



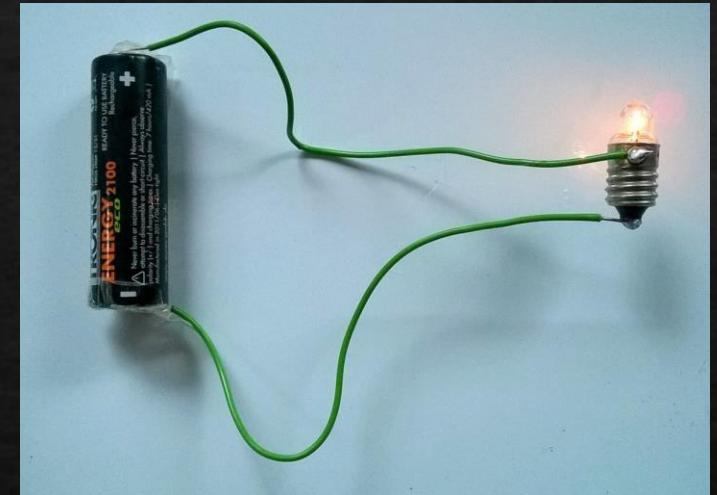
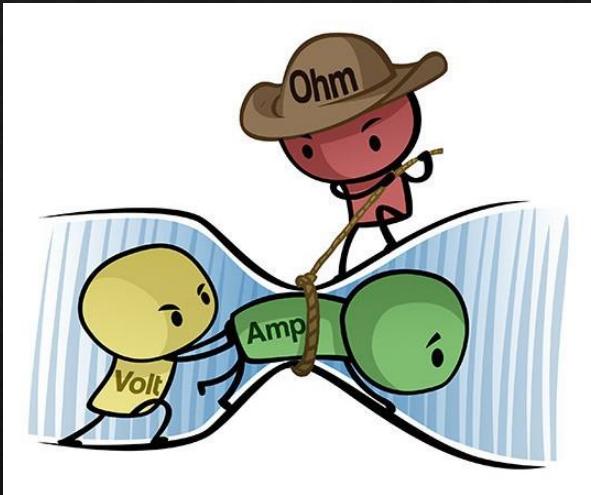
Principios de electrónica para el desarrollo de sistemas embebidos IoT

Juan Félix Mateos

Marzo 2022

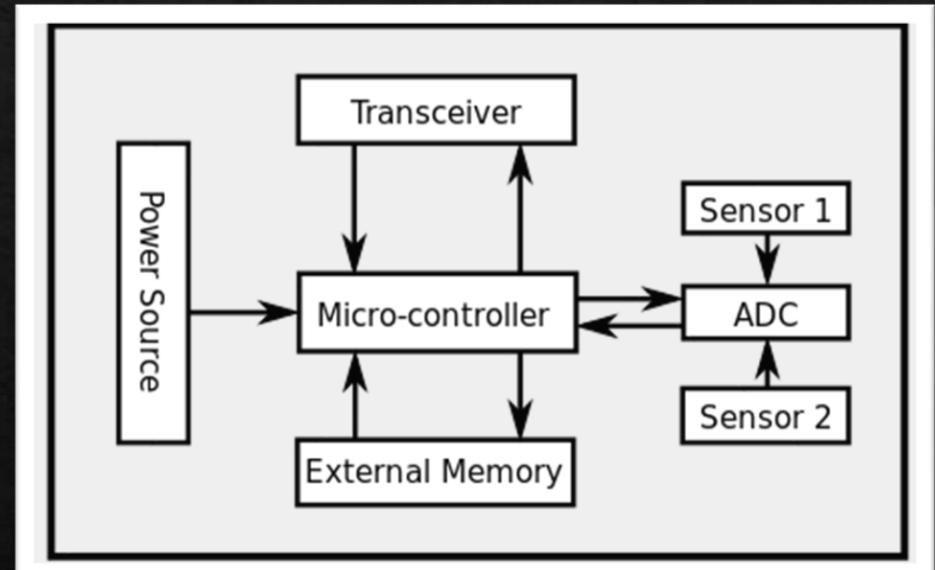
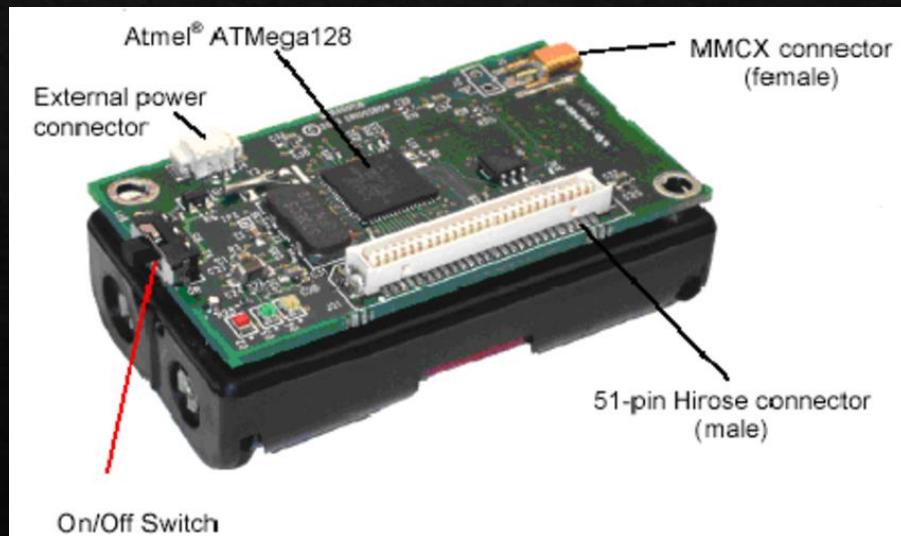
Magnitudes básicas de la electricidad

- ❖ Tensión, voltaje o fem (voltios)
- ❖ Corriente (amperios)
- ❖ Resistencia (ohmios)
- ❖ Potencia (vatiros)
- ❖ Energía (vatiros-hora)



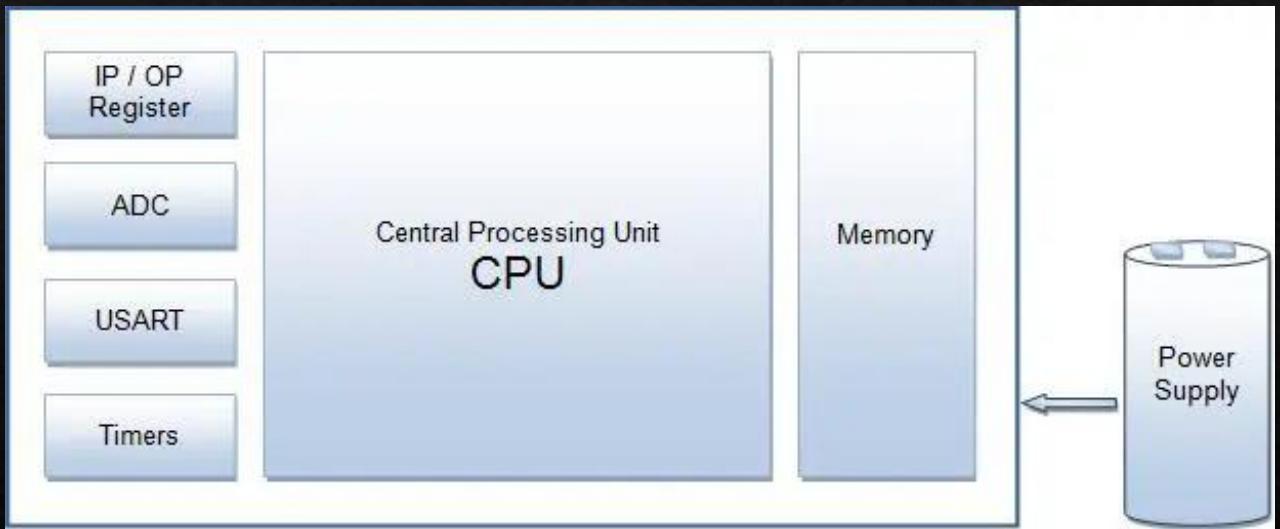
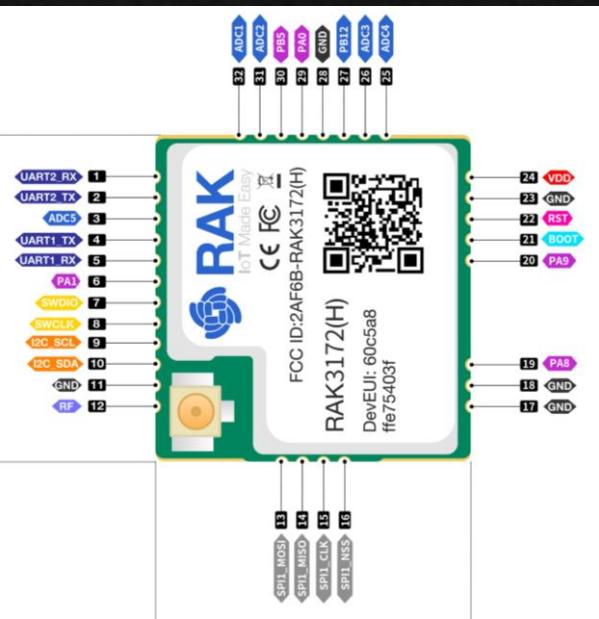
¿Qué es un sistema embebido IoT?

- ❖ Microcontrolador
- ❖ Periféricos
- ❖ Alimentación eléctrica



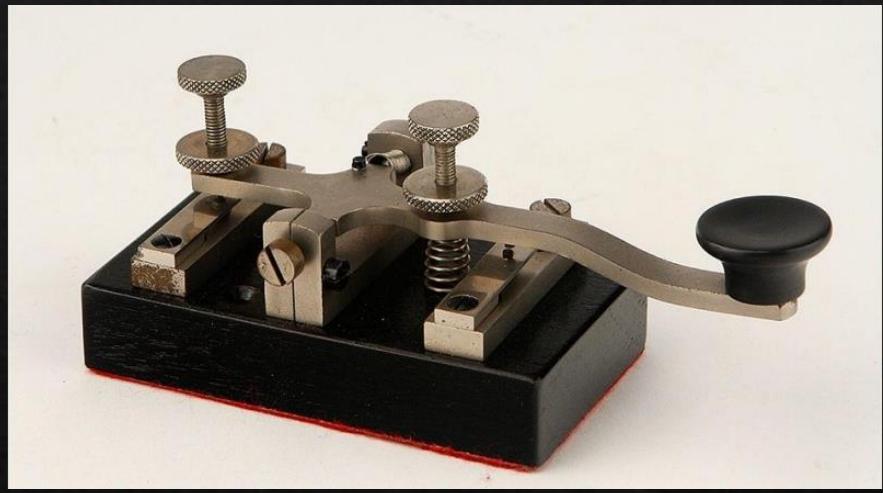
¿Qué es un microcontrolador uC?

- ❖ **Circuito integrado programable**; algo parecido a un ordenador convencional pero cuyos periféricos, en lugar de ser el teclado, ratón, monitor, impresora... son bloques más primitivos, como conversores ADC o GPIO, con los que **interactuamos a través de los pines**.

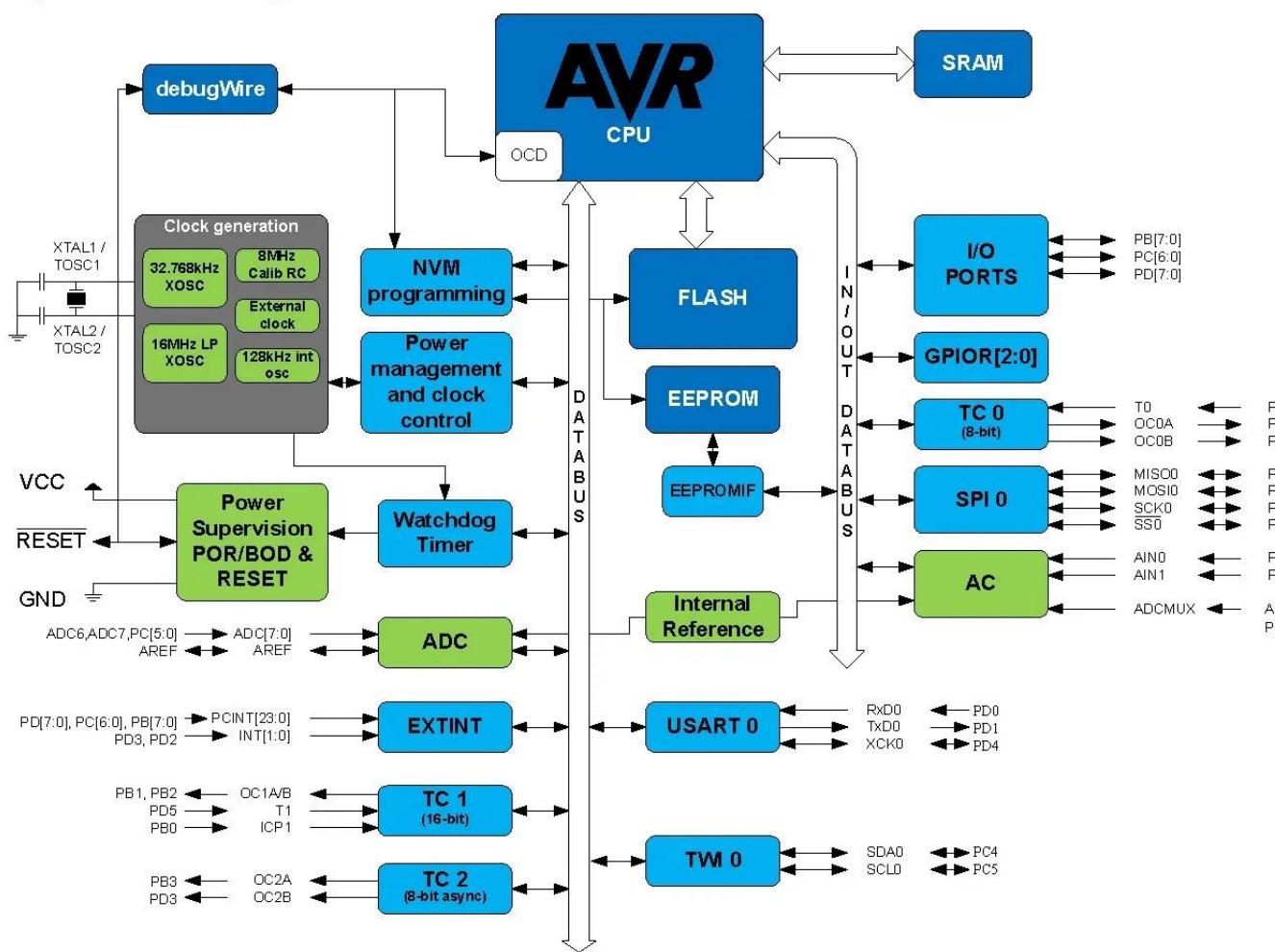


¿Cómo se interacciona con los pines?

