

## IE-0624 Laboratorio de Microcontroladores

Jorge Adán Mora Soto, B95222 Jafet David Gutiérrez Guevara, B73558

[jorgeadan.mora@ucr.ac.cr](mailto:jorgeadan.mora@ucr.ac.cr)

[jafet.gutierrez@ucr.ac.cr](mailto:jafet.gutierrez@ucr.ac.cr)

20 de septiembre del 2022

### Laboratorio 2 GPIOs, Timers y FSM

#### Resumen

En este laboratorio se desarrolló un cruce de semáforo simplificado, conformado por un par de semáforos peatonales y uno vehicular, como se puede observar en la figura 1. Dicho sistema debía replicar el comportamiento mostrado en la figura 2 para validar su funcionamiento. Para ello se implementó una máquina de estados a través de un microcontrolador ATtiny4313. Dicha máquina se diseñó con 4 entradas, conformadas por 2 pulsadores y 2 temporizadores. Además cuenta con 4 salidas que representan las luces de los semáforos, y posee un total de 5 estados. Por lo tanto, la máquina requiere únicamente de 1 bit de entrada, ya que los pulsadores están conectados en paralelo como entradas externas del sistema. Añadido a esto, la máquina necesita 3 bits para disponer de 5 combinaciones distintas que identifiquen cada estado.

Por otro lado, el circuito diseñado para este laboratorio tiene una serie de leds que representan las luces de los semáforos, cada uno acompañado por una resistencia de protección. El circuito también cuenta con un filtro pasivo hecho con una resistencia y un capacitor. Dicho filtro se agregó con el fin de eliminar el factor del “bouncing” de los pulsadores.

Link del Proyecto: <https://github.com/Jams1001/IE0624/tree/main/L2>

ID del último commit hecho: [e99bf4f449cf0c5db9444f61fae2838c64a5bf5a](#)

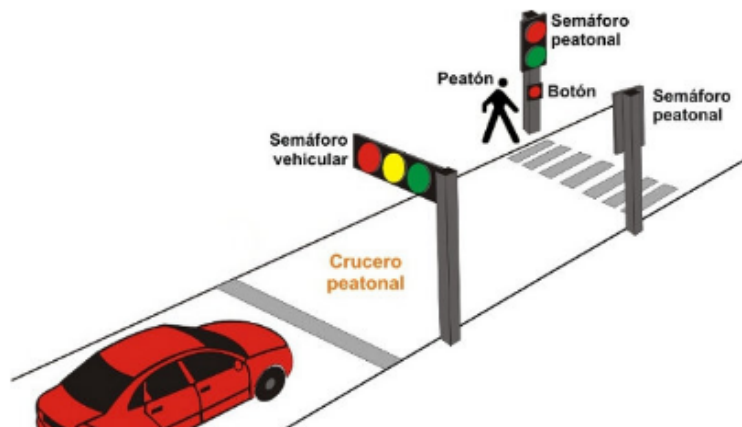


Figura 1: Cruce de semáforos simplificado

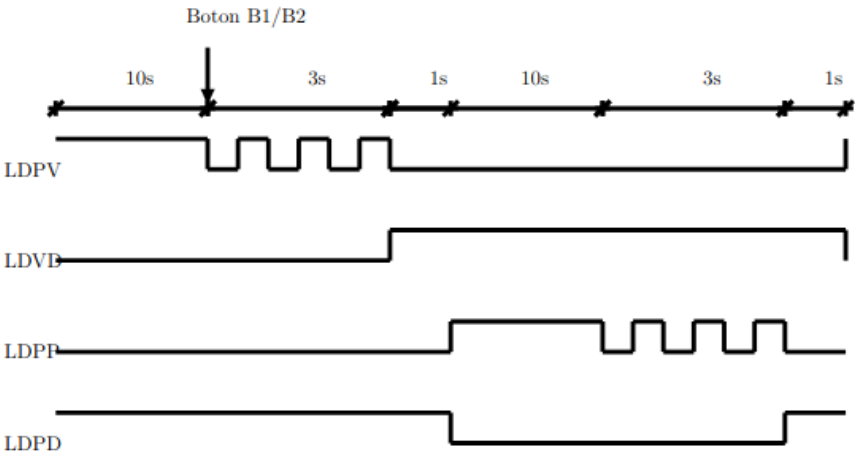


Figura 2: Diagrama de temporización del cruce de semáforos

1. Nota Teórica

1.1. Información general del MCU

En la siguiente práctica de laboratorio se utiliza el microcontrolador de ATmel AT-tiny4313 como elemento central de la práctica. Posee las siguientes características:

- Microcontrolador AVR de 8 bits con microarquitectura RISC/Harvard [1].
- Memoria: 2/4Kb de Flash, 128/258 bytes de SRAM y 128/258 bytes de EEPROM [1].
- 18 GPIOs agrupados en tres puertos así como timers/counters de 8 y 16 bits [1].
- 4 canales PWM y comparador analógico [1] (No utilizado en esta práctica).
- USI, USART [1] (No utilizado en esta práctica).

En figura se encuentra el diagrama de pines y en figura 4 el diagrama de bloques.

Voltaje de operación (V)	1.8 - 5.5
Temperatura de operación	-55C a +125C
$V_{IL}$	-0.5 a $0.2V_{CC}$
$V_{IH}$	$0.7V_{CC}$ a $V_{CC}+0.5$
Corriente DC por Vcc y GND Pins	200.0 mA
Grados de velocidad	0 – 4 MHz @ 1.8 – 5.5V
	0 – 10 MHz @ 2.7 – 5.5V
	0 – 20 MHz @ 4.5 – 5.5V

Tabla 1: Características eléctricas del AT-tiny4313 [2].

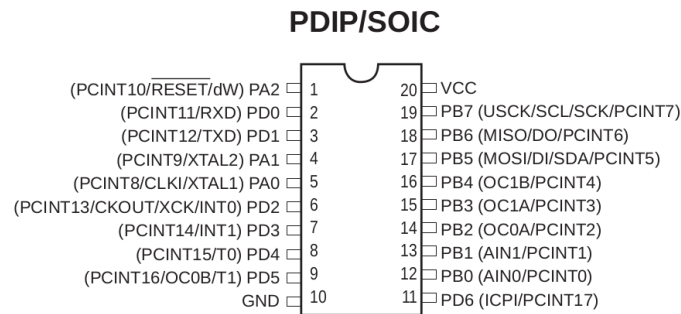


Figura 3: Diagrama de pines del ATtiny4313 [2]

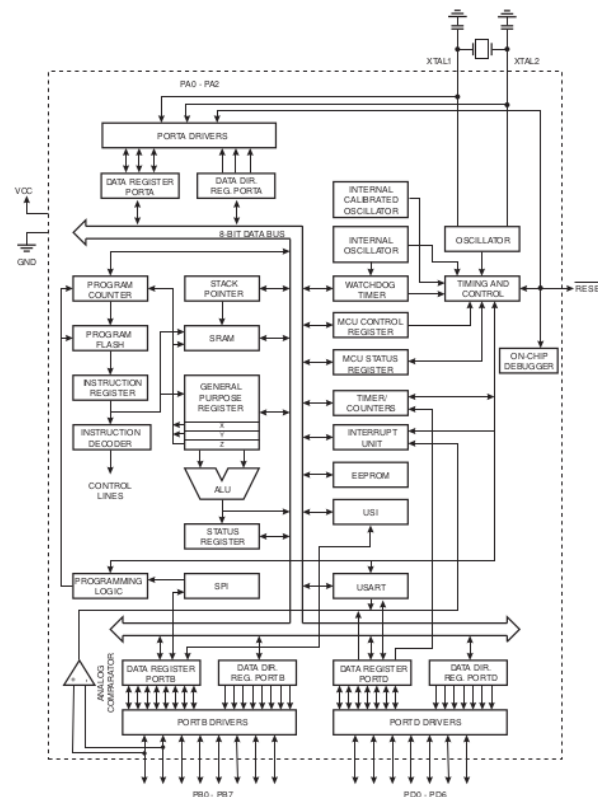


Figura 4: Diagrama de bloques del ATtiny4313 [2]

## 1.2. Registros de interés

### 1.2.1. Registro DDRx - Data Direction Register.

En este registro se puede ir desde A, B o D. Este registro sirve para establecer si los pines son de entrada o salida. Se pone en el pin de interés un 1 para salida y un 0 para entrada. A continuación se presenta un ejemplo para el registro DDRB [2].

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x17 (0x37)	<b>DDB7</b>	<b>DDB6</b>	<b>DDB5</b>	<b>DDB4</b>	<b>DDB3</b>	<b>DDB2</b>	<b>DDB1</b>	<b>DDB0</b>	<b>DDRB</b>
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: Diagrama de registro DDRB [2].

### 1.2.2. Registro PORTx - Data Register

En donde x de igual forma puede ir de A, B o D. Permite escribir información o los datos como tal en los pines. Puede tomar valores de 0 o 1.<sup>1</sup> A continuación se muestra un ejemplo para el registro PORTB [2].

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x18 (0x38)	<b>PORTB7</b>	<b>PORTB6</b>	<b>PORTB5</b>	<b>PORTB4</b>	<b>PORTB3</b>	<b>PORTB2</b>	<b>PORTB1</b>	<b>PORTB0</b>	<b>PORTB</b>
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: Diagrama de registro PORTB [2].

### 1.2.3. Registro GIMSK - General Interrupt Mask Register

Permite habilitar y deshabilitar interrupciones. Habilitando estos registros entonces ya se puede hacer uso de las funciones de interrupciones [2].

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x3B (0x5B)	<b>INT1</b>	<b>INT0</b>	<b>PCIE0</b>	<b>PCIE2</b>	<b>PCIE1</b>	–	–	–	<b>GIMSK</b>
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 7: Diagrama de registro GIMSK [2].

### 1.2.4. Registro MCUCR - MCU Control Register

Permita la manera en la que se habilitan las interrupciones, ya sea por flanco creciente o decreciente [2].

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x35 (0x55)	<b>PUD</b>	<b>SM1</b>	<b>SE</b>	<b>SM0</b>	<b>ISC11</b>	<b>ISC10</b>	<b>ISC01</b>	<b>ISC00</b>	<b>MCUCR</b>
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 8: Diagrama de registro MCUCR [2].

<sup>1</sup>Si este registro estuviera configurado como entrada y se escribe un 1 en el bit correspondiente de este registro entonces se activa la resistencia interna Pull-Up; para apagarla debe configurarse el pin como salida.

### 1.2.5. Registro TCCR0x - Timer/Counter Control Register x

En donde x puede ser A o B. Permite configurar el modo de operación para la utilización de timers. Más específicamente permite modificar el prescaler de los timers A continuación se presenta un ejemplo del diagrama para el registro TCCR0A. [2].

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x30 (0x50)	<b>COM0A1</b>	<b>COM0A0</b>	<b>COM0B1</b>	<b>COM0B0</b>	–	–	<b>WGM01</b>	<b>WGM00</b>	<b>TCCR0A</b>
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 9: Diagrama de registro TCCR0A. [2].

