

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Eléctrica

IE0624 - Laboratorio de Microcontroladores

II ciclo 2024

Reporte Lab 2

Prof. MSc. Marco Villalta Fallas

Paulette Perez Monge B95916

Joselyn Barquero Castillo B88858

18 de septiembre de 2024

Índice

1. Introducción	1
2. Nota teórica	1
2.1. Periféricos	4
2.2. Registros	4
2.3. Componentes	6
2.4. Lista de componentes y precios	6
3. Diseño del circuito	6
3.1. Resultados	8
4. Conclusiones	12
A. Anexo a: Hoja de datos del ATtiny4313 [1]	14
B. Anexo b: Hoja de datos del capacitor $1\mu F$	14

1. Introducción

El presente laboratorio tiene como objetivo la implementación del microcontrolador ATtiny4313 para desarrollar un juego de memoria conocido como *Simón dice*. Para llevar a cabo el laboratorio es necesario el estudio de GPIOs, FSM, interrupciones y timers, así como la hoja de datos del microcontrolador.

El diseño consiste principalmente de 4 botones y 4 LEDs de colores, y su funcionalidad debe seguir una serie de pasos. Primero, se comienza el juego presionando cualquier botón, seguido se muestra la secuencia a memorizar a partir del encendido de los LEDs y luego la persona usuaria debe presionar los botones siguiendo la secuencia. En el caso que la secuencia fuese correcta el juego continúa y se aumenta la dificultad, es decir, las secuencias serán más largas y los tiempos de encendido de los LEDs más cortos. Caso contrario, el juego se reinicia con el parpadeo de todos los LEDs.

GitHub/Avances se encuentran en el siguiente link: <https://github.com/marpermon/LabMicros> desde el 5 de septiembre.

Se logró un funcionamiento adecuado del juego y una compensación exitosa del rebote

2. Nota teórica

El ATtiny4313 es un microcontrolador AVR de 8 bits con arquitectura RISC, diseñado para ofrecer alto rendimiento y bajo consumo de energía. Cuenta con 120 instrucciones, la mayoría ejecutadas en un solo ciclo, lo que le permite alcanzar hasta 20 millones de instrucciones por segundo a una frecuencia de 20 MHz. En cuanto a la memoria, dispone de 2 o 4 kB de memoria Flash auto-programable con una capacidad de 10 mil ciclos de escritura y borrado, 128 o 256 bytes de EEPROM con 100 mil ciclos de escritura/borrado, y 128 o 256 bytes de SRAM interna.

Este microcontrolador está equipado con varios periféricos, incluyendo un temporizador/contador de 8 bits y otro de 16 bits, ambos con prescaler y modos de comparación, además de cuatro canales PWM y un comparador analógico. También incorpora un Watchdog Timer programable con oscilador integrado, una Interfaz Serial Universal (USI) y un USART full duplex para comunicación serial. Entre sus funciones especiales destacan la depuración mediante debugWIRE, programación en sistema a través del puerto SPI, y fuentes internas y externas de interrupciones. Además, cuenta con modos de bajo consumo de energía, como inactividad, apagado y espera, un circuito de reset mejorado y un detector de caída de tensión, junto con un oscilador interno calibrado.

En términos de eficiencia energética, el ATtiny4313 consume 190 μA en modo activo con 1.8 V y 1 MHz, 24 μA en modo inactivo, y tan solo 0.1 μA en modo apagado a una temperatura de 25°C y 1.8 V. Estas características lo hacen ideal para aplicaciones que requieren control preciso y eficiente de periféricos, manteniendo un bajo consumo energético.

En la figura 1 se puede observar el diagrama de pines del ATtiny4313.

PDIP/SOIC

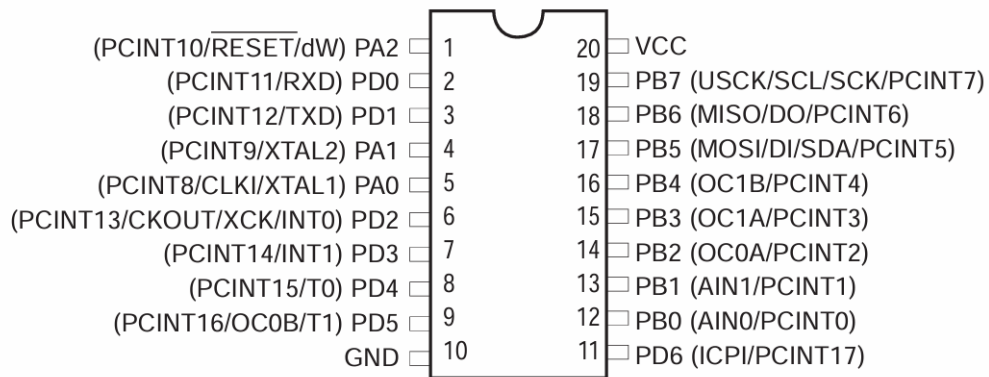


Figura 1: Diagrama de pines del ATtiny4313 (Anexo A)

El diagrama de bloques de su organización interna es el que se puede observar en la figura 2.