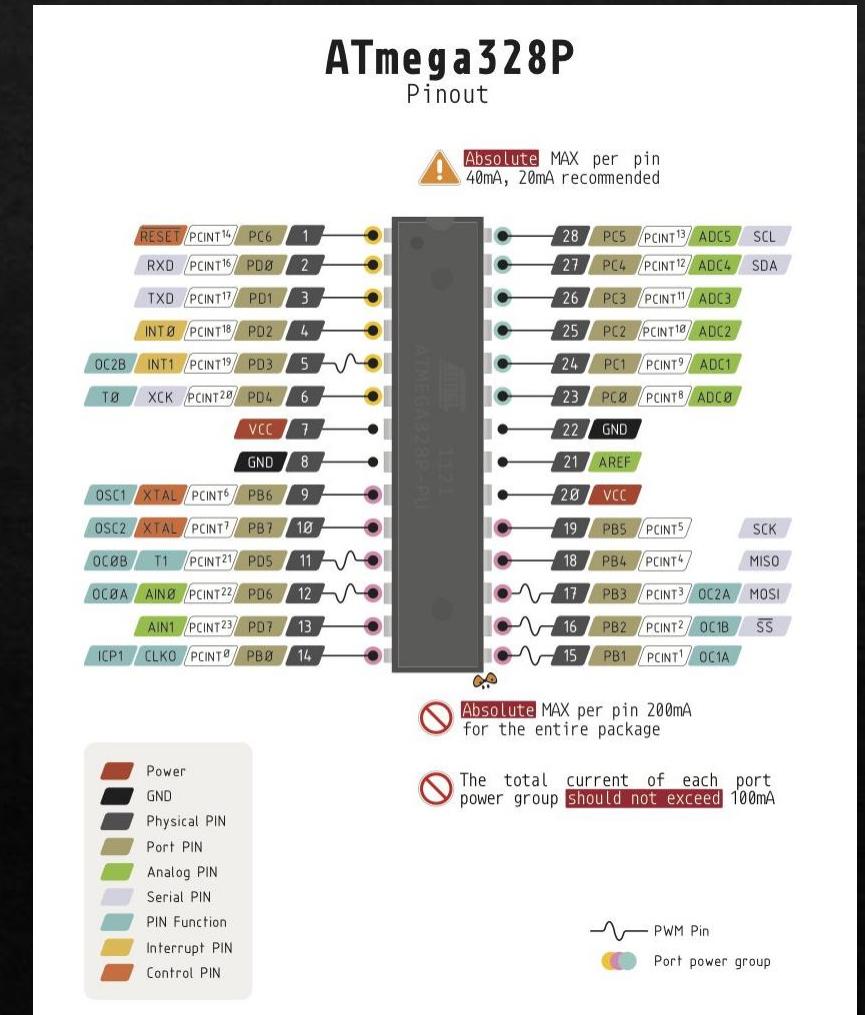
- ❖ Un pin puede ser de 2 tipos:
 - ❖ **Entrada:** puede medir una señal
 - ❖ **Salida:** puede producir una señal
- ❖ ¿Qué es una señal?
 - ❖ Generalmente es una tensión (voltaje) que varía con el tiempo.
 - ❖ Ej. Salida de un pulsador morse
 - ❖ Ej. Regulador de volumen de un equipo de audio
- ❖ Las señales pueden ser:
 - ❖ **Digitales o discretas:** Sólo 2 valores posibles (0 o 1)
 - ❖ **Analógicas o continuas:** Cualquier valor comprendido entre 0 y 1



ATmega328P



ATmega328P
Pinout



Características esenciales de un uC

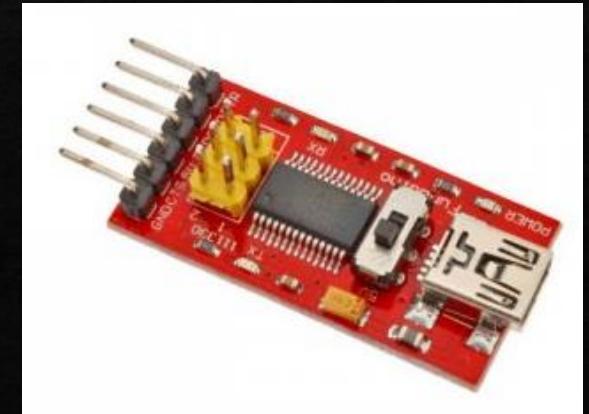
- ❖ Tamaño de los registros de datos: 8, 16, 32 o 64 bits
 - ❖ 8 bits menor capacidad de cómputo y menor consumo eléctrico
- ❖ Velocidad del reloj:
 - ❖ 32768 Hz (RTC) 2^{15} (16 bits timer)
 - ❖ 16 MHz (Arduino UNO)
 - ❖ 160 MHz (ESP32)
 - ❖ 1.5 GHz (Raspberry Pi 4)
- ❖ Número de núcleos: 1, 2, 4, 8
- ❖ Memoria:
 - ❖ Flash, RAM, EEPROM
- ❖ Tensión de alimentación: 3.3V, 5V
- ❖ Consumo eléctrico: uA, mA
 - ❖ Modos de funcionamiento
 - ❖ Running
 - ❖ Idle
 - ❖ Sleep
- ❖ Periféricos
 - ❖ GPIO
 - ❖ ADC / DAC
 - ❖ Timers → PWM
 - ❖ USART / I2C / SPI / CAN
- ❖ Programación
 - ❖ Bare Metal / RTOS / OS

ATmega328p

- Flash (Kbytes): 32 Kbytes
- Pin Count: 32
- Max. Operating Freq. (MHz): 20 MHz
- CPU: 8-bit AVR
- # of Touch Channels: 16
- Max I/O Pins: 23
- Ext Interrupts: 2
- USB Interface: No
- SPI: 2
- TWI (I2C): 1
- UART: 1
- Graphic LCD: No
- ADC channels: 8
- ADC Resolution (bits): 10
- ADC Speed (ksps): 15
- Analog Comparators: 1
- Temp. Sensor: Yes
- SRAM (Kbytes): 2
- EEPROM (Bytes): 1024
- Self Program Memory: YES
- picoPower: Yes
- Temp. Range (deg C): -40 to 85
- Operating Voltage (Vcc): 1.8 to 5.5
- Timers: 3
- Output Compare channels: 6
- Input Capture Channels: 1
- PWM Channels: 6
- 32kHz Real Time Counter: Yes
- Calibrated RC Oscillator: Yes
- Watchdog: Yes

Programación del uC

- ❖ **Directa: Flash + Fuses** – Requiere un dispositivo llamado **burner**
 - ❖ ISP – (In-system programming): AVR Atmel
 - ❖ ICSP – In-circuit Serial Programming: Microchip
 - ❖ SWD – Serial Wire Debug: ARM
 - ❖ JTAG – Join Test Action Group: Sistemas compuestos
- ❖ **Bootloader:** Un programa que permite reprogramar la Flash a través de una interfaz genérica del uC (más barato y sencillo que usar un burner)
 - ❖ Serial
 - ❖ OTA – Over The Air (WiFi, Bluetooth, LoRa...)



Datasheets - Hojas de datos

- ◆ Son largas, son aburridas, son engorrosas... son **imprescindibles**

STM32WLEx

Save to MyST

Overview Product selector Documentation CAD Resources Tools & Software

All documents Minify

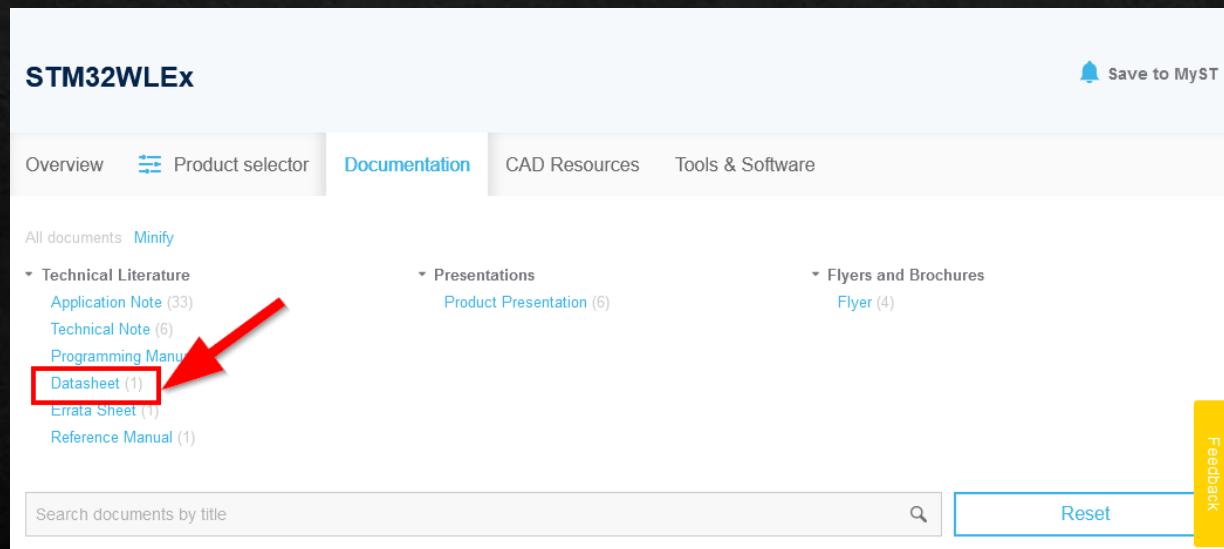
Technical Literature Application Note (33) Technical Note (6) Programming Manual Datasheet (1) Errata Sheet (1) Reference Manual (1)

Presentations Product Presentation (5)

Flyers and Brochures Flyer (4)

Search documents by title

Feedback



STM32WLE5xx STM32WLE4xx

Multiprotocol LPWAN 32-bit Arm® Cortex®-M4 MCUs, LoRa®, (G)FSK, (G)MSK, BPSK, up to 256KB Flash, 64KB SRAM
Datasheet - production data

Features

Includes ST state-of-the-art patented technology

Radio

- Frequency range: 150 MHz to 960 MHz
- Modulation: LoRa®, (G)FSK, (G)MSK and BPSK
- RX sensitivity: -123 dBm for 2-FSK (at 1.2 kbit/s), -148 dBm for LoRa® (at 10.4 kHz, spreading factor 12)
- Transmitter high output power, programmable up to +22 dBm
- Transmitter low output power, programmable up to +15 dBm
- Compliant with the following radio frequency regulations such as ETSI EN 300 220, EN 300 113, EN 301 166, FCC CFR 47 Part 15, 24, 90, 101 and the Japanese ARIB STD-T30, T-67, T-108
- Compatible with standardized or proprietary protocols such as LoRaWAN®, Sigfox™, Wi-Fi and more (fully open wireless system-on-chip)

Core

- 32-bit Arm® Cortex®-M4 CPU
 - Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator) allowing 0-wait-state execution from Flash memory, frequency up to 48 MHz, MPU and DSP instructions
 - 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1)

Security and Identification

- Hardware encryption AES 256-bit
- True random number generator (RNG)
- Sector protection against read/write operations (PCROP, RDP, WRP)
- CRC calculation unit
- Unique device identifier (64-bit UID compliant with IEEE 802-2001 standard)
- 96-bit unique die identifier
- Hardware public key accelerator (PKA)

Ultra-low-power platform

- 1.8 V to 3.6 V power supply
- 40 °C to +105 °C temperature range
- Shutdown mode: 31 nA ($V_{DD} = 3$ V)
- Standby (+ RTC) mode: 360 nA ($V_{DD} = 3$ V)
- Stop2 (+ RTC) mode: 1.07 μ A ($V_{DD} = 3$ V)
- Active-mode MCU: < 72 μ A/MHz (CoreMark®)
- Active-mode RX: 4.82 mA
- Active-mode TX: 15 mA at 10 dBm and 87 mA at 20 dBm (LoRa® 125 kHz)

Supply and reset management

- High-efficiency embedded SMPS step-down converter
- SMPS to LDO smart switch
- Ultra-safe, low-power BOR (brownout reset) with 5 selectable thresholds
- Ultra-low-power POR/PDR
- Programmable voltage detector (PVD)
- V_{BAT} mode with RTC and 20x32-bit backup registers

March 2022 D813105 Rev 10 1/147
This is information on a product in full production.
www.st.com

GPIO: Tensión y corriente

3.16 General-purpose inputs/outputs (GPIOs)

Each of the GPIO pins can be configured by software as output (push-pull or open-drain), as input (with or without pull-up or pull-down) or as peripheral alternate function. Most of the GPIO pins are shared with digital or analog alternate functions. Fast I/O toggling can be achieved thanks to their mapping on the AHB2 bus.

The I/Os alternate function configuration can be locked if needed following a specific sequence in order to avoid spurious writing to the I/Os registers.