### 1.2.6. Registro TIMSK - Timer/Counter Interrupt Mask Register

En este registro únicamente se escribió un 1 en el Bit 1 - TOIE0. De esta manera se activa el temporizador por interrupción, permitiendo la generación de una interrupción interna cuando se produce un overflow del contador [2].

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x39 (0x59)	<b>TOIE1</b>	<b>OCIE1A</b>	<b>OCIE1B</b>	–	<b>ICIE1</b>	<b>OCIE0B</b>	<b>TOIE0</b>	<b>OCIE0A</b>	<b>TIMSK</b>
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 10: Diagrama de registro TIMSK. [2].

### 1.3. Diseño

Al unir todos los componentes antes mencionados se obtiene el circuito mostrado en la figura 11. De izquierda a derecha primero se encuentran 2 pulsadores los cuales son los botones peatonales A y B; estos en paralelo de modo que pueden ser activados en cualquier dirección e independientemente de cuál se accione, los dos podrían empezar la secuencia del cambio de estado. Seguidamente se encuentra la lógica para el control de rebote que se explicará posteriormente. Se utiliza el pin D3 como entrada del MCU el cual recibirá la señal de los botones y, a la salida, los pines B3, B2, B1 y B0. En total 4 pines para accionar dos luces por semáforo. B3 y B2 se encargan de encender la luz roja y verde del semáforo de peatones respectivamente. Para los peatones hay dos semáforos en paralelo; en total 4 LEDs. Los pines B1 y B0 se encargan de encender la luz roja y luz verde del paso vehicular respectivamente. Por último se encuentran los resistores de control de corriente para los LEDs y al final del circuito se encuentran los propios LEDs.

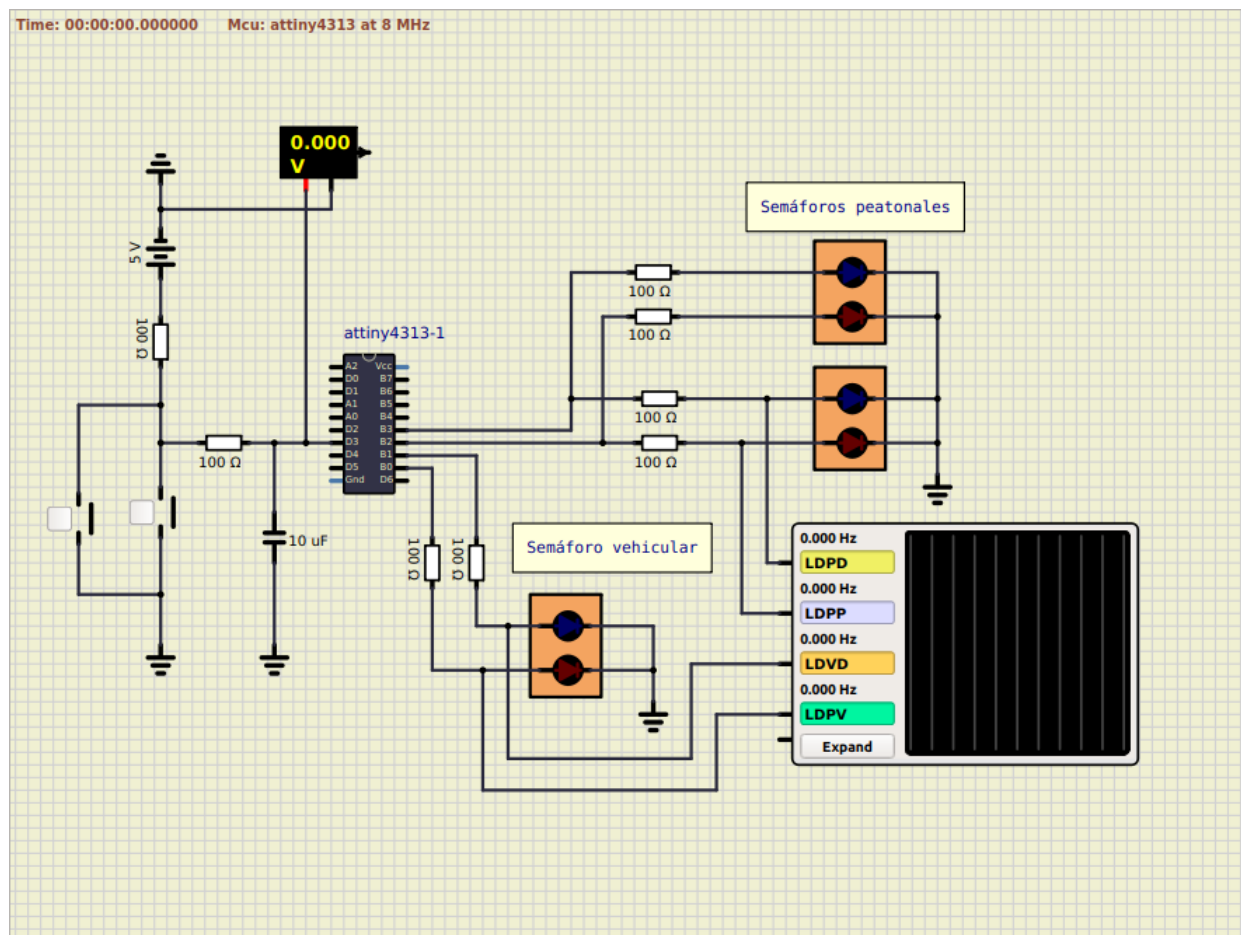


Figura 11: Diseño completo final (Autoría propia).

#### 1.3.1. Rebote del pulsador

Cuando se presiona un pulsador, la salida del mismo no es una señal totalmente limpia, sino que presenta rebotes. Esto se debe a que los contactos del pulsador suelen presentar un pequeño rebote entre ellos. Esto representa un inconveniente ya que los rebotes pueden introducir falsas lecturas al sistema. Para contrarrestar este efecto en el circuito diseñado, se agregó el siguiente filtro pasivo:

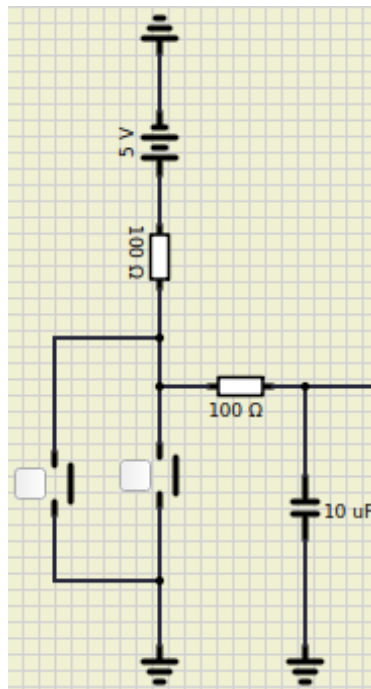


Figura 12: Filtro diseñado para eliminar el efecto del rebote de los pulsadores

Tomando en cuenta que la entrada del circuito es DC y, por lo tanto, no es necesario diseñar el filtro para atenuar un rango de frecuencias, se escogieron los valores de los elementos que componen dicho filtro arbitrariamente. Así que tomando un capacitor de  $100\text{ pF}$  junto con dos resistencias, cada una de  $100\text{ }\Omega$ , se tiene que la constante de carga de este filtro sería:

$$\tau = R \cdot C = 200\text{ }\Omega \cdot 100\text{ pF} = 20\text{ ns} \quad (1)$$

El periodo de tiempo obtenido es lo suficientemente grande como para eliminar cualquier distorsión en la señal de entrada, producido por el rebote, pero también es lo bastante pequeño como para que su efecto sea imperceptible por el usuario.

### 1.3.2. Resistores

Para controlar la corriente en los LEDs de modo que no fuere tan alta como para quemarlos ni tan pequeña como para una iluminación, se parte de que para su funcionamiento ideal esta debería ser en directo como máximo  $20\text{ mA}$ . Los mismos tienen una caída en directo que va desde  $2.2\text{ V}$  hasta  $3\text{ V}$ . Para tener seguridad se toma el valor máximo de tensión posible. Realizando la malla (Asumiendo  $5\text{ V}$  ideales a la salida del mcu):

$$\begin{aligned} -5\text{ V} + V_R + 3\text{ V} &= 0 \\ \rightarrow V_R &= 2\text{ V} \end{aligned}$$

Para asegurar esto en el caso de corriente máxima:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$20mA = \frac{2}{R}$$

$$\rightarrow R = \frac{2}{20mA} = 100\Omega$$

#### 1.4. Componentes complementarios

Para poder completar el proyecto se necesitó hacer uso de componentes adicionales además del MCU AT-tiny4313. Los mismos se detallan a continuación. Estos diseños están basados en electrónica para una parte de laboratorio, no para una implementación de uso real.

- Botón pulsador (2)
- Resistencia  $100\Omega$  (8)
- Capacitor  $10\mu F$
- Diodo LED (6)

A continuación se presenta una tabla con los precios en promedio en el mercado para estos componentes. No tiene sentido especificar muy meticulosamente estos precios pues son muy variables dependiendo el tiempo y los ofertantes, sin embargo, sí tiene sentido dar una aproximación general del potencial costo probable para implementar este diseño. Estos precios no consideran envío ni impuestos.

Componente	Cantidad	Precio (USD)
Botón pulsador	2	0.26
Resistencia $100\Omega$	8	2.72
Capacitor $10\mu F$	1	1.45
Diodo LED	6	3
MCU AT-tiny4313	1	1.68
<b>Total</b>		<b>9.11</b>

Tabla 2: Lista de cantidad y precios de los componentes (Autoría propia).

#### 1.5. Conceptos

- **Interrupciones:** Consiste en una notificación al CPU que un evento ha sucedido. Es decir, tiene prioridad sobre el programa y ocurre en paralelo y no de una forma secuencial o siguiendo un control de flujo. Es decir, si se está dentro de un `while` por ejemplo, y ocurre el evento de interés, entonces se interrumpe el procesamiento general para atender la interrupción. Pueden ser disparadas por varios eventos/periféricos como I/Os, ADC, software, timers, entre otros. [1]. Las rutinas de interrupción (o la lógica que está dentro de la interrupción) debe ser **muy corta**. Funciona bajo el siguiente flujo: Ocurre evento -¿Se dispara interrupción y el programa se detiene -¿Se guarda el estado actual del programa -¿El procesador revisa el espacio de memoria de registro de interrupciones (Vectores de interrupción) -¿Se ejecuta la subrutina de interrupción -¿EL programa continúa. La imagen a continuación indica la prioridad en la que se ejecutan las interrupciones [1].



Vector No.	Program Address	Label	Interrupt Source
1	0x0000	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset, and Watchdog Reset
2	0x0001	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x0002	INT1	External Interrupt Request 1
4	0x0003	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
5	0x0004	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
6	0x0005	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
7	0x0006	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
8	0x0007	USART0, RX	USART0, Rx Complete
9	0x0008	USART0, UDRE	USART0 Data Register Empty
10	0x0009	USART0, TX	USART0, Tx Complete
11	0x000A	ANALOG COMP	Analog Comparator
12	0x000B	PCINT0	Pin Change Interrupt Request 0
13	0x000C	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
14	0x000D	TIMER0 COMPA	Timer/Counter0 Compare Match A
15	0x000E	TIMER0 COMPB	Timer/Counter0 Compare Match B
16	0x000F	USI START	USI Start Condition
17	0x0010	USI OVERFLOW	USI Overflow
18	0x0011	EE READY	EEPROM Ready
19	0x0012	WDT OVERFLOW	Watchdog Timer Overflow
20	0x0013	PCINT1	Pin Change Interrupt Request 1
21	0x0014	PCINT2	Pin Change Interrupt Request 2

Figura 13: Vector de interrupciones [2].