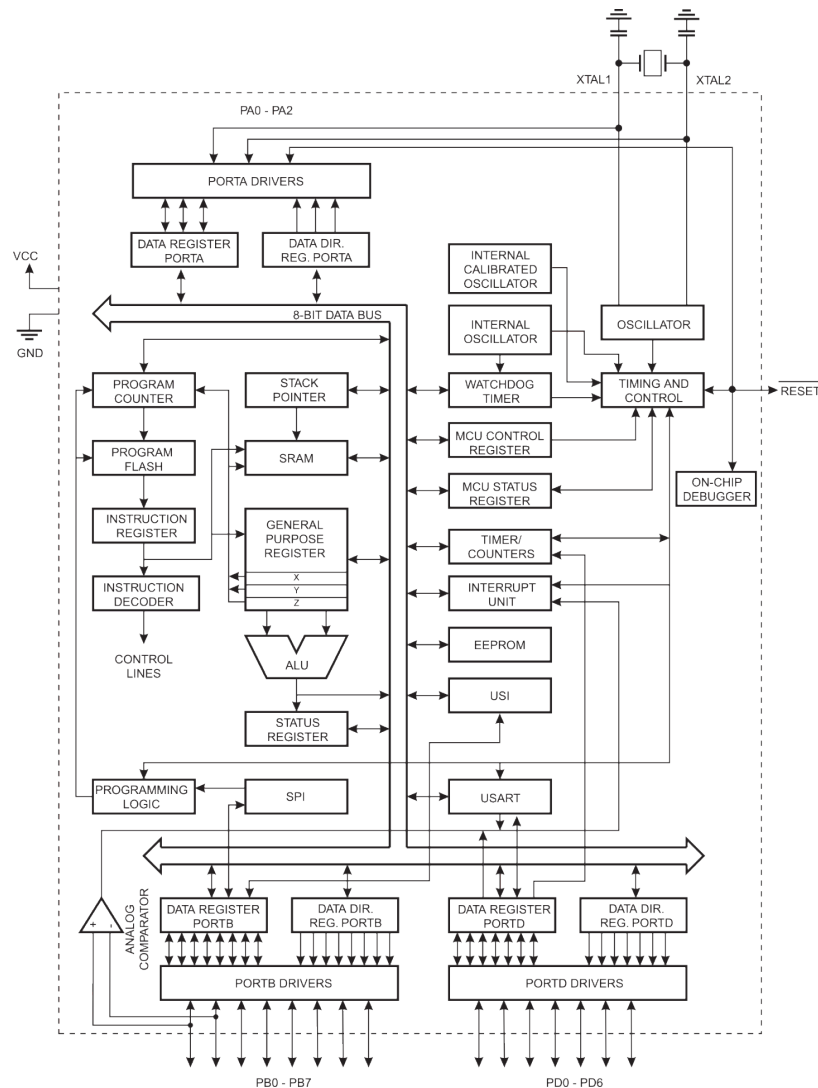


Figura 2: Diagrama de bloques del ATtiny4313 (Anexo A)

A su vez, sus características eléctricas aparecen en la tabla ??.