Table 21. Voltage characteristics ⁽¹⁾				I _{IO(PIN)}	Output current sunk by any I/O and control pin, except FT_f	20	mA
Symbol	Ratings	Min	Max		Output current sunk by any FT_f pin	20	
V _{DDX} - V _{SS}	External main supply voltage (including V _{DD} , V _{DDA} , V _{DDRF} , V _{DDSMPS} , V _{BAT} , V _{REF+})	-0.3	3.9		Output current sourced by any I/O and control pin	20	
V _{IN} ⁽²⁾	Input voltage on FT_xx pins	V _{SS} - 0.3	min (V _{DD} , V _{DDA} , V _{DDRF} , V _{DDSMPS}) + 3.9 ⁽³⁾⁽⁴⁾	V			mV
	Input voltage on TT pins		3.9				
	Input voltage on any other pin		3.9				
ΔV _{DDx}	Variations between different V _{DDX} power pins of the same domain	-	50				

La ley de Ohm

Aplicación a una rama resistencia + LED

◆ $V = I \times R$

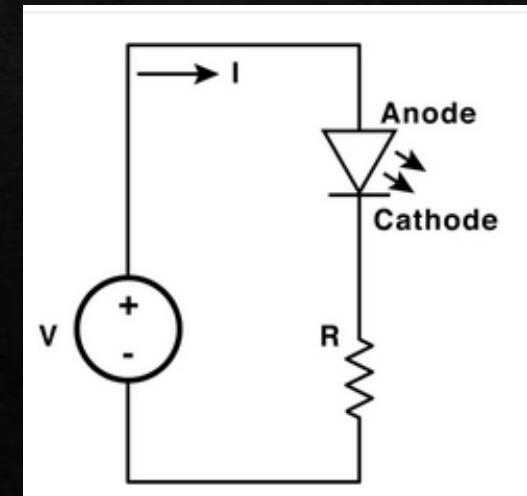
◆ $V = 3V$

◆ $V_f \text{ LED} = 1.8V @ 20mA$

◆ ¿ R ? Necesitamos que cuando circulen 20 mA por la rama, la resistencia produzca una caída de tensión de $3 - 1.8 = 1.2 V \Rightarrow R = 1.2 / 0.02 = 60 \text{ ohm}$

Electrical & Optical Characteristics:

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Luminous Intensity	I_v	$I_f = 20mA$	45	100		mcd
Forward Voltage	V_f	$I_f = 20mA$		1.8	2.2	V
Peak Wavelength	λ_p	$I_f = 20mA$		660		nm
Dominant Wavelength	λ_d	$I_f = 20mA$		643		nm
Reverse (Leakage) Current	I_r	$V_r = 5V$			100	μA
Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$	$I_f = 20mA$		35		deg
Spectrum Line Halfwidth	$\Delta\lambda$	$I_f = 20mA$		20		nm



Valores normalizados de resistencias

- ❖ La serie E12 tiene 12 valores para representar una década
 - ❖ 1.0 - 1.2 - 1.5 - 1.8 - 2.2 - 2.7 - 3.3 - 3.9 - 4.7 - 5.6 - 6.8 - 8.2
- ❖ ¿Qué valor elegiríamos para nuestro ejemplo de la diapositiva anterior? **68 ohm**

$$R_n(\text{Serie}) = 10^{\frac{n-1}{\text{Serie}}}$$

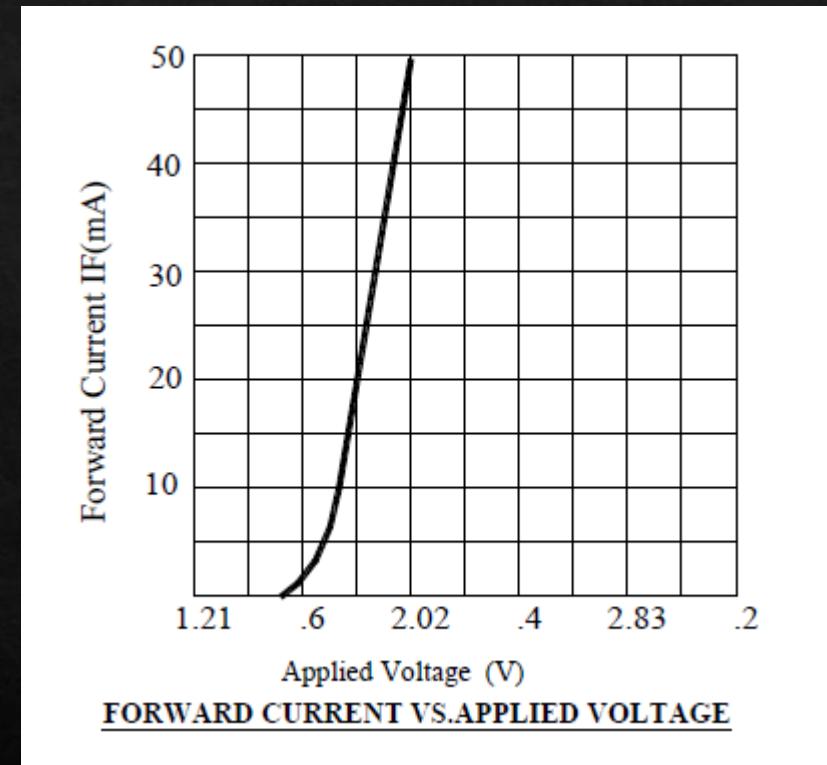
E12 (in ohms)		
• 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82,	1.0	1.0
• 100, 120, 150, 180, 220, 270, 330, 390, 470, 560, 680, 820,	1.1	1.1
• 1 k, 1.2 k, 1.5 k, 1.8 k, 2.2 k, 2.7 k, 3.3 k, 3.9 k, 4.7 k, 5.6 k, 6.8 k, 8.2 k,	1.2	1.2
• 10 k, 12 k, 15 k, 18 k, 22 k, 27 k, 33 k, 39 k, 47 k, 56 k, 68 k, 82 k,	1.3	1.3
• 100 k, 120 k, 150 k, 180 k, 220 k, 270 k, 330 k, 390 k, 470 k, 560 k,	1.5	1.5
680 k, 820 k,	1.6	1.6
• 1 M, 1.2 M, 1.5 M, 1.8 M, 2.2 M, 2.7 M, 3.3 M, 3.9 M, 4.7 M, 5.6 M,	1.8	1.8
6.8 M, 8.2 M,	2.0	2.0
• 10 M	2.2	2.2
	2.4	2.4
	2.7	2.7
	3.0	3.0
	3.3	3.3
	3.6	3.6
	3.9	3.9
	4.3	4.3
	4.7	4.7
	5.1	5.1
	5.6	5.6
	6.2	6.2
	6.8	6.8
	7.5	7.5
	8.2	8.2
	9.1	9.1

Ejercicio

- ❖ Calcular la resistencia para el mismo LED pero con una fuente de 12V
- ❖ $V = I \times R$
- ❖ $V=12 \text{ V}$
- ❖ $V_f \text{ LED} = 1.8 \text{ V} @ 20 \text{ mA}$
- ❖ ?R?

Solución

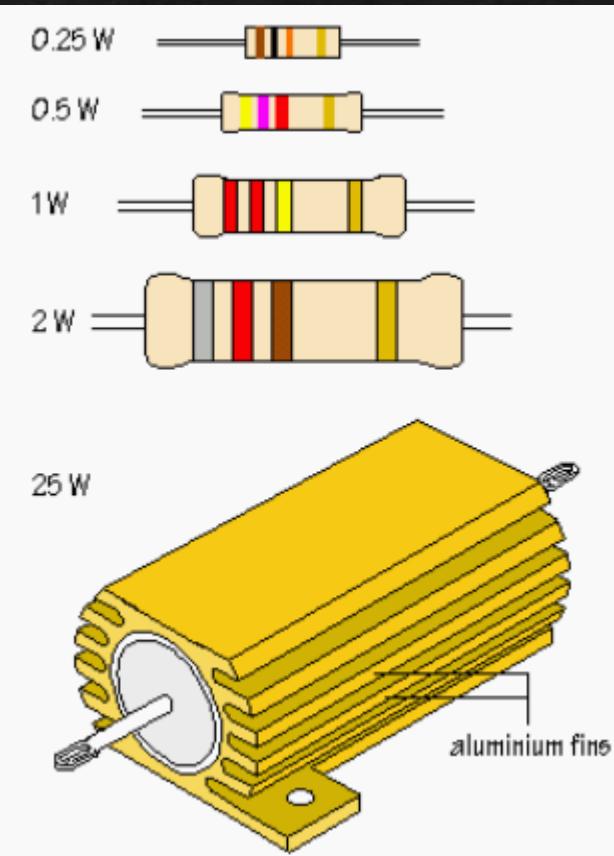
- ❖ $R = (12 - 1.8) / 0.02 = 510 \sim 560 \text{ ohm}$
- ❖ En realidad, al usar una resistencia mayor (560) que la calculada (510), la corriente que circula por la rama ya no son exactamente 20 mA
- ❖ La corriente sería el punto en el que la curva (recta) de la resistencia ($V = I \times 560$) sumada con la curva del LED valiese 12 V. Este tipo de aproximaciones, así como la de utilizar fórmulas que idealizan el comportamiento de los componentes, es habitual en electrónica.



Cuidado con la potencia

Ley de Joule

- ❖ Las resistencias provocan una caída de tensión porque convierten parte de la **energía eléctrica** que las atraviesa en **energía calorífica**.
- ❖ $P = I^2 \times R = V \times I$
- ❖ En nuestro segundo ejemplo, la resistencia tiene que disipar aprox. $0.02^2 \times 560 = 0.224 \text{ W}$
- ❖ Dependiendo del empaquetado, las resistencias pueden disipar distinta cantidad de potencia máxima
 - ❖ ¿Qué empaquetado SMD elegiría para 12V? ¿y para 3V)



	0603 - 0.1W
	0805 - 0.125W
	1206 - 0.25W
	1210 - 0.5W

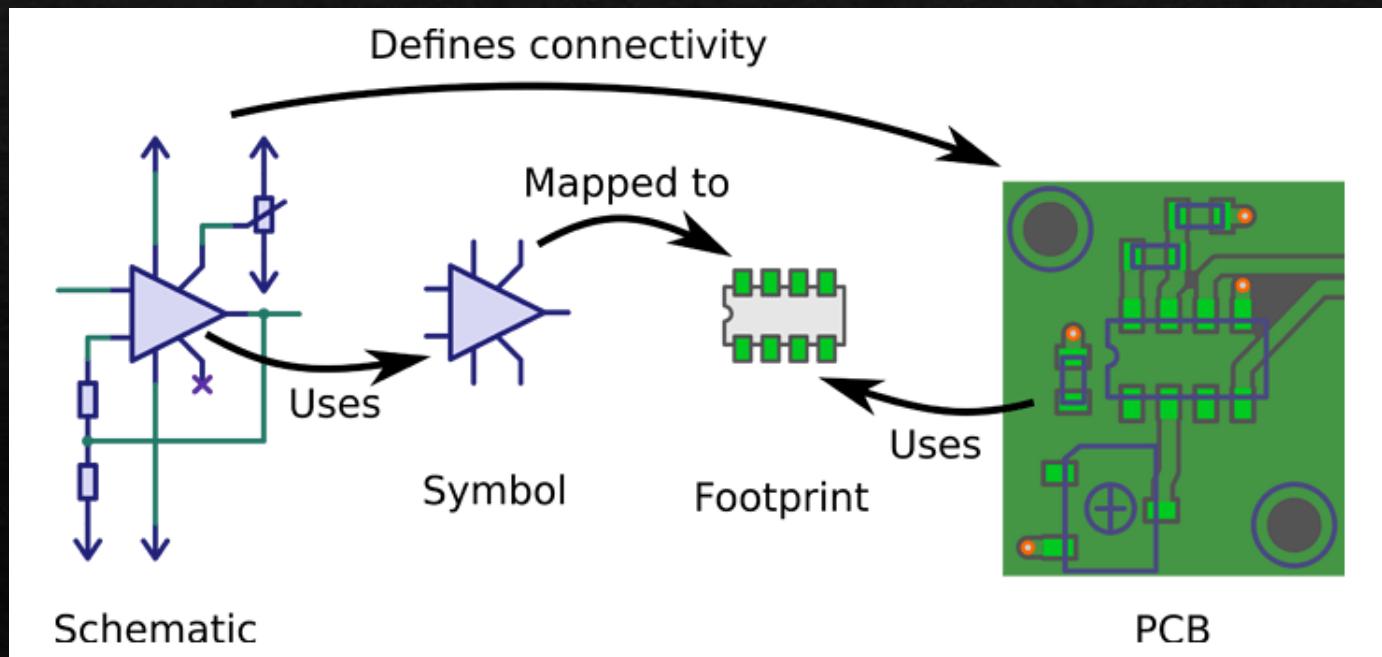
Fases de un proyecto electrónico

1. Requerimientos → Qué quiero
2. Especificación → Cómo lo consigo
3. Selección de componentes
4. Prototipado (hardware + firmware)
 - ◊ POC y POT
 - ◊ Diseño de circuito electrónico o protoboard
 - ◊ Medidas de consumo
 - ◊ Ensayos de comportamiento y durabilidad
5. Fabricación del proyecto final
 - ◊ Ensayos, pruebas de campo y despliegue final



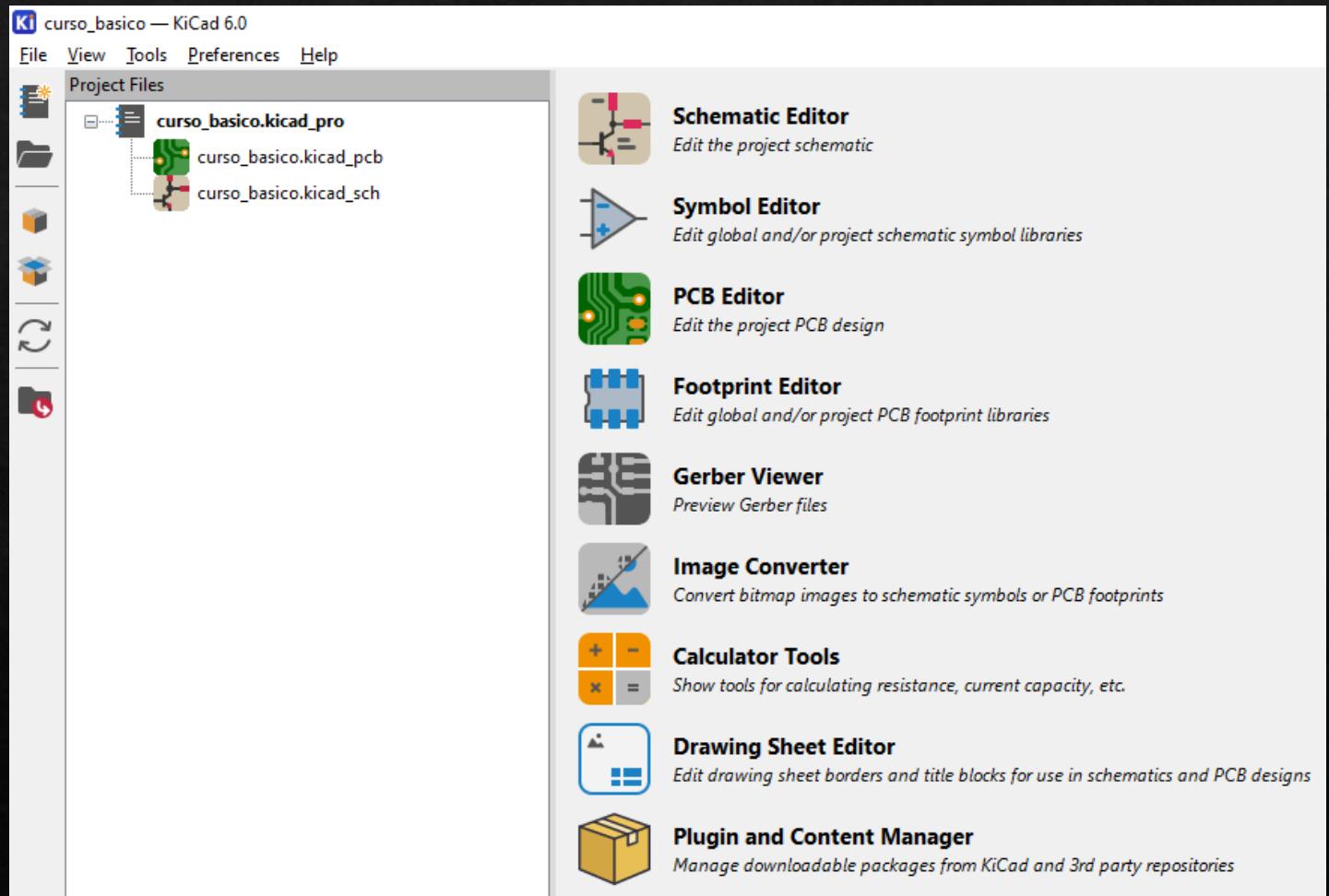
Diseño de circuitos electrónicos

1. Dibujar el [diagrama] **esquemático** (símbolos y wires)
2. Asignar a cada componente su **footprint** (huella)
3. Colocar cada huella en la posición deseada del **PCB**
4. Rutear el PCB (**tracks**)