- **Timers:** Son periféricos que permiten medir intervalos de tiempo y pueden generar interrupciones. La velocidad con la que estos periféricos cuentan está en función de la velocidad de reloj del MCU y la configuración del *prescaler*. El generador de relojes del MCU opera a una frecuencia muy alta para la percepción humana. Entonces a través del *prescaler* se puede configurar una frecuencia de reloj más lenta. El *prescaler* es un circuito contador/divisor que permite entonces reducir una señal eléctrica de alta frecuencia por medio de fracciones. Existen diferentes *prescalers* para diferentes periféricos del circuito [1].

## 2. Desarrollo / Análisis de Resultados

### 2.1. Análisis de SW

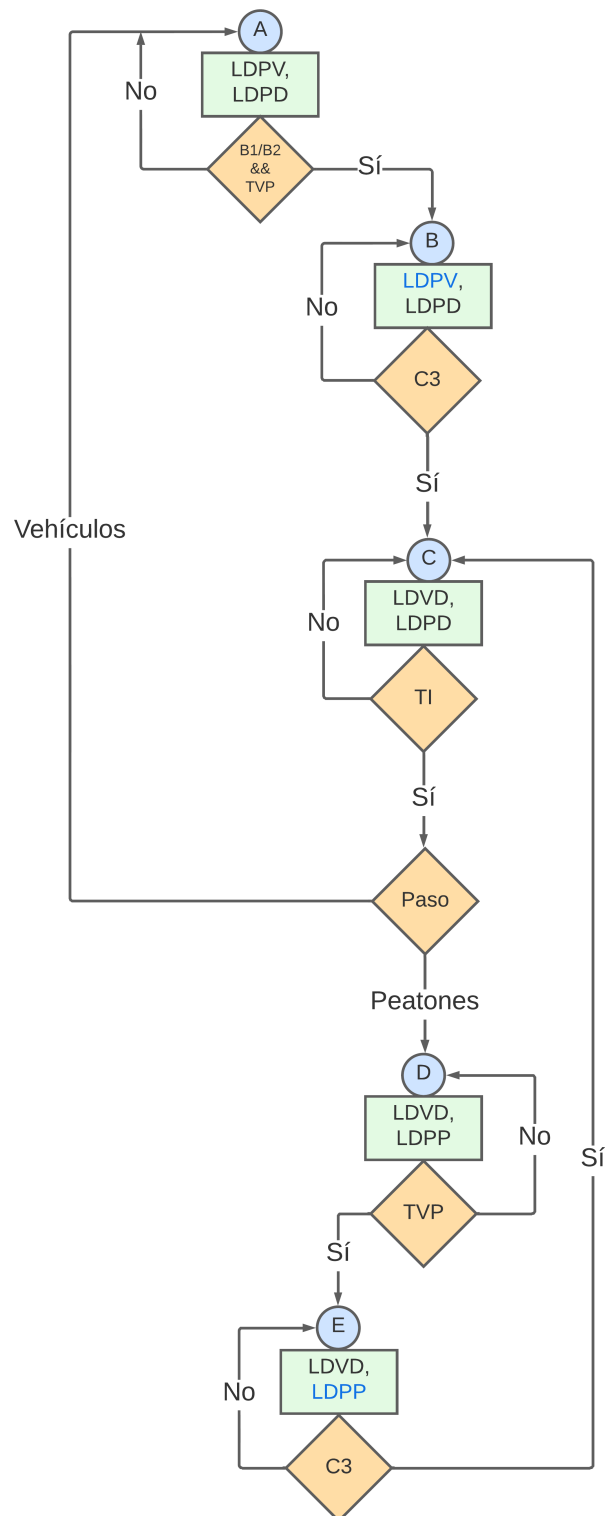


Figura 14: Diagrama ASM propuesto para el cruce de semáforos. Creación propia

En la figura 14 se puede observar el diagrama ASM construido para el cruce de semáforos mostrado en la figura 1. En la siguiente tabla se presenta la descripción de la nomenclatura empleada en el diseño del diagrama:

Entradas	B1	Botón de semáforo peatonal 1
	B2	Botón de semáforo peatonal 2
	TVP	Timer de paso de vehículos o peatones (10 segundos)
	TI	Timer de 1 segundo
	C3	Contador de parpadeos (cuenta hasta 3 segundos)
Salidas	LDPV	Led de paso de vehículos
	LDPD	Led de peatones detenidos
	LDVD	Led de vehículos detenidos
	LDPP	Led de paso de peatones
Estados	A	Paso de vehículos por al menos 10 segundos
	B	Parpadeo de luz verde del semáforo vehicular (LDPV)
	C	Paro total de vehículos y peatones por 1 segundo
	D	Paso de peatones por 10 segundos
	E	Parpadeo de luces verdes de semáforos peatonales (LDPP)

Tabla 3: Entradas, salidas y estados del diagrama ASM propuesto. Creación propia

En programación orientada a objetos, una máquina de estados podría considerarse como una clase con una colección de variables de estado y métodos que activan las salidas correspondientes a cada estado. Sin embargo, en C no se tiene la posibilidad de escribir clases, ya que este es un lenguaje es procedimental. No obstante, hay formas de simular mecanismos propios de la programación orientada a objetos en C. En esta caso para imitar una clase se utilizó un *struct*, una estructura especial de C, en la cual se definieron los miembros que componen cada estado de la máquina:

```
typedef struct Semaforo{
    void (*state_func_ptr)(void);
    int time;
} FSM;
```

El puntero *state\_func\_ptr* apunta a la dirección de memoria del microcontrolador en la cual se almacena cada función. Este sirve para hacer los llamados a las funciones correspondientes de cada estado. Por otra parte, el atributo de *time* es un número entero que determina la cantidad de segundos que cada estado debe permanecer activo.

Posteriormente se define la máquina de estados, haciendo un arreglo de 5 *struct FSM*, uno por cada estado:

```
FSM semaforo[5] = {
    {&A_out, 10},
    {&B_out, 3},
    {&C_out, 1},
```

```
{&D_out, 10},  
{&E_out, 3},  
};
```

Como se puede observar en la porción de código mostrada anteriormente, cada espacio del arreglo *semaforo* contiene un número entero, que representa el argumento *time*. Además, en cada espacio se incluye el nombre de una de las siguientes funciones acompañado con el operador *&*, para obtener la dirección en memoria de esa función. **(Esta mini-fracción de código solo es por comodidad y para fines ilustrativos).**

```
void A_out(void){  
    PORTB = 0x09;  
}
```

```
void B_out(void){  
    PORTB ^= 0x01;  
}
```

```
void C_out(void){  
    PORTB = 0x0A;  
}
```

```
void D_out(void){  
    PORTB = 0x06;  
}
```

```
void E_out(void){  
    PORTB ^= 0x04;  
}
```

Las funciones anteriormente expuestas se encargan de cambiar el estado de los pines del puerto B, según corresponda. Dicho esto, cabe destacar que las funciones *B\_out()* y *E\_out()* invierten el estado de los pines B0 y B2, debido a que estas son las funciones que generan los parpadeos de luces.

Por otro lado, la configuración del timer se encapsuló dentro de la siguiente función:

```
void timer_setup() {  
    TCCR0A=0x00; // Modo normal  
    TCCR0B=0x00;  
    TCCR0B |= (1<<CS00)|(1<<CS02); // Prescaling de 1024  
    sei(); // Se llama a la función sei() para habilitar las interrupciones globales  
    TCNT0=0;  
    TIMSK|=(1<<TOIE0); // Se habilita la interrupción del timer1  
}
```

Tomando en cuenta que el ATtiny4313 opera con un oscilador interno a  $8\text{ MHz}$  y que el prescaling establecido fue de el de 1024, se puede determinar cuantos ciclos del timer se necesitan para contar un segundo de la siguiente forma:

$$\text{Frecuencia con prescaling} = \frac{8\text{ MHz}}{1024} = 7812.5\text{ Hz}$$

$$\text{Periodo con prescaling} = \frac{1}{7812.5\text{ Hz}} = 0.128\text{ ms}$$

Para terminar una cuenta del timer se necesitan entonces:

$$255 \cdot 0.128\text{ ms} = 0.03264\text{ s}$$

Por lo tanto, para contar un segundo se necesitan:

$$\frac{1\text{ s}}{0.03264\text{ s}} \approx 31\text{ ciclos}$$

Cabe mencionar que el resultado anterior se bajó a 30 s por comodidad.

Más adelante, se configuró el Interrupt service routine de la siguiente forma, para que únicamente cambiara el estado de una variable  $B1\_B2$ , utilizada para guardar la solicitud de paso peatonal:

```
ISR (INT1_vect) {
    B1_B2 = 1;
}
```

Por otro lado, el Interrupt vector para el Timer0 se configuró de la siguiente forma:

```
ISR (TIMER0_OVF_vect){
    if((int_count) == 1 || (int_count == 15)){ // Cuenta de medio segundo
        if(state == B){
            (semaforo[B].state_func_ptr()); // Llamado a salidas de estado B
        }
        if(state == E){
            (semaforo[E].state_func_ptr()); // Llamado a salidas de estado B
        }
    }
    else if(int_count == 30){ // cuenta de un segundo
        ++TI;
        int_count = 0;
    }
    if(TI == 10){
        ++TVP;
    }
    ++int_count;
}
```

Aquí se puede observar que hizo uso de la cuenta de 30 ciclos por segundo para determinar el aumento de las variables de temporización *TI*, *TVP* y *int\_count*. La última de estas aumenta con cada ciclo y, por lo tanto, al llegar a 30 cuenta un segundo. Asimismo, es en esta parte que se llama a las funciones *B\_out()* y *E\_out()*, las cuales se encargan de hacer que las luces parpadeen. Ambas se llaman cada medio segundo durante un total de 3 segundos.

Finalmente, en la función *main()* primeramente se hacen las configuraciones necesarias para que el microcontrolador opere de la manera deseada, posteriormente se hace la inicialización de todas las variables y por último se ejecuta un bucle infinito dentro del cual corre la máquina de estados desarrollada.

```
int main(void){
    DDRB = 0x0F; // Configurando los pines de entrada/salida del puerto B
    GIMSK = 0x80; // Habilitando la interrupción externa en INT1
    MCUCR = 0x08; // Interrupción generada por el flanco decreciente en INT1
    PORTB = 0x00; // Se setean todas las salidas en estado bajo (y se activan las resistencias)
    timer_setup(); // Llamado a configuración del timer

    state = A;
    B1_B2 = 0;
    TVP = 0;
    TI = 0;
    int_count = 0;
    pass_flag = 0;

    while(1){
        switch (state){
            case A:
                .
                .
            case B:
                .
                .
            case C:
                .
                .
            case D:
                .
                .
            case E:
                .
                .
                .
        }
    }
}
```

## 2.2. Análisis de HW

A continuación se analiza el esquemático y sus componentes con osciloscopios y multímetros para la verificación de su correcto funcionamiento.