Símb.	Parámetro	Condición	Mín.	Típ.	Máx.	Units.
V_{IL}	Entrada baja tensión excepto XTAL1 y $\overline{\text{RESET}}$	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 2.4\text{V}$ $V_{CC} = 2.4\text{V} - 5.5\text{V}$	-0.5		$0.2V_{CC}$ $0.3V_{CC}$	V
V_{IH}	Entrada alta tensión excepto XTAL1 y $\overline{\text{RESET}}$	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 2.4\text{V}$ $V_{CC} = 2.4\text{V} - 5.5\text{V}$	$0.7V_{CC}$ $0.6V_{CC}$		$V_{CC}+0.5$	V
V_{IL1}	Entrada baja tensión XTAL1	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 5.5\text{V}$	-0.5		$0.1V_{CC}$	V
V_{IH1}	Entrada alta tensión XTAL1	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 2.4\text{V}$ $V_{CC} = 2.4\text{V} - 5.5\text{V}$	$0.8V_{CC}$ $0.7V_{CC}$		$V_{CC}+0.5$	V
V_{IL2}	Entrada baja tensión $\overline{\text{RESET}}$	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 5.5\text{V}$	-0.5		$0.2V_{CC}$	V
V_{IH2}	Entrada alta tensión $\overline{\text{RESET}}$	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 2.4\text{V}$ $V_{CC} = 2.4\text{V} - 5.5\text{V}$	$0.9V_{CC}$		$V_{CC}+0.5$	V
V_{IL3}	Entrada baja tensión en $\overline{\text{RESET}}$ como I/O	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 2.4\text{V}$ $V_{CC} = 2.4\text{V} - 5.5\text{V}$	-0.5		$0.2V_{CC}$ $0.3V_{CC}$	V
V_{IH3}	Entrada alta tensión en $\overline{\text{RESET}}$ como I/O	$V_{CC} = 1.8\text{V} - 2.4\text{V}$ $V_{CC} = 2.4\text{V} - 5.5\text{V}$	$0.7V_{CC}$ $0.6V_{CC}$		$V_{CC}+0.5$	V
V_{OL}	Salida baja tensión (Excepto pin Reset)	$I_{OL} = 20 \text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OL} = 10\text{mA}$, $V_{CC} = 3\text{V}$			0.8 0.6	V
V_{OH}	Salida alta tensión (Excepto pin Reset)	$I_{OH} = -20 \text{ mA}$, $V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OH} = -10 \text{ mA}$, $V_{CC} = 3\text{V}$	4.2 2.4			V
I_{IL}	Corriente de fuga de entrada Pin I/O	$V_{CC} = 5.5\text{V}$, bajo (valor absoluto)			1	μA
I_{IH}	Corriente de fuga de entrada Pin I/O	$V_{CC} = 5.5\text{V}$, alto (valor absoluto)			1	μA
R_{RST}	Resistencia Pull-up del pin Reset		30		60	$\text{k}\Omega$
R_{PU}	Resistencia Pull-up del I/O		20		50	$\text{k}\Omega$
I_{CC}	Corriente de alimentación	Activo 1MHz, $V_{CC} = 2\text{V}$		0.2	0.55	mA
		Activo 4MHz, $V_{CC} = 3\text{V}$		1.3	2.5	mA
		Activo 8MHz, $V_{CC} = 5\text{V}$		3.9	7	mA
		Inactivo 1MHz, $V_{CC} = 2\text{V}$		0.03	0.15	mA
		Inactivo 4MHz, $V_{CC} = 3\text{V}$		0.25	0.6	mA
		Inactivo 8MHz, $V_{CC} = 5\text{V}$		1	2	mA
	Modo power-down	WDT habilitado, $V_{CC} = 3\text{V}$		4	10	μA
		WDT deshabilitado, $V_{CC} = 3\text{V}$		<0.15	2	μA

Tabla 1: Características eléctricas en DC del ATtiny4313 (Anexo A)

2.1. Periféricos

El microcontrolador ATtiny4313 cuenta con periféricos como los siguientes:

- Un temporizador/contador de 8 bits con prescaler separado y modo de comparación.
- Un temporizador/contador de 16 bits con prescaler separado, modos de comparación y captura.
- Cuatro canales PWM.
- Comparador analógico.
- Watchdog Timer programable con oscilador integrado.
- USI.
- USART full duplex.

2.2. Registros

En este laboratorio se trabajó principalmente con los pines PB7..0 y los registros que lo controlan.

GIMSK: Si se activa el bit 5, los pines PB7..0 pueden generar una interrupción

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x3B (0x5B)	INT1	INT0	PCIE0	PCIE2	PCIE1	–	–	–	GIMSK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 3: Bits registro GIMSK (ver anexo A)

PCMSK0: Selecciona cuales pines en particular, del rango PB7..0 pueden generar una interrupción

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x20 (0x40)	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	PCMSK0
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 4: Bits registro PCMSK0 (ver anexo A)

DDRB: Selecciona cuales pines, de rango PB7..0 son salidas (si los bits están en 1) y cuáles son entradas (si los bits están en 0).

10.3.6 DDRB – Port B Data Direction Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x17 (0x37)	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	DDRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 5: Bits registro DDRB (ver anexo A)

PORTB: El valor de sus bits se escribe en los pines del rango PB7..0 .

10.3.5 PORTB – Port B Data Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x18 (0x38)	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	PORTB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 6: Bits registro PORTB (ver anexo A)

PINB: Lee el valor de sus bits del rango PB7..0, ya sean 0 ó 1.