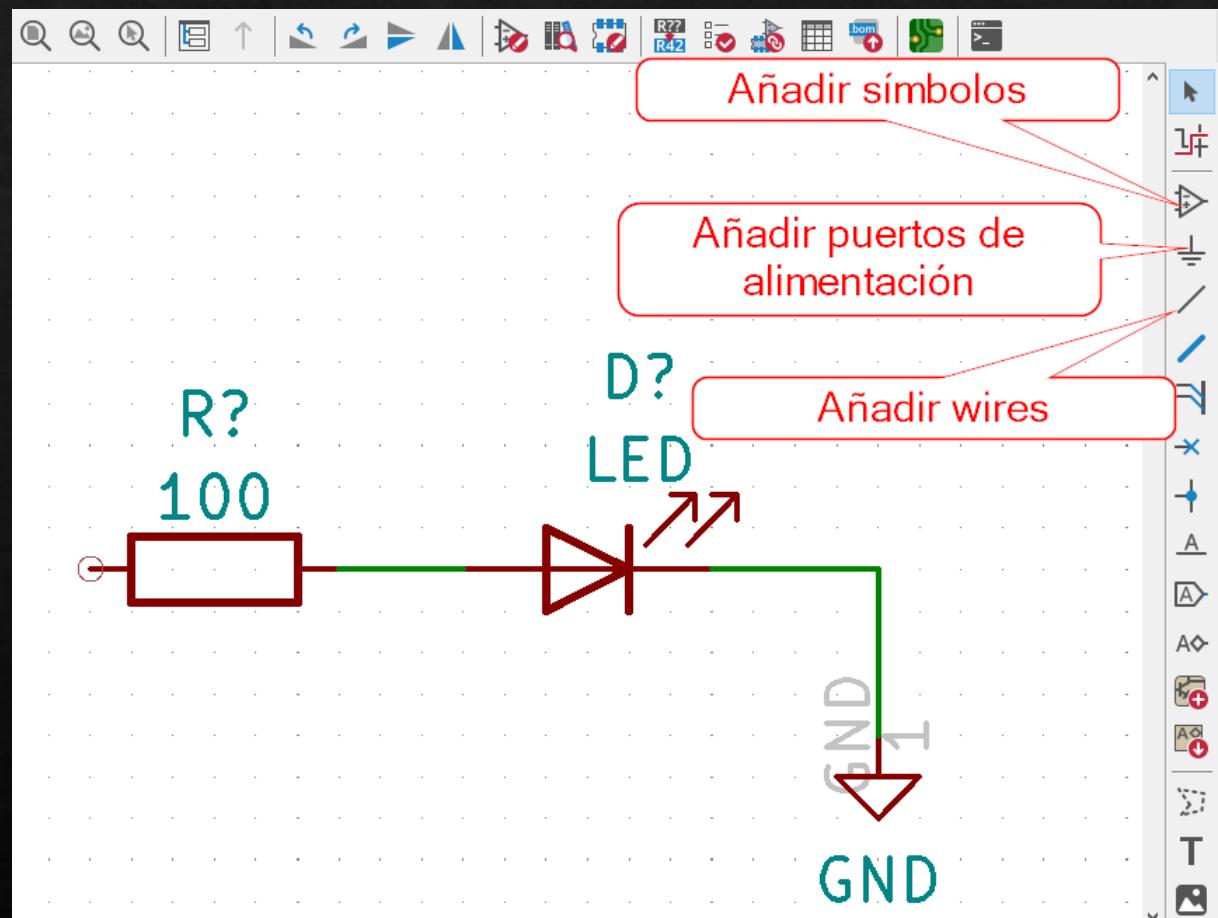
KiCAD 6

- ❖ Crear un proyecto nuevo
- ❖ Acceder al editor de [diagramas] esquemáticos
- ❖ Dibujar la rama R + LED
- ❖ Crear un símbolo para el RAK3172
- ❖ Añadir
 - ❖ Soporte RAK3172 (Reset, puerto de programación y antena)
 - ❖ Portabaterías
 - ❖ Interruptor DPDT

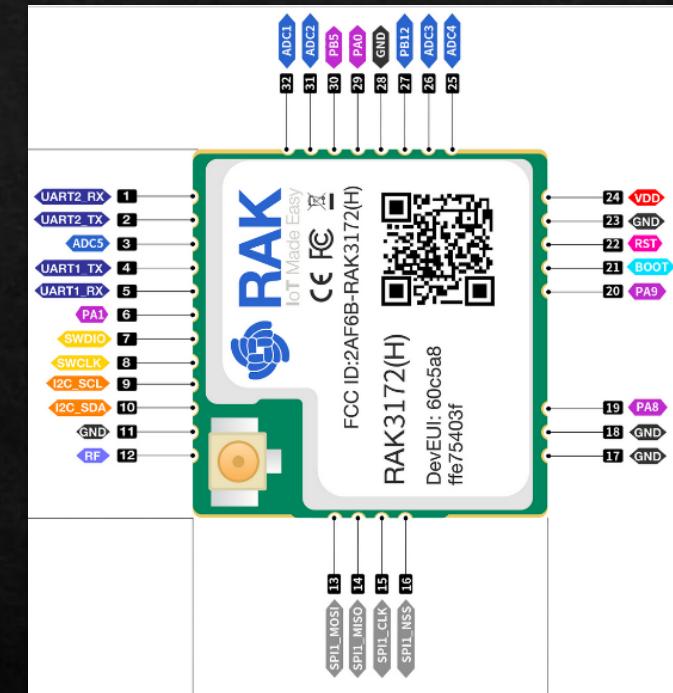
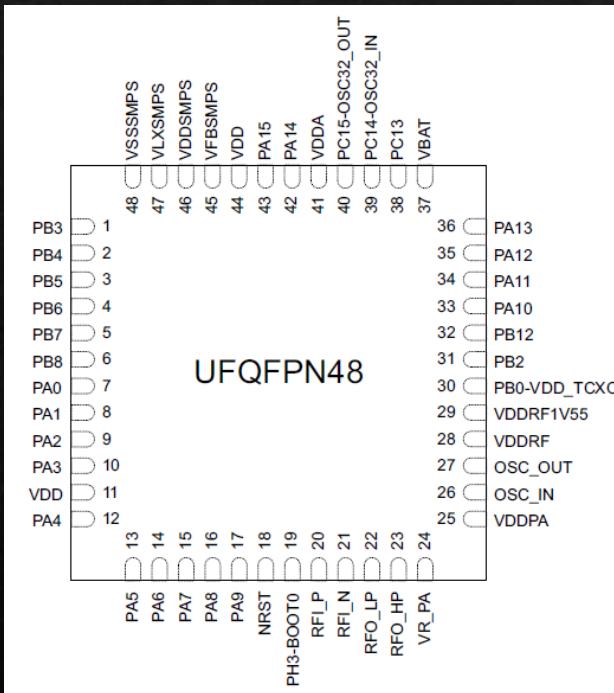


KiCAD 6: La rama R + LED

- ❖ Zoom: Rueda del ratón
- ❖ Desplazar: Botón derecho del ratón
- ❖ Rotar componente: R
- ❖ Propiedades de componente: E
- ❖ Mover: M (Move)
- ❖ Arrastrar: G (draG)