Para poder visualizar el comportamiento de las señales se ajustó la escala del osciloscopio a 1s. A continuación se presenta un fragmento de la señal del osciloscopio (lo más que se fue capaz de extender) la cual coincide con el diagram de tiempo solicitado en figura 2. La siguiente figura se encuentra en el estado D y muestra el estado A, B, C y D.

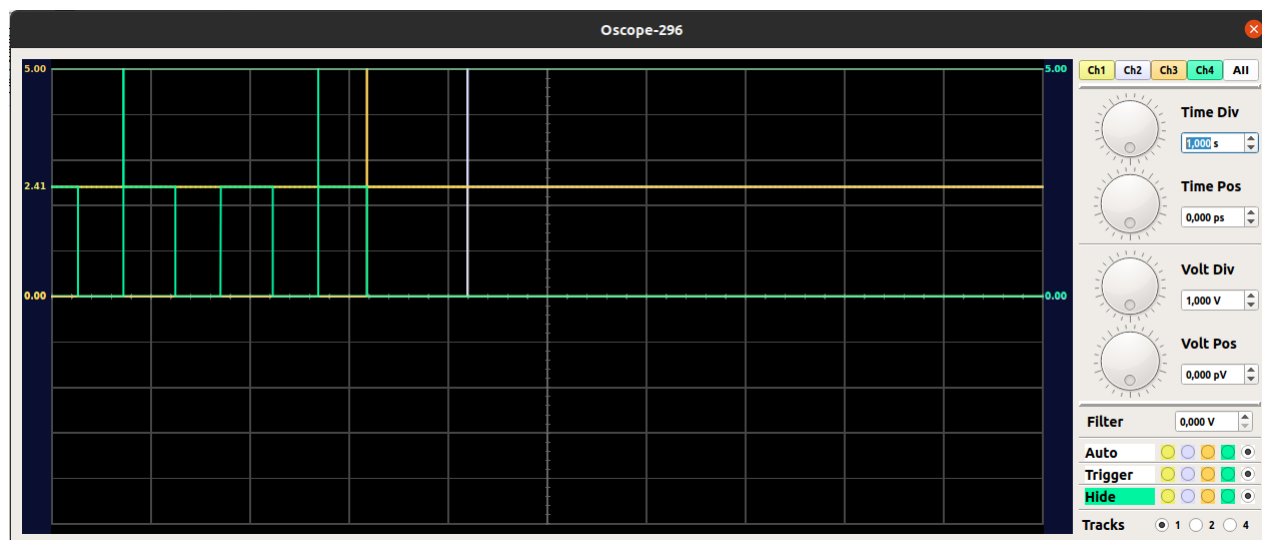


Figura 15: Fragmento de diagrama de tiempo.

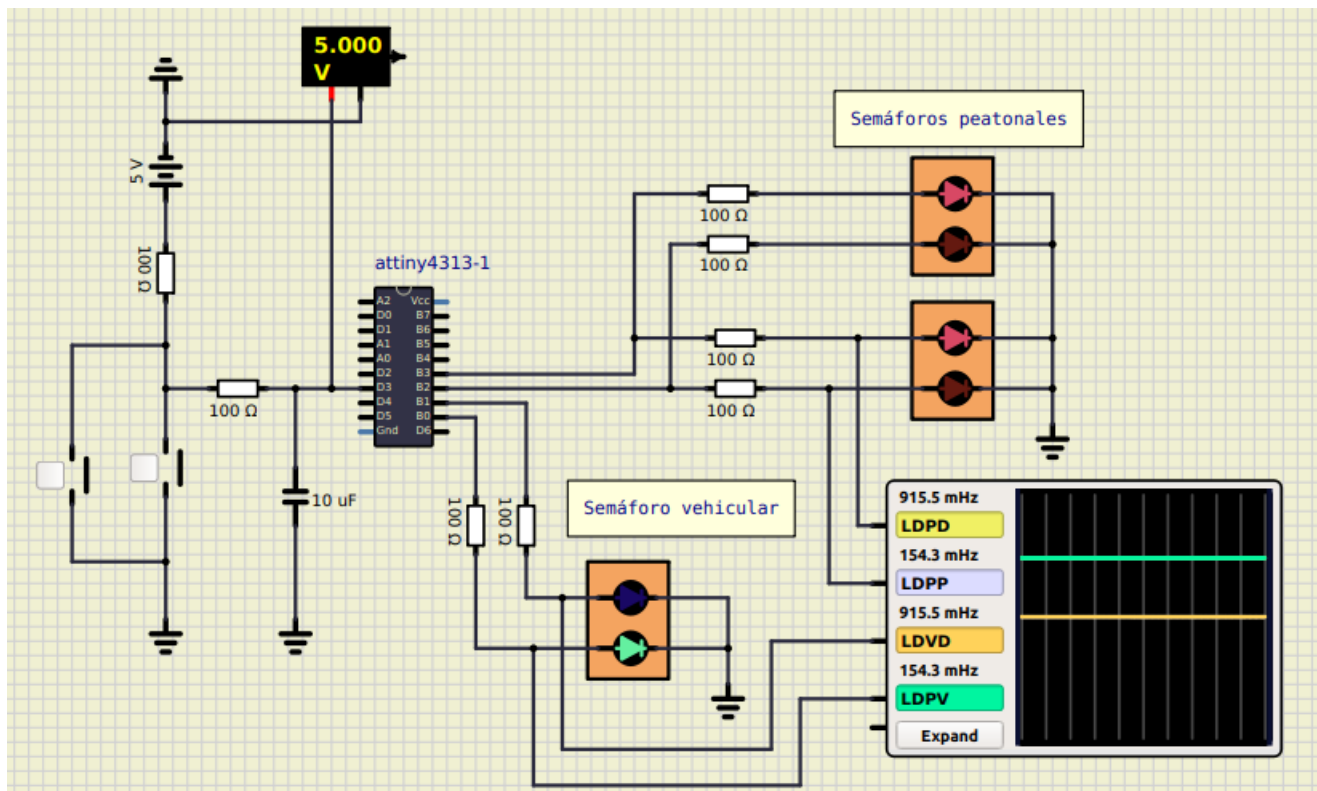


Figura 16: Circuito en estado A.

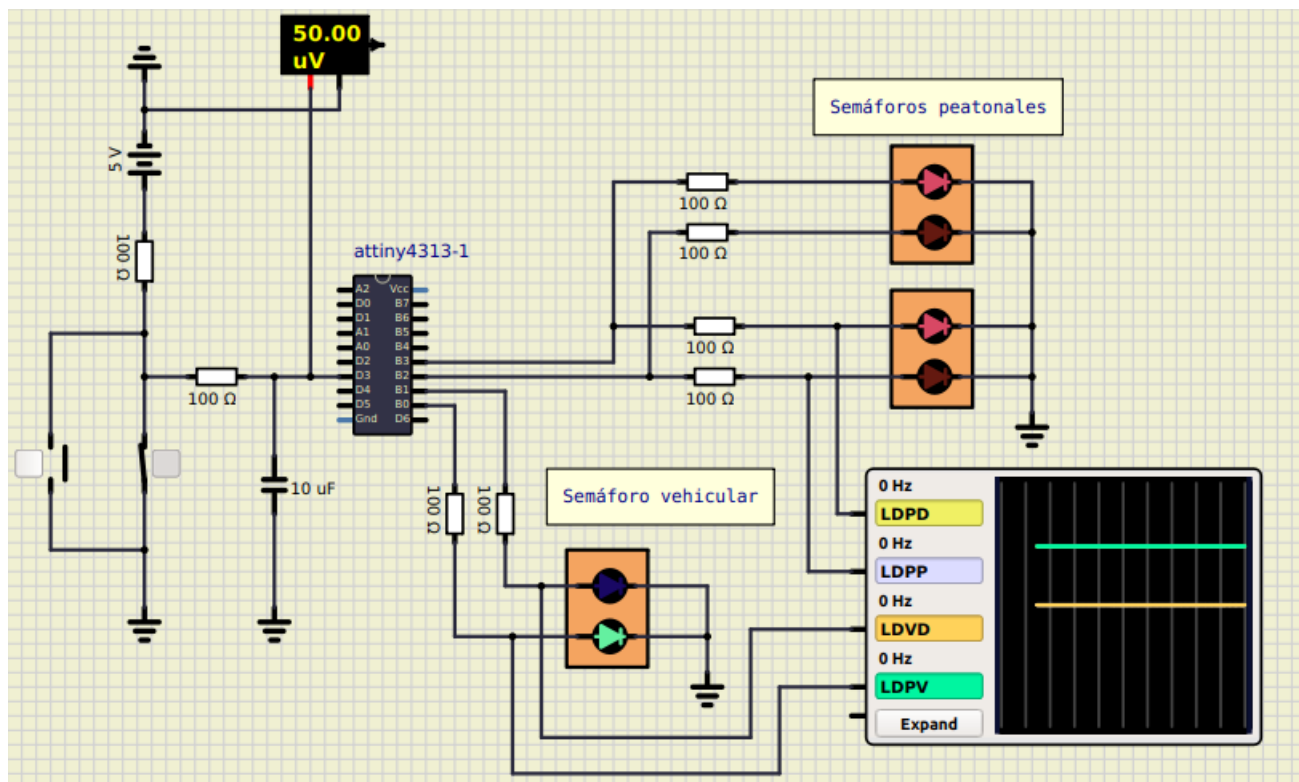


Figura 17: Circuito en estado A justo en donde ocurre la interrupción o primera entrada.



En la siguiente figura el LED encerrado en un cuadro verde está haciendo blink.

