

Laboratorio #2: GPIOs, Timers y FSM

Adrián Avilés Flores, B80835 y Steven Mora Barboza, B95109

I. INTRODUCCIÓN

En este laboratorio se llevará a cabo la elaboración del juego Simón dice, donde se utilizarán LEDs, botones y un MCU Attiny4313 para el funcionamiento del juego. Para iniciar el juego el usuario debe pulsar cualquier botón, se encienden todos los LEDs 2 veces y enseguida empezará el juego, donde la secuencia iniciará con cuatro LEDs, y cada vez que se aumente de nivel, se añadirá un LED más de forma aleatoria. Para hacer esto posible, se utilizarán interrupciones que dependen del correcto uso de los registros GIMSK y PCMSK, el manejo correcto de GPIOs, DDRx, PORTxn, PINxn, el Timer0 como contador de 8 bits para disminuir la cantidad de tiempo de encendido de los LEDs y para la obtención de números aleatorios se usará LFSR (Linear-feedback shift register) para que los LEDs sean encendidos de forma aleatoria,. Finalmente, se demostrará que el diseño y programación del circuito ejecuta de forma exitosa el comportamiento del juego.

II. NOTA TEÓRICA

II-A. ATtiny4313

El ATtiny4313 es un microcontrolador compuesto de 20 pines, donde 1 de ellos es para la alimentación, otro es un contacto a tierra y uno que funciona como RESET (este no se usará). El resto de pines son para inputs/outputs e interrupciones. En la siguiente figura se muestra la distribución de los pines mencionados:

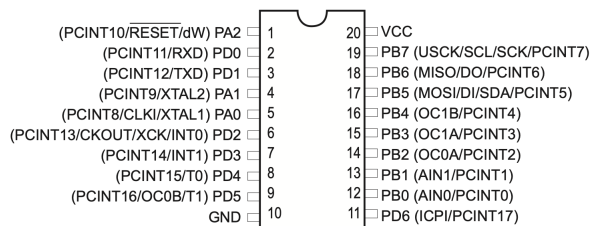


Figura 1. Diagrama de pines ATtiny4313 [1].

Entre las principales características de este MCU es que es de 8 bits, con arquitectura avanzada RISC, con una memoria programable flash de 4K bytes, 256 bytes en la EEPROM, y 256 bytes en la SRAM interna, además, cuenta con un timer/contador de 8 y 16 bits, un watchdog timer programable, uso de poca energía en el reposo, fuentes de interrupción externas e internas, 18 líneas input/output programables, y sistema de interrupciones.

A continuación el diagrama de bloques del MCU:

