

Informe Trabajo Especial 1 - Sistemas Embebidos

Ezequiel Matsuo 69804/3

Julio 2024

Índice

1. Introducción	1
2. Mejoras con Respecto a la Versión Anterior	1
2.1. Funcionamiento del Trigger	2
2.2. Funcionamiento de la Cantidad de Muestras	2
3. Máquina de Estados	2
4. Componentes Utilizados	4
4.1. Hardware	4
4.2. Software	4
5. Pruebas y Resultados	5
5.1. Tiempos de Conversión y Envío de Datos	5
5.2. Circuito RC	6
5.3. Ondas Cuadrada y Triangular con el 555	7
5.3.1. Frecuencia 7,4kHz	7
5.3.2. Frecuencia 10kHz	9
6. Conclusiones y Futuras Mejoras	11

1. Introducción

La consigna del Trabajo Especial 1 era implementar un osciloscopio que permita tomar medidas de tensión del ADC a una tasa mínima de 1 kHz, almacenarlas en un buffer tipo ping-pong, y enviarlas por UART a la PC, donde se visualizarán con el programa SerialPlot.

Con respecto a la versión anterior el principal problema encontrado fue la poca tasa de envío de datos obtenida, esto debido a que el integrado del conversor UART/USB utilizado no era original y por tanto se lograba sólo hasta una tasa de 256kps. Luego de adquirir uno cuyo integrado logra una tasa de hasta 1Mbps, se lograron grandes avances y se añadieron nuevas funcionalidades al osciloscopio.

2. Mejoras con Respecto a la Versión Anterior

Con respecto a la versión anterior del osciloscopio se realizaron las siguientes mejoras:

- Se mejoró en la tasa de adquisición de los datos por ADC, llegando a una tasa máxima de 58,8k de muestras por segundo (tiempo de muestreo de $17\mu S$) si se envían datos de 8 bits y una tasa máxima de 34,5k muestras por segundo para datos con resolución de 12 bits (almacenados y enviados en formato uint16_t).

En teoría la tasa de adquisición de datos no debería de verse modificada sino en la cantidad de muestras enviadas por segundo; sin embargo debido a las comparaciones realizadas en la interrupción por Timer

para el algoritmo del Trigger que sobrecargaban el bucle while donde se ubican las funciones de envío se debió de disminuir la tasa de adquisición para la resolución de 12 bits.

- Se mejoró la tasa de transmisión de datos por el puerto UART, hasta casi 1Mbps (950kbps) utilizando un conversor USB/UART original, chip CP2102. En la versión anterior del programa se utilizó un conversor no original que alcanzaba sólo hasta 256kbps de forma adecuada.
- Se agregó un trigger al osciloscopio, de forma de poder capturar la señal en el momento del disparo: flanco ascendente o descendente. A su vez se agregó un potenciómetro para poder seleccionar el umbral del disparo, cuyo valor se captura con otro conversor ADC.
- Se agregó un menú de configuración de forma de poder elegir qué tipo de resolución usar (8 o 12 bits), el tipo de flanco de disparo del trigger y qué umbral, y la cantidad de muestras enviadas luego del disparo (500 o 1000 muestras). Estos cambios de resolución, el tipo y el umbral del trigger como la cantidad de muestras se realizan en tiempo de ejecución.
- Se agregó una pantalla TFT de 128x160 para poder visualizar y navegar por el menú, así como también poder ver el estado del osciloscopio: 'Transmitiendo', 'Trigger Disparado' o 'Pausado'.
- Se agregaron 3 botones (con capacitores para el antirrebote) de forma de poder navegar por los menús: botón 'OK', botón 'ESC' y botón 'flecha'.

2.1. Funcionamiento del Trigger

El umbral del disparo se controla a partir del valor obtenido del potenciómetro.

Luego, dentro de las interrupciones por temporizador se comparan los valores medidos con este valor umbral. Si se escogió la configuración un flanco ascendente, el programa verifica primero que nos encontremos por debajo de un 12,5 % del valor umbral, ya que la señal puede estar por encima. Cuando se encuentre por debajo de este valor umbral, luego se verifica en cada interrupción si sobrepasa un 12,5 % por encima de dicho umbral. Si ocurre lo anterior se considera que se produjo un flanco ascendente. De manera inversa funciona para el flanco descendente.

El porqué se escogió un porcentaje por encima y por debajo se debe al ruido que tiene la señal y el valor de 12,5 % se escogió porque se obtiene fácilmente a partir de un desplazamiento (desplazar 3 bits hacia la izquierda) y esto es más rápido que multiplicar por 0,1 o 0,15 por ejemplo.

se escogió este valor porque se lo obtiene al desplazar 6 bits hacia la derecha, y un desplazamiento es más rápido que multiplicar por un 0.1 por ejemplo)

2.2. Funcionamiento de la Cantidad de Muestras

Los datos almacenados de los buffers PING y PONG son de tamaño fijo de 100 uint8_t. Es decir, que si la resolución del ADC es de 8 bits, se envían 100 adquisiciones de datos por cada envío y 50 adquisiciones de datos si la resolución es de 12 bits. Luego para asegurar que se envíen una cantidad determinada de muestras luego del trigger, se utiliza un contador para determinar las veces que los buffer PING y PONG son llenados. Es decir, si entre ambos buffers han sido llenado 5 veces quiere decir que también han sido enviados 500 muestras si son 8 bits. Para poder enviar 500 muestras para datos de 12 bits se requerirá que el contador llegue al menos hasta 10.

3. Máquina de Estados

En la siguiente figura se muestra la máquina de estados, donde se pasó de 4 estados en la versión anterior a esta de 14 estados. Se requirió expandir estos estados para poder navegar por un menú mostrado en la pantalla así como también poder agregar el trigger, el cual nos permitirá ver y capturar transiciones de forma automática.

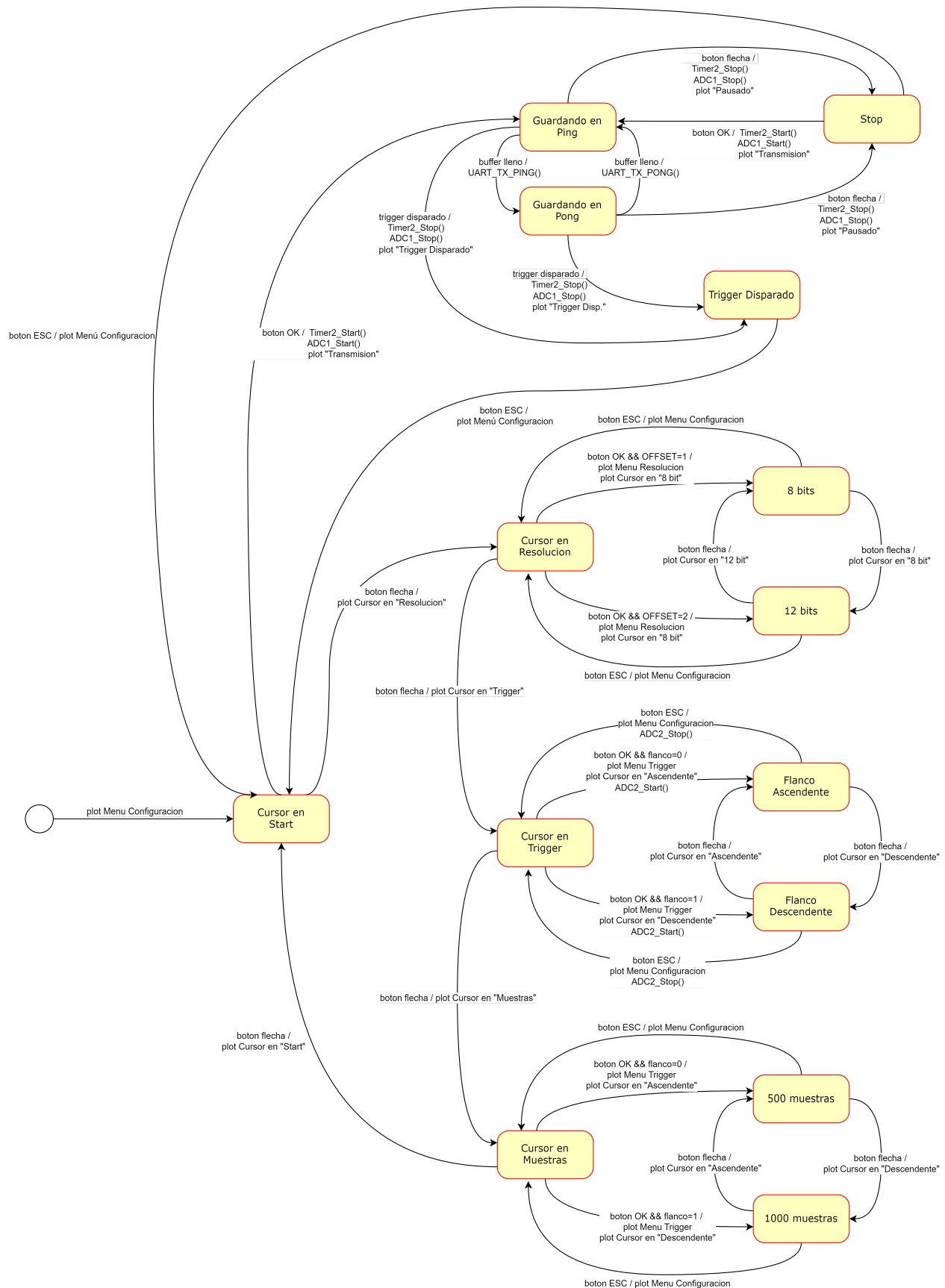


Figura 1: Nueva Máquina de Estados

4. Componentes Utilizados

4.1. Hardware

En la figura 2 se muestran los componentes del proyecto:

- Microcontrolador STM32F103C8T6.
- 3 botones, con resistencias de Pullup de 10k y capacitores de 1uF para el antirrebote.
- Potenciómetro de 10k para definir el umbral del trigger.
- Pantalla TFT de 128x160 píxeles
- Conversor USB/UART, integrado CP2102 (hasta 1Mbps).

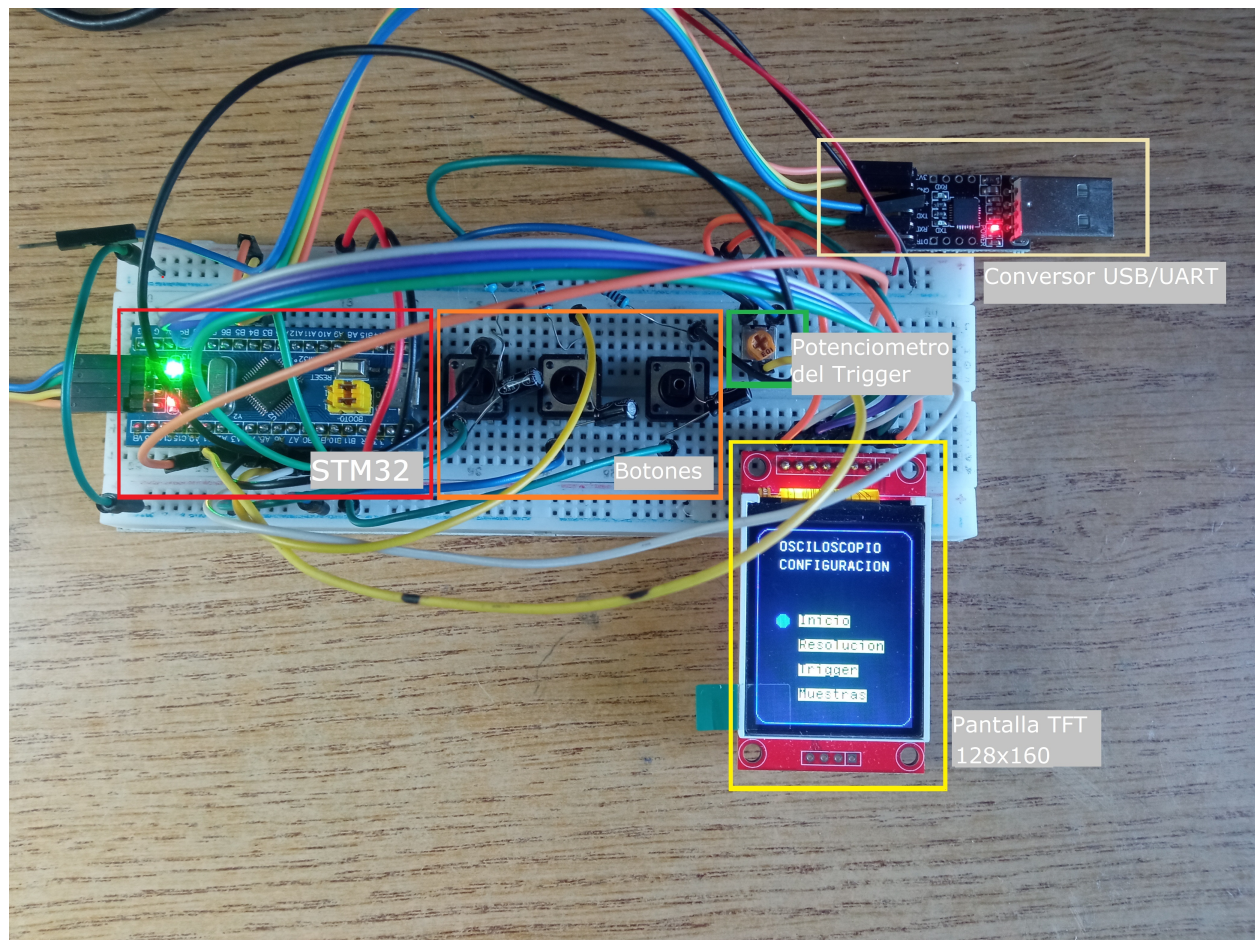


Figura 2: Foto de los componentes

4.2. Software

- Temporizador TIM2 con interrupción.
- 2 ADC, uno para la adquisición y el otro para el umbral del trigger.
- Puerto USART para la transmisión de datos al PC.

- Puerto SPI para la comunicación con la pantalla.
- 3 Pines con interrupción EXT para los botones

5. Pruebas y Resultados

Para verificar el funcionamiento del Osciloscopio se mostrarán primero las mediciones de los tiempos de conversión del ADC para la toma de datos, con el cual se pudo llegar a una tasa máxima de $58,8kHz$ para datos de 8 bits y $34,5kHz$ para datos de 16bits, y los tiempos de envío de datos por el puerto UART. Luego se mostrarán mediciones del Osciloscopio utilizando dos circuitos: tensión de carga de un RC y tensión de ondas cuadradas y triangular de un 555.

5.1. Tiempos de Conversión y Envío de Datos

La transmisión de 100 datos requiere que cada byte enviado tenga un bit de start, uno de paridad y uno de stop. Por tanto si la tasa de envío de datos es de 950kps, entonces para enviar 100 datos se requiere de un tiempo igual a: $100 \cdot tiempo_{byte} = 100 \cdot \frac{11bits}{950kbps} \approx 1ms$.

La tasa de conversión del ADC debe ser lo suficientemente rápida como para realizar 100 conversiones antes de $1ms$, por tanto, la tasa máxima teórica es alrededor de $\frac{1}{1,15ms/100} = 87k \text{ conversiones/segundo}$. Sin embargo, en la práctica la máxima tasa de adquisición es de $58,8kHz$. Esto se debe a la implementación de un algoritmo dentro de la interrupción del ADC, esto hace que las interrupciones le quiten el tiempo de ejecución a las funciones de envío de datos que se encuentran dentro del bucle while y por tanto haya pérdidas de datos.

En la figura 3 se observan las mediciones realizadas para la transmisión de datos de 8 bits por el puerto UART; en el segundo canal, un estado en alto que se activa cada vez que se llenan los buffers y en el tercero, la cadencia de las interrupciones del Timer 2.

Se observa tanto en la figura 3 como en 4, que cada vez que se existe un evento de buffer lleno, inmediatamente el buffer respectivo es transmitido por el puerto UART.

Para datos de 8 bits, el envío de datos por el puerto UART tarda un poco más que los $1,15ms$ calculados; fueron medidos $1,4ms$ como tiempo de envío de 100 datos. En la figura, se observa una frecuencia de $29,412kHz$ pero esto debido a que el pin que se mide se togglea cada vez que entra a la interrupción, por tanto lo que se está midiendo es la mitad de la frecuencia real.

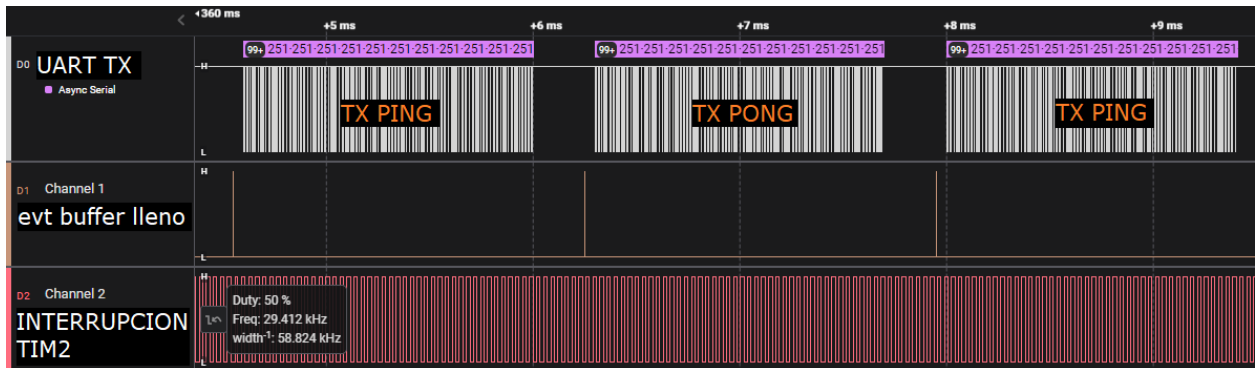


Figura 3: Envío de datos para una resolución de 8 bits.

En la figura 4 se observan los tiempos de envío como de la interrupción por timer para datos de 16 bits (resolución de 12 bits del ADC). El envío de 100 bytes (50 datos) tarda unos $1,25ms$ aproximadamente.

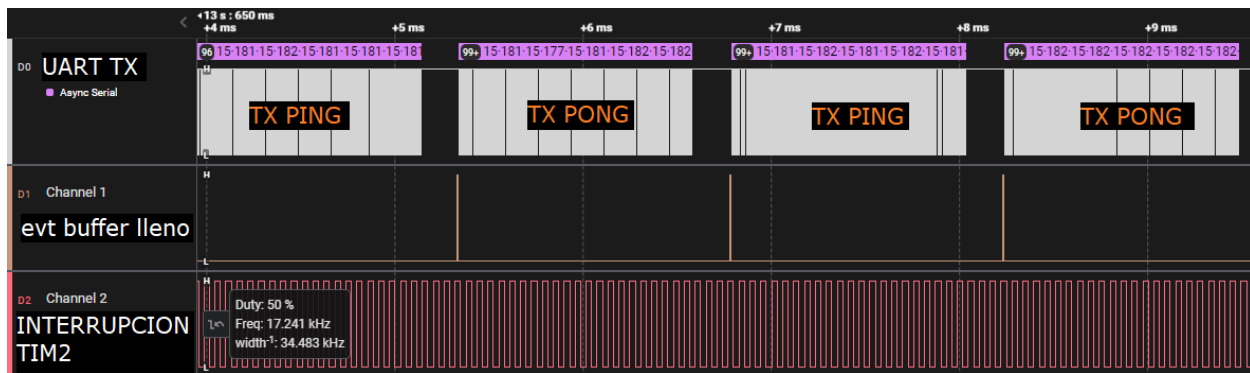


Figura 4: Envío de datos para una resolución de 12 bits.

Si se trata de aumentar aún más la frecuencia de muestreo, lo que ocurre es que el envío de un buffer se comienza a solapar con el siguiente y por tanto, correr el peligro de perder datos en cada transmisión.

5.2. Circuito RC

Como primera prueba realizada se midió la constante de tiempo de la tensión de descarga de un circuito RC sencillo, cuyos valores son $1k\Omega$ y $1\mu F$ respectivamente, dándonos una constante de tiempo τ de $10ms$.

Se utilizó una configuración de flanco descendente, con umbral de trigger en $0,8V$, resolución de 12 bits y muestras de 1000.

En la figura 5 se puede observar la tensión medida. Sabiendo que el tiempo que demora en llegar al 37% de la tensión máxima equivale a un τ , del gráfico podemos ver que demora aproximadamente unas 240-250 conversiones para llegar a dicho valor ($1,22V$). Por tanto, si el tiempo de muestreo es de $29\mu S$, entonces $\tau_{aproximado} = 240 \cdot T = 7ms$. El valor obtenido discrepa del teórico, esto puede deberse a las tolerancias de los componentes.

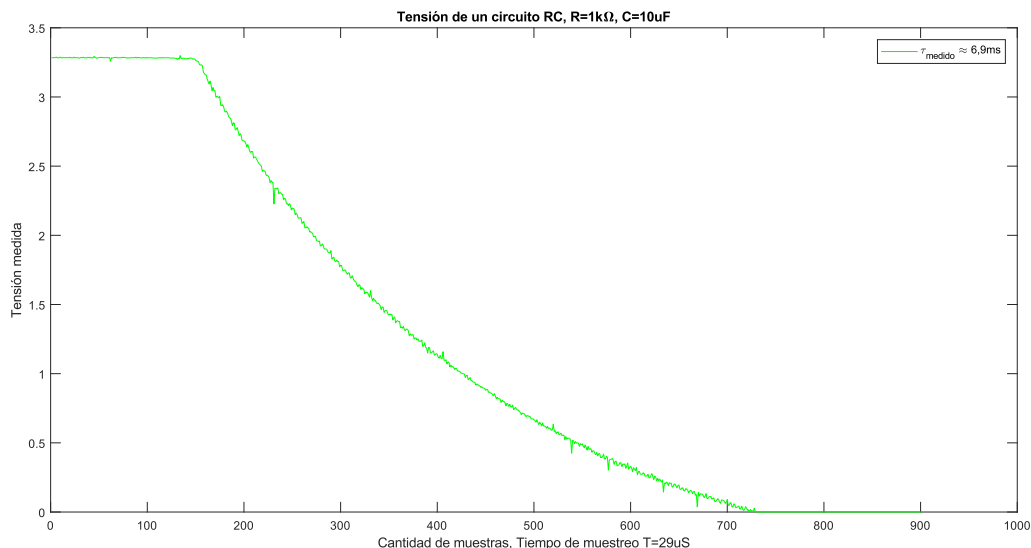


Figura 5: Datos plotados en Matlab tomados del programa SerialPlot

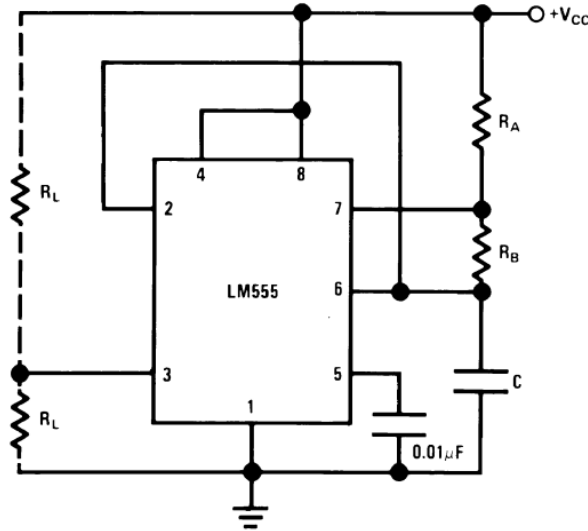


Figura 6: Circuito Multivibrador o Astable

5.3. Ondas Cuadrada y Triangular con el 555

Para probar la frecuencia máxima de la señal que es posible medir adecuadamente con el conversor se midieron las formas de ondas cuadrada y triangular generado por el Timer 555. Se midió de forma aceptable una frecuencia máxima de hasta $10kHz$ para una onda triangular, sin embargo para esta misma frecuencia la onda cuadrada no se muestreaba correctamente.

Esto se debe a que los coeficientes de Fourier de la onda triangular disminuyen como $\frac{1}{n^2}$ siendo n el armónico correspondiente, en cambio los coeficientes de la onda cuadrada lo hacen como $\frac{1}{n}$; esto hace que los armónicos superiores de la onda cuadrada tengan mayor ponderación en la señal que la onda triangular y por tanto se requiera de una mayor tasa de muestreo para una onda cuadrada.

El circuito utilizado fue el siguiente:

La frecuencia de la oscilación se obtiene de:

$$f = \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (1)$$

Las mediciones se configuraron con una resolución de 8 bits.

5.3.1. Frecuencia 7,4kHz

De la figuras 7 y 8, se observa que se requieren de 8 muestras aproximadamente para un periodo de la señal triangular. Por tanto, si el tiempo de muestreo es de $17\mu S$, entonces la frecuencia medida es de $f = 7,35kHz$. El valor teórico es de $7,422kHz$.

No es posible determinar el ciclo de trabajo de la onda cuadrada con el osciloscopio pero sí de forma adecuada la frecuencia.

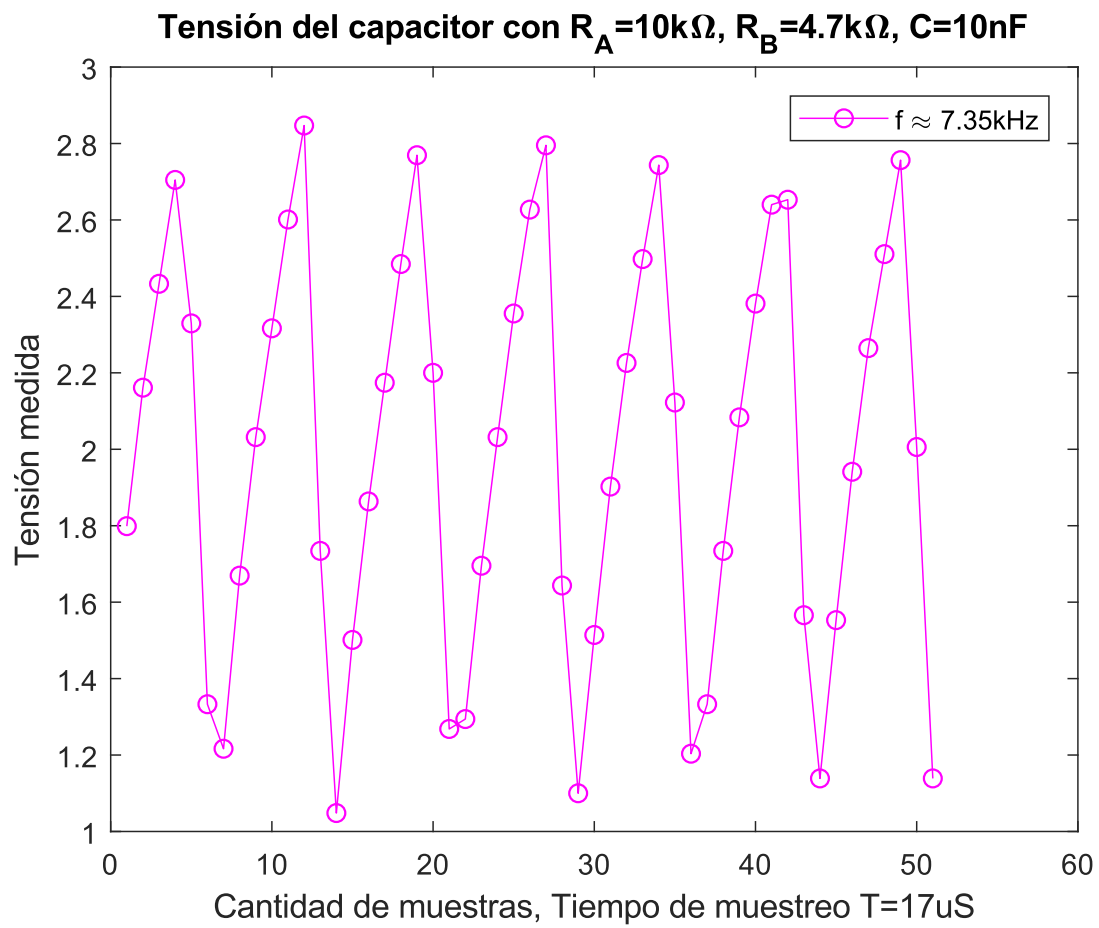


Figura 7: Onda triangular con frecuencia de 7.4kHz

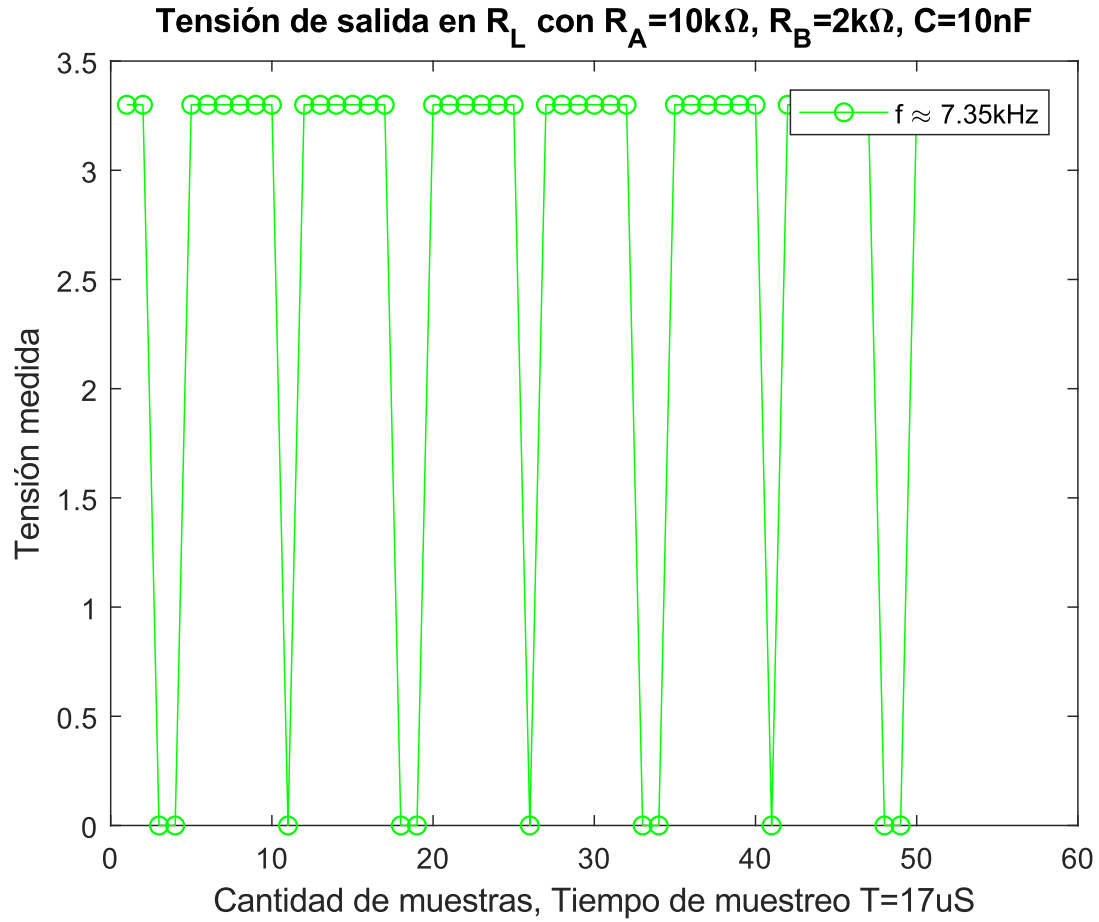


Figura 8: Onda cuadrada con frecuencia de 7.4kHz

5.3.2. Frecuencia 10kHz

En la figura 9 se observa la onda triangular para una frecuencia teórica de $10kHz$, donde por cada período se adquieren 6 muestras dando una frecuencia medida aproximada de $9,8kHz$. Para ondas cuadradas, la tasa de adquisición no es suficiente debido a que el peso de los armónicos superiores de la onda cuadrada es más grande que una onda triangular y se requiere una tasa mayor.