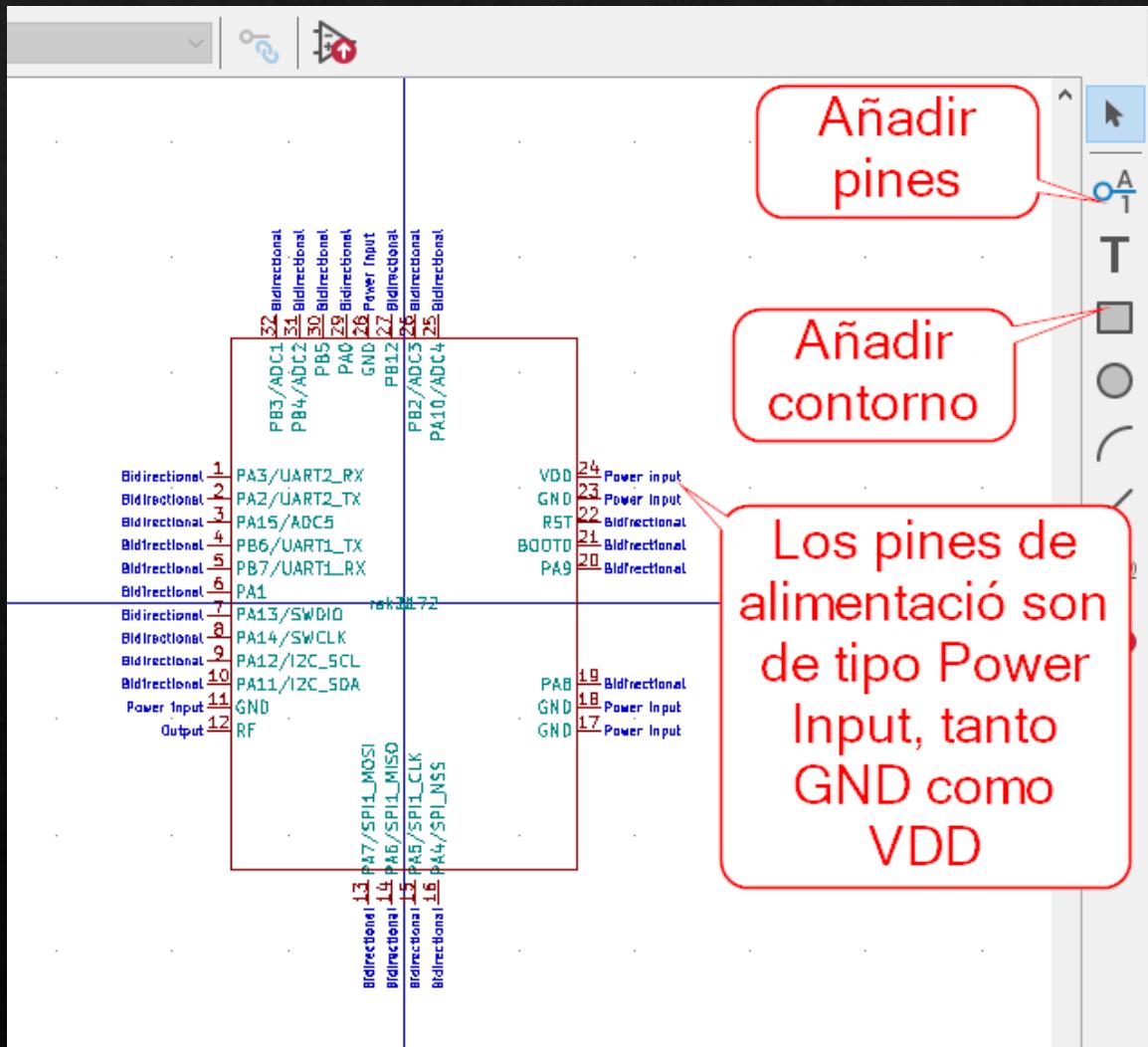
KiCAD: Símbolo RAK3172 1/2



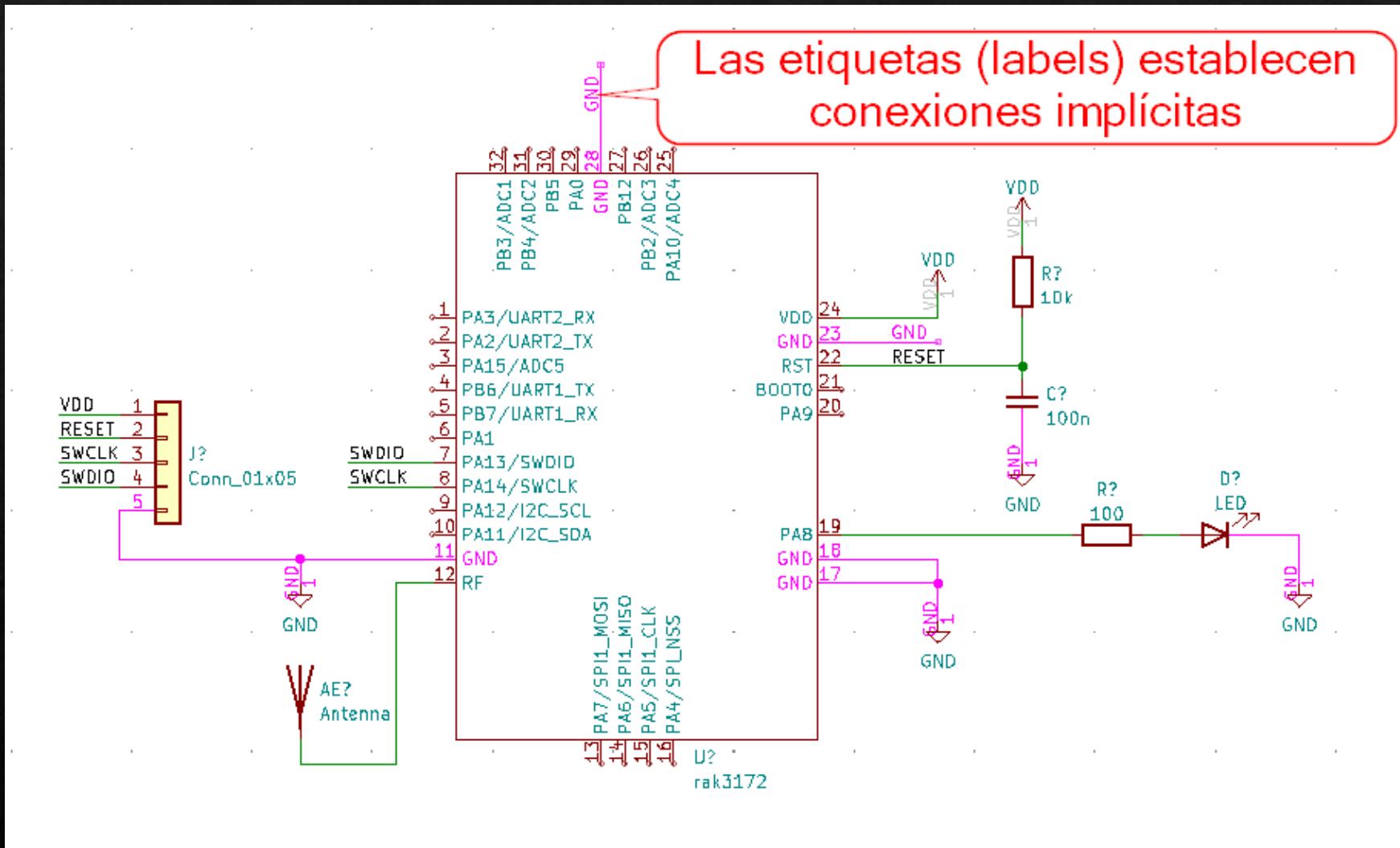
Pin No.	Name	Type	Description
1	PA3/UART2_RX	I	Reserved - UART2/LPUART1 Interface (AT Commands and FW Update)
2	PA2/UART2_TX	O	Reserved - UART2/LPUART1 Interface (AT Commands and FW Update)
3	PA15/ADC5	I/O	GPIO and ADC
4	PB6/UART1_TX	O	UART1 Interface
5	PB7/UART1_RX	I	UART1 Interface
6	PA1	I/O	GPIO only
7	PA13/SWDIO		Reserved - SWD debug pin (SWDIO)
8	PA14/SWCLK		Reserved - SWD debug pin (SWCLK)
9	PA12/I2C_SCL	I/O	GPIO and I2C (SCL)
10	PA11/I2C_SDA	I/O	GPIO and I2C (SDA)
11	GND		Ground connections
12	RF		RF Port (only available on RAK3172 No-IPEX connector variant)

KiCAD: Símbolo RAK3172 2/2

1. Editor de símbolos
2. Nueva librería de proyecto
3. Dibujar pines
4. Dibujar contorno

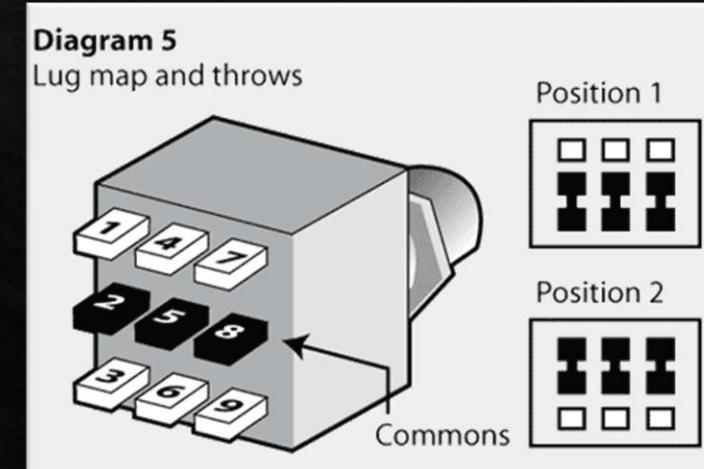
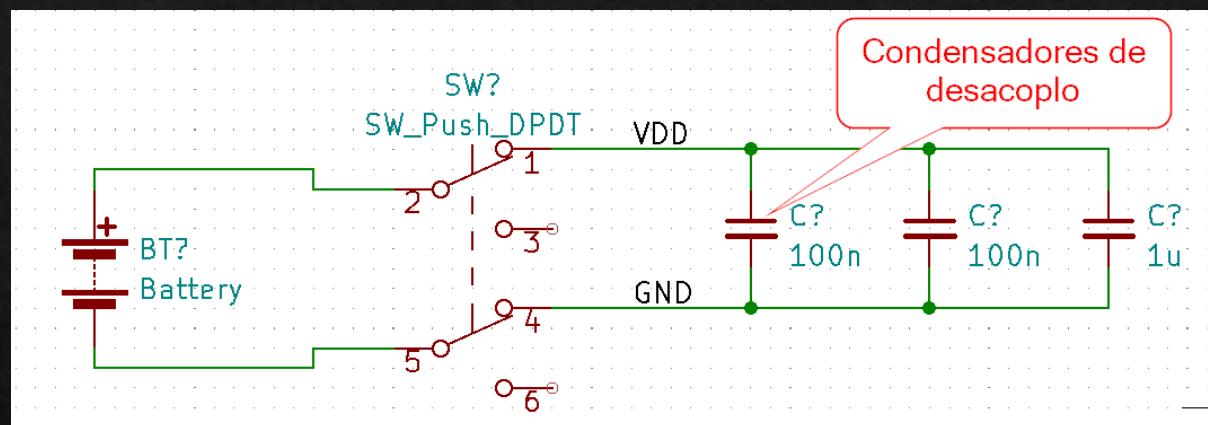


KiCAD 6: RAK3172 y soporte



KiCAD 6: Portabaterías e interruptor DPDT

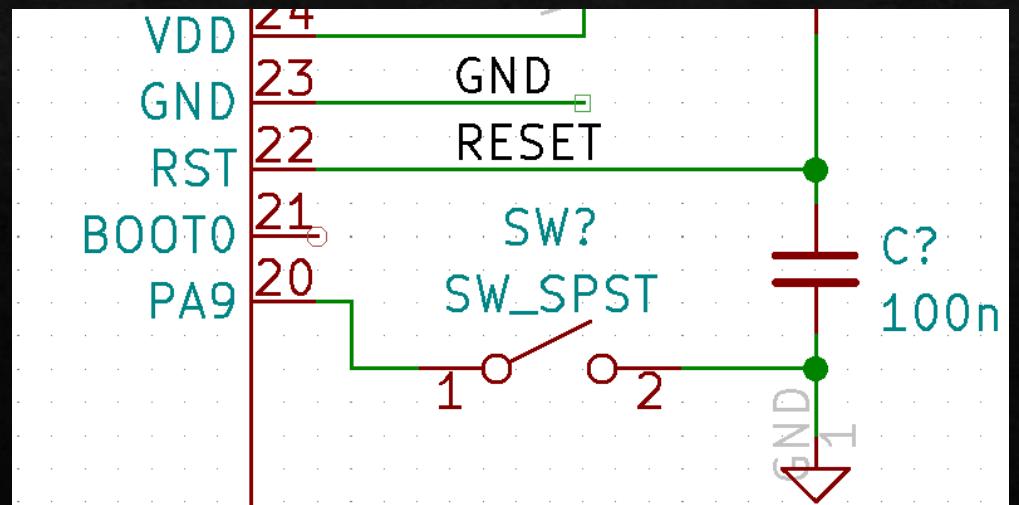
- ❖ Interruptores
 - ❖ Poles: Entradas
 - ❖ Throws: Salidas
 - ❖ DPDT: 2 entradas y 2 salidas
- ❖ Ejemplo interruptor pedal de guitarra
 - ❖ 3PDT



Entradas digitales

Botón para forzar el envío de un uplink (TEST)

- ❖ Cuando configuramos un pin del uC como **entrada digital**, el pin se coloca en un estado denominado de "**alta impedancia**". Esto quiere decir que el pin no permite el paso de corriente (para no interferir con el sensor conectado a él), pero sí puede detectar si la tensión que se está aplicando en él es 1 o 0.
- ❖ ¿Cómo conectaríamos un botón SPST a un uC?
 - ❖ ¿Qué valor se leería en PA9 al...
 - ❖ pulsar el botón?
 - ❖ despulsar el botón?



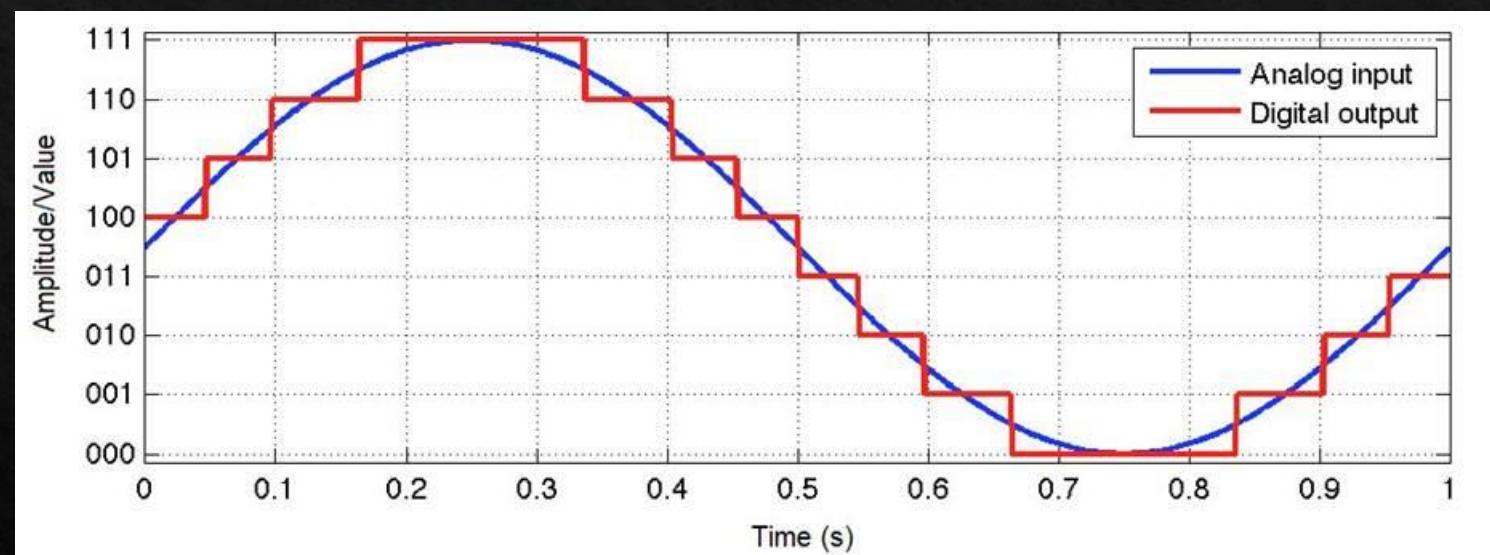
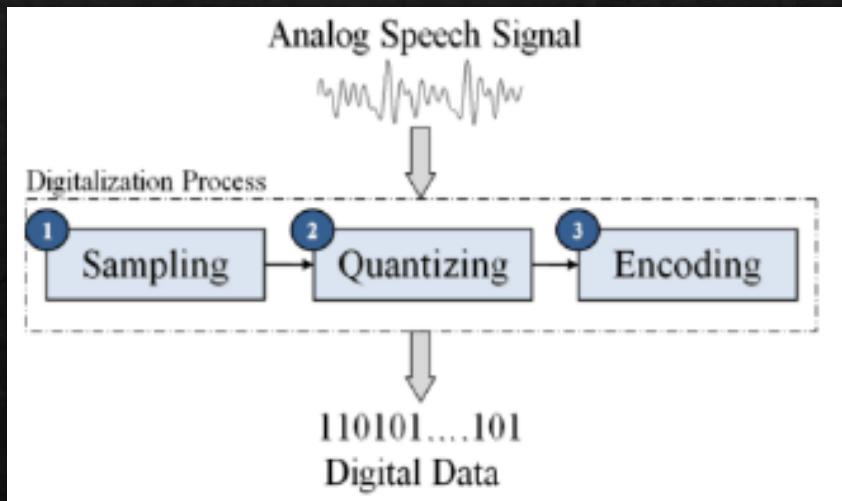
Resistencias pull-up y pull-down

- ❖ Para fijar el estado por defecto de un pin de entrada a 1 o 0 se puede utilizar una resistencia pull-up o pull-down, respectivamente.
- ❖ Generalmente estas resistencias son del orden de 10k.
- ❖ En el caso del STM32WLE5, cada pin tiene una pull-up y pull-down interna que podemos activar mediante software, por lo que no necesitamos añadir este componente externamente.