10.3.7 PINB – Port B Input Pins Address

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x16 (0x36)	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	PINB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

Figura 7: Bits registro PINB (ver anexo A)

TCCR0A: Controla el pin comparador A, que está en PB2. En este laboratorio lo apagamos, pues no lo vamos a usar. Estamos en el modo normal [2].

11.9.1 TCCR0A – Timer/Counter Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x30 (0x50)	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01	WGM00	TCCR0A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 8: Bits registro TCCR0A (ver anexo A)

TIMSK: Si se activa el bit 1, se habilitan las interrupciones por overflow del contador. Como es de 8 bits, llega hasta 256.

11.9.6 TIMSK – Timer/Counter Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x39 (0x59)	TOIE1	OCIE1A	OCIE1B	–	ICIE1	OCIE0B	TOIE0	OCIE0A	TIMSK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 9: Bits registro TIMSK (ver anexo A)

TCCR0B: Si se activan los pines 0 y 1, la frecuencia de reloj de input/output se divide entre 64 con un preescalar. Éste es utilizado por el contador.

11.9.2 TCCR0B – Timer/Counter Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x33 (0x53)	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	TCCR0B
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 10: Bits registro TCCR0B (ver anexo A)

2.3. Componentes

Además del ATtiny4313, se usaron los siguientes componentes:

Es importante notar que los botones y switches mecánicos no generan una transición limpia entre los estados abierto y cerrado por lo que suelen generar múltiples transiciones rápidas debido a la vibración de los contactos antes de estabilizarse. Para considerar el efecto rebote de los botones se utilizan resistencias y capacitores para filtrar las señales de rebote [3]. Para el valor de los componentes eléctricos se toma en consideración que el tiempo de carga y descarga del capacitor sea pequeño, por lo tanto, si utilizamos un capacitor de $100nF$ y una resistencia de $10k\Omega$, su tiempo de carga será de $5\tau = 5 \cdot R \cdot C = 5e^{-14}s$. Su hoja de datos se puede observar en el anexo B.

También se utilizaron resistores para manejar la corriente que llegue a los LEDs. Si utilizan $2.4V$ y usamos resistencias de 100 , nos quedan $2,5/100 = 0,026mA$, que es menos que $0.03mA$, su corriente máxima.

2.4. Lista de componentes y precios

Componente	Precio	Cantidad	Fuente
ATtiny4313	\$ 1.8	1	Link
LED rojo	\$ 0.11	1	Link
LED verde	\$ 0.14	1	Link
LED amarillo	\$ 0.14	1	Link
LED azul	\$ 0.51	1	Link
Mini Push Button Switch	\$ 0.35	4	Link
Resistencia 100Ω	\$ 0.75	4	Link
Resistencia $10k\Omega$	\$ 0.7	4	Link
Capacitor $1\mu F$	\$ 0.1318	4	Link
Total	\$ 4.1		

Tabla 2: Precio de cada componente con sus respectivos enlaces

3. Diseño del circuito

A continuación se ve un diagrama de flujo con el funcionamiento esperado del circuito, de forma que cumpla con las especificaciones:

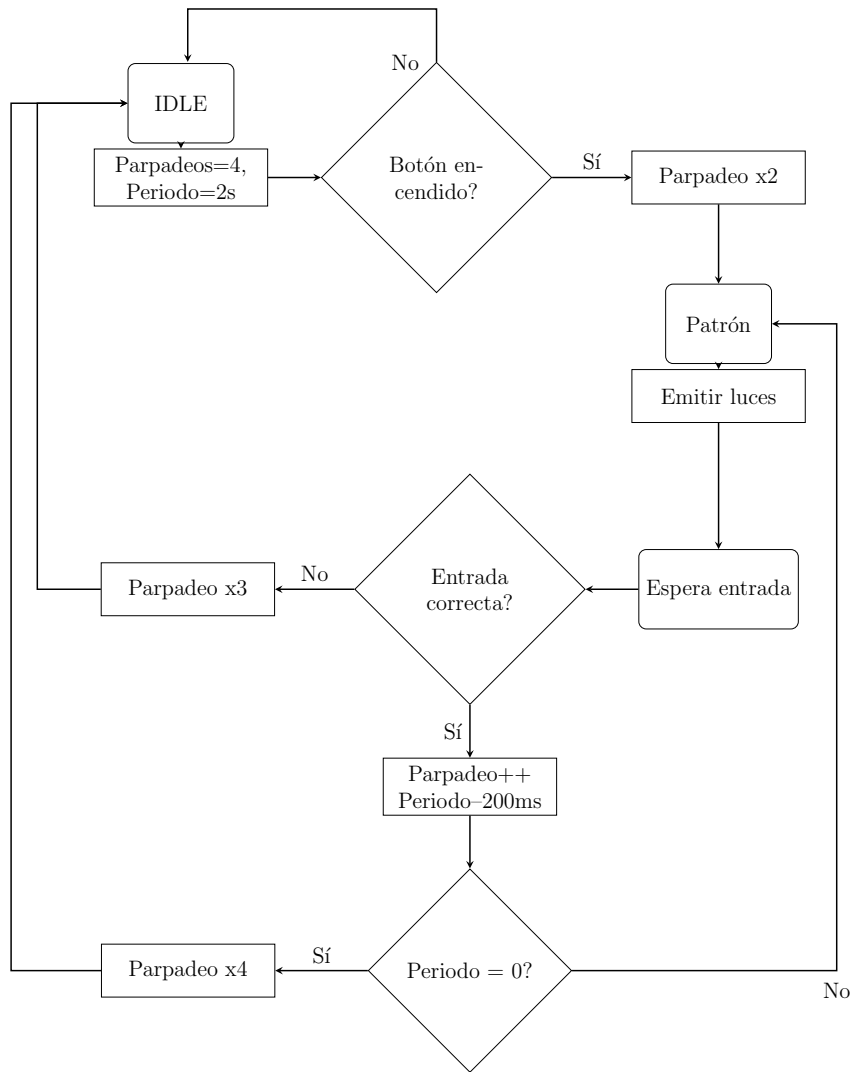


Figura 11: Diagrama ASM del juego de Simon

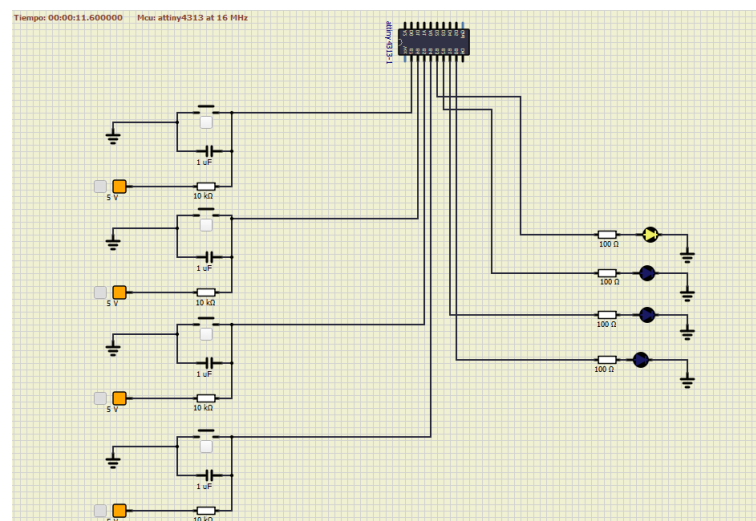
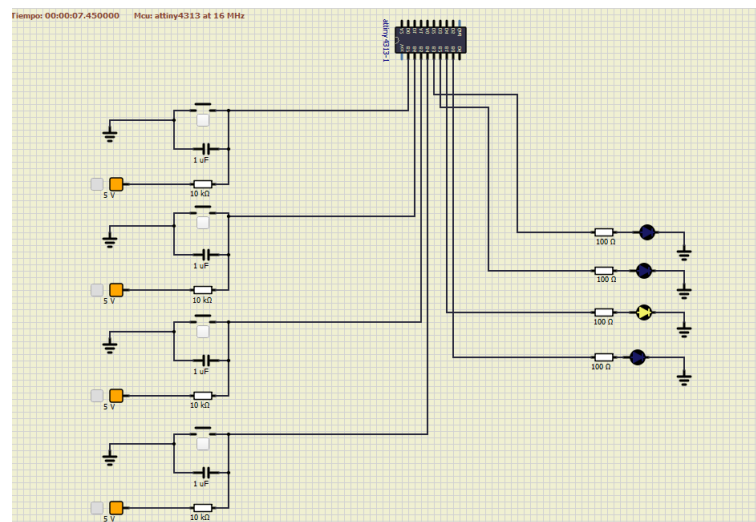
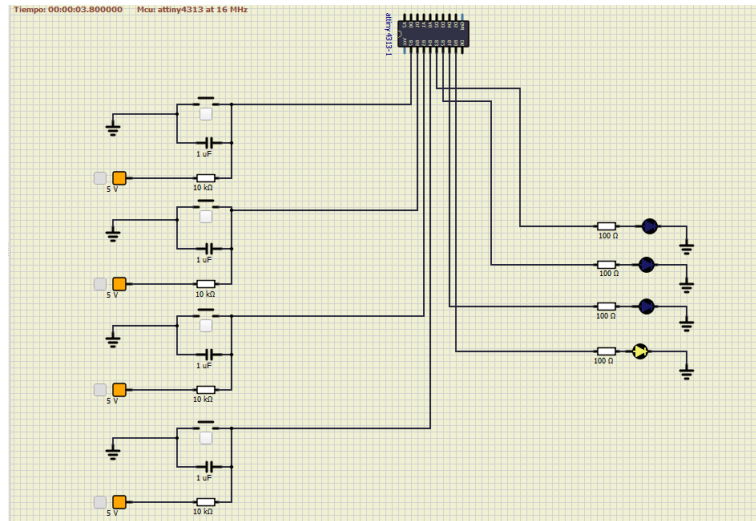
El diagrama de la figura 11 muestra un resumen del funcionamiento del circuito: Se encuentra en un estado de espera hasta que se presione cualquier botón, luego de lo que el circuito parpadea dos veces. Posteriormente emite un patrón de luces; como no se especificó lo contrario, este patrón ha sido predefinido, siempre será el mismo. Pasamos al estado Espera entrada: si la entrada es correcta, reducimos el periodo y aumentamos un parpadeo, caso contrario, se parpadea 3 veces y se pierde el juego. Previendo que el periodo puede llegar a cero conforme vamos restando, se decidió que en este momento se gana el juego, indicado con 4 parpadeos.

