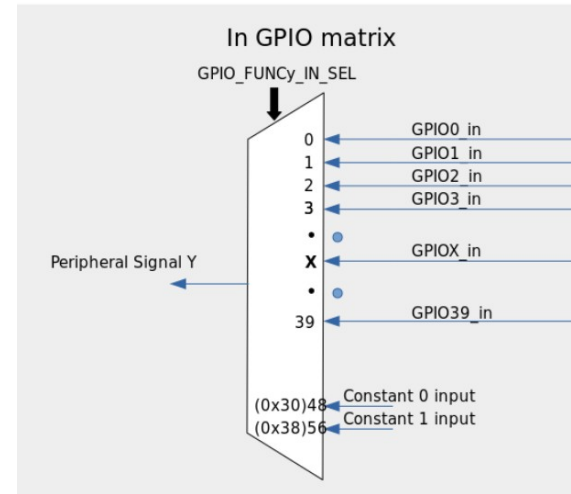
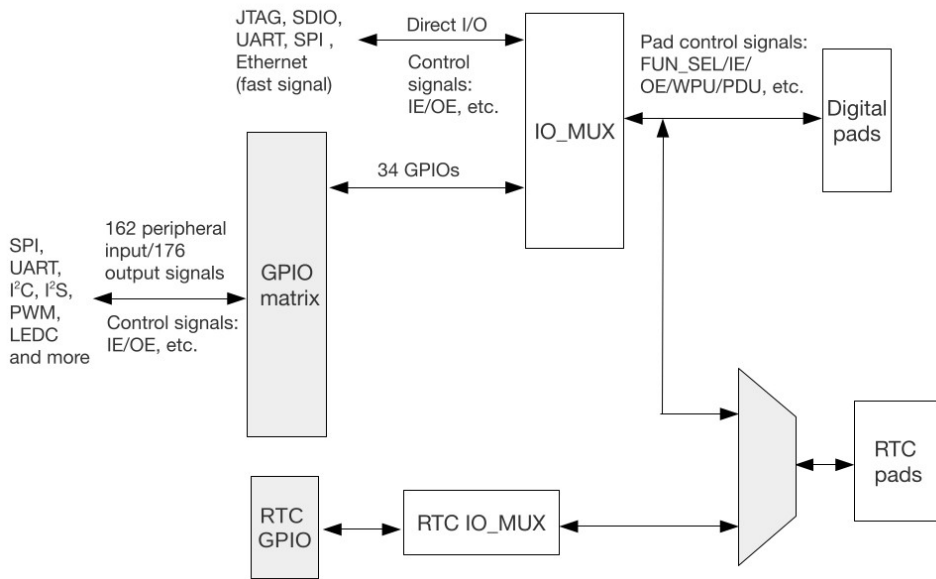


ESP32: Gestión Energía

- Modos energía:
 - **Active mode:** radios activas, puede emitir y recibir:: 240 a 95 mA
 - **Modemsleep mode:** Wi-Fi/Bluetooth deshabilitado, CPU con velocidad configurable: 20 a 45 mA
 - **Lightsleep mode:** CPU pausada. La memoria y periféricos RTC, y coprocesador ULP activo: 0.8 mA
 - **Deepsleep mode:** Solo memoria y periféricos RTC encendidos. ULP funcional: 10 a 150 μ A
 - **Hibernation mode:** Oscilador interno de 8 MHz y ULP deshabilitado. Solo timers RTC en slow clock y ciertos pines RTC activos: 5 μ A
 - **Power off:** 1 μ A
- Módulo RTC encargado de cambio de modos de energía
- Ultra-Low-Power processor (ULP): se mantiene activo en modo Deep-sleep
 - se puede guardar programa en memoria LOW RTC para que ULP acceda periféricos
 - puede despertar CPUs por eventos externos, timers, o una combinación

ESP: Inerconexión a pines

- Chip tiene 34 pines físicos
 - IO_MUX, RTC IO_MUX y matrix GPIO redireccionan señales de periféricos a pines
 - Alta configurabilidad