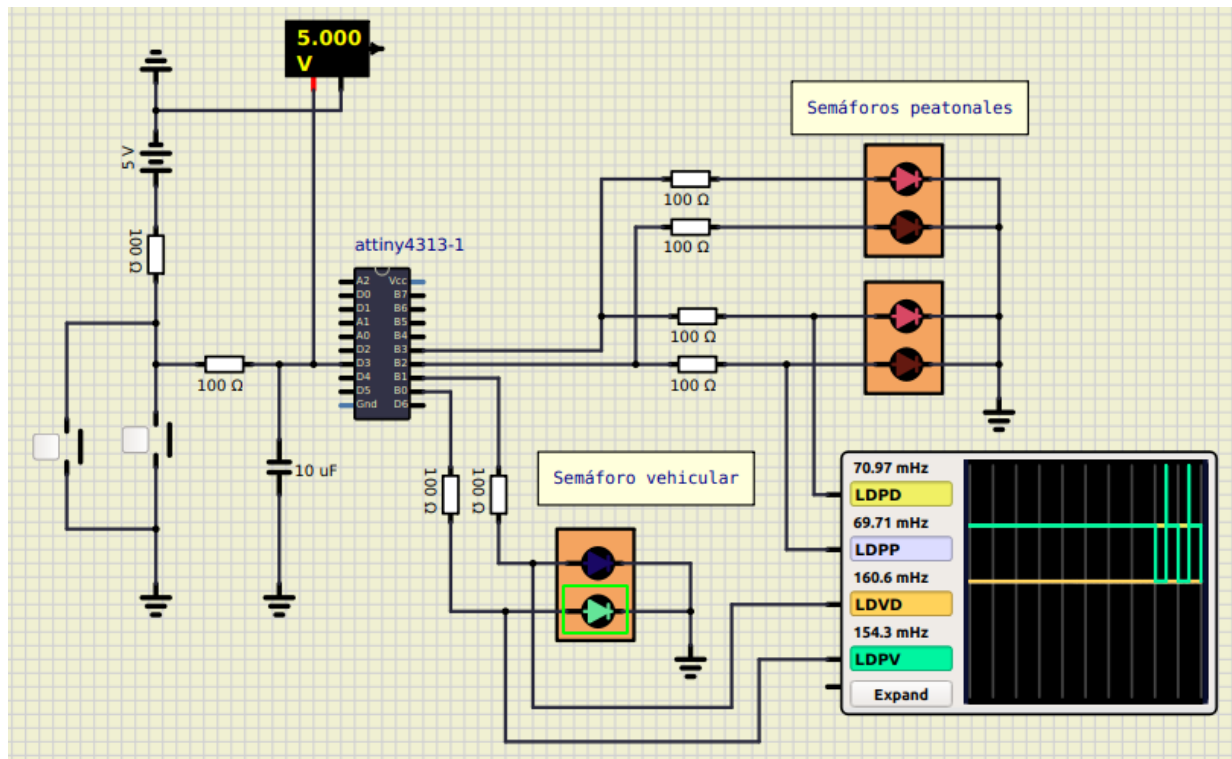


Figura 18: Circuito en estado B.

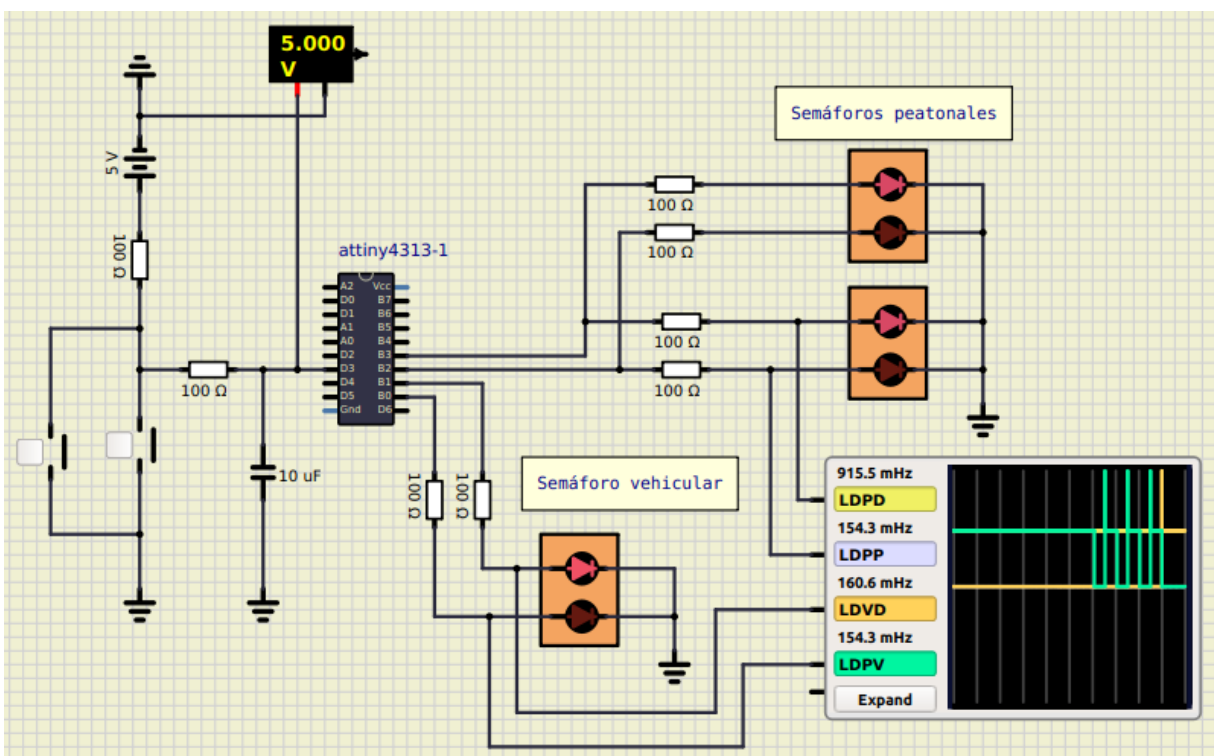


Figura 19: Circuito en estado C.

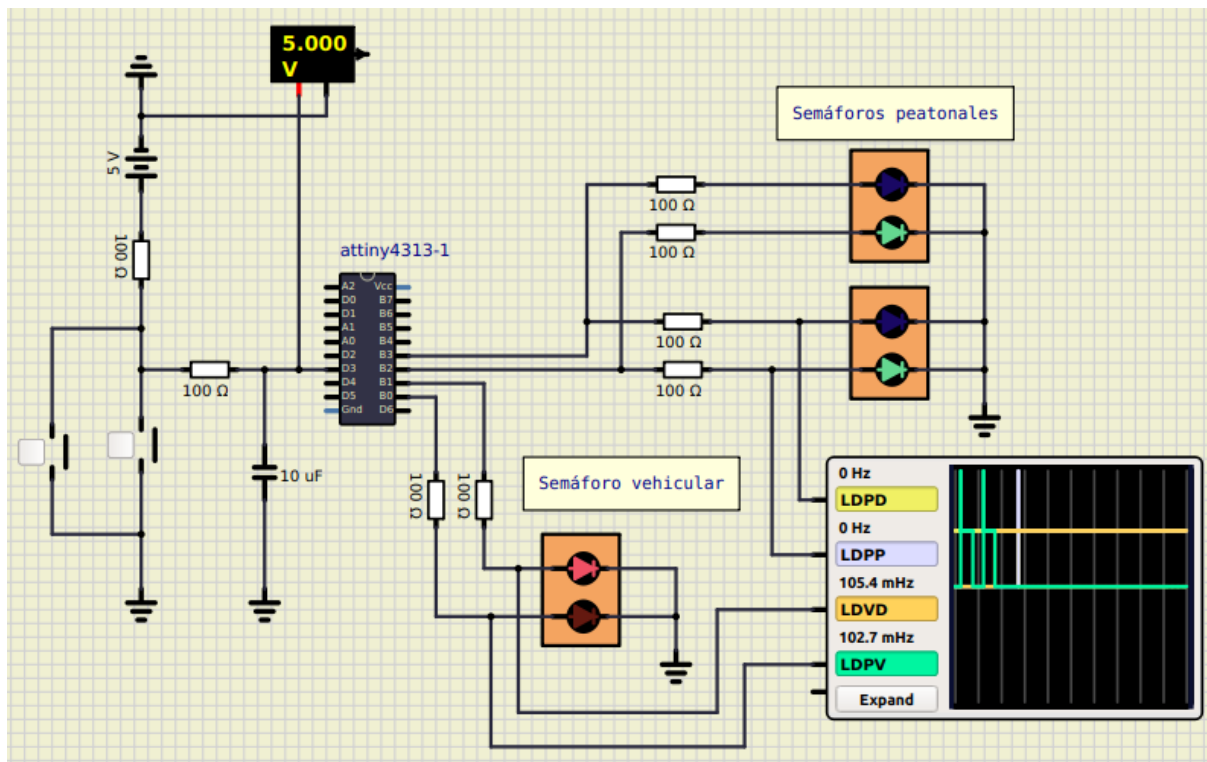


Figura 20: Circuito en estado D.

En la siguiente figura los LEDs encerrados en un cuadro verde están haciendo blink.

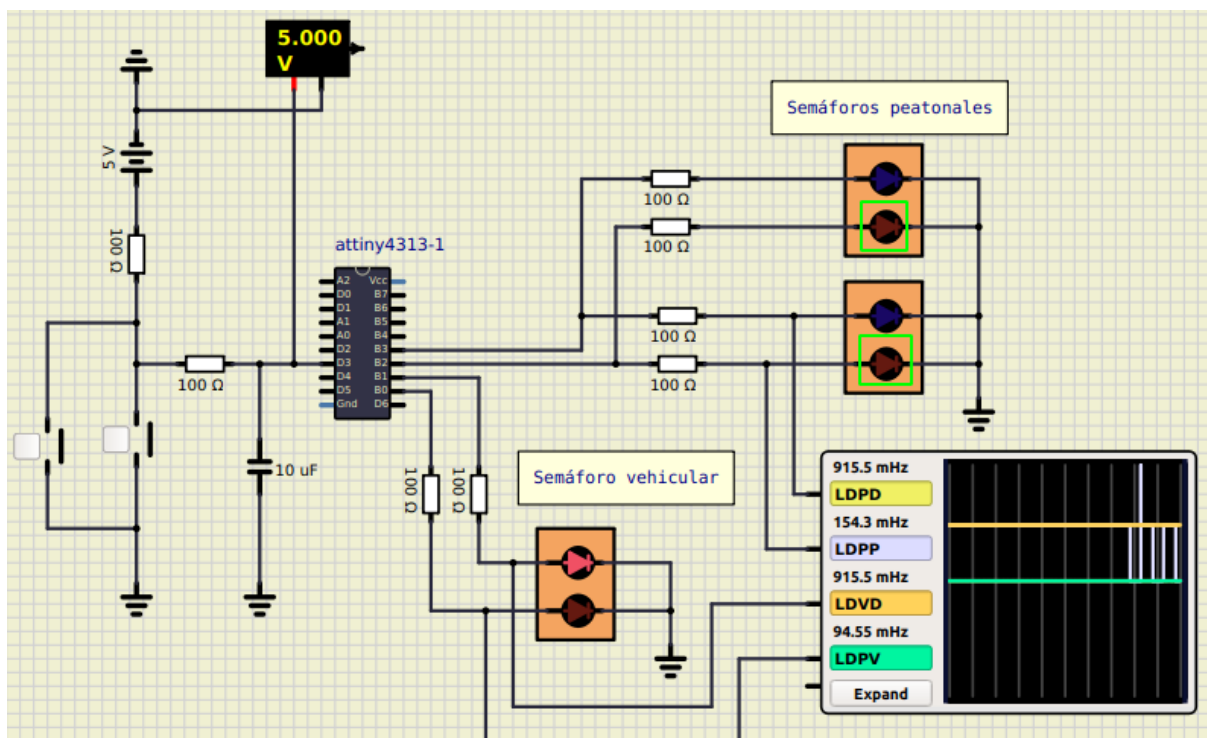


Figura 21: Circuito en estado E.

