

**Universidad Nacional de Tres de Febrero**

INGENIERÍA DE SONIDO

Instrumentos y Mediciones Electrónicas

**MODIFICACIONES A GENERADOR  
PULSADO**

Autores:

Juan Almaraz - almaraz43493@estudiantes.untref.edu.ar

Calquin Facundo Epullan - epullan44186@estudiantes.untref.edu.ar

Docente:

Filgueira, Lautaro - lfilgueira@untref.edu.ar

Ayudante:

Bugnoni, Agustin - agustin.j.bugnoni@gmail.com

Di Laudo, Ezequiel - ezequiel.di.laudo@gmail.com

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Simulación del proyecto</b>	<b>1</b>
<b>3. Modificaciones realizadas</b>	<b>3</b>
<b>4. Resultados y análisis</b>	<b>10</b>
<b>5. Conclusiones</b>	<b>11</b>
<b>Referencias</b>	<b>12</b>

## 1. Introducción

En este informe se detalla las modificaciones realizadas a un generador pulsado, el cual fue diseñado e implementado anteriormente por estudiantes de la materia Instrumentos y Mediciones Electrónicas. Este instrumento genera una señal senoidal, la cual es interrumpida periódicamente mediante una señal de control. Tanto la frecuencia de la onda senoidal como la del tren de pulsos puede ser modificada por el usuario. Este tipo de señales es utilizada en el campo de análisis de redes con el fin de hallar la transferencia de un sistema.

Luego del diseño y de la implementación del generador, se encontraron fenómenos no deseados en la señal de salida. Es por esto que fue necesario realizar una revisión tanto del diseño como de la implementación para poder corregir fallas y alcanzar el resultado esperado.

A continuación se presentan cuatro secciones donde primero se simula el proyecto existente, intentando recrear su funcionamiento y obtener el mismo comportamiento. Luego se procede a detallar las modificaciones realizadas para que el resultado final del equipo sea el esperado. Finalmente se presenta una caracterización del equipo y un análisis de los resultados obtenidos, además de conclusiones sobre el trabajo realizado y futuras modificaciones que se deben realizar.

## 2. Simulación del proyecto

En la figura 1 se encuentra un esquema simplificado del funcionamiento del generador pulsado. El mismo está formado por tres componentes principales: un oscilador, un generador de onda cuadrada y un switch bilateral. En la figura 2 se muestra un esquema completo con los componentes de cada bloque.