ESP32: WiFi

- Implementa TCP/IP los protocolos Wi-Fi MAC 802.11 b/g/n completos
- hasta 150 Mbps de velocidad
- hasta 20.5 dBm de potencia de transmisión, ajustable
- 4 interfaces WiFi virtuales
- Modos simultáneos:
 - Infrastructure BSS Station → se conecta a Access Point (AP)
 - SoftAP → se comporta como un AP
 - promiscuo → escucha todos los paquetes de la red
- Soporte de TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU, TXOP, WMM
- Seguridad CCMP, TKIP, WAPI, WEP y CRC

ESP32: Bluetooth

Controlador Bluetooth: capa física y de enlace del protocolo

- Interfaces:
 - UART HCI interface, hasta 4 Mbps
 - SDIO/SPI HCI
 - PCM/I2S audio
- Enlaces:
 - Bluetooth clásico (v4.2 BR/EDR)
 - Bluetooth Low Energy (BLE)

ESP32: GPIO

GPIO:

- 34 pines GPIO
- La mayoría tiene posibilidad de pull-up, pull-down y alta impedancia
- Pueden generar interrupciones por flanco o nivel
- La mayoría son bidireccionales
- multiplexan varias funcionalidades.
- En estados de baja energía pueden configurarse para mantener su estado

ESP32: ADC

ADC:

- conversores analógico digitales de 12-bits por aproximaciones sucesivas
- puede leer en 18 canales (pines con habilitación analógica)
- El ULP puede realizar lecturas analógicas en sleep mode → puede despertar la CPU al alcanzarse nivel
- El error típico es del 6%
- Se puede calibrar cada chip y programar corrección para mejorar exactitud.

Sensor Hall

- Posee sensor Hall → en campo magnético genera voltaje medible por ADC

ESP32: ADC, Touch

ADC

Posee 2 DAC de 8-bits

Se compone de array de resistencias y un buffer

Touch Sensor

Tiene 10 GPIOs con sensor capacitivo

Poseen bajo ruido y alta sensibilidad → permiten pads pequeños.

ESP32: Ethernet MAC

Ethernet MAC Interface

- velocidades de 10 Mbps y 100 Mbps
- Controlador DMA dedicado para acceso directo a SRAM
- Marcado de MAC (VLAN support)
- Operación Half-duplex (CSMA/CD) y full-duplex
- generación y borrado CRC 32-bit
- varios modos de filtrado de direcciones
- Código de estado de 32-bit para cada recepción o transmisión
- FIFOs internos de 512 words (32-bit) para transmisión y recepción.
- PTP (Precision Time Protocol) por hardware in accordance with IEEE 1588 2008 (PTP V2)

ESP32: SD, UART

SD/SDIO/MMC Host Controller

- Permite el acceso a tarjetas
 - Secure Digital memory (SD mem Version 3.0 and Version 3.01)
 - Secure Digital I/O (SDIO Version 3.0)
 - Multimedia Cards (MMC Version 4.41, eMMC Version 4.5 and Version 4.51)

SDIO/SPI Slave Controller

- Actúa como esclavo SDIO → host puede acceder a memoria compartida
 - Se gestiona por DMA

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

- 3 interfaces UART (RS232 y RS485)
 - Gestión hardware de CTS, RTS, XON y XOFF
 - Pueden usar DMA

ESP32: I2C, I2S

I2C Interface

- 2 interfaces I2C como maestro o esclavo
 - Modo estándar (100 Kbit/s) y rápido (400 Kbit/s)
 - Direccionamiento de 7 o 10 bits

I2S Interface (audio digital)

- 2 interfaces I2S como maestro o esclavo en half-duplex y full-duplex
 - controladores DMA dedicados

ESP32: RMT, PCNT, PWM

Infrared Remote Controller (RMT)

- 8 canales de transmisión y recepción infrarroja
 - Soporte para varios protocolos

Pulse Counter (PCNT)

- 8 canales que pueden capturar 4 señales a la vez cada uno
 - capturan y cuentan pulsos en 7 modos diferentes
 - pueden generar interrupciones

Pulse Width Modulation (PWM)

- 6 salidas para manejar motores e iluminación inteligente

LED PWM

- 16 canales para generar formas de onda digitales de periodos configurables.
 - Soportan cambio progresivo del ciclo de trabajo → generación de gradientes con LEDs RGB.