### 3. Conclusiones y Recomendaciones

- Se concluye que las técnicas de interrupción son un método más elegante, eficiente, y rápido para realizar cambios de estado en un sistema electrónico en comparación con lógica de HW; la cual podría depender de inestabilidades en las señales. Lo mejor es aprovechar al máximo las posibilidades que ofrece el microcontrolador pues a escala de diseño digital es mucho menor la probabilidad de errores.
- Se mejoró el aprendizaje general del manejo de rutinas de interrupción y temporizadores en firmware para el ATtiny4313; aprendizaje que podría extenderse a diferentes MCUs.
- Como recomendación se presenta que la lógica de las rutinas de interrupción debe ser muy corta y directa.
- Adicionalmente los practicantes experimentaron que la investigación previa al diseño es vital para un buen desarrollo. No importa si esta toma la mayor parte del tiempo, partir de cero en este tipo de proyectos es absolutamente en vano. Es por esto que se recomienda una previa investigación y lectura, con calma, de la hoja de datos del fabricante.

### Bibliografía

- [1] M. M. V. Fallas, “GPIO, interrupciones, timers y el ATtiny4313”, Notas de clase IE-0624 Laboratorio de Microcontroladores Escuela de Ingeniería Eléctrica, ago. de 2022.
- [2] ATMEL, “8-bit Microcontroller with 2/4K Bytes In-System Programmable Flash”, Atmel Corporation, 2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131 USA, Datasheet 8246B-AVR-09/11, 2011.

### 4. Apéndices

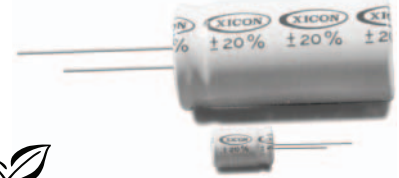


# Miniature Aluminum Electrolytic Capacitors

## XRL Series

### FEATURES

- Low impedance characteristics
- Case sizes are smaller than conventional general-purpose capacitors, with very high performance
- Can size larger than 9mm diameter has safety vents on rubber end seal
- RoHS Compliant



### CHARACTERISTICS

Item	Characteristics													
Operating Temperature Range	-40°C ~ +85°C													
Capacitance Tolerance	±20% at 120Hz, 20°C													
Leakage Current	≤100V	I = 0.01CWV or 3μA whichever is greater after 2 minutes of applied rated DC working voltage at 20°C Where: C = rated capacitance in μF; WV = rated DC working voltage												
	>100V	CWV ≤ 1000 μF: I= 0.03 CWV + 15uA; C= rated capacitance in uF CWV ≥ 1000 μF: I= 0.02 CWV + 25uA; WV= rated DC working voltage in V												
Dissipation Factor (Tan δ, at 20°C 120Hz)	Working voltage (WV)	6.3	10	16	25	35	50	63	100	160	250	350	450	
	Tan δ	0.23	0.20	0.16	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.12	0.17	0.20	0.25	
	For capacitors whose capacitance exceeds 1,000μF, the specification of tan δ is increased by 0.02 for every addition of 1,000μF													
Surge Voltage	Working voltage (WV)	6.3	10	16	25	35	50	63	100	160	250	350	450	
	Surge voltage (SV)	8	13	20	32	44	63	79	125	200	300	400	500	
Low Temperature Characteristics (Imp. ratio @ 120Hz)	Working voltage (WV)	6.3	10	16	25	35	50	63	100	160	250	350	450	
	Z(-25°C)/Z(+20°C)	øD<16	6	4	3	3	2	2	2	3	8	12	16	
		øD≥16	8	6	4	4	3	3	3	3	8	12	16	
	Z(-40°C)/Z(+20°C)	øD<16	10	8	6	6	4	3	3	3	4	10	16	20
		øD≥16	18	16	12	10	8	8	6	6	4	10	16	20
Load Test	When returned to +20°C after 2,000 hours application of working voltage at +85°C, the capacitor will meet the following limits: Capacitance change is ≤ ±20% of initial value; tan δ is < 200% of specified value; leakage current is within specified value													
Shelf Life Test	When returned to +20°C after 1,000 hours at +85°C with no voltage applied, the capacitor will meet the following limits: Capacitance change is ≤ ±20% of initial value; tan δ is < 200% of specified value; leakage current is within specified value													

### PART NUMBERING SYSTEM

<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>X</b>	<b>R</b>	<b>L</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>V</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>R</b>	<b>C</b>
Prefix			Series			Voltage Actual Value			Capacitance (μF) Actual Value			Suffix RoHS Compliant			

### RIPPLE CURRENT AND FREQUENCY MULTIPLIERS

Capacitance (μF)	Frequency (Hz)				
	60 (50)	120	500	1K	≥10K
<100	0.70	1.0	1.30	1.40	1.50
100 ~ 1000	0.75	1.0	1.20	1.30	1.35
>1000	0.80	1.0	1.10	1.12	1.15

### RIPPLE CURRENT AND TEMPERATURE MULTIPLIERS

Temperature (°C)	<50	70	85
Multiplier	1.78	1.4	1.0



XICON PASSIVE COMPONENTS • (800) 628-0544

XC-600178

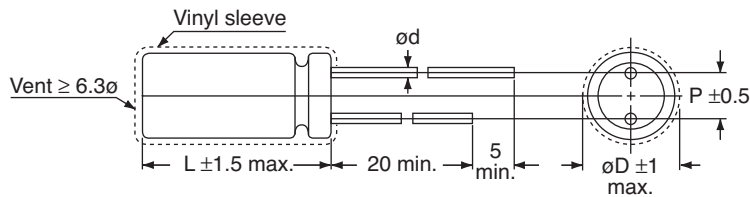
Specifications are subject to change without notice. No liability or warranty implied by this information. Environmental compliance based on producer documentation. Date Revised: 1/8/07



# Miniature Aluminum Electrolytic Capacitors

# XRL Series

## DIMENSIONS AND PERMISSIBLE RIPPLE CURRENT



Lead Spacing and Diameter (mm)

φD	5	6.3	8	10	13	16	18	22	25
P	2.0	2.5	3.5	5.0	5.0	7.5	7.5	10	12.5
φd	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	1.0	1.0

Tape and box is 5.0mm lead space.

Value (μF)	Working Voltage (WV); Dimensions: φD x L (mm); Ripple Current: mA/RMS @ 120Hz, 85°C													
	10		16		25		35		50		63		100	
	φD x L	mA	φD x L	mA	φD x L	mA	φD x L	mA	φD x L	mA	φD x L	mA	φD x L	mA
.10									5 x 11	1.5	5 x 11	3.0	5 x 11	3.0
.22									5 x 11	3.5	5 x 11	4.5	5 x 11	5.8
.33									5 x 11	5.0	5 x 11	7.5	5 x 11	8.8
.47					5 x 11	6.0			5 x 11	7.0	5 x 11	9.5	5 x 11	12
1.0					5 x 11	10			5 x 11	15	5 x 11	17	5 x 11	22
2.2			5 x 11	20	5 x 11	16			5 x 11	29	5 x 11	28	5 x 11	33
3.3			5 x 11	30	5 x 11	25			5 x 11	35	5 x 11	34	5 x 11	40
4.7			5 x 11	41	5 x 11	31	5 x 11	40	5 x 11	42	5 x 11	45	5 x 11	48
10	5 x 11	54	5 x 11	49	5 x 11	54	5 x 11	58	5 x 11	65	5 x 11	70	6.3 x 11	80
22	5 x 11	70	5 x 11	75	5 x 11	80	5 x 11	87	5 x 11	95	6.3 x 11	115	8 x 11.5	135
33	5 x 11	84	5 x 11	90	5 x 11	97	6.3 x 11	115	6.3 x 11	136	8 x 11.5	150	10 x 16	195
47	5 x 11	100	5 x 11	110	5 x 11	115	6.3 x 11	145	6.3 x 11	165	8 x 11.5	190	10 x 16	255
100	5 x 11	145	6.3 x 11	180	6.3 x 11	190	8 x 11.5	240	8 x 11.5	260	10 x 12	320	10 x 20	370
220	6.3 x 11	250	8 x 11.5	300	8 x 11.5	320	10 x 12	420	10 x 16	490	10 x 20	565	13 x 25	675
330	8 x 11.5	350	8 x 11.5	370	10 x 12.5	470	10 x 16	570	13 x 20	635	13 x 20	765	16 x 32	972
470	8 x 11.5	415	10 x 12.5	520	10 x 16	620	10 x 16	740	13 x 20	860	16 x 25	1050	18 x 36	1135
1000	10 x 12.5	650	10 x 16	785	13 x 20	1090	13 x 20	1145	16 x 25	1530	16 x 25	1700	22 x 40	2600
2200	13 x 20	1240	13 x 20	1295	16 x 25	1660	16 x 32	1890	18 x 40	2231	18 x 40	2385		
3300	13 x 20	1420	16 x 25	1840	16 x 32	2070	18 x 36	2430	22 x 40	2785	22 x 40	3000		
4700	16 x 25	1980	16 x 32	2260	18 x 36	2520	18 x 36	2700	25 x 40	3300	25 x 40	3560		
6800	16 x 25	2220	16 x 32	2520	18 x 36	2880	22 x 41	2900						
10000	18 x 36	2880	18 x 36	3080	22 x 40	3440								

Value (μF)	Working Voltage (WV); Dimensions: φD x L (mm); Ripple Current: mA/RMS @ 120Hz, 85°C							
	160		250		350		450	
	φD x L	mA	φD x L	mA	φD x L	mA	φD x L	mA
.47	5 x 11	13	8 x 11.5	21	8 x 11.5	21	10 x 12.5	26
1.0	5 x 11	20	8 x 11.5	32	8 x 11.5	32	10 x 12.5	38
2.2	6.3 x 11	34	8 x 11.5	49	10 x 16	63	10 x 16	63
3.3	8 x 11.5	50	10 x 12.5	70	10 x 16	78	10 x 20	86
4.7	8 x 11.5	60	10 x 16	93	10 x 20	103	13 x 20	120
10	10 x 16	115	10 x 20	150	13 x 20	174	13 x 25	192
22	13 x 20	216	13 x 20	255	13 x 25	282	16 x 25	354
33	13 x 20	270	13 x 25	348	16 x 32	438	18 x 36	426
47	13 x 25	354	16 x 25	468	16 x 36	500	18 x 40	555
100	16 x 25	582	18 x 40	822	18 x 40	685	22 x 45	750
220	18 x 36	900	22 x 40	1134				
330	18 x 40	1010						