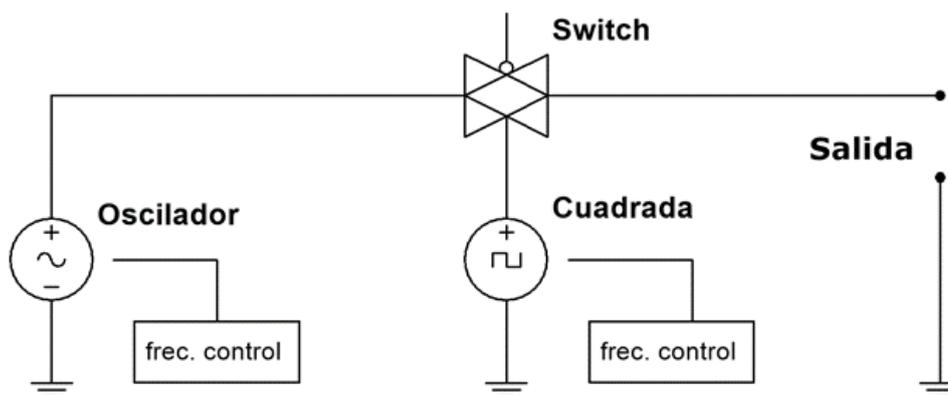


Figura 1: Esquema simplificado

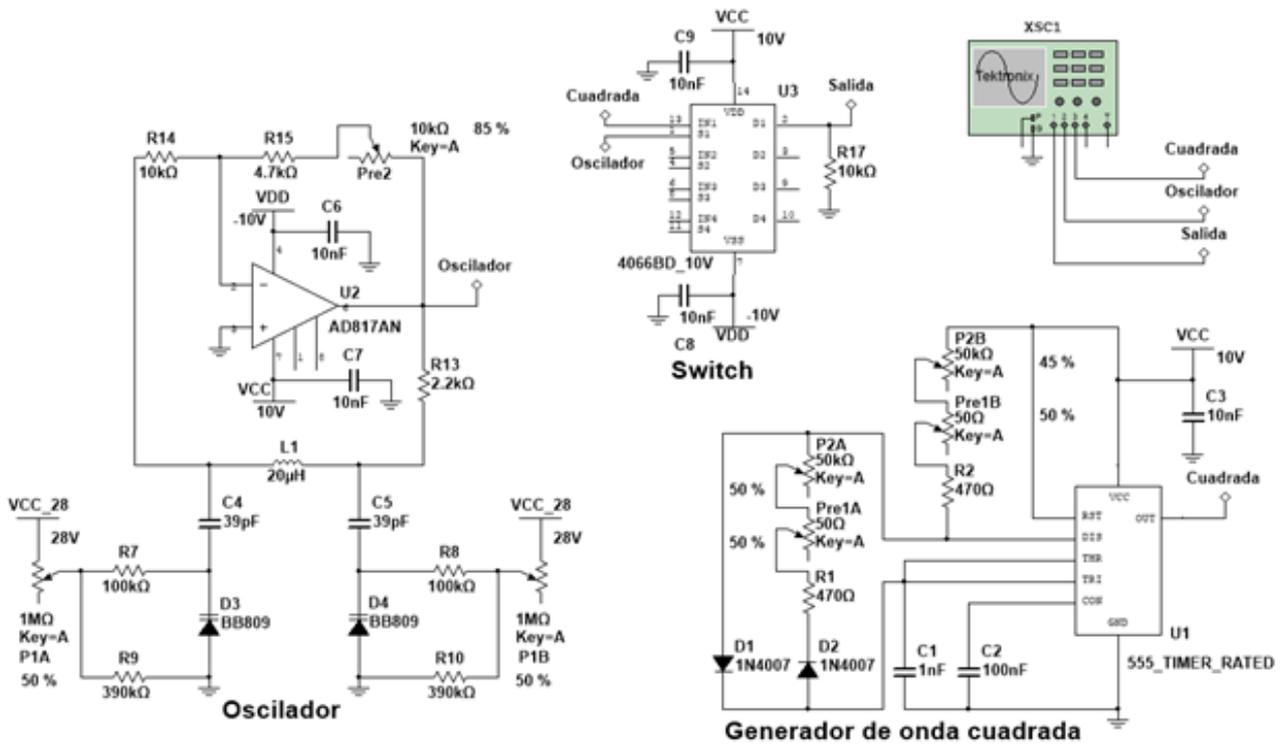


Figura 2: Esquemático del circuito

Se simuló el circuito en multisim, con todos los parámetros variables ajustados como se encuentran en el equipo implementado. En primer lugar se observa que el preset correspondiente al generador colpitts es el que establece la ganancia del operacional en configuración inversora. En la implementación este preset se encontraba en un valor cercano al 50 %. En la simulación, este valor tuvo que ser modificado para que comience a oscilar, siendo necesario un valor de 85 %.

Luego se registró el rango de frecuencias de la señal cuadrada, expresado en la tabla 1. Este rango es similar al obtenido en las mediciones del equipo implementado, donde la frecuencia inferior y superior son de 12 y 676 kHz respectivamente.

En cuanto al rango de frecuencias del oscilador, en la tabla 2 se pueden ver los valores obtenidos en la simulación. En el caso del equipo real, este rango se encuentra entre 6,5 y 6,9 MHz. En este apartado se encontró una diferencia sustancial, la cual se puede atribuir a valores de capacidad parásitos presentes en la PCB. Esto se debe a que no se siguieron recomendaciones de los fabricantes, como utilizar cables lo más cortos posibles en las interconexiones, o evitar el uso de zócalos para integrados.

Luego, utilizando el método del potenciómetro se simuló la impedancia de salida del generador, la cual se expresa en la tabla 3. Este valor no se condice con el obtenido mediante la medición de impedancia del equipo, la cual es de 168 Ω.

Tabla 1: Mediciones del generador de onda cuadrada.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad
Frecuencia	9	1000	kHz
Tensión	10	10	V <sub>pp</sub>

Tabla 2: Mediciones del oscilador.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad
Frecuencia	13	16	MHz
Tensión	7,83	9,65	Vpp

Tabla 3: Mediciones de la salida del generador.

Cuadrada	9 kHz		1000 kHz	
Oscilador	13 MHz	16 MHz	13 MHz	16 MHz
Tensión	8.9 Vpp	7.4 Vpp	9.3 Vpp	7.4 Vpp
Impedancia	50 Ω			

En la figura 3 se puede ver la señal de salida cuando el potenciómetro P2 está al 100 % y cuando está al 50 %. Estos valores corresponden a una frecuencia de la onda cuadrada de 1000 kHz y de 30 kHz. Debido a la diferencia entre la frecuencia del oscilador y la frecuencia de la onda cuadrada, no es posible simular el funcionamiento en conjunto de ambos bloques en sus extremos. Este problema está relacionado con los ‘time steps’ de la simulación, que se deben ajustar dependiendo de la frecuencia de la simulación. Por lo tanto, cuando se intenta llevar el potenciómetro P2 al 0 % surgen errores de convergencia. Sin embargo, si se simula por separado no existen inconvenientes. En ambos casos, la tensión pico a pico de la señal es de 9.2 Vpp.