Entradas analógicas

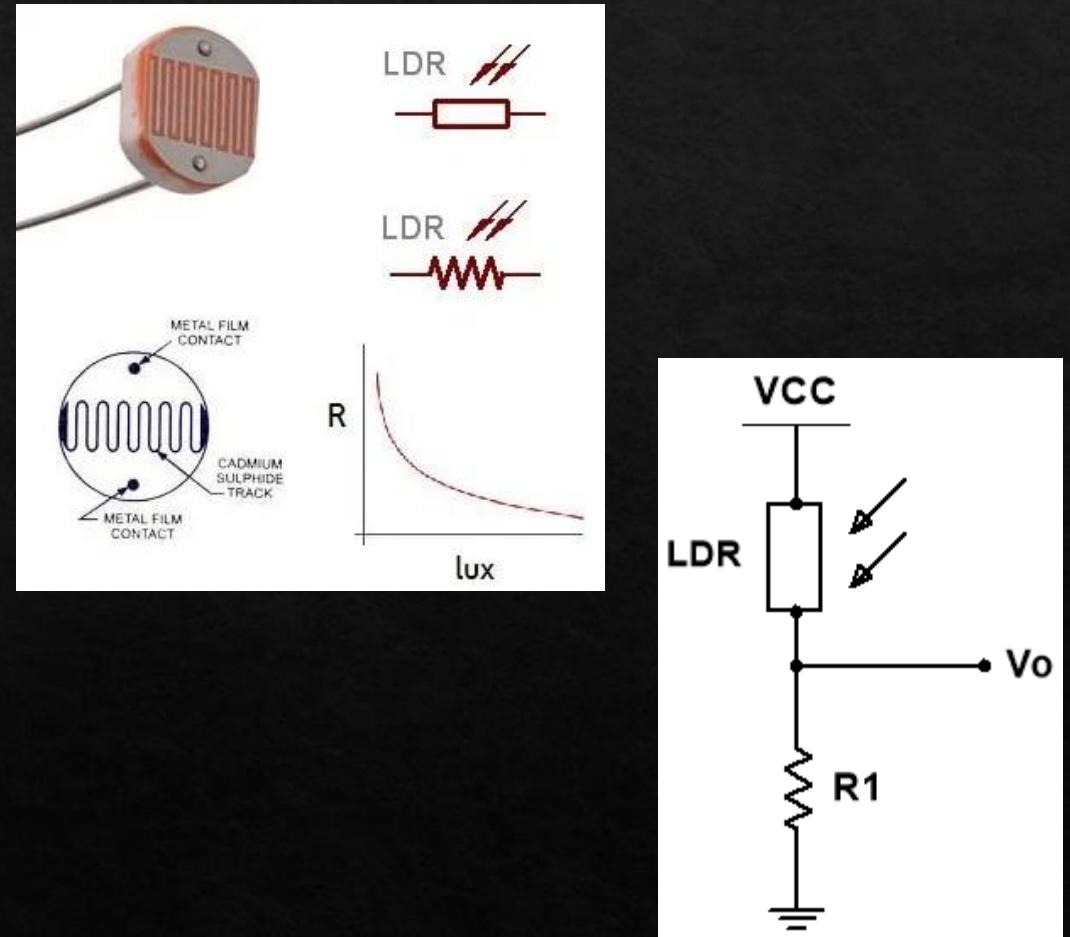
- ❖ **Digitalización:** Los uC utilizan un periférico llamado **ADC** (analog to digital converter) para convertir una señal analógica en un valor numérico.
- ❖ Podemos imaginar que el ADC utiliza una "**regla**" para medir la magnitud de la tensión, con las siguientes características:
 - ❖ Los extremos de la regla corresponden a las tensiones GND y, generalmente, VDD; un ADC no puede medir tensiones fuera del rango de alimentación del propio uC.
 - ❖ Algunos uC permiten establecer como extremo superior de la regla una tensión externa o interna distinta de VCC (se denominan referencias de tensión).
 - ❖ El número de divisiones que tiene la regla, su precisión, depende de la **resolución del ADC**; el ADC del STM32WLE5 tiene 12 bits de resolución, extensible a 16 bits; esto quiere decir que se puede distinguir entre 4096 o 65536 valores de tensión.

Digitalización



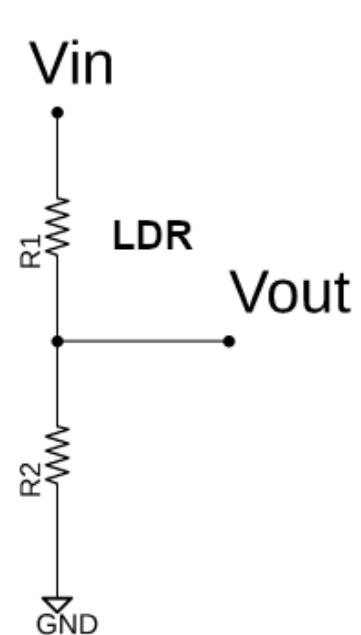
LDR

- ❖ Una LDR (light dependant resistor) es una resistencia cuyo valor varía de forma inversa a la intensidad de luz que incide sobre ella.
- ❖ Para poder medir la resistencia de una LDR (o la de cualquier otro sensor resistivo, como un termistor NTC) suele utilizarse un **divisor resistivo**.



El divisor resistivo 1/2

- ❖ ¿Cómo elegir la resistencia limitadora R2?
 - ❖ El LDR tendrá una resistencia máxima y mínima dentro del **intervalo que nos interese medir** (no es lo mismo un sensor crepuscular, que sirve para encender/apagar las farolas en cuanto empieza a faltar/sobrar la luz, que un sensor de cuarto oscuro que intenta detectar hasta la intrusión más tenue de luz).
 - ❖ Si R2 es muy pequeña respecto a los valores del LDR, Vout estará siempre muy próximo a 0.
 - ❖ Por el contrario, si R2 es muy grande respecto a los valores del LDR, Vout estará siempre muy próximo a Vin.
 - ❖ Estamos ante un **problema de optimización**.



Voltage/Potential Divider

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

El divisor resistivo 2/2

- ❖ Necesitamos que el rango de variación de V_{out} sea lo mayor posible para poder aprovechar al máximo las divisiones de la "regla" de nuestro ADC.
- ❖ Es decir, necesitamos calcular el extremo de la función V_{out} máxima - V_{out} mínima.
- ❖ Es un problema básico de derivación que se ha popularizado con el nombre de "fórmula de Axel-Benz".

$$R_{ref} = \sqrt{R_{min} * R_{max}}$$

Ejercicio

Elegir la resistencia limitadora de una LDR

1. Dada la LDR indicada, calcular la resistencia limitadora apropiada de la serie E24 para aprovechar al máximo su rango de medida entre 0 lux (1 Mohm) y 1000 lux (400 ohm).
2. ¿Cuáles serían los valores de Vout para estos extremos (0 lux y 1000 lux) si Vin = 3V?
3. ¿Qué valores leería para estos extremos un ADC de 16bits?
4. ¿Cuáles hubieran sido los valores de Vout para estos extremos con Vin = 3V pero usando una resistencia de 10 kohm?
5. ¿Y con 100 Kohm?

Electrical Characteristics						
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
Cell resistance	1000 LUX 10 LUX	-	400 9	-	Ohm K Ohm	
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm	
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF	
Rise Time	1000 LUX 10 LUX	-	2.8 18	-	ms ms	
Fall Time	1000 LUX 10 LUX	-	48 120	-	ms ms	
Voltage AC/DC Peak		-	-	320	V max	
Current		-	-	75	mA max	
				100	mW max	
				+75	Deg. C	

Lux level estimate

1	Twilight
5	Minimal street lighting
10	Sunset
50	Family living room
80	Hallway
100	Very dark overcast day
320–500	Office lighting
400	Sunrise/sunset
1000	Overcast day
10,000–25,000	Full daylight
32,000–130,000	Direct sunlight

Interpretation comparison

Source: Hawks (2012).

Solución

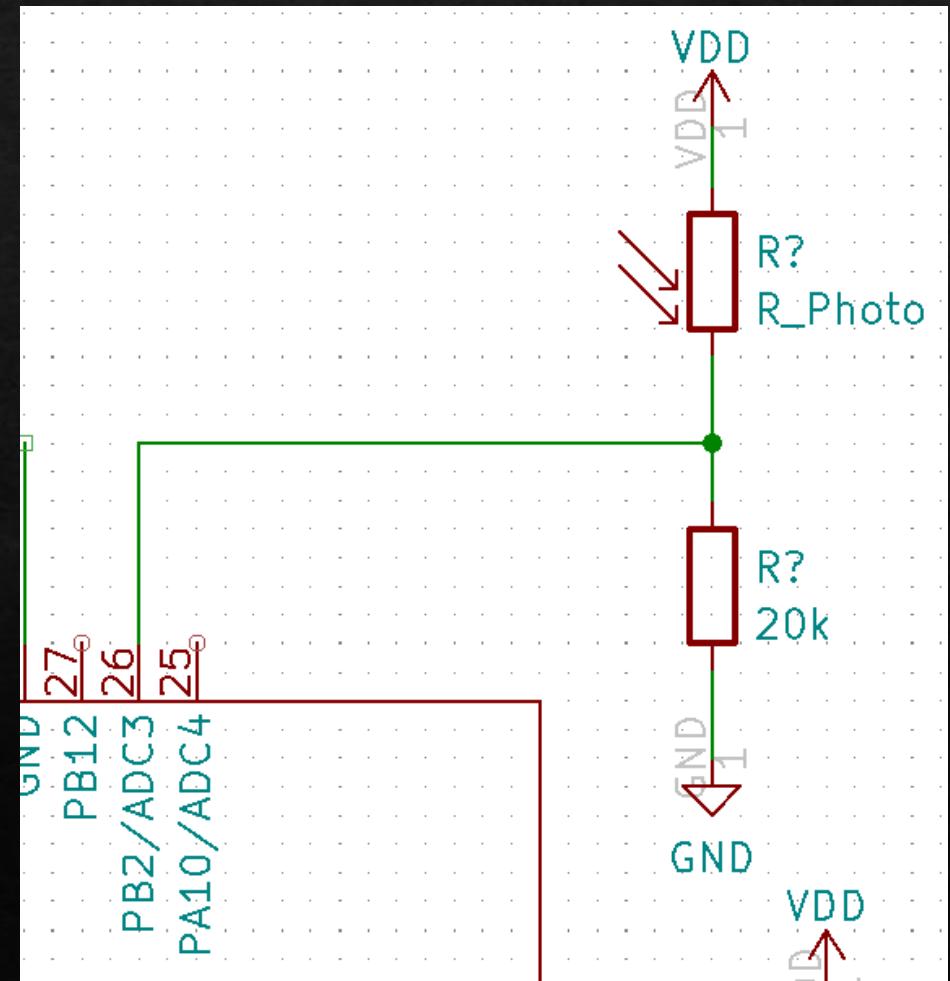
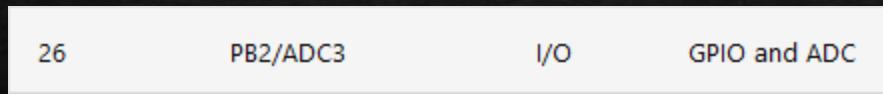
Elegir la resistencia limitadora de una LDR

1. $\sqrt{1000000 \times 400} = 20000 \text{ ohm}$
2. 0 lux = 0.06V; 1000 lux = 2.94V
 - ◊ Rango dinámico: 2.88V
3. 0 lux = 1311; 1000 lux = 64224
4. 0 lux = 0.03V; 1000 lux = 2.89V
 - ◊ Rango dinámico: 2.86V
5. 0 lux = 0.27V; 1000 lux = 2.98V
 - ◊ Rango dinámico: 2.71V

Electrical Characteristics						
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
Cell resistance	1000 LUX 10 LUX	-	400 9	-	Ohm K Ohm	
Dark Resistance	-	-	1	-	M Ohm	
Dark Capacitance	-	-	3.5	-	pF	
Rise Time	1000 LUX 10 LUX	-	2.8 18	-	ms ms	
Fall Time	1000 LUX 10 LUX	-	48 120	-	ms ms	
Voltage AC/DC Peak		-	-	320	V max	
Current		-	-	75	mA max	
Power Dissipation				100	mW max	
Operating Temperature		-60	-	+75	Deg. C	

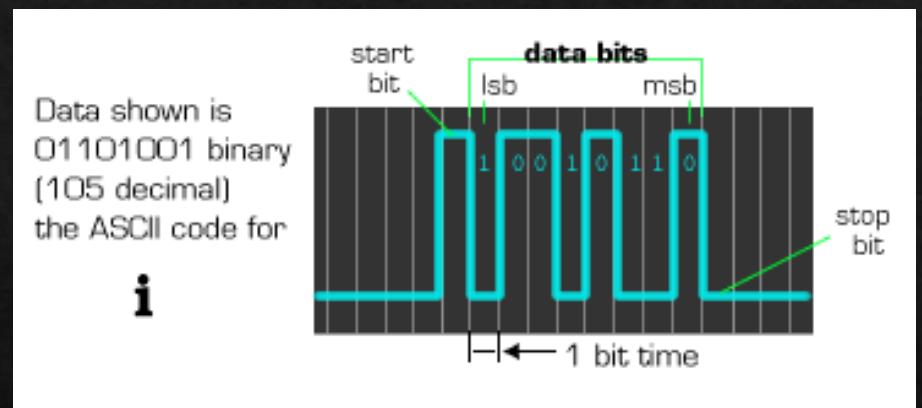
Conectar una LDR al RAK3172

- ◆ Tenemos que elegir un pin con funcionalidad de entrada analógica; por ejemplo el PB2



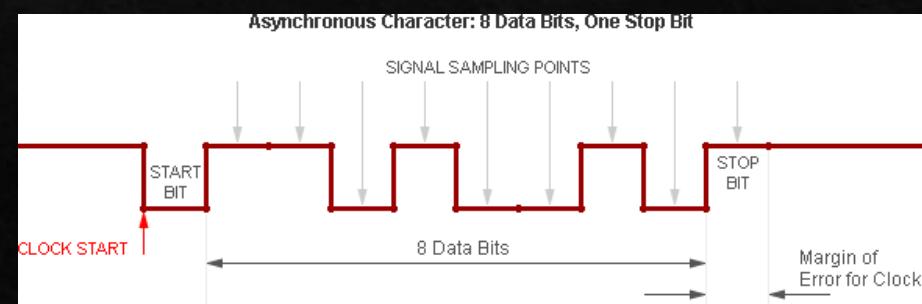
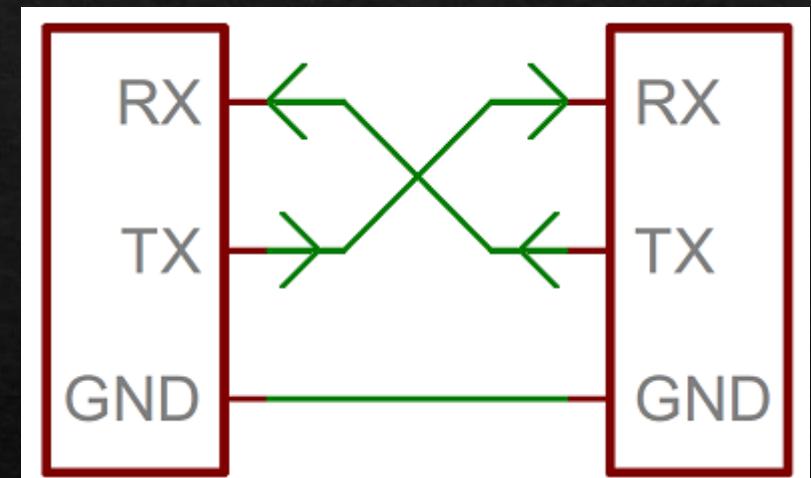
Sensores digitales con comunicación serie

- ❖ En una comunicación serie, el sensor envía el valor de la medida bit a bit, uno detrás de otro.
- ❖ Los protocolos serie más comunes en IoT son:
 - ❖ USART: Universal Synchronous/Asynchronous Serial Receiver → Lenta
 - ❖ I²C, IIC o TWI: Inter Integrated Circuit → Rápida
 - ❖ SPI: Serial Peripheral Interface → Muy rápida
- ❖ La mayoría de los uC incluyen periféricos para utilizar al menos estos protocolos, además de otros como CAN, USB...