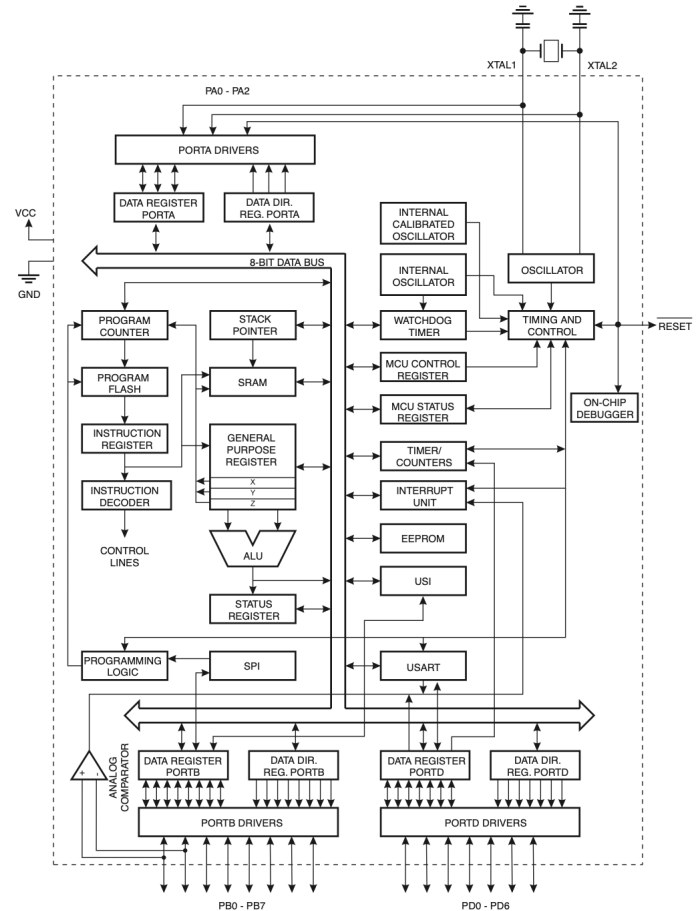


Figura 2. Diagrama de bloques del ATtiny4313 [1].

Debido que no se cuenta con una unidad de RNG, se optó por utilizar LFSR (Linear-feedback shift register) para la elaboración de números aleatorios necesitados en el laboratorio.

22.1 Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except RESET with respect to Ground	-0.5V to V _{CC} +0.5V
Voltage on RESET with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V _{CC} and GND Pins	200.0 mA

Figura 3. Especificaciones eléctricas del ATtiny4313 [1].

Además, es importante tener en cuenta las especificaciones eléctricas mostradas en la Figura 3, donde se puede observar que la tensión máxima de operación es de 6 V y la corriente

máxima por pin input/output es de 40 mA, esto se tomará en cuenta con la elaboración del circuito según los valores de resistencias y fuentes.

II-B. Periféricos utilizados

II-B1. Registro DDRX: A este registro le pertenece el bit DDxn, el cual si se establece en 1 se configura como una salida y 0 para una entrada, en el caso de este laboratorio se configuró como DDRB = 0b00011000; para tener PB4, PB3 como salidas y PB0 como entrada y DDRD = 0b00000011 para tener PD6, PD3 y PD2 como entradas y PD1, PD0 como salidas.

II-B2. Registro PORTx: A este registro le pertenece el bit PORTxn, el cual al ser configurado como una entrada un 1 activa la resistencia pull-up, y para apagar la resistencia se debe configurar el pin DDx como salida. En este caso los PORTxn que se configuran como salida, se pone un 1 lógico para ponerlo en alto y un 0 lógicos en el pin se pone en bajo.

II-B3. GIMSK: El general interrupt mask register (GIMSK), es un registro usado para activar o desactivar diferentes tipos de interrupciones, este posee 2 tipos de bits:

INT1: activa o desactiva la interrupción externa de INT.

PCIE: Activa o desactiva el pin de interrupción de cambio.

En el caso de este programa, los PCIE habilitados son el PCIE2 y el PCIE0, los cuales son activados por PD6 y PB0 respectivamente. Los INT habilitados sería el INT1 e INT0 que corresponden a los activados por PD3 y PD2 respectivamente.

II-B4. Registro PCMSK: El registro PCMSK se usa para habilitar la interrupción de cambio de pin, en este caso en el pin PB0 (bit 0), y el registro PCMSK2 se usa para habilitar la interrupción de cambio de pin en el pin PD6 (bit 6). Cuando se configuran los registros PCMSK y PCMSK2, el microcontrolador generará una interrupción cuando haya un cambio en los pines PB0 y PD6, de esta manera el código puede detectar cuándo el usuario presiona un botón y mantener el juego en ejecución sin desperdiciar potencia de procesamiento. Es importante tener en cuenta que para que PCMSK y PCMSK2 funcionen, el bit PCIE del registro GIMSK debe establecerse en 1.

II-C. Interrupciones

En lugar de hacer polling (consultar el estado de un periférico por medio de software), se puede usar las interrupciones, las cuales permiten que sea el periférico si existe una nueva disposición de datos. Estas son una notificación que se envía al CPU cuando un evento sucede, estas pueden ser disparadas por eventos, periféricos, ADC, timers, software, Input/outputs, entre otros.