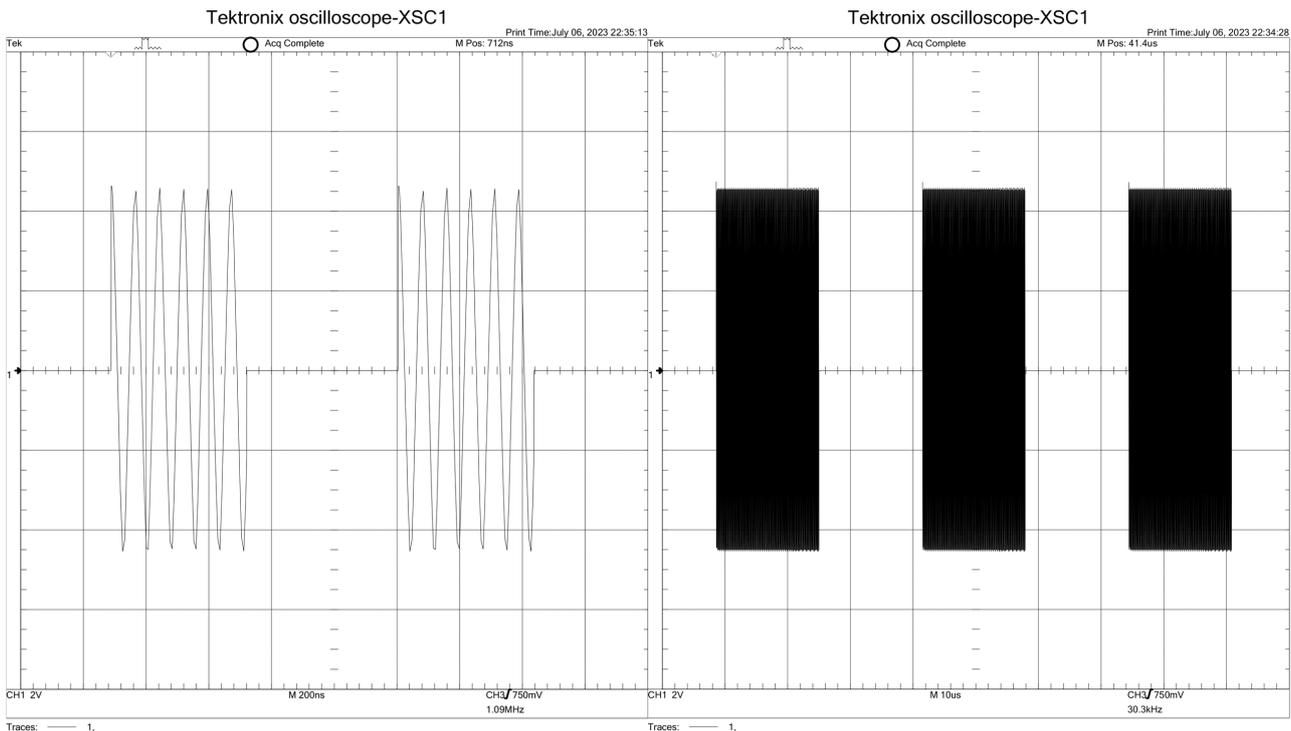


Figura 3: Simulación de la señal de salida.

### 3. Modificaciones realizadas

Con el objetivo de lograr solucionar el inconveniente de la inestabilidad de la frecuencia de oscilación en la señal obtenida en la salida del equipo se realizó una revisión de las diferentes hojas de

datos de los componentes empleados en el proyecto. Particularmente, en la hoja de datos del *switch 4066BP* [1] se verificó que el valor típico de su impedancia de entrada es de  $120 \Omega$  lo cual, al conectarse directamente a la salida del oscilador Colpitts, implica una carga de baja impedancia. Esto se verificó con la medición de la misma para los valores extremos de frecuencia de la onda cuadrada empleada como señal de control del switch [2]:

- $Z_{in}(f_{min} = 6,49 \text{ MHz}) = 52 \Omega$
- $Z_{in}(f_{max} = 6,88 \text{ MHz}) = 43,2 \Omega$