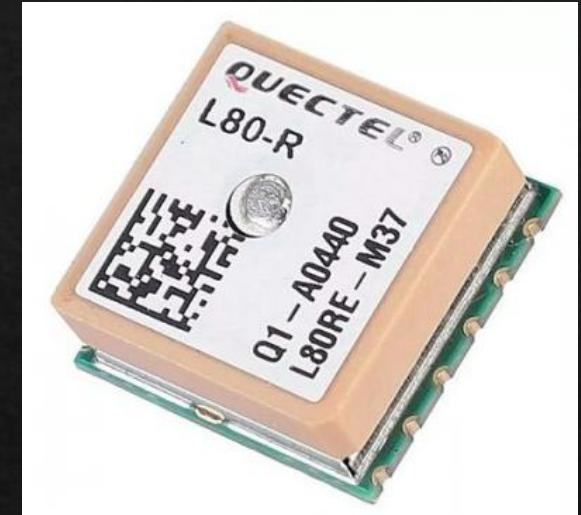
U[S]ART 1/2

- ❖ En IoT, la comunicación Serie más utilizada es de tipo UART (asíncrona) RS232, que se caracteriza por:
 - ❖ Se utilizan generalmente 2 pines: uno de transmisión TX y otro de recepción RX (full-dúplex). **El RX del uC debe conectarse al TX del sensor, y viceversa. No existe señal de reloj** (son comunicaciones asíncronas).
 - ❖ El sensor y el uC deben conocer a priori los detalles de la comunicación (velocidad, paridad...). Por ejemplo 9600/8N1, significa 9600 bps, 8 bits de datos, sin paridad (N) y 1 bit de parada (se utilizan 10 bits para codificar 8 bits; el bit de inicio en combinación con el de parada sirven para sincronizar la comunicación).
 - ❖ Son conexiones punto a punto (no puede haber varios dispositivos compartiendo los mismos pines, a diferencia de lo que ocurre en otros estándares como RS422 y RS485).



U[S]ART 2/2

- ❖ Los principales sensores UART son:
- ❖ GPS
- ❖ Módulos de comunicaciones (WiFi, Bluetooth, LTE...) que se controlan con comandos AT



GPS Quectel L80

- ❖ Para que entre en modo de bajo consumo tenemos que interrumpirle la alimentación



3.4.3. Backup Mode

Backup mode consumes lower power than standby mode. In this mode, only the backup supply V_BCKP is powered on while the main supply VCC is switched off by host or the TIMER signal of L80. In order to enter into backup mode autonomously via the TIMER pin, an external switch circuit is necessary. The following figure has shown a typical reference design about the switch circuit for TIMER.

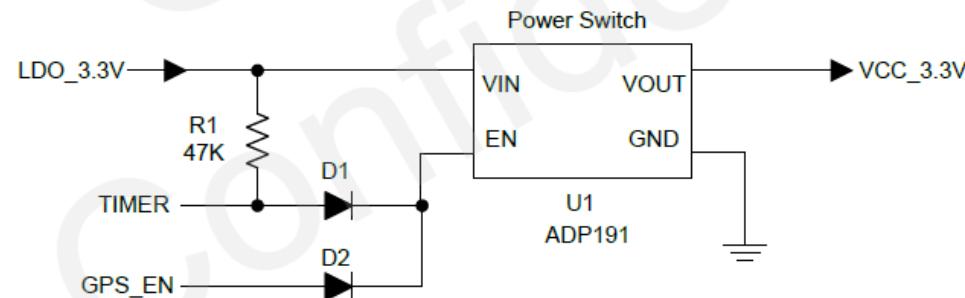
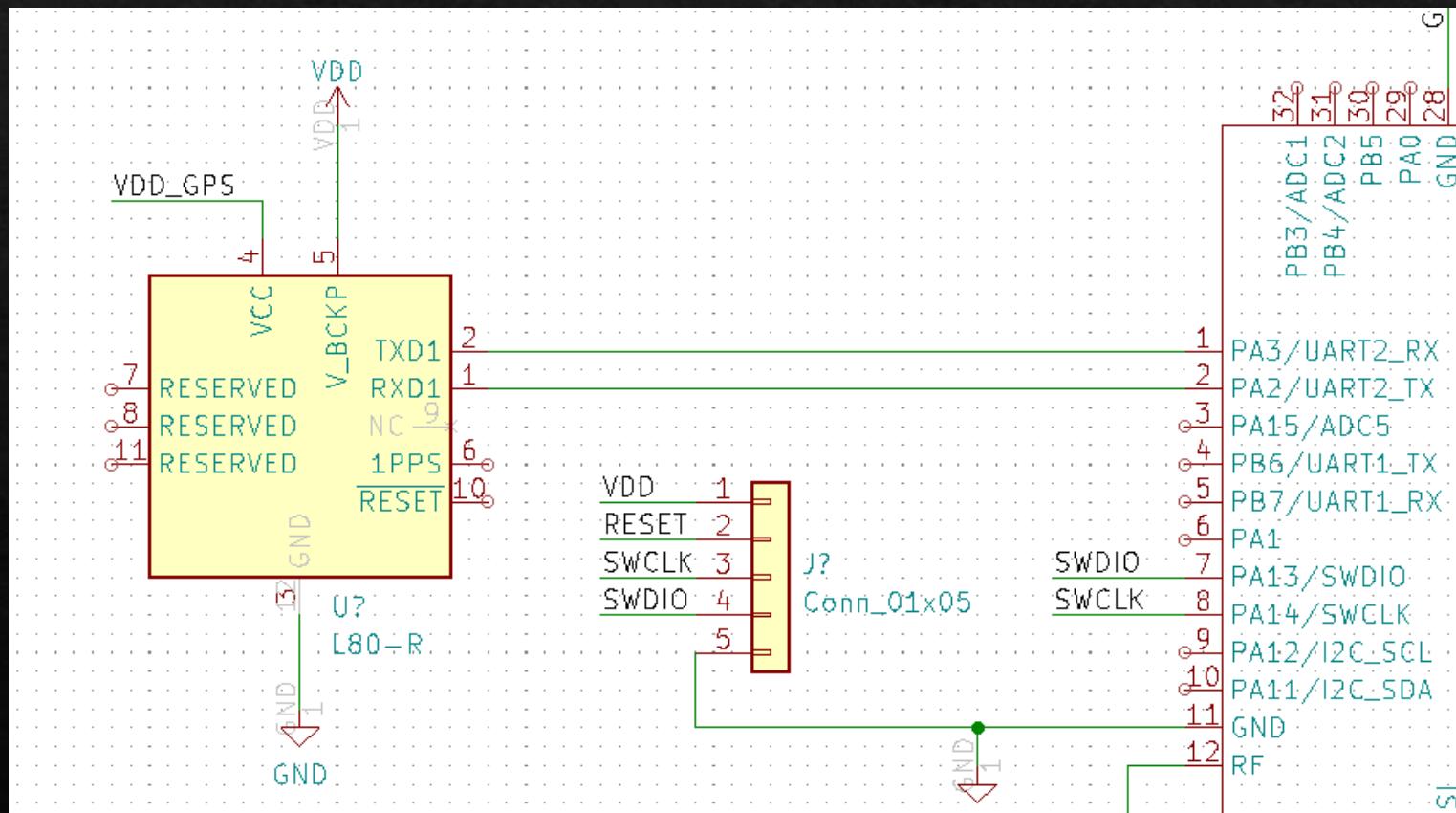


Figure 6: The External Switch Circuit for TIMER

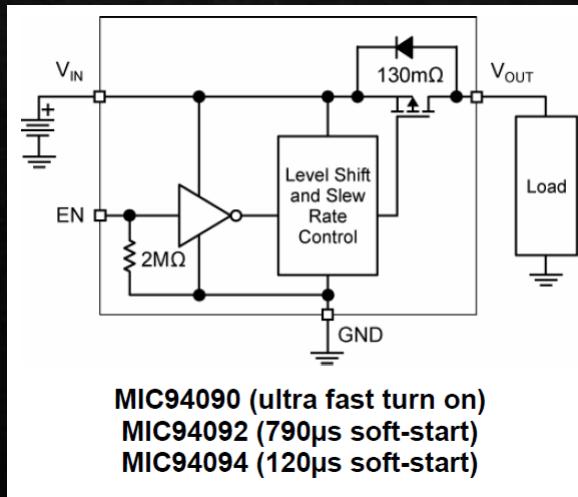
Conectar un GPS L80 al RAK3172 1/2

- ◆ Tenemos que elegir una de las UART: UART2

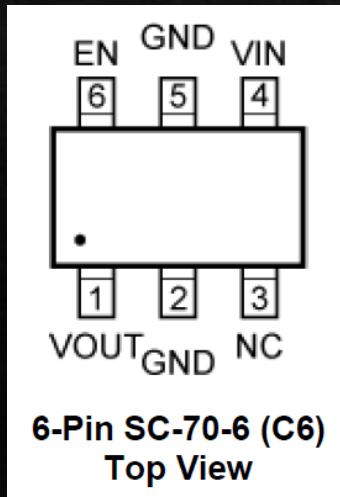


Conectar un GPS L80 al RAK3172 1/2

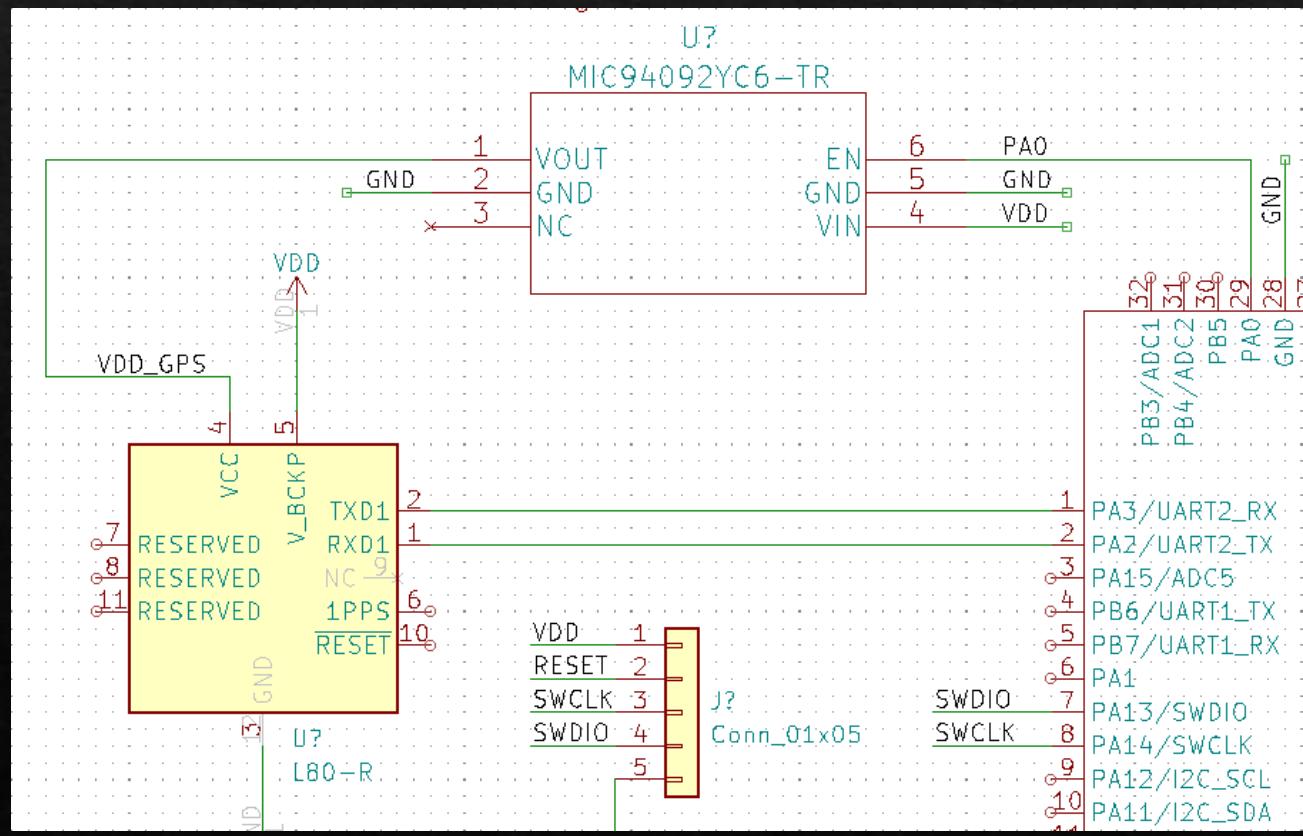
- ❖ Tenemos que usar un interruptor de carga para desconectar el GPS: MIC94092
- ❖ Y un pin para habilitarlo: PA0
- ❖ ¿Dónde obtener componentes?
 - ❖ SnapEDA
 - ❖ UltraLibrarian



MIC94090 (ultra fast turn on)
MIC94092 (790µs soft-start)
MIC94094 (120µs soft-start)



6-Pin SC-70-6 (C6)
Top View



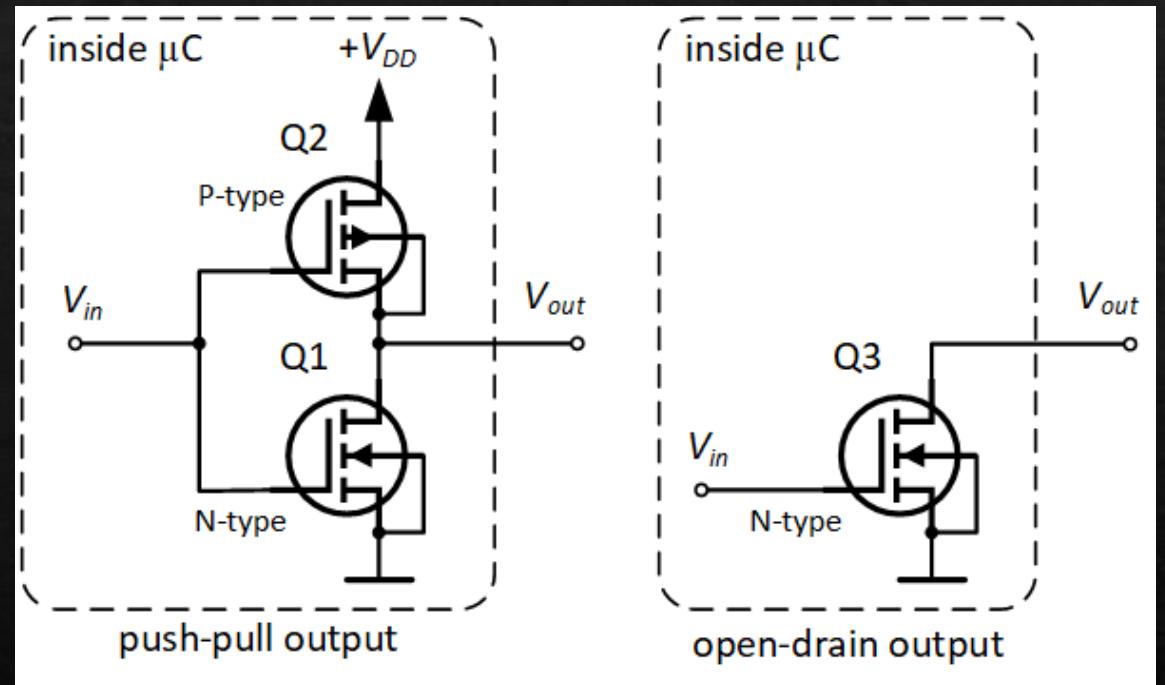
Salidas push-pull y open drain

Las salidas de los uC y de los sensores pueden ser de 2 tipos:

- ❖ push-pull: La salida puede ponerse a 0 o 1
- ❖ open drain: La salida puede ponerse en alta impedancia o en 0. Requiere siempre una resistencia pull-up.