Estas tienen como características, que cuando se disparan, el programa se detiene y guarda su estado, el procesador revisa los vectores de interrupción y se ejecuta su ISR (interrupt service routine), y el programa continúa su ejecución.

II-D. Timers

Los timers o counters permiten medir un intervalo de tiempo o contar eventos, de los cuales puede generar interrupciones según su uso. En el caso de este laboratorio, se usará la interrupción de Overflow para el Timer0 para poder contar los tiempos de encendido de los LEDs, de forma que en el primer nivel cada LED se ilumine 2 segundos y cada nivel nuevo dura 200 milisegundos menos.

El reloj elegido para el MCU corresponde a uno de 8MHz con un prescaler de 64 (configuración realizada a través de los registros TCCR0A y TCCR0B), mediante esta frecuencia se va a tener un tiempo de 2 ms en el momento en que el Timer0 llega a una cuenta de 255 y ocurre un Overflow. De esta forma el programa se aprovecha de contar la cantidad de Overflows que suceden desde un momento específico para llevar la cuenta del tiempo.

Dentro del código, la función `ovf_wait()` se usa para controlar el tiempo que los LEDs permanecen encendidos durante el juego, esta toma una entrada de `'times_2ms'` que representa la cantidad de retrasos de 2 ms que la función debe esperar antes de apagar los LED (cantidad de Overflows). La entrada `'times_2ms'` se establece inicialmente en 1000 (mediante otra variable llamada `led_time`) para que los LEDs permanezcan encendidos durante 2 segundos al comienzo del juego (ya que al realizar el cálculo correspondiente: $2ms * 1000 = 2s$). Cada vez que el usuario alcanza un nuevo nivel, el `led_time` se reduce en 200 ms. Esto se hace simplemente reduciendo la variable `led_time` en 200 ms ($2ms * 100 = 200ms$), lo que hace que el juego sea más desafiante. Dentro de la función `show_seq()` se llama a la función `ovf_wait()`, para esperar el tiempo calculado en `led_time` antes de apagar los LEDs, que será el tiempo que el usuario tiene para memorizar la secuencia.

II-E. Diseño del circuito

En la siguiente figura, se puede observar el diseño del circuito implementado para el juego de Simon Dice.

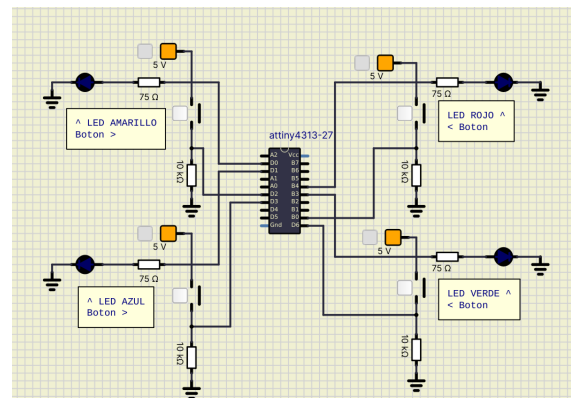


Figura 4. Esquemático del circuito completo.

Primeramente se puede apreciar el MCU ATtiny4313 en el centro del circuito, este es el cerebro del circuito, y se encarga de ejecutar las secuencias lógicas programadas, luego, en los extremos están los diodos LED conectados a sus respectivas tierras, estos son los encargados en encenderse y mostrar la secuencia del juego, al lado de ellos, están las resistencias, las cuales tienen un valor de $75\ \Omega$, esto debido a que al calcular con la ley de ohm, la corriente que pasaría por cada diodo LED sería de 22.49 mA, y al tomar en cuenta que la corriente máxima permitida por los diodos es de 30 mA, nos indica que el diodo está en un rango de seguridad donde se enciende lo suficiente, pero sin peligro de quemarse.

Ahora bien, además se puede apreciar que la forma en la que se estructuró los botones es en configuración pull-down lo cual dice que el estado es en bajo hasta que ocurre un evento que lo pone en alto y el estado lógico del pin es 0 hasta que el botón se presiona.

