

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

IE-0624 LABORATORIO DE MICROCONTROLADORES

## Laboratorio # 2

*Freddy Zúñiga Cerdas*

*A45967*

Profesor

MARCO VILLALTA FALLAS

April 22, 2023

# 1 Introducción

En el presente trabajo se creo un circuito capaz de emular el comportamiento de una lavadora que cuenta con 3 diferentes modos de carga (baja, media y alta) y cuatro ciclos diferentes de lavado (suministrar de agua, lavar, enjuagar, centrifugar), para ello se utilizaron una serie de componentes electrónicos, donde el más importante de ellos es el microcontrolador ATTINY4313.

El circuito final se compone de tres partes fundamentales, los circuitos de entrada del microcontrolador que son 4 botones(ON/PAUSE, BAJA, MEDIA Y ALTA) los cuales tienen un circuito simple para evitar los rebotes de los botones. Luego tenemos las salidas del microcontrolador que constan de las señales de salida para controlar tanto los leds que muestran el estado de la lavadora, en otras palabras que indican si está ON o en PAUSE, si la carga es baja, media o alta, y si estamos en una de las cuatro secuencias de lavado: suministro, lavar, enjuagar o centrifugar, junto con estos leds también se controlan dos displays de cuatro segmentos que se encargan de mostrar la cuenta regresiva según el nivel de carga en el que esté operando la lavadora.

Con la implementación propuesta se logró hacer funcionar el circuito cumpliendo con todas las especificaciones.

El repositorio de Github se puede consultar en la siguiente dirección:

[https://github.com/JackTheKnife16/IE-0624\\_Laboratorio\\_de\\_Microcontroladores\\_I\\_2023](https://github.com/JackTheKnife16/IE-0624_Laboratorio_de_Microcontroladores_I_2023)

## 2 Nota Teórica

En este apartado se mostrarán algunas características del microcontrolador así como la justificación de la utilización de los componentes externos y el diagrama de flujo del firmware creado para el microcontrolador.

### 2.1 Microcontrolador ATTINY4313

#### 2.1.1 Características Generales

El microcontrolador ATTINY4313 cuenta con las siguientes características:

- Microcontrolador AVR de 8 bits.
- Arquitectura RISC/Harvard.
- 2/4Kb Flash, 128/258 bytes de SRAM y 128/258 bytes de EEPROM.
- Timer/Counter de 8 y 16 bits.
- 4 canales PWM y comparador analógico.
- USI, USART

#### 2.1.2 Diagrama de Bloques

En la Figura 1 se muestra en detalle el diagrama de bloques del microcontrolador.

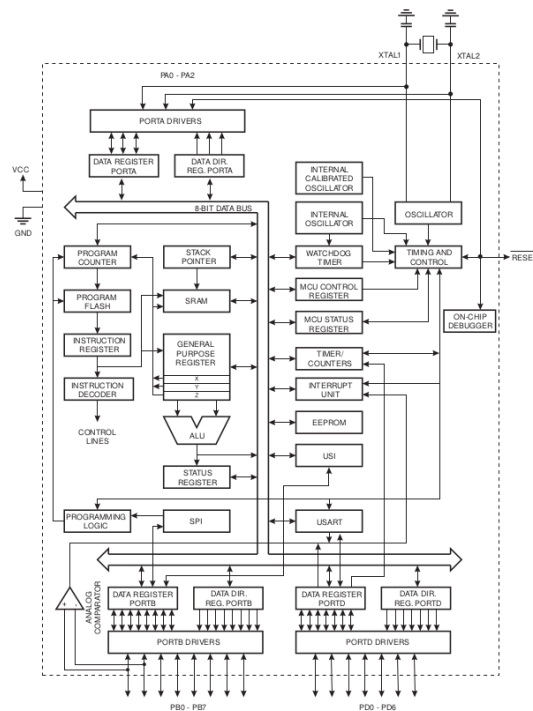
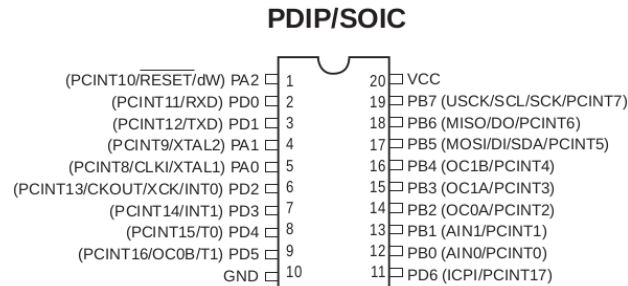