ESP32: SPI, TWAI

Serial Peripheral Interface (SPI)

- 3 canales como maestro o esclavo en modos de 1, 2 o 4 hilos
 - hasta 80 MHz
 - FIFO de hasta 64 bytes
 - pueden utilizar DMA

TWAI Controller

- compatible con ISO11898-1 (CAN Specification 2.0)
 - identificadores de 11 y 29 bits
 - velocidad de 1Kbit/s a 1 Mbit/s
 - FIFO de recepción de 64 bytes
 - Contadores de error
 - Filtros de aceptación

ESP32: Temporizadores, WDT

Temporizadores

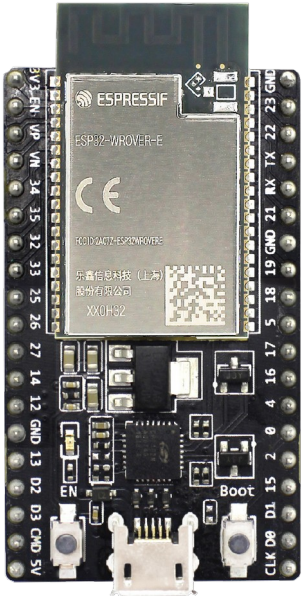
- 2 bloques con 2 temporizadores de propósito general cada uno
 - de 64 bits con preescalado del reloj de 16 bits
 - configurables como crecientes o decrecientes
 - generación de interrupciones, por nivel o flanco, al superar un valor

Watchdog Timers (WDT)

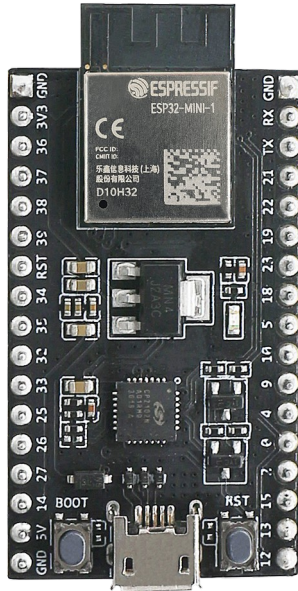
- hay 3 WDT de 32 bits:
 - 1 en cada bloque temporizador, otro en el RTC
 - Si termina su cuenta pueden:
 - Interrumpir
 - resetear CPU
 - resetear núcleo
 - resetear el sistema (solo el del RTC)

ESP32: Placas desarrollo

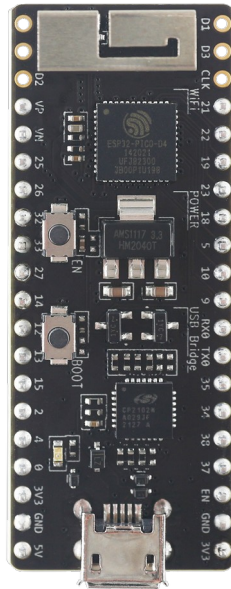
- Hay numerosas de distintos fabricantes