A continuación la lista de componentes utilizados con sus respectivos precios en dólares:

Componente	Cantidad	Precio \$
ATtiny4313	1	8
Diodo LED	4	3
Botón	4	12
Resistor 75	4	2
Resistor 10k	4	3

TABLA I

TABLA DE COMPONENTES Y SUS PRECIOS

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El software implementado en el ATtiny4313 y el hardware adicional fue diseñado para que todos los LEDs inicien apagados, el programa estará constantemente evaluando si algún botón es activado por medio de las interrupciones, una vez que se active, el programa dejará de estar en estado IDLE y empezará con parpadear dos veces los diodos LED para indicar el comienzo del juego, este comienzo donde todos los LED parpadearán se puede ver reflejado en la siguiente figura:

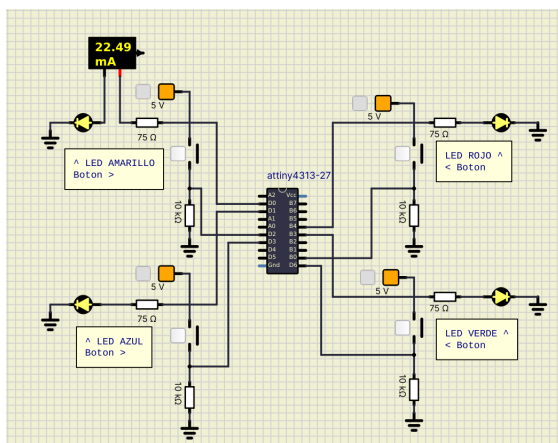


Figura 5. Prueba de corriente en un diodo LED.

Además, se puede comprobar que la corriente que pasa a través del diodo LED es 22.49 mA, cumpliendo lo que en la nota teórica dice, y así, al aplicarse la misma física en los

demás diodos LED, no hace falta hacer la prueba en cada uno, por lo que la corriente es de 22.49 mA para cada uno. Por otro lado, el resistor de $10\ k\ \Omega$ se debe a que este limita la corriente que pasa por esa rama, y provoca que la resistencia dentro del botón sea despreciable, y así no se le resta tensión a la entrada del GPIO y así se pueda enviar una señal muy estable de 5V al input pin correspondiente.

Para observar la funcionalidad del programa, de forma clara y breve se presenta el siguiente diagrama de flujo:

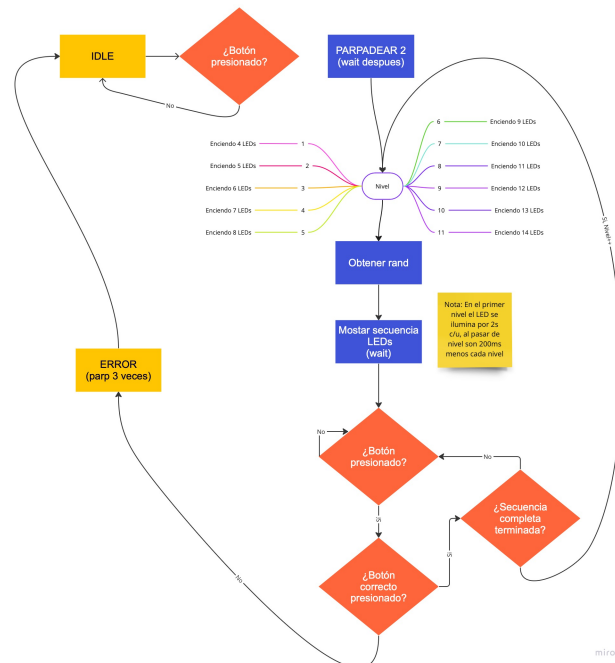


Figura 6. Diagrama de flujo del funcionamiento del programa

Cabe destacar que por cada nivel superado, el tiempo de iluminado de cada diodo LED es de 200 milisegundos menos, permitiendo que la dificultad sea mayor conforme se avanza de nivel. De esta forma se puede comprobar la funcionalidad de la lógica para el tiempo de espera que se implementó mediante el Timer0 y que es descrita en la nota teórica de este documento.