Figura 1: Diagrama de Bloques del ATTINY4313 [1]

### 2.1.3 Diagrama de Pines

En la Figura 2 se muestra el diagrama de pines del microcontrolador.



**Figura 2:** Diagrama de Pines del ATTINY4313 [1]

### 2.1.4 Características Eléctricas

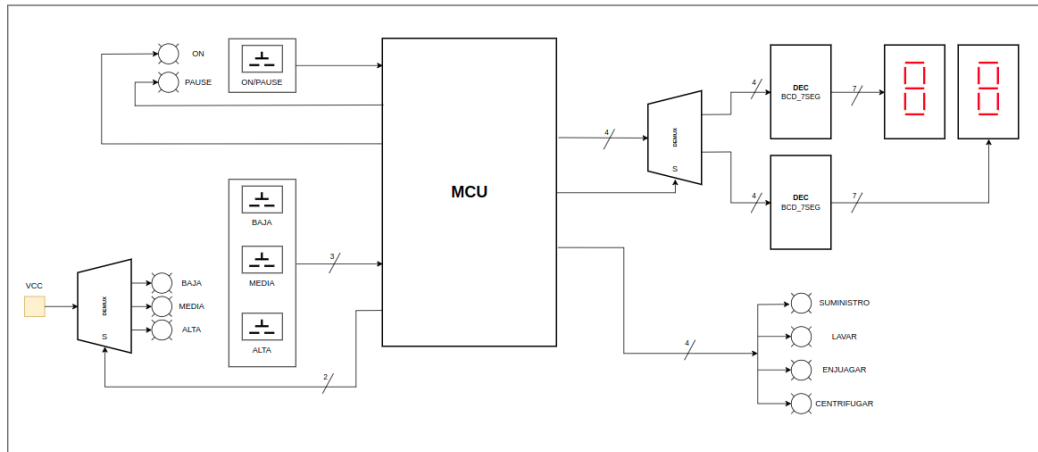
En la Figura 3 se muestran las características eléctricas del microcontrolador.

|   |                        |
|---|------------------------|
| Operating Temperature .....   | -55°C to +125°C        |
| Storage Temperature .....   | -65°C to +150°C        |
| Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$<br>with respect to Ground ..... | -0.5V to $V_{CC}+0.5V$ |
| Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ 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:** Características Eléctricas del ATTINY4313 [1]

## 2.2 Diagrama Funcional del Circuito

En la Figura 4 se muestra el diagrama funcional para el laboratorio, se puede ver la representación de cada una de las partes del circuito, que consta de 3, circuito de entrada, circuito de salida y microcontrolador. En la figura se esboza el circuito de funcionamiento de los displays de 7 segmentos que requieren demultiplexores, decodificadores bcd a 7 segmentos y un par de displays de 7 segmentos, mientras que para los leds de carga se utilizó un demultiplexor para poder controlar 3 leds con solo dos pines. Se ha tratado de usar la mayor cantidad de pines para evitar usar demasiada lógica externa.