Para esto se utilizaron dos subrutinas de interrupción, las cuales son funciones encargadas de pausar el procedimiento general del programa ante una señal [4], una que principalmente pasa los datos de la entrada a variables en el momento que cambian, para manipularlas en `main()` y otra se encarga de aumentar un contador usando el vector `TIMER0_OVF_vect` [5], lo cual servirá para la implementación de una función de delay creada por nosotros. Las variables están en versión anterior y actual para obtener información sobre flancos.

Para que sirva el debounce implementado, fue necesario programar los cambios en bajo y, por precaución, en el código se usaron unos 100 ms de espera antes de empezar el juego para que la carga de los capacitores no afecte las señales.

3.1. Resultados

El desarrollo del juego sigue la funcionalidad esperada. Al iniciar el juego, los LEDs parpadean 2 veces y procede a mostrar la secuencia de memoria que se debe repetir presionando los botones para pasar de nivel, esta secuencia se puede observar en la figura 12.



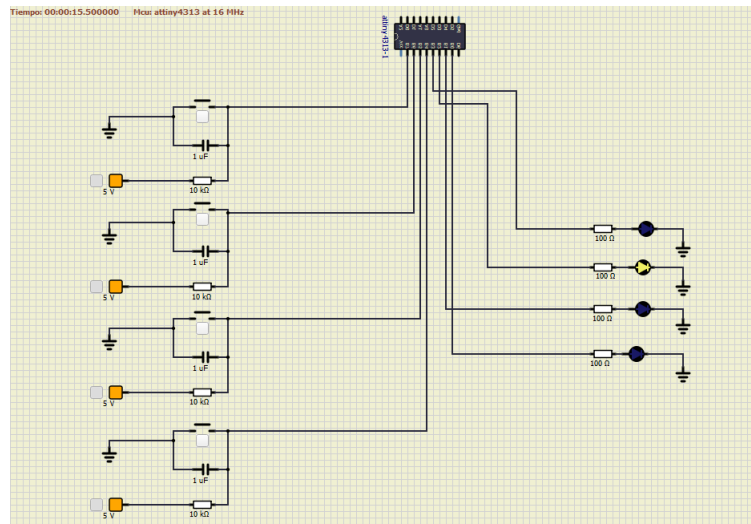


Figura 12: Primer secuencia del juego

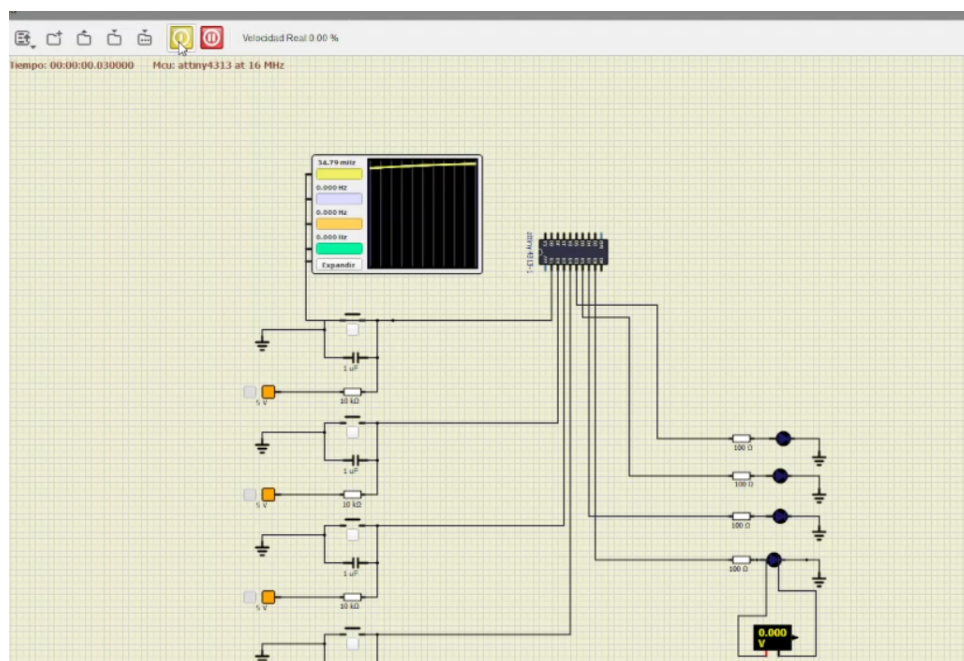


Figura 13: Capacitor cargándose al inicio del programa

En la figura 13 se observa que justo después de empezar la simulación, por el timer y la posición del mouse, a una velocidad muy baja, los capacitores (un osciloscopio, representativo) se empiezan cargando, lo que puede ser considerado como un cambio por el circuito si no se tienen las debidas precauciones en el código.

De acuerdo con la figura 14, en el mismo botón, al apretarlo no se observa rebote, sino la carga del capacitor al observar una curva en el osciloscopio y no una recta, lo que indica que la compensación fue exitosa.