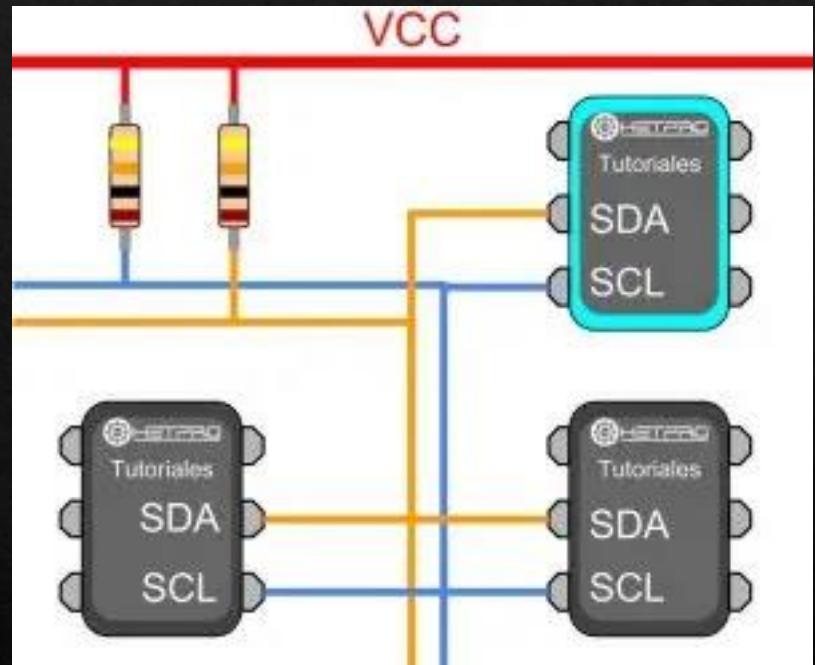
Las salidas open drain se utilizan:

- ❖ Para manejar tensiones mayores que la de alimentación del uC.
- ❖ Para interconectar varias salidas que actúen conjuntamente con lógica OR (cualquiera puede poner la salida a 1).



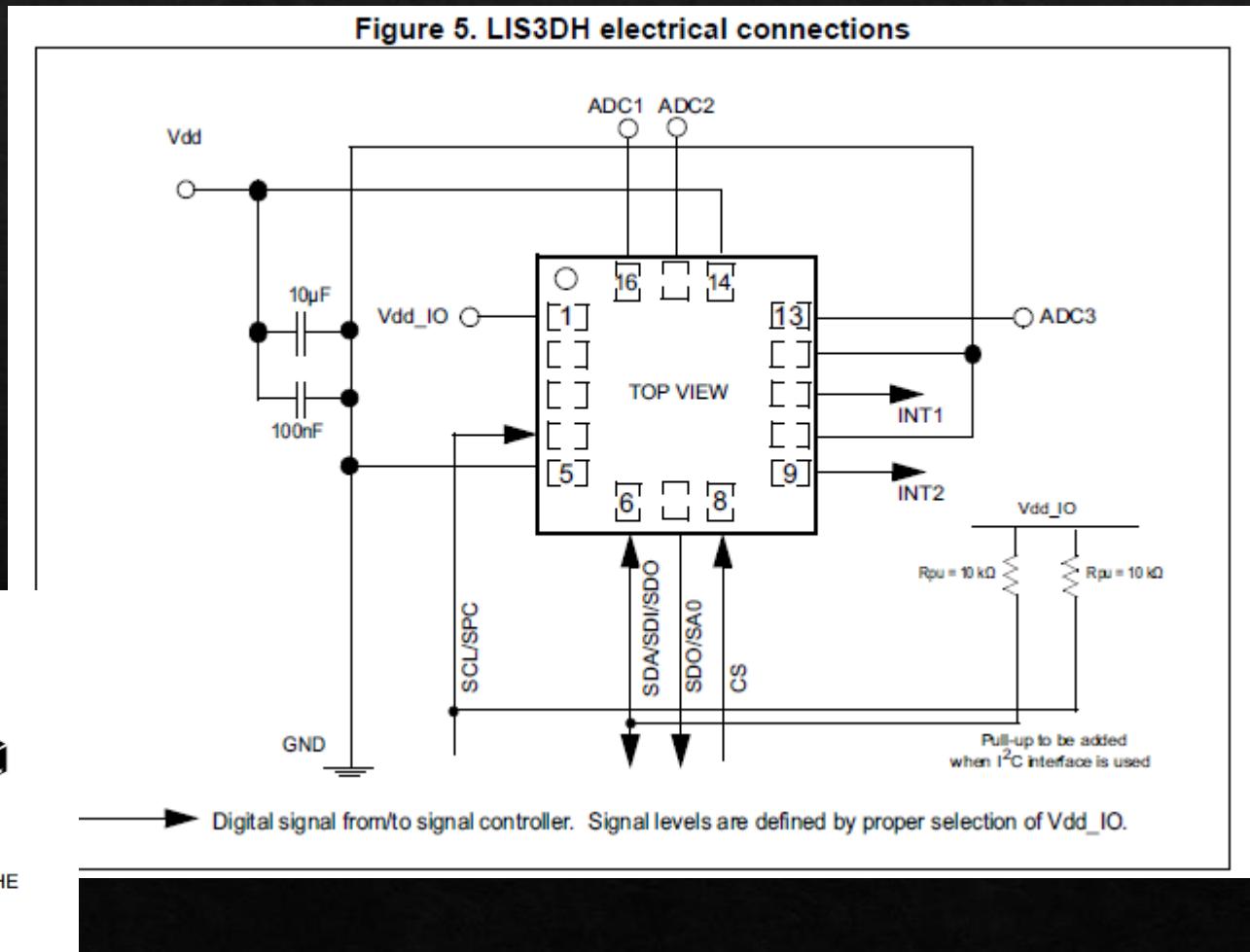
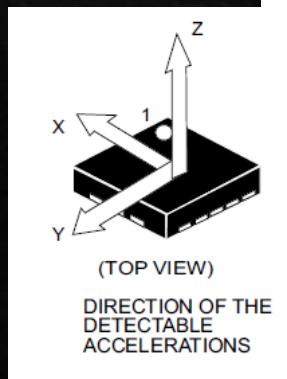
I²C

- ❖ Comunicación Maestro - Esclavo
 - ❖ El maestro controla el reloj
 - ❖ La comunicación siempre la inicia el maestro
- ❖ Dos líneas open drain:
 - ❖ SDA: Datos
 - ❖ SCL: Reloj
- ❖ Cada línea requiere una resistencia pull-up (típicamente entre 2.2k y 10 k)
- ❖ Hasta 127 esclavos en el mismo bus
 - ❖ Cada esclavo tiene una dirección de 7 bits
- ❖ Puede haber varios maestros en el bus



Acelerómetro LIS3DH

- ❖ Consumo en low power mode:
2uA
- ❖ Tiene 2 salidas de interrupción
 - ❖ Free fall
 - ❖ Motion detection
- ❖ El pin 8 puesto a 1 establece el modo I²C

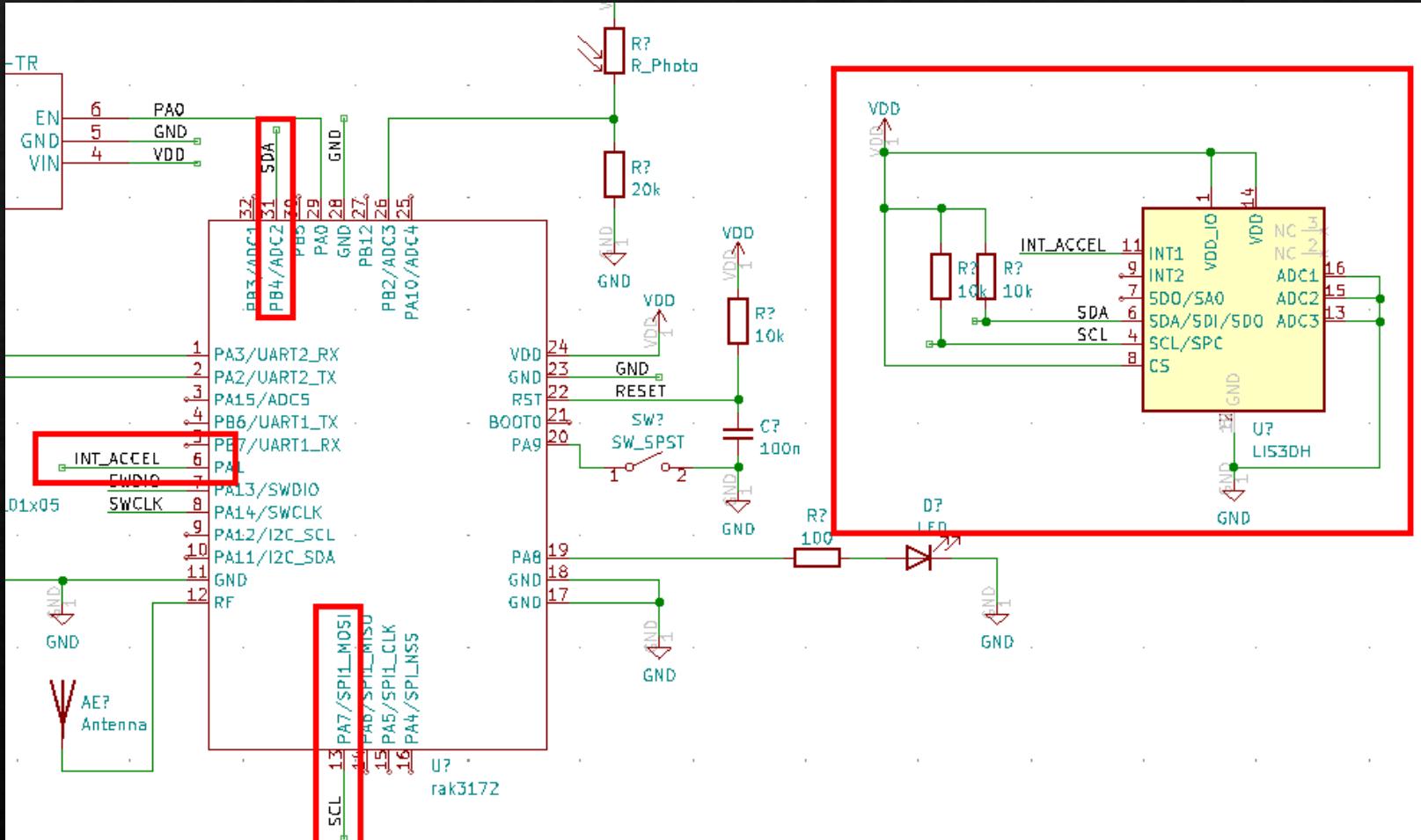


Conectar un LIS3DH al RAK3172 (1/2)

- ❖ El RAK3172 posee 3 interfaces I2C. Elegimos la I2C3 porque las otras 2 tienen un bug en MbedOS que impide que el sistema entre en modo de sueño profundo:
 - ❖ SDA: PB4
 - ❖ SCL: PA7
- ❖ Vamos a conectar uno de los pines de interrupción del LIS3D al pin PA1

```
c PeripheralPins.c x
09 //---- I2C ----
10
11 MBED_WEAK const PinMap PinMap_I2C_SDA[] = {
12     {PA_10,      I2C_1, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C1)},
13     {PA_11,      I2C_2, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C2)},
14     {PA_15,      I2C_2, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C2)},
15     {PB_4,       I2C_3, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C3)},
16     {PB_7,       I2C_1, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C1)},
17     {NC, NC, 0}
18 };
19
20 MBED_WEAK const PinMap PinMap_I2C_SCL[] = {
21     {PA_7,       I2C_3, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C3)},
22     {PA_9,       I2C_1, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C1)},
23     {PA_12,      I2C_2, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C2)},
24     {PB_6,       I2C_1, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C1)},
25     {PB_8,       I2C_1, STM_PIN_DATA(STM_MODE_AF_OD, GPIO_NOPULL, GPIO_AF4_I2C1)},
26     {NC, NC, 0}
27 };
28
29
```

Conectar un LIS3DH al RAK3172 (2/2)



El módulo HTU21D

- ❖ Es un sensor de temperatura y humedad I2C
- ❖ Calibrado
- ❖ Económico
- ❖ Ya incluye las pull-up de la líneas SDA y SCL
- ❖ En modo deep sleep consume menos de 1 uA
- ❖ ¿Qué pasa con las pull-ups del acelerómetro si queremos añadir este módulo?
 - ❖ Podemos hacerlas opcionales mediante un **solder jumper**.



Two resistors in parallel

$$R_{\text{total}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Añadir un módulo HTU21D al RAK3172