Por este motivo se decidió implementar un buffer previo al switch el cual le presenta una alta impedancia a la salida del oscilador. El amplificador operacional empleado en esta etapa debería ser capaz de trabajar en el mismo rango de frecuencias que el oscilador por lo que en primer lugar se trabajó con el amp-op *LF537* el cual en su hoja de datos presenta un rango de trabajo hasta 20 MHz cuando la ganancia es unitaria [3]. Sin embargo, cuando se realizó la implementación la amplitud de la señal de salida se vió atenuada, pero además la inestabilidad de la frecuencia persistía. Por estos motivos se descartó el cambio y se optó por utilizar el mismo amplificador operacional que el oscilador (*AD817*) el cual ofrece un rango de ganancia unitaria hasta los 40 MHz [4].

Con esta implementación se solventó la inestabilidad de la frecuencia del oscilador y se observó que en cada pulso de la onda cuadrada se hacía presente un *overshoot*. Otro efecto presente es que durante los instantes en que la señal de control abría el switch para impedir la circulación de la señal senoidal, la tensión de salida se mantenía al nivel en que el seno fue recortado en lugar de volver a los 0 V (figura 4).

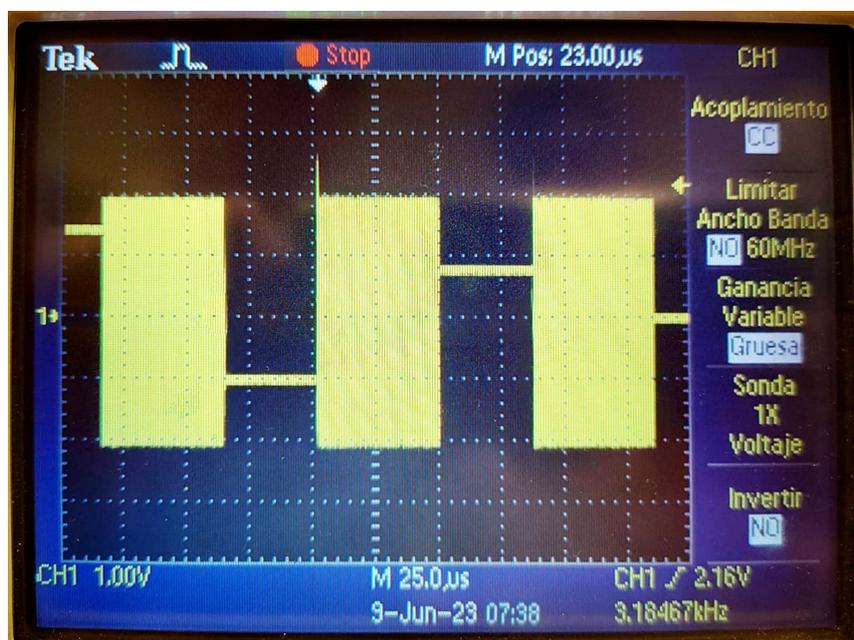


Figura 4: Señal de salida con la implementación del buffer entre oscilador y switch.

Para evitar que el switch mantenga el nivel de tensión en los instantes en que la misma debiera ser 0 V y, además, para buscar que la impedancia de salida del equipo sea  $50 \Omega$  se planteó el arreglo de resistencias que se muestra en la figura 5.

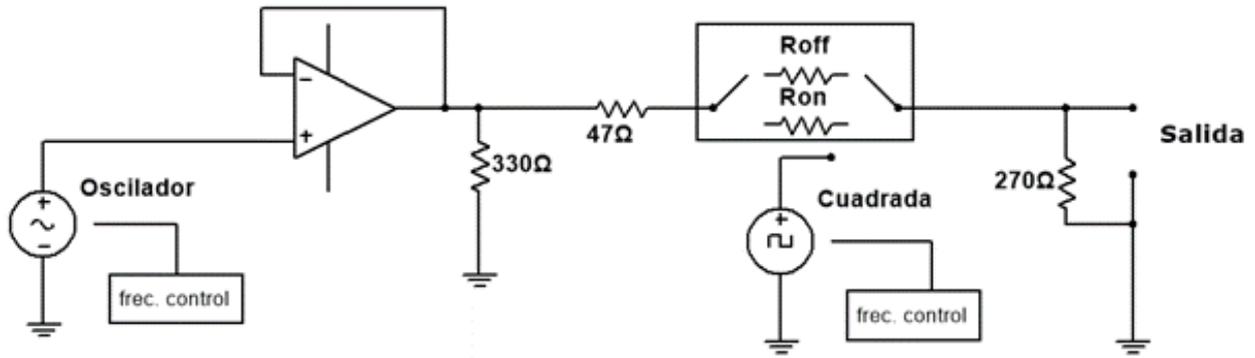


Figura 5: Agregado de un arreglo de resistencias a la salida.