IV. CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos, se logró hacer un manejo correcto de el uso de las interrupciones debido a que funcionan como se espera.
- Las interrupciones son sumamente importantes para que en lugar de que el CPU esté constantemente consultando por software el estado de un botón, sea mas bien el botón el que informe al CPU cuando ocurre un evento.
- El control de las corrientes y tensiones aplicadas a los dispositivos se aplicó de manera exitosa haciendo los botones y diodos LED funcionar sin ningún problema, siempre teniendo en cuenta sus valores máximos de corriente y tensión.
- Utilizar LFSR (Linear-feedback shift register) puede resultar muy útil para encontrar números pseudo

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 120 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
- Data and Non-volatile Program and Data Memories
 - 2/4K Bytes of In-System Self Programmable Flash
 - Endurance 10,000 Write/Erase Cycles
 - 128/256 Bytes In-System Programmable EEPROM
 - Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
 - 128/256 Bytes Internal SRAM
 - Programming Lock for Flash Program and EEPROM Data Security
- Peripheral Features
 - One 8-bit Timer/Counter with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare and Capture Modes
 - Four PWM Channels
 - On-chip Analog Comparator
 - Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
 - USI – Universal Serial Interface
 - Full Duplex USART
- Special Microcontroller Features
 - debugWIRE On-chip Debugging
 - In-System Programmable via SPI Port
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Low-power Idle, Power-down, and Standby Modes
 - Enhanced Power-on Reset Circuit
 - Programmable Brown-out Detection Circuit
 - Internal Calibrated Oscillator
- I/O and Packages
 - 18 Programmable I/O Lines
 - 20-pin PDIP, 20-pin SOIC, 20-pad MLF/VQFN
- Operating Voltage
 - 1.8 – 5.5V
- Speed Grades
 - 0 – 4 MHz @ 1.8 – 5.5V
 - 0 – 10 MHz @ 2.7 – 5.5V
 - 0 – 20 MHz @ 4.5 – 5.5V
- Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C
- Low Power Consumption
 - Active Mode
 - 190 µA at 1.8V and 1MHz
 - Idle Mode
 - 24 µA at 1.8V and 1MHz
 - Power-down Mode
 - 0.1 µA at 1.8V and +25°C



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 2/4K Bytes
In-System
Programmable
Flash