ESP32-DevKitC
ESP32-WROOM



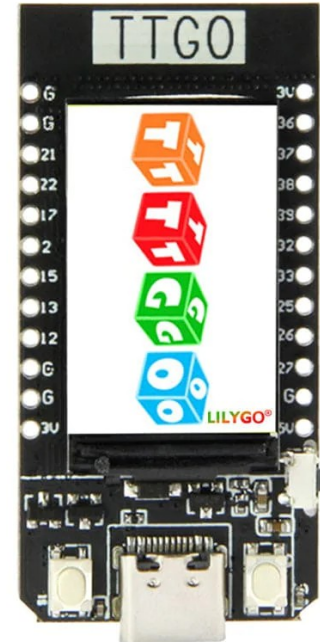
ESP32-DevKitM-1
ESP32-Mini



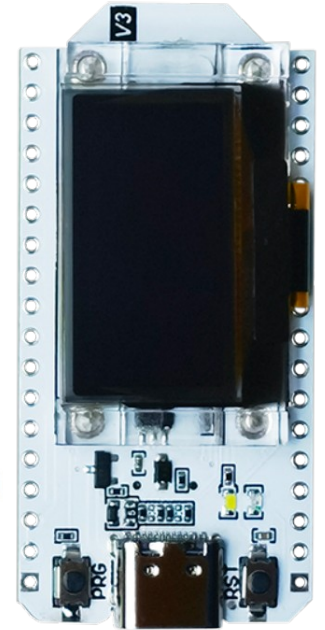
ESP32-PICO-KIT



ESP32-DEV-KIT



T-Display
LilyGo

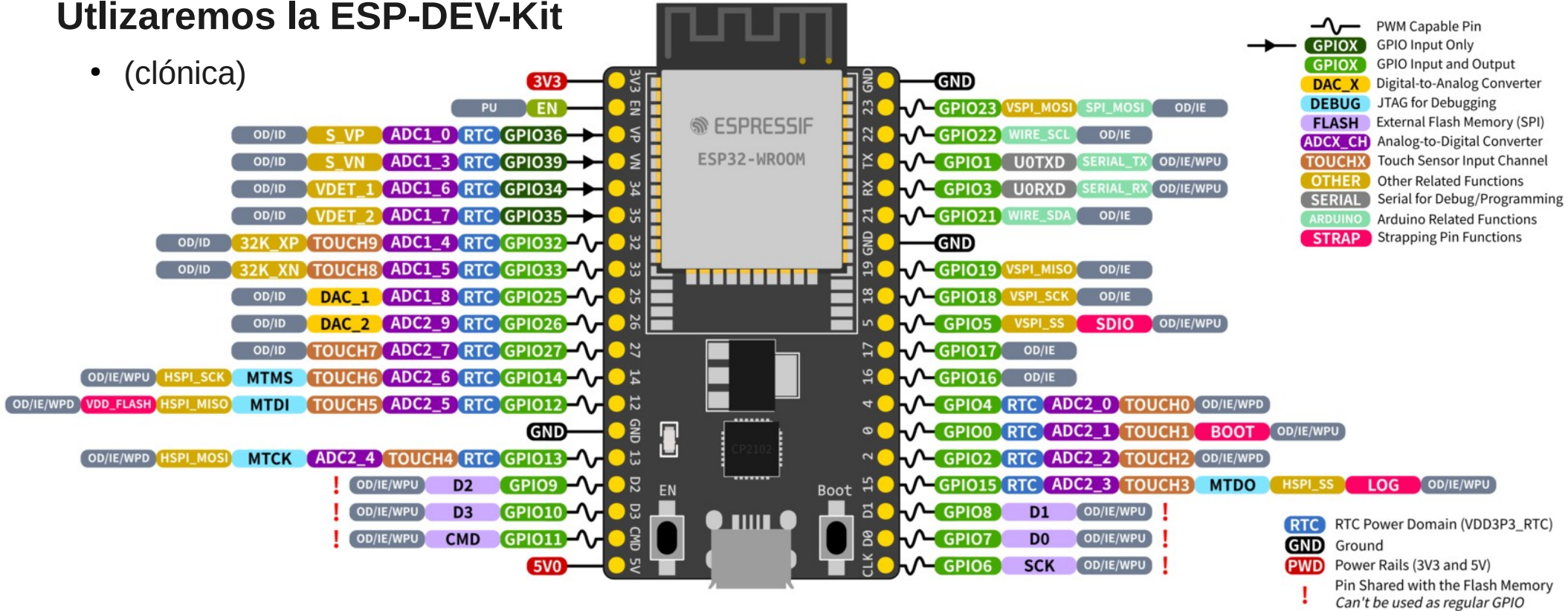


Wifi Kit 32
Heltec

ESP32: Placa a utilizar

Utilizaremos la ESP-DEV-Kit

- (clónica)



ESP32: Nuevos Modelos

- **ESP32-S2**
 - Single-core Xtensa LX7 CPU, up to 240 MHz
 - 320 KiB SRAM, 128 KiB ROM, and 16 KiB RTC SRAM
- **ESP32-C3**
 - Single-core 32-bit RISC-V CPU, up to 160 MHz
 - 400 KiB SRAM, 384 KiB ROM, and 8 KiB RTC SRAM
- **ESP32-S3**
 - Dual-core Xtensa LX7 CPU, up to 240 MHz
 - 512 KiB SRAM, 384 KiB ROM, and 16 KiB RTC SRAM
- **ESP32-C6**
 - Single-core 32-bit RISC-V CPU, up to 160 MHz
 - Añade IEEE 802.15.4: Thread + Zigbee