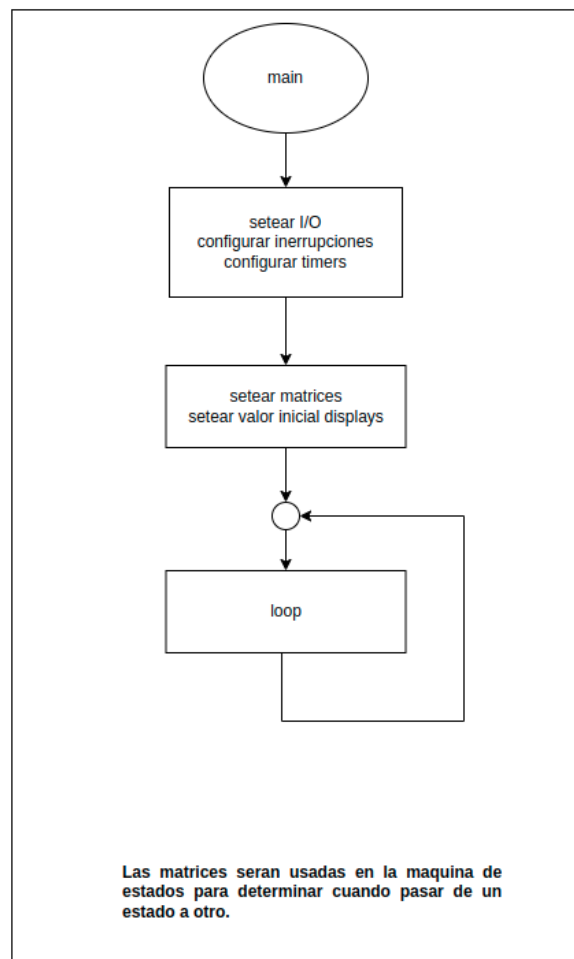
**Figura 4:** Diagrama funcional para la lavadora [imagen propia]

## 2.3 Firmware del Circuito

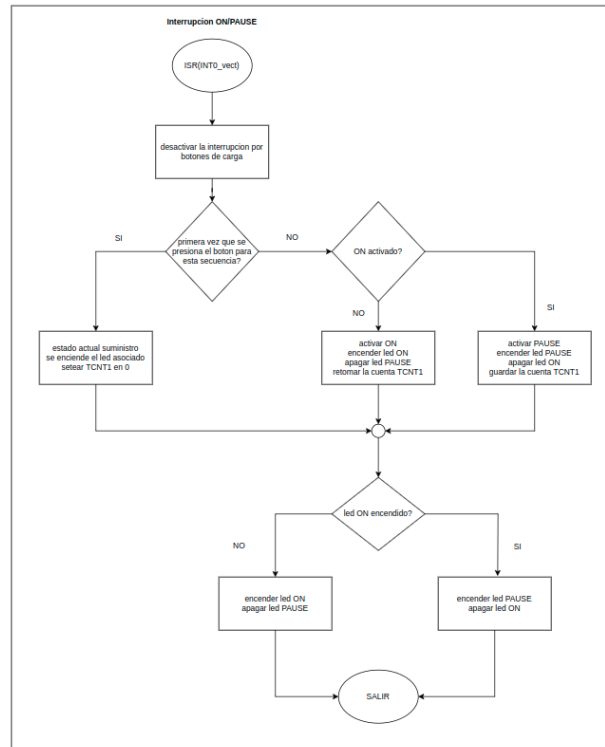
Se mencionará el funcionamiento de las 4 interrupciones a utilizar:

- ISR(INT0\_vect): esta interrupción es la que maneja el botón ON/PAUSE, se dispara cuando se presiona el botón ON/PAUSE.
- ISR(PCINT2\_vect): esta interrupción es la encargada de manejar los 3 botones para elegir el tipo de carga, se dispara cuando se presiona cualquier botón de la parte de Carga (BAJA, MEDIA, ALTA).
- ISR(TIMER1\_COMPA\_vect) se encarga de la cuenta regresiva y trabaja por comparación, en otras palabras cuando el contador interno del timer1 es igual al valor de comparación se dispara y este valor se eligió para que el disparo ocurra cada segundo aproximadamente.
- ISR(TIMER0\_COMPA\_vect) se encarga de refrescar los leds de 7 segmentos y de apagar todos los leds normales en el momento en que la cuenta llega a 0.