Con el agregado de estas resistencias se consigue que la carga vista por el buffer no presente variaciones demasiado significativas debido a la impedancia del switch. Esto se logra en particular con la resistencia de  $330\ \Omega$ . Luego, la resistencia de  $270\ \Omega$  se agregó para que cuando el switch esté en 'off' la tensión a la salida se descargue a tierra. Cuanto menor sea este valor, más rápido se realizará esta descarga, resultando en una señal más parecida a la buscada. El problema es que el amplificador AD817 sólo admite cargas mayores a  $150\ \Omega$ , por lo tanto se optó por colocar dicho valor para no llevar al límite al operacional.

De todas maneras, la impedancia de salida obtenida con este método no llega a ser de  $50\ \Omega$  como es deseado, obteniendo  $75\ \Omega$  en la simulación.

Al agregar el buffer junto con las resistencias, se simuló la señal de salida, la cual se puede ver en la figura 6.

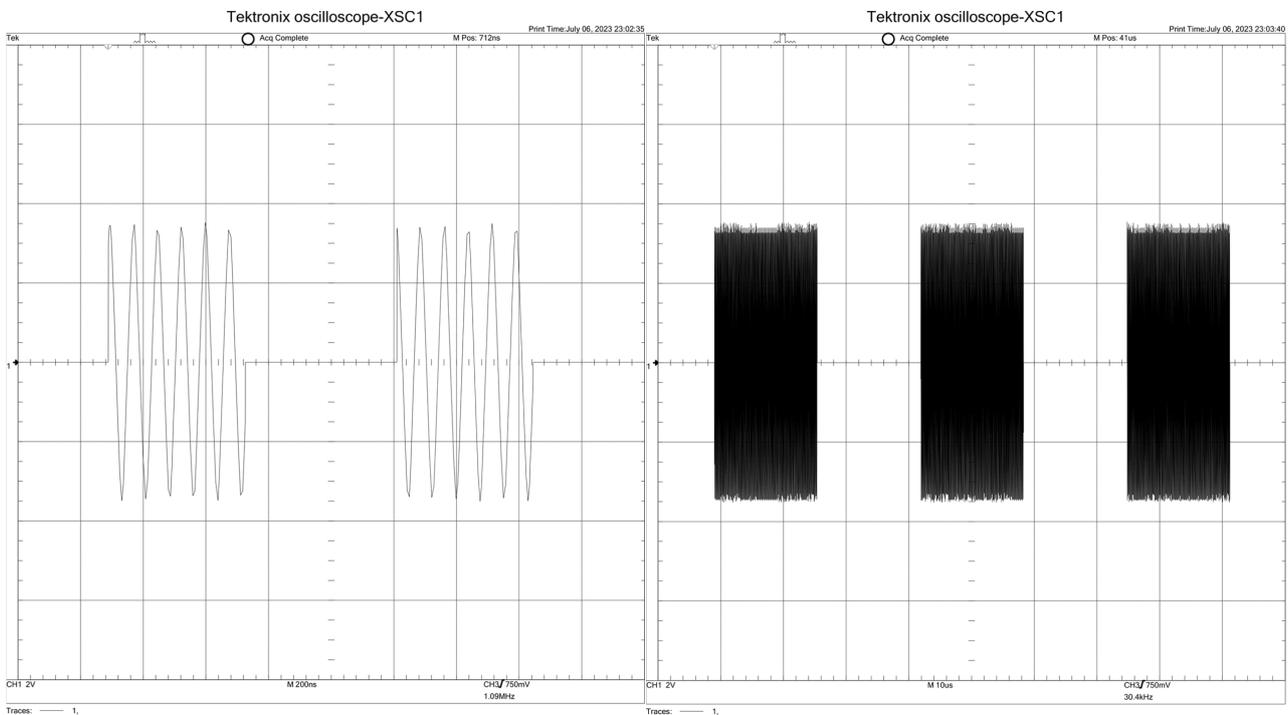


Figura 6: Simulación de la señal de salida con el buffer agregado.

Se nota que la señal se ve atenuada con respecto a la simulación previa, pasando de  $9,2\ V_{pp}$  a  $6,5\ V_{pp}$ . Esto es principalmente producto del divisor resistivo que se genera al agregar la resistencia

de  $47 \Omega$ .

Una vez se verificó el funcionamiento del arreglo de resistencias con la simulación, se llevó a cabo la implementación.