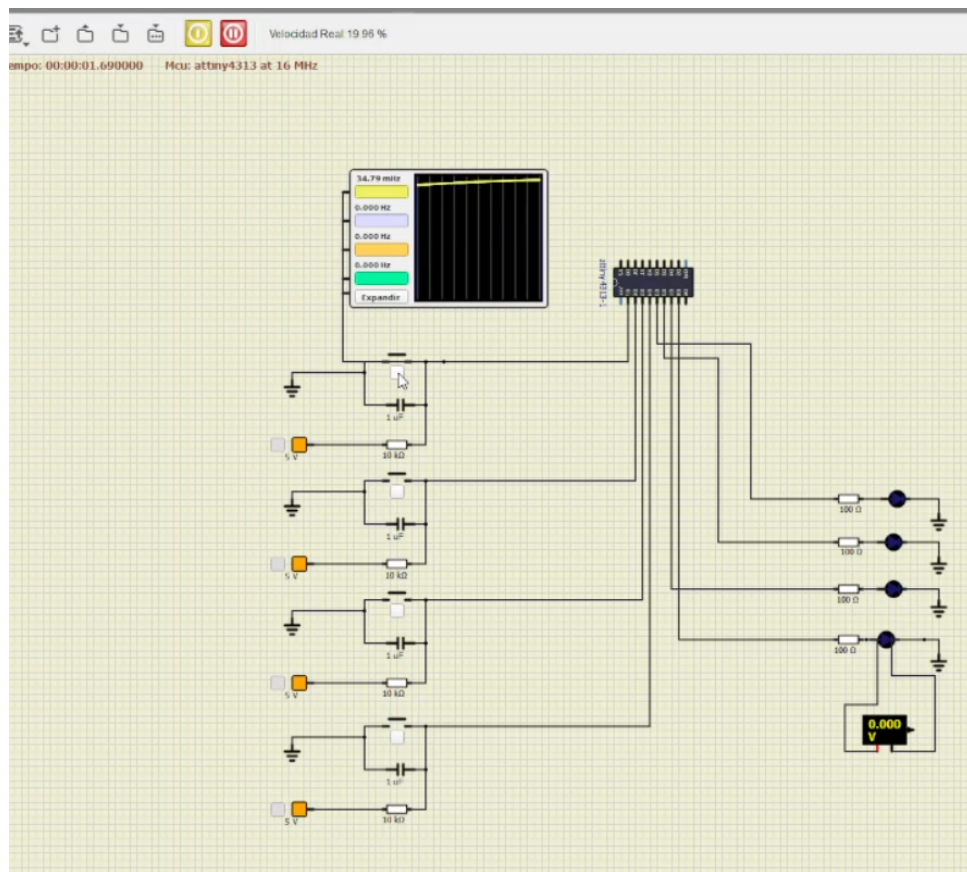


Figura 14: Compensación del efecto rebote

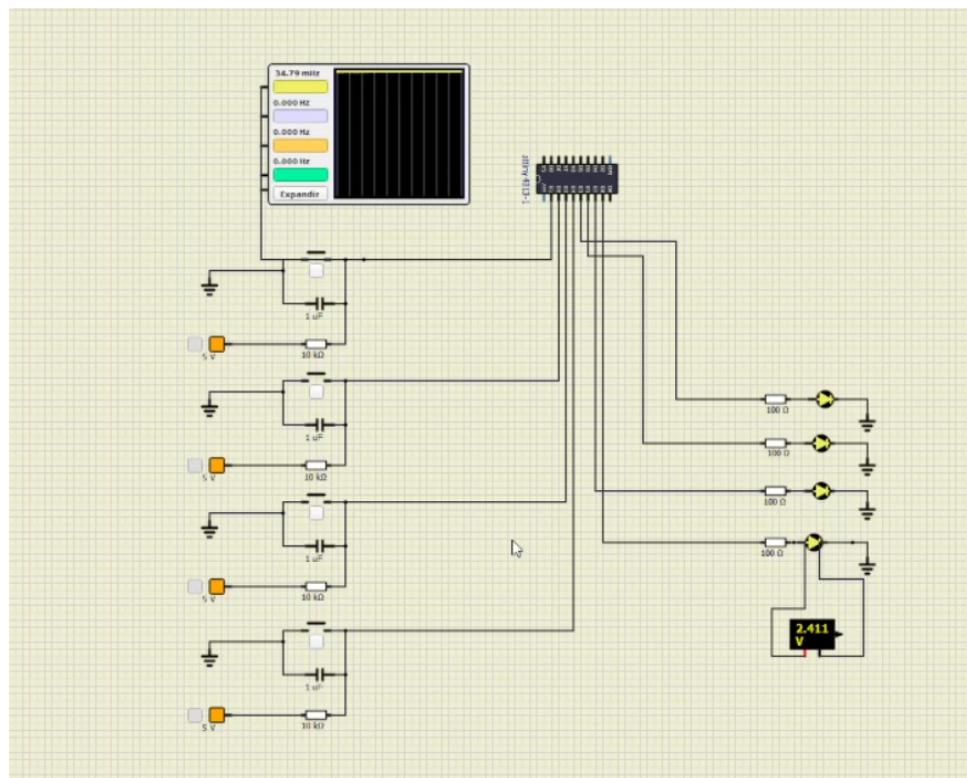


Figura 15: Tensión en el led

En la figura 15, se ve que el voltaje de umbral del LED (uno de todos al azar) es superado ($2,41 < 2,4$), lo que nos deja con una corriente de 0.259mA, que es menor a la máxima, 0.03mA.

Otros detalles pueden verse en el link al video de demostración del funcionamiento del circuito: <https://youtu.be/YdiQMoeMoX4>.

4. Conclusiones

- Se logró completar los objetivos de la práctica al desarrollar un juego de simón completamente funcional.
- Es posible crear varias subrutinas de interrupción para vectores distintos.
- Es preferible cargar el firmware de nuevo a recargarlo, pues puede causar comportamientos inesperados.
- Aplicar debounce a los botones/switches es de gran importancia dado que se pueden obtener lecturas incorrectas que llevan a un mal funcionamiento de la aplicación.
- Cuando hay capacitores para compensar el rebote es necesario contemplar que su carga inicial contribuye a un cambio de tensión de 0 a 1.

Referencias

- [1] Atmel Corporation. Attiny2313a/4313, 2011.
- [2] Gadgetronicx Team. Attiny85 timer tutorial: generating time delay using interrupts, 2020.
- [3] Ken Misener. A guide to debouncing. Technical report, Texas Instruments, 2004. Accessed: 2024-09-18.
- [4] Bradford Lamson-Scribner. Bare metal programming: Attiny85, 2023.
- [5] AllAboutEE. Avr attiny85 programming: Timers and interrupts, 2014.

- A. Anexo a: Hoja de datos del ATtiny4313 [1]
- B. Anexo b: Hoja de datos del capacitor $1\mu F$