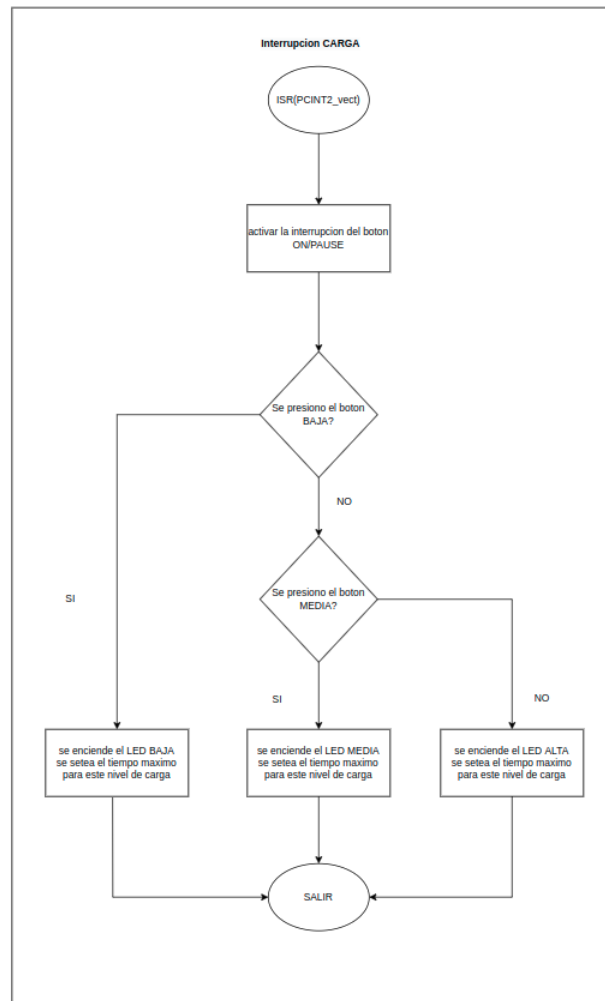
En las siguientes Figuras se muestran los diagramas para el firmware del laboratorio, consta del diagrama para main, las 4 interrupciones usadas



**Figura 5:** Diagrama del main [imagen propia]

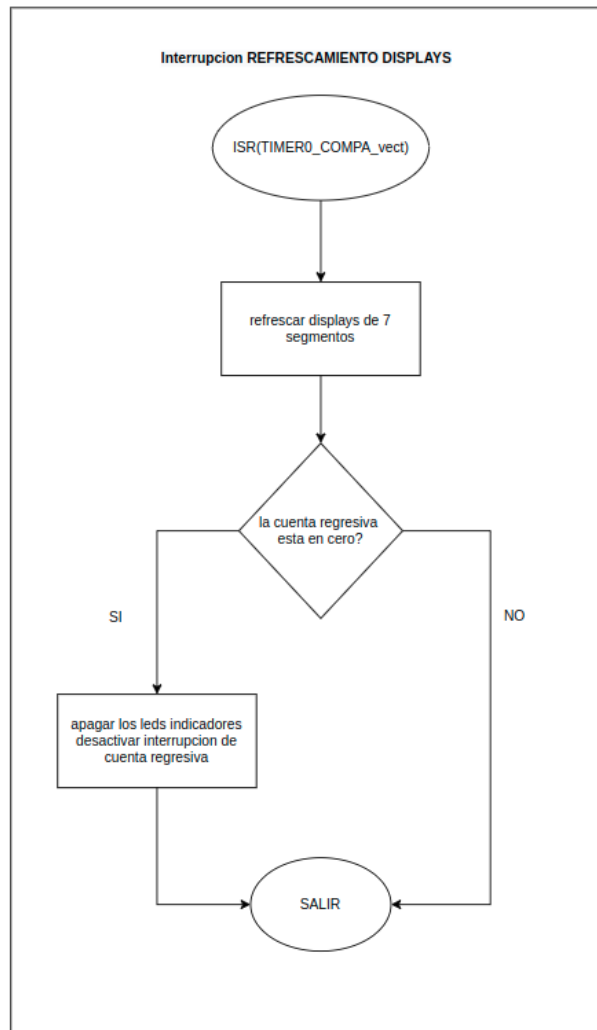


**Figura 6:** Diagrama del ISR ON/PAUSE [imagen propia]

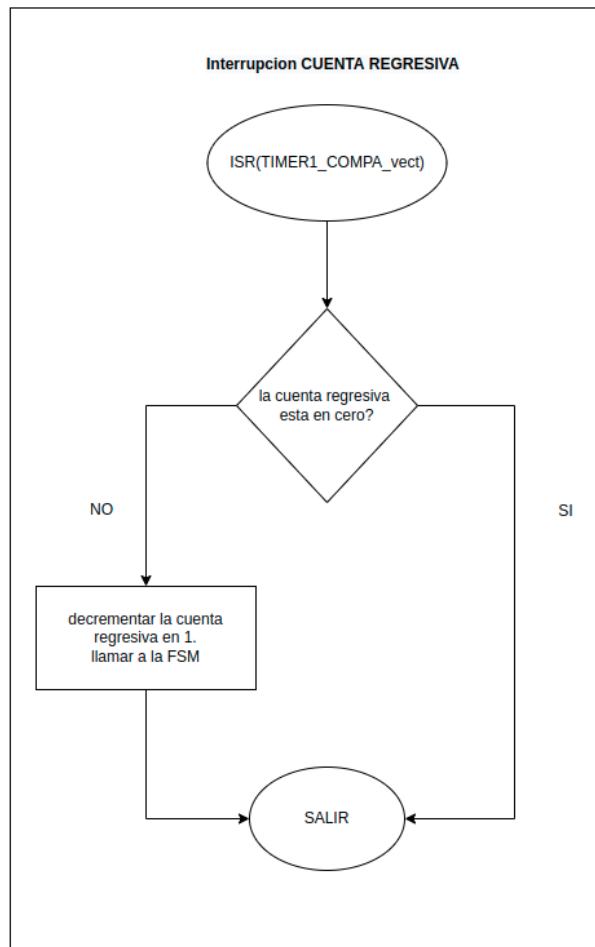


**Figura 7:** Diagrama del ISR CARGA [imagen propia]

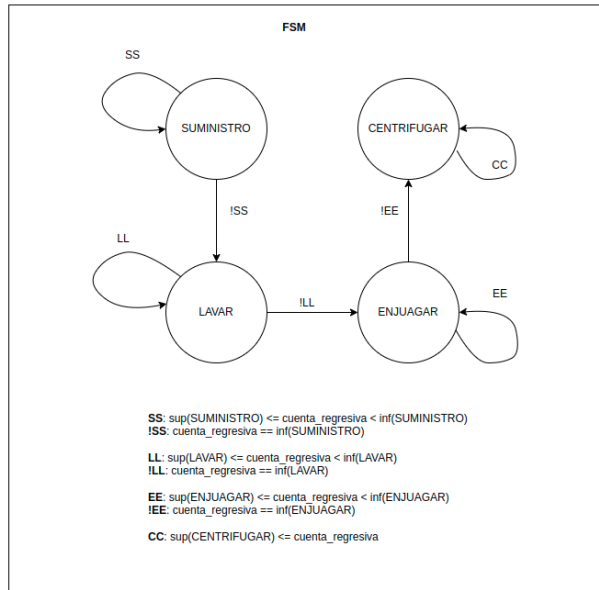




**Figura 8:** Diagrama del ISR TIMER 0 [imagen propia]



**Figura 9:** Diagrama del ISR TIMER 1 [imagen propia]



**Figura 10:** Diagrama de la FSM [imagen propia]

Para los detalles de la implementación se recomienda ver el código hecho.

## 2.4 Componentes Electrónicos Complementarios

El sistema que resuelve el problema planteado para este proyecto se diseñó con tres partes fundamentales, primero el circuito de entrada, segundo el microcontrolador y tercero el circuito de salida. En la Tabla se listan los componentes utilizados para cada uno de dichas partes, así como su precio en el mercado en colones.

| Código       | Tipo             | Característica   | Cantidad | Precio | Subsistema       |
|--------------|------------------|------------------|----------|--------|------------------|
| ATTINY4313   | Microcontrolador | -                | 1        | 1444   | Microcontrolador |
| -            | Capacitor        | 10 $\mu\text{F}$ | 4        | 190    | Entrada          |
| -            | Pulsador         | -                | 4        | 99     | Entrada          |
| -            | Resistencia      | 100 $\Omega$     | 4        | 199    | Entrada          |
| -            | Resistencia      | 232 $\Omega$     | 4        | 199    | Entrada          |
| -            | Resistencia      | 90 $\Omega$      | 14       | 199    | Salida           |
| 74HC4511     | Decodificador    | -                | 2        | 915    | Salida           |
| 157102B12700 | Display 7 SEG    | 2.4 V , 20 mA    | 2        | 2373   | Salida           |
| 74HC238      | Demultiplexor    | 5 V              | 5        | 310    | Salida           |
| NTE4050B     | BUFFER           | 5 V              | 1        | 591    | Salida           |

**Tabla 1:** Información de los componentes utilizados

El precio calculado para estos componentes es de 15695 colones.

## 2.5 Diseño de los circuito Complementarios

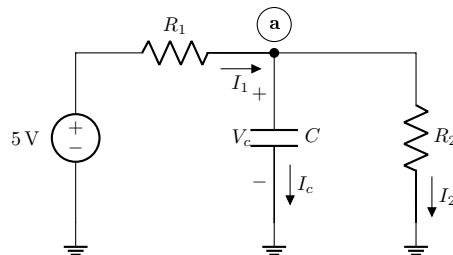
Los circuitos complementarios serán explicados en detalle a continuación.

### 2.5.1 Circuito de Entrada

El circuito de entrada se compone de 4 pulsadores y un circuito RC para controlar los picos de tensión al accionar el pulsador para cada uno. El RC es un poco más complejo debido a que el microcontrolador requiere una resistencia de pull down para cada pin de entrada. Para este circuito se debía determinar el valor de dos resistencias y un capacitor conociendo ciertos datos:

- La tensión de entrada al PIN 3 del microcontrolador debe ser superior a 3 V ya que es suficiente tensión para que el microcontrolador reconozca como un valor en alto.
- El capacitor debe cargarse a su valor final en un tiempo no mayor a 5 ms, un tiempo mucho menor a la velocidad de reacción que puede tener un ser humano al pulsar un botón.

En la Figura 11 se muestra el esquemático del circuito de entrada, con este y un poco de cálculo se obtendrán los valores para las resistencias y la capacitancia.



**Figura 11:** Esquemático del Circuito entrada [imagen propia]

Aplicando Ley de Corrientes de Kirchhoff en el nodo a, obtenemos que:

$$\frac{5 - V_c}{R_1} = C \frac{dV_c}{dt} + \frac{V_c}{R_2} \quad (1)$$

Reacomodando la ecuación llegamos a:

$$\frac{dV_c}{dt} + \frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2} \cdot V_c = \frac{5}{CR_1} \quad (2)$$

sea  $a = \frac{R_1 + R_2}{CR_1 R_2}$  y  $b = \frac{5}{CR_1}$  tenemos que:

$$\frac{dV_c}{dt} + aV_c = b \quad (3)$$

Claramente el factor integrante para resolver este problema será:  $e^{at}$ , multiplicando esto a ambos lados de (3) y luego agrupando tenemos que:

$$\begin{aligned} e^{at} \frac{dV_c}{dt} + aV_c e^{at} &= b e^{at} \\ \frac{d}{dt} [e^{at} V_c] &= b e^{at} \\ d[e^{at} V_c] &= b e^{at} dt \end{aligned}$$

Integrando a ambos lados y luego despejando:

$$e^{at} V_c = \frac{b}{a} e^{at} + k$$

$$V_c = \frac{b}{a} + k e^{-at}$$

Suponiendo que en  $t = 0$ ,  $V_c(0) = 0$  (capacitor está descargado en el tiempo 0) entonces  $k = -\frac{b}{a}$ , por lo que:

$$\boxed{V_c = \frac{b}{a} [1 - e^{-at}]} \quad (4)$$

Sabemos por tanto que  $b/a$  es el valor de la tensión en régimen permanente, y fijaremos tal valor en 3.5 V :

$$\frac{b}{a} = \frac{5R_2}{R_1 + R_2} = 3.5$$

manipulando la ecuación se obtiene la relación entre las resistencias:

$$\boxed{R_2 = \frac{7}{3} R_1} \quad (5)$$

Por otro lado sabemos por los requerimientos mencionados antes que  $5\tau \leq 5 \text{ ms}$

$$5\tau = \frac{5}{a} = \frac{5CR_1}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

Utilizando la relación de las resistencias obtenida anteriormente tenemos que:

$$5\tau = \frac{7CR_1}{2} \leq 5 \times 10^{-3} \quad (7)$$

despejando C obtenemos finalmente la relación entre C y  $R_1$ :

$$C \leq \frac{1}{700R_1} \quad (8)$$

Por lo que tomando un  $R_1$  definimos ya todos los valores:

$$R_1 = 100 \Omega, R_2 = 233.33 \Omega, C = 10 \mu F \leq 14.29 \mu F \quad (9)$$

### 2.5.2 Circuito de Salida

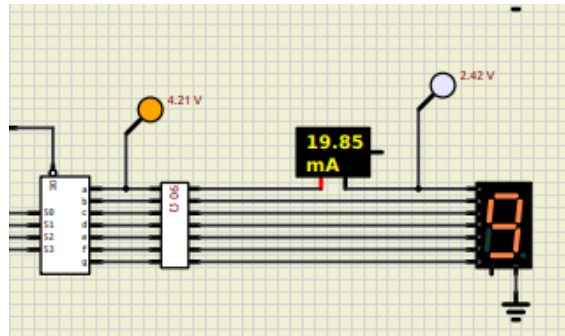
El circuito de salida consta basicamente de los displays de 7 segmentos y 8 leds normales

Para el dimensionamiento de las resistencias se utilizaron valores teóricos de salida para el decodificador que es de 5 V y los valores recomendados para los displays que requieren una tensión de entrada de 2.4 V y una corriente máxima de 20 mA. Por lo que:

$$R \approx \frac{5 - 2.4}{0.02} \approx 130 \Omega \quad (10)$$

En este caso esta debería ser la resistencia teórica, no obstante a partir de este valor se puede calibrar mediante prueba y error una resistencia que nos de un valor cercano a los 0.02 A para que los displays se vean bien, en este caso debido a que la tensión de salida de los decodificadores es cercana a 4.21 V tenemos que la resistencia más apropiada es:

$$R \approx \frac{4.21 - 2.4}{0.02} \approx 90 \Omega \quad (11)$$

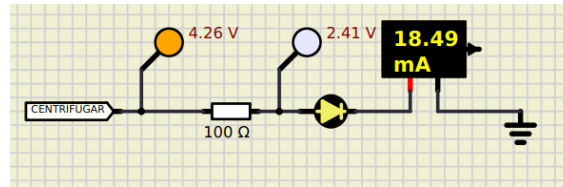


**Figura 12:** Medición de valores para resistencia de salida para los leds del display de 7 segmentos 90 ohms [imagen propia]

Mientras que para el caso de los leds normales tenemos que satisfacer una tensión de entrada de 2.4 V y una corriente máxima de 30 mA. Por lo que necesitamos un valor mínimo de resistencia de:

$$R \approx \frac{5 - 2.4}{0.03} \approx 86 \Omega \quad (12)$$

Para este caso se eligieron resistencias de  $100\ \Omega$  y como se muestra la Figura 13 la corriente no sobrepasa el máximo especificado.



**Figura 13:** Medición de valores para resistencia de salida para el led normal de 100 ohms [imagen propia]

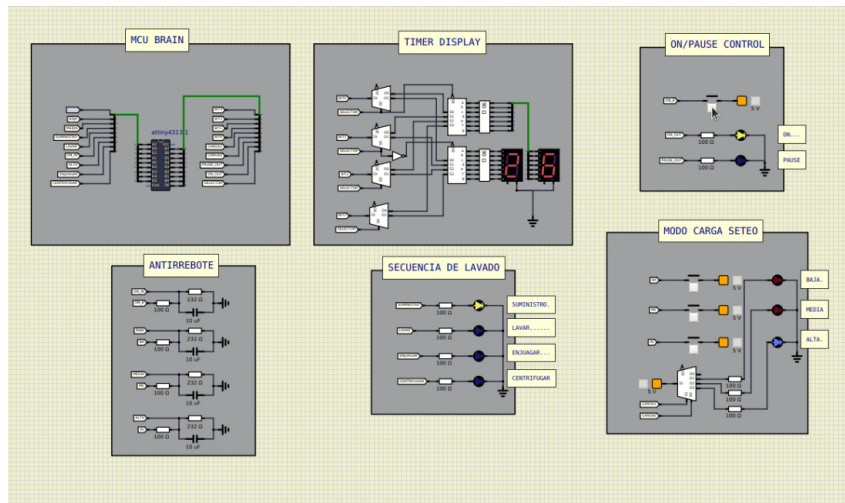
Para efectos reales siempre se debe empezar con los valores teóricos que son los seguros y luego ir calibrando según los valores experimentales. En la Figura 12 se muestra las mediciones para la resistencia de salida escogida.

### 3 Análisis de Resultados

En este apartado se mostrarán capturas de pantalla del funcionamiento del circuito en la simulación. Además se creó un video donde se ve el funcionamiento completo, el cual se puede consultar en esta dirección:

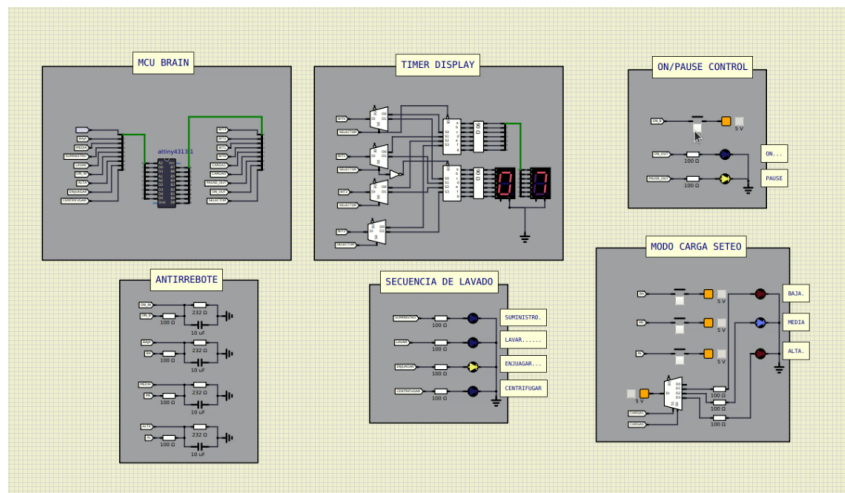
<https://youtu.be/tLjH4OtIXg4>

En la Figura 14 se muestra el funcionamiento para la carga ALTA y se puede notar como el led ON esta encendido junto con el indicador de carga alta y el de secuencia que indica suministro de agua, también se puede ver el valor de la cuenta regresiva en los displays de 7 segmentos.



**Figura 14:** Estado IDLE trabajando [imagen propia]

En la Figura 15 se muestra el funcionamiento de PAUSE para una carga media en la etapa enjuagar, nótese los leds que indican todo esto en dicha figura.



**Figura 15:** Estado Normal Trabajando [imagen propia]

Se recalca que para el caso de evaluar estos resultados de una forma más clara lo mejor es ver el video que se agregó, en el se muestra de manera rápida pero completa el funcionamiento del circuito.



## Bibliografía

- [1] Atmel Corporation, *8-bit AVR Microcontroller with 2/4K Bytes In-System Programable Flash*, 2011.