En las figuras 7 y 8 se muestra la señal de salida con el arreglo de resistencias a la máxima frecuencia de de la onda cuadrada y a la mínima, respectivamente.

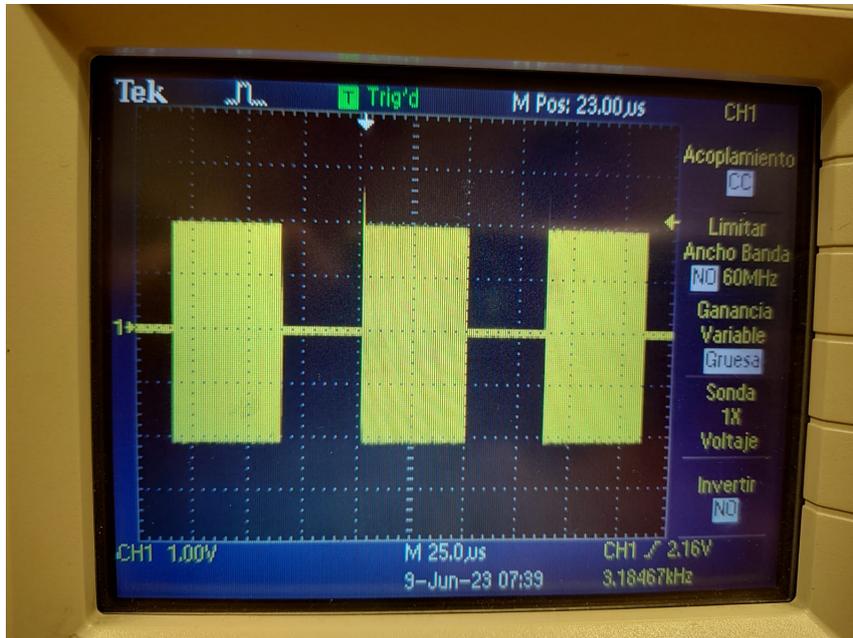


Figura 7: Señal de salida con frecuencia máxima de oscilación.

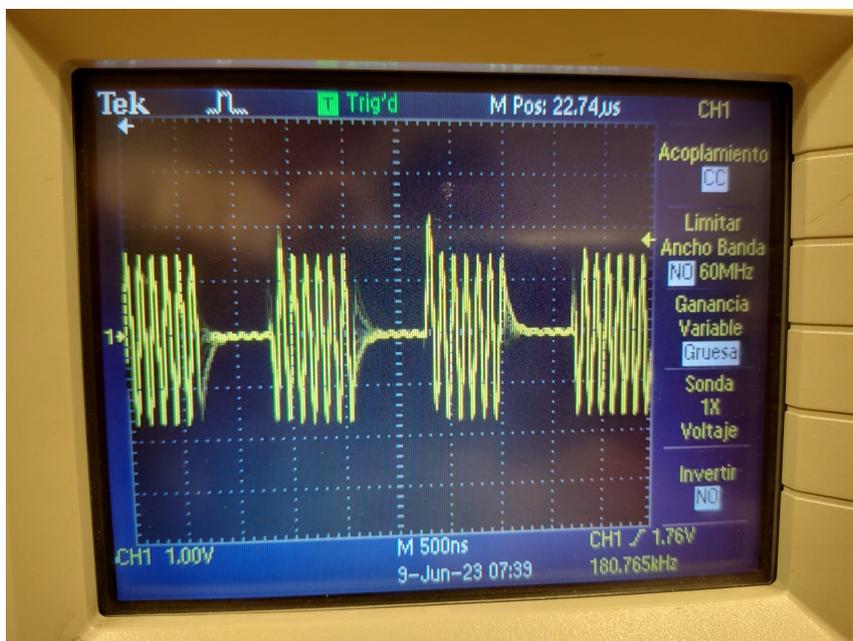


Figura 8: Señal de salida con frecuencia mínima de oscilación.

En la figura 7 se nota que durante los instantes en que no hay señal senoidal, el nivel de la tensión es  $0 \text{ V}$ , mientras que en la figura 8 se nota el tiempo que le toma descargarse al switch debido al valor de la resistencia de  $270 \Omega$ . Además, en la misma figura se aprecia que cuando el switch se encuentra en el instante de “corte” (no dejaría pasar la señal senoidal a la salida del equipo), a pesar de que

se agregó el arreglo de resistencias para llevar la tensión a 0 V, existe una oscilación. Para poder visualizarla de una mejor manera se ajustó el osciloscopio tanto en zoom vertical como horizontal y se empleó la función de una única captura de *trigger*. En la figura 9 se muestra el instante de “corte” cuando el generador se configuró para una señal cuadrada en su mínima frecuencia y una mínima frecuencia de oscilación, mientras que en la figura 10 es la misma frecuencia de señal cuadrada, pero con la oscilación a máxima frecuencia.

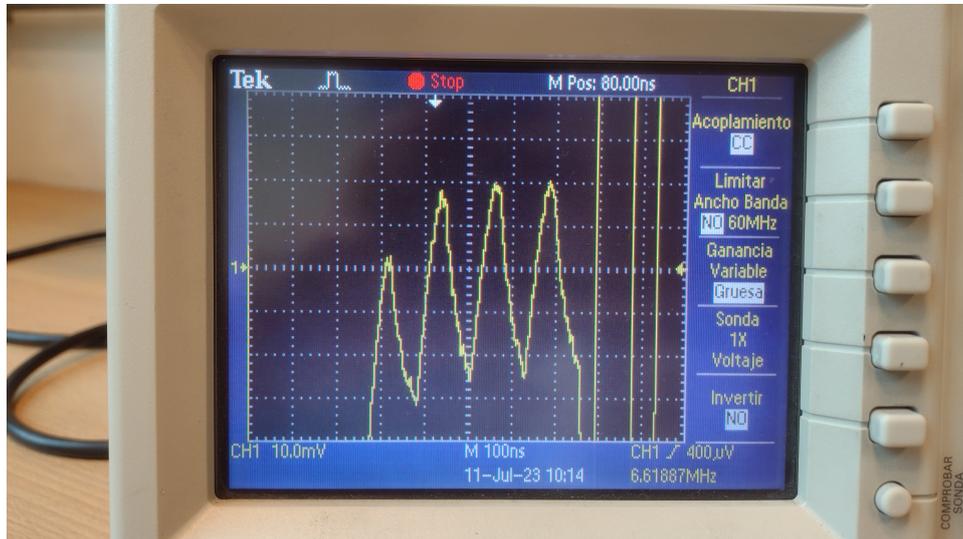


Figura 9: Señal de salida en el instante de “corte”: mínima frecuencia de onda cuadrada, mínima de oscilación.

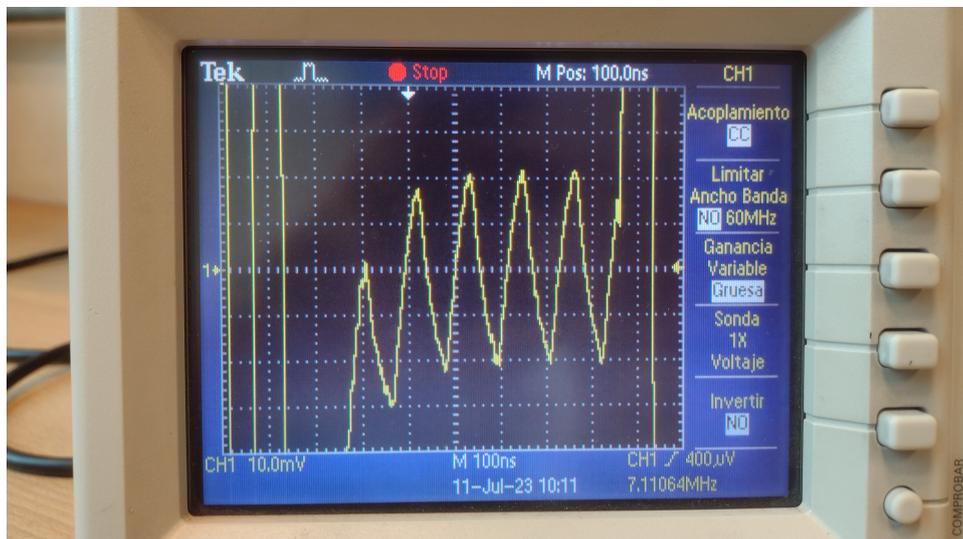


Figura 10: Señal de salida en el instante de “corte”: mínima frecuencia de onda cuadrada, máxima de oscilación.

Para ambos casos, al igual que en los instantes de “paso”, el primer pico corresponde a un *overshoot* que, en este caso, toca los  $30 \text{ mV}_p$ , sin embargo, luego la señal se mantiene en  $45 \text{ mV}_{pp}$  ( $20 \text{ mV}_p$  para los semiciclos positivos y  $25 \text{ mV}_p$ , para los negativos). Para verificar que este fenómeno no es exclusivo para cuando la frecuencia de la señal cuadrada es mínima, se la lleva a la máxima y se corrobora para los casos en que la oscilación está tanto en su mínima frecuencia (figura 11), como en la máxima (figura 12).

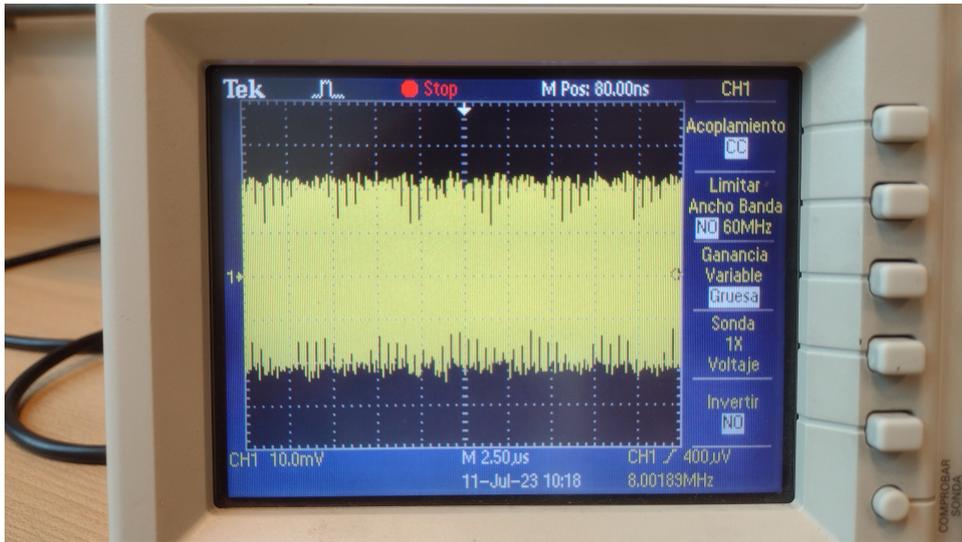


Figura 11: Señal de salida en el instante de “corte”: máxima frecuencia de onda cuadrada, mínima de oscilación.

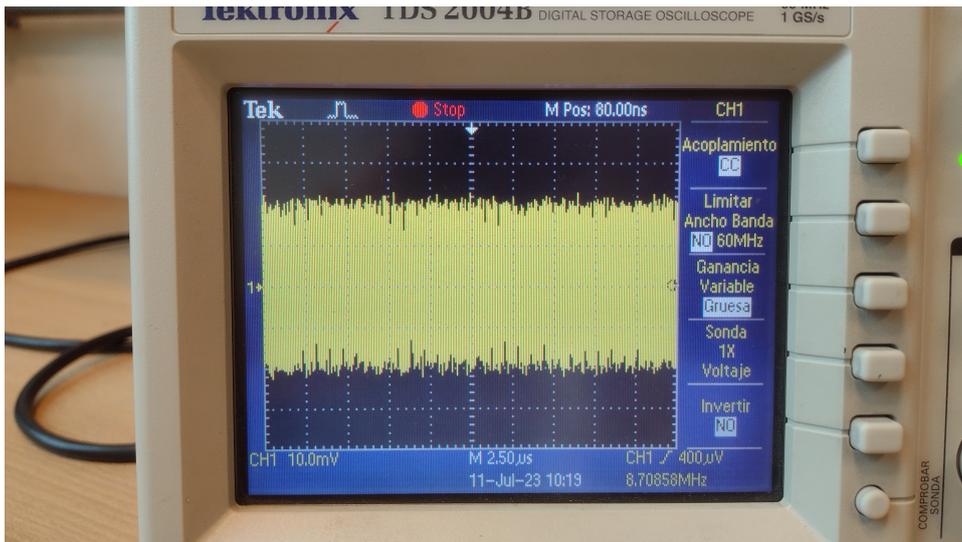


Figura 12: Señal de salida en el instante de “corte”: máxima frecuencia de onda cuadrada, máxima de oscilación.

Debido a la alta densidad de ciclos de señal en los casos mostrados en las figuras 11 y 12, no se distinguen los picos y, por ende, no es posible analizar la presencia del *overshoot* en el primero de ellos. Sin embargo, es posible observar que, para ambos casos, el valor de la señal de salida en el instante en que la misma debiera ser nula, es de  $40 \text{ mV}_{pp}$ .

Para poder analizar el fenómeno del *overshoot*, es necesario visualizar correctamente la señal de salida en la pantalla del osciloscopio (figura 13). Para ello, se ajustó el generador pulsado a la máxima frecuencia de oscilación y la mínima de onda cuadrada. Además, se empleó el canal 1 para observar la señal de salida (trazo amarillo), y el canal 2 