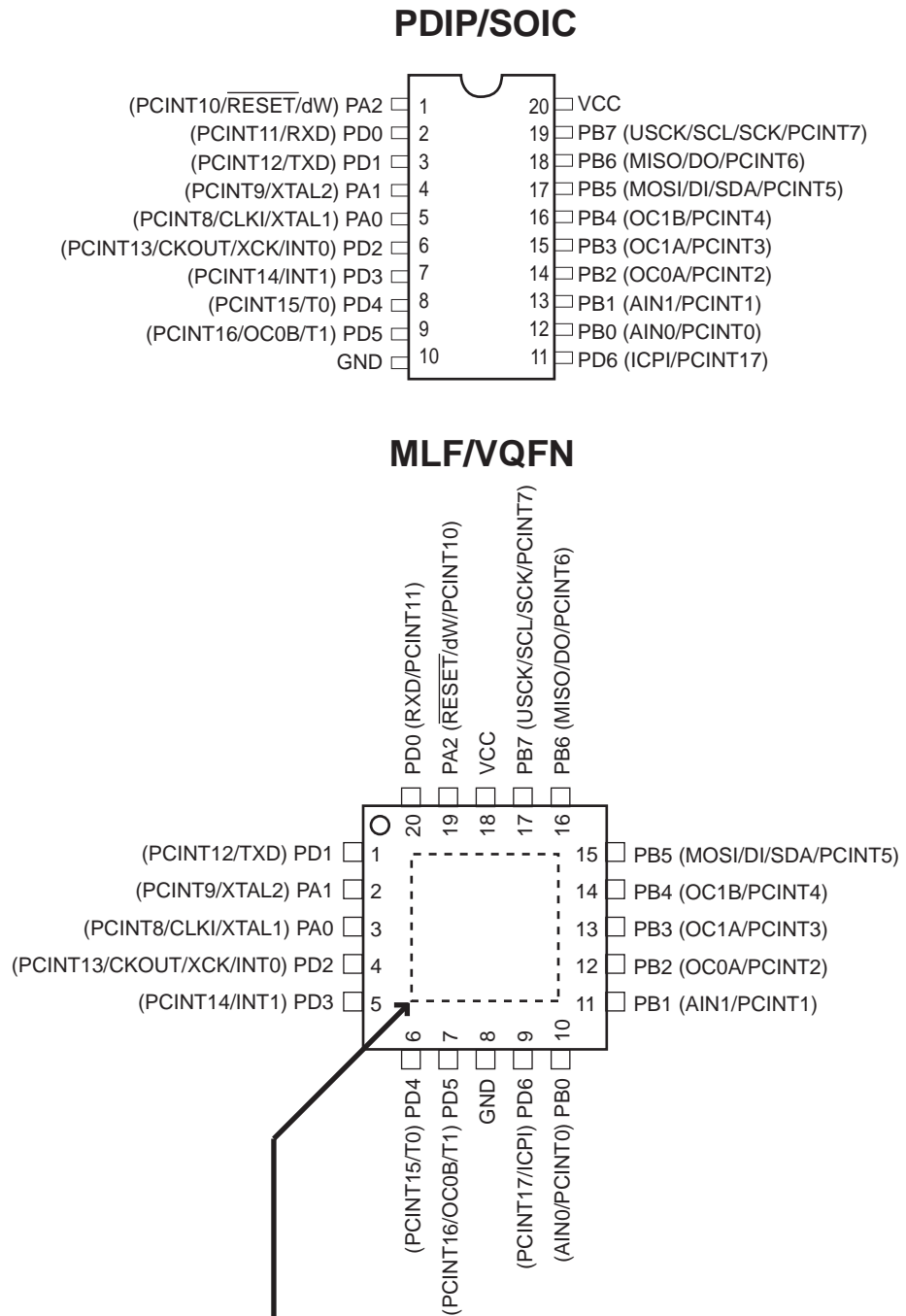
ATtiny2313A
ATtiny4313

Rev. 8246B-AVR-09/11



1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATtiny2313A/4313



1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port A (PA2..PA0)

Port A is a 3-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability, except PA2 which has the $\overline{\text{RESET}}$ capability. To use pin PA2 as I/O pin, instead of RESET pin, program ("0") RSTDISBL fuse. As inputs, Port A pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port A also serves the functions of various special features of the ATtiny2313A/4313 as listed on [page 62](#).

1.1.4 Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATtiny2313A/4313 as listed on [page 63](#).

1.1.5 Port D (PD6..PD0)

Port D is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATtiny2313A/4313 as listed on [page 67](#).

1.1.6 $\overline{\text{RESET}}$

Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running and provided that the reset pin has not been disabled. The minimum pulse length is given in [Table 22-3 on page 201](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset. The Reset Input is an alternate function for PA2 and dW.

The reset pin can also be used as a (weak) I/O pin.

1.1.7 XTAL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit. XTAL1 is an alternate function for PA0.



1.1.8 XTAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier. XTAL2 is an alternate function for PA1.



aleatorios para aplicaciones como esta.

2. Overview

El repositorio con el desarrollo de este laboratorio se encuentra en: <https://github.com/StevenImb/Lab-Microcontroladores/tree/Lab2>

The ATTiny2313A/4313 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATTiny2313A/4313 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

REFERENCIAS

- [1] Microchip, 8-bit microcontroller with 2/4k bytes in-system programmable flash, <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc8246.pdf>

2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram