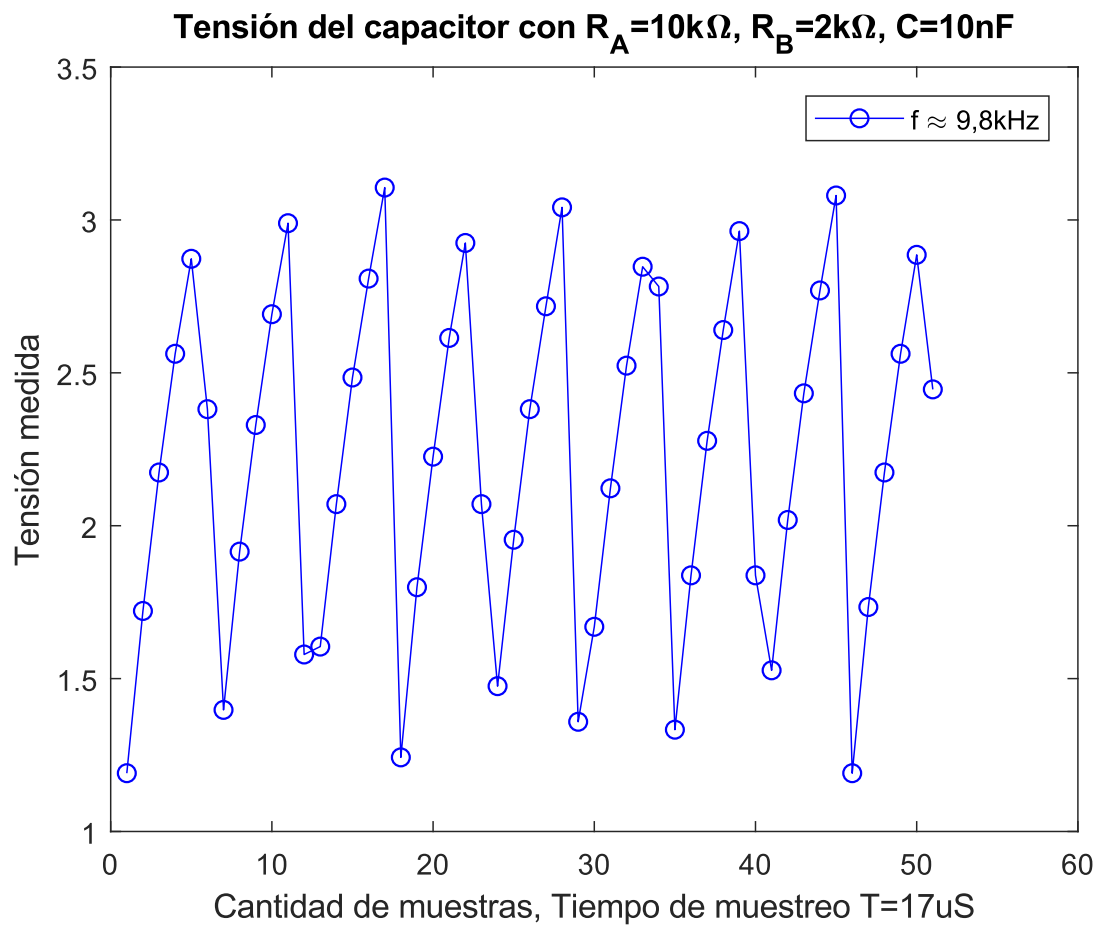


Figura 9: Onda triangular con frecuencia de 10kHz

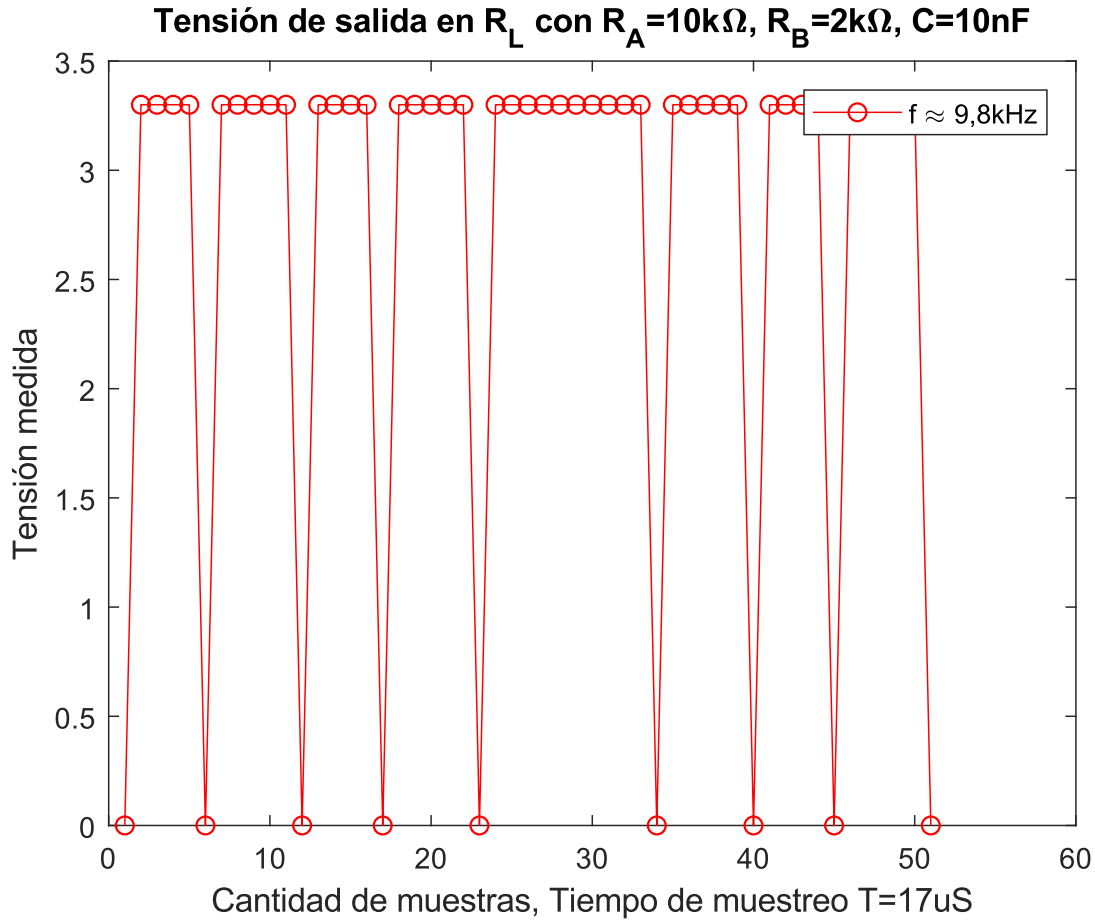


Figura 10: Onda cuadrada con frecuencia de 10kHz

6. Conclusiones y Futuras Mejoras

Se concluyó que el osciloscopio es útil para frecuencias bajas de hasta $10kHz$ y que este rescontruía mejor ondas triangulares que cuadradas debido al mayor peso que tienen los coeficientes de alta frecuencia de la onda cuadrada. Para ondas sinusoidales puras podríamos llegar a tasas superiores de $10kHz$, en teoría hasta la mitad de la frecuencia de muestreo dado por Nyquist, es decir, que para nuestro caso se podría llegar hasta casi unos $30kHz$ (en teoría).

Se puede mejorar considerablemente la tasa de adquisición de datos del ADC si se aumenta la tasa de envío por el puerto UART, ya que esta es la principal limitación. Si cambiamos el conversor por un FTDI232 que es fácilmente adquirible en el mercado podemos llegar a una tasa de hasta 3Mbps y por tanto, una tasa de adquisición de hasta 200kHz.

A su vez se podrían agregar otras funcionalidades al osciloscopio como la medición de tensiones pico a pico y/o frecuencia.