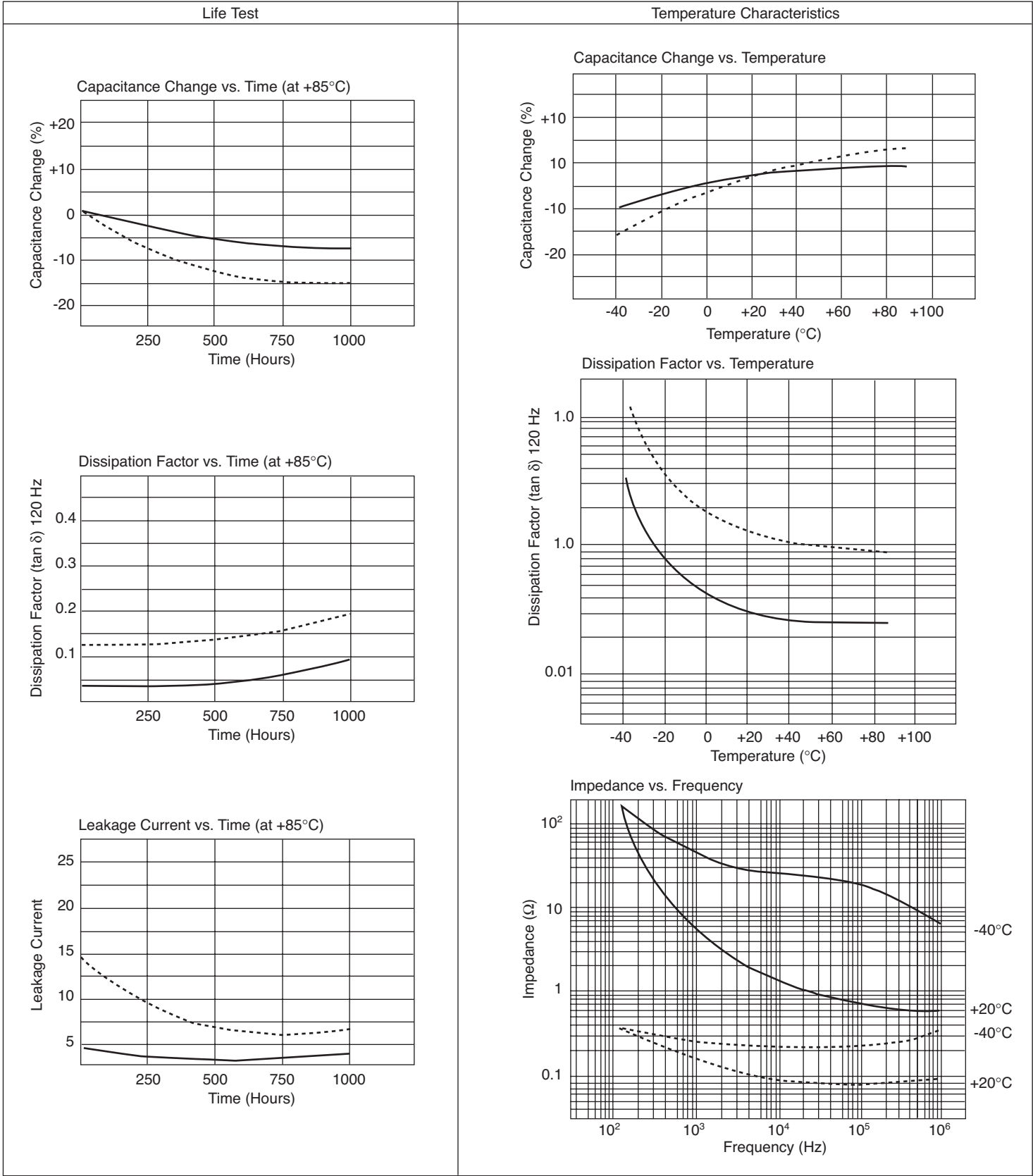


# Miniature Aluminum Electrolytic Capacitors

# XRL Series

## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

----- 1000 $\mu$ F 16V  
————— 1 $\mu$ F 50V





# 深圳市煜森照明有限公司

## CHINA YUNSUN LED LIGHTING CO., LTD.

TEL: (86) 755-28079401 28079402 28079403 28079404 28079405

FAX: (86) 755-28079407 E-mail: info@100LED.com Web: www.100LED.com

Model No.: YSL-R1047R3D-D2

### Applications:

- Decorations
- Advertising Sign
- Indicators
- Illuminations
- Traffic Lights
- Flashlights

### Absolute Maximum Ratings: (Ta=25°C) .

ITEMS	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	$I_F$	20	mA
Peak Forward Current	$I_{FP}$	30	mA
Suggestion Using Current	$I_{SU}$	16-18	mA
Reverse Current ( $V_R=5V$ )	$I_R$	10	uA
Power Dissipation	$P_D$	105	mW
Operation Temperature	$T_{OPR}$	-40 ~ 85	°C
Storage Temperature	$T_{STG}$	-40 ~ 100	°C
Lead Soldering Temperature	$T_{SOL}$	Max. 260°C for 3 Sec. Max. (3mm from the base of the epoxy bulb)	

### Absolute Maximum Ratings: (Ta=25°C)

ITEMS	Symbol	Test condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Forward Voltage	$V_F$	$I_F=20mA$	1.8	---	2.2	V
Wavelength (nm) or TC(k)	$\Delta \lambda$	$I_F=20mA$	620	---	625	nm
*Luminous intensity	$I_v$	$I_F=20mA$	100	---	150	mcd
50% Viewing Angle	$2\theta 1/2$	$I_F=20mA$	40		60	deg

Address: 5/F, Building B, Anzhilong Indl., Qinghua East Road., Longhua Town, Shenzhen CHINA. 518109

www.100LED.com

ONE HUNDRED LED  
PERFECT LED



# 深圳市煜森照明有限公司

## CHINA YUNSUN LED LIGHTING CO., LTD.

TEL: (86) 755-28079401 28079402 28079403 28079404 28079405

FAX: (86) 755-28079407 E-mail: info@100LED.com Web: www.100LED.com

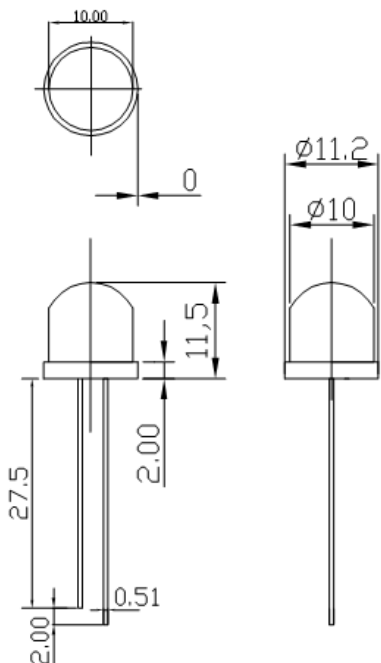
### Light Degradation in mcd: ( $I_F=20mA$ )

Hours Colors	Light Degradation in mcd after Different Hours					
	216 Hrs	360 Hrs	792 Hrs	1104 Hrs	1992 Hrs	2328 Hrs
Red	1.52%	-1.22%	-3.10%	-4.68%	-5.72%	-8.27%
Yellow	-1.71%	-2.97%	-5.93%	-8.13%	-8.90%	-11.10%
Blue	3.13%	-0.33%	-3.84%	-8.23%	-21.32%	-24.92%
Green	-8.02%	-9.78%	-14.25%	-17.37%	-20.79%	-22.30%
Hours	48 Hrs	168 Hrs	336 Hrs	360Hrs	720 Hrs	1008 Hrs
Cool White	10.56%	6.72%	-2.29%	-7.68%	-17.32%	-22.48%
Pure White	13.66%	8.22%	-1.45%	-8.50%	-19.52%	-25.26%
Warm White	3.02%	-4.38%	-15.18%	-21.15%	-27.19%	-29.97%

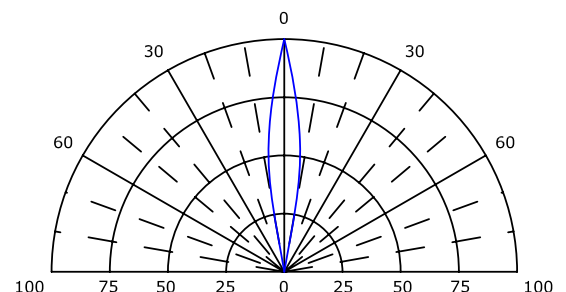
### Mechanical Dimensions:

- All dimension are in mm, tolerance is  $\pm 0.2mm$  unless otherwise noted
- An epoxy meniscus may extend about 1.5mm down the leads.
- Burr around bottom of epoxy may be 0.5mm Maximum

Unit: mm



Viewing Angle Drawing



Address: 5/F, Building B, Anzhilong Indl., Qinghua East Road., Longhua Town, Shenzhen CHINA. 518109

www.100LED.com

ONE HUNDRED LED  
PERFECT LED



## PUSH-1: PUSH MINI 1MM 4 PINES

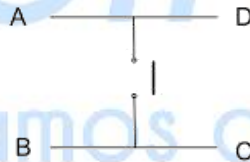
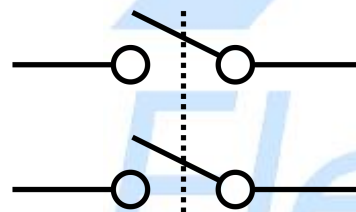


### Descripción

Mini interruptor pulsador de cuatro terminales con botón, configuración DPST (por sus siglas en inglés que significan Double Pole Single Throw) o Polo Doble Corte Simple, donde polo se refiere al número de circuitos controlados por el interruptor y corte se refiere a la posición extrema del interruptor. Las cuatro terminales están interconectadas, se conectan todas al presionar el botón del pulsador.

Permite el flujo de corriente solamente mientras es presionado, por lo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica. Ideal para utilizarse en protoboards.

### Diagrama eléctrico

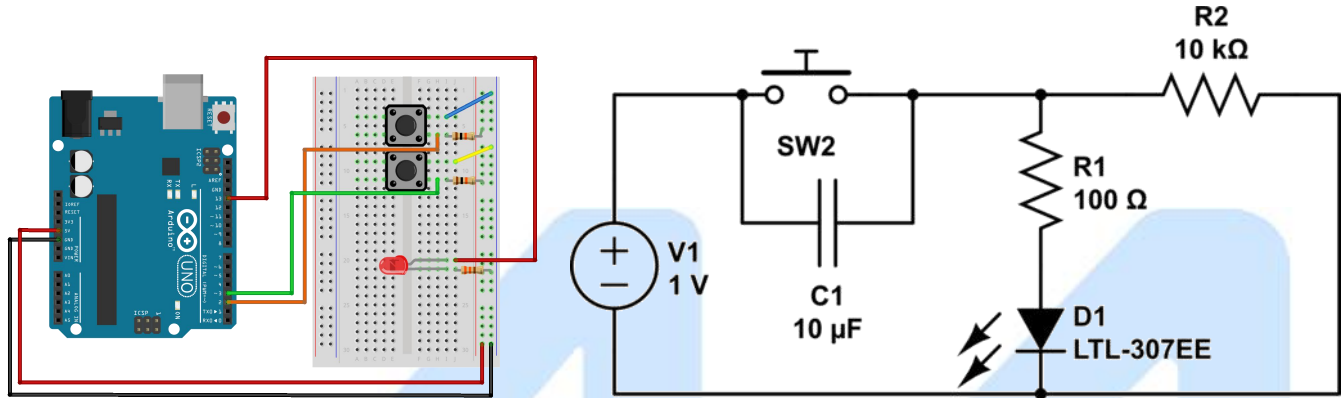


### Especificaciones

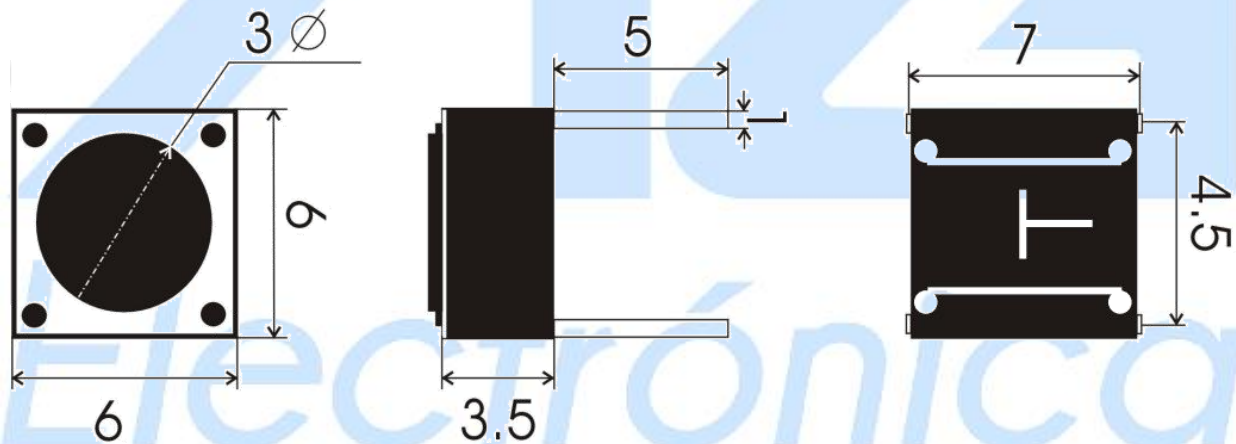
- Interruptor pulsador de 4 pines.
- Voltaje máximo: 120VCD/220VAC.
- Corriente máxima: 50A.
- Botón de 1 mm. de altura.

## Aplicaciones

- El push button se puede utilizar para la creación de circuitos electrónicos que requieran un interruptor para controlar el flujo de corriente y alimentar diferentes partes del circuito o elegir diferentes configuraciones de forma temporal, ya que al dejar de presionar el push button, se abre el circuito.



**Dimensiones**    **Unidad:mm**    **Tolerancia:±0.5**



¿Qué vamos a innovar hoy?

	AG Electrónica S.A.P.I. de C.V. República del Salvador N° 20 Segundo Piso Teléfono: 5130 - 7210		
	ACOTACIÓN: N/A	<a href="http://www.agelectronica.com/">http://www.agelectronica.com/</a>	ESCALA: N/A REALIZO: DCR REV: DMSP
TOLERANCIA: N/A	<b>PUSH MINI 1MM 4 PINES</b>		
TOLERANCIA: N/A	Fecha: 04/04/2019	<b>No. Parte: PUSH-1</b>	



# Carbon Film Fixed Resistors (RoHS Compliant)

# CF-RC Series

## FEATURES

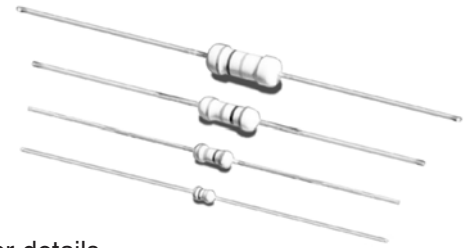
- Temperature Range -55°C ~ +155°C
- ±5% tolerance
- High quality performance at economical prices
- Compatible with automatic insertion equipment
- Flame retardant type available
- Tin coated annealed copper wire
- Values below 1Ω or above 10MΩ are available by special request, please ask for details



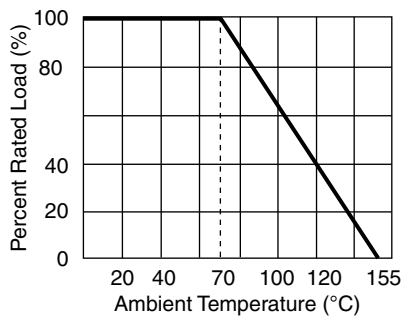
LEAD-FREE



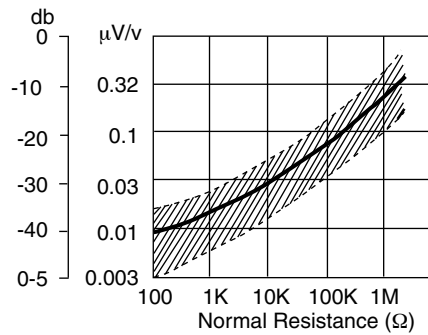
Environmental  
Commitment



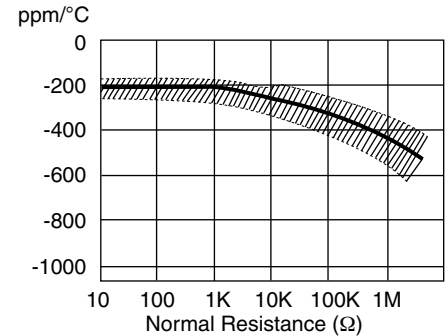
## DERATING CURVE



## CURRENT NOISE



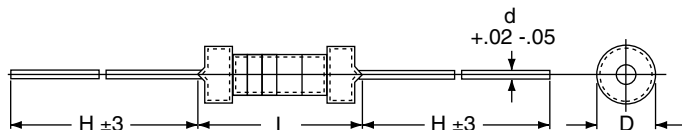
## TEMPERATURE COEFFICIENT



## PART NUMBERING SYSTEM



## SERIES, WATTAGE, SIZE, VOLTAGE, DIMENSIONS, AND AVAILABLE PACKAGING



Code:	Package:
	Bulk
/REEL	Tape and Reel
/AP	Ammo Pack

Series	Watts	Size	Voltage (max.)		Dimensions (mm)				Standard Quantities Available		
			W.V.	O.V.	L max.	D max.	H	d	Bulk	Tape and Reel	Ammo Pack
294	1W	Small	500	1,000	12	5.0	28	0.7	1,000	3,000	1,000
299	1/8W	Standard	200	400	3.5	1.85	28	0.45	1,000	5,000	2,000
291	1/4W	Standard	250	500	6.8	2.5	28	0.54	1,000	5,000	1,000
293	1/2W	Standard	350	700	10	3.5	28	0.54	1,000	3,000	1,000

## STANDARD VALUES (Ω)

0.5	2.0	4.3	9.1	20	43	91	200	430	910	2K	3.9K	8.2K	18K	39K	82K	180K	390K	820K	1.8M	3.9M	8.2M
1.0	2.2	4.7	10	22	47	100	220	470	1K	2.2K	4.3K	9.1K	20K	43K	91K	200K	430K	910K	2M	4.3M	9.1M
1.1	2.4	5.1	11	24	51	110	240	510	1.1K	2.4K	4.7K	10K	22K	47K	100K	220K	470K	1M	2.2M	4.7M	10M
1.2	2.7	5.6	12	27	56	120	270	560	1.2K	2.7K	5.1K	11K	24 K	51K	110K	240K	510K	1.1M	2.4M	5.1M	15M
1.3	3.0	6.2	13	30	62	130	300	620	1.3K	3K	5.6K	12K	27K	56K	120K	270K	560K	1.2M	2.7M	5.6M	22M
1.5	3.3	6.8	15	33	68	150	330	680	1.5K	3.2K	6.2K	13K	30K	62K	130K	300K	620K	1.3M	3M	6.2M	
1.6	3.6	7.5	16	36	75	160	360	750	1.6K	3.3K	6.8K	15K	33K	68K	150K	330K	680K	1.5M	3.3M	6.8M	
1.8	3.9	8.2	18	39	82	180	390	820	1.8K	3.6K	7.5K	16K	36K	75K	160K	360K	750K	1.6M	3.6M	7.5M	





# Carbon Film Fixed Resistors (RoHS Compliant)

# CF-RC Series

## ■ CHARACTERISTICS

Characteristics	Limits		Test Methods ( JIS C 5201-1 )		
DC. Resistance	Must be within the specified tolerance.		5.1 The limit of error of measuring apparatus shall not exceed allowable range or 5% of resistance tolerance		
Temperature coefficient	Resist. Range	T.C.R. (PPM / °C)	5.2 Natural resistance change per temp. degree centigrade. R2-R1 ———— x106 (PPM/°C) R1(t2-t1) R1: Resistance value at room temperature (t1) R2: Resistance value at room temp.plus 100°C (t2)		
	< 10 Ω 11Ω ~ 99K 100K ~ 1M 1.1M ~ 10M	0 ~ ±350 0 ~ -450 0 ~ -700 0 ~ -1500			
Short time overload	Resistance change rate is ± (1 % + 0.05Ω) Max. with no evidence of mechanical damage		5.5 Permanent resistance change after the application of a potential of 2.5 times RCWV for 5 seconds.		
Insulation Resistance	Insulation resistance is 10,000 MΩ Min		5.6 Resistors shall be clamped in the trough of a 90° metallic V-block and shall be tested at DC potential respectively specified in the above list for 60 +10/ -0 seconds.		
Dielectric withstanding voltage	No evidence of flashover mechanical damage,arcing or insulation break down.		5.7 Resistors shall be clamped in the trough of a 90° metallic V-block and shall be tested at AC potential respectively specified in the table 1 for 60 + 10/-0 seconds.		
Terminal strength	No evidence of mechanical damage.		6.1 <b>Direct load</b> Resistance to a 2.5 kgs direct load for 10 secs. in the direction of the longitudinal axis of the terminal leads. <b>Twist test :</b> Terminal leads shall be bent through 90° at a point of about 6mm from the body of the resistor and shall be rotated through 360° about the original axis of the bent terminal in alternating direction for a total of 3 rotations.		
Resistance to soldering heat	Resistance change rate is ± (1% + 0.05Ω) Max. with no evidence of mechanical damage.		6.4 Permanent resistance change when leads immersed to 3.2 to 4.8 mm from the body in 350 °C ± 10°C solder for 3 ± 0.5 seconds		
Solderability	95 % coverage Min.		6.5 The area covered with a new , smooth clean , shiny and continuous surface free from concentrated pinholes. Test temp. of solder : 245°C ± 3°C Dwell time in solder : 2 ~ 3 seconds		
Temperature cycling	Resistance change rate is ± (1% + 0.05Ω) Max. with no evidence of mechanical damage.		7.4 Resistance change after continuous 5 cycles for duty shown below:		
			Step	Temperature	Time
			1	-55°C ±3°C	30 mins
			2	Room temp.	10~15 mins
			3	+155°C ±2°C	30 mins
4	Room temp.	10~15 mins			
Load life in humidity	Resistance value		ΔR/R	7.9 Resistance change after 1,000 hours operating at RCWV with duty cycle of (1.5 hours "on", 0.5 hour "off") in a humidity test chamber controlled at 40°C ± 2°C and 90 to 95 % relative humidity	
	Normal Type	< than 100KΩ >100KΩ			± 3 % ± 5 %
Load life	Resistance value		ΔR/R	7.10 Permanent resistance change after 1,000 hours operating at RCWV with duty cycle of ( 1.5 hours "on", 0.5 hour "off" ) at 70°C ± 2°C ambient	
	Normal Type	< than 56KΩ > 56KΩ	± 2 % ± 3 %		



## Features

- High Performance, Low Power AVR<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>**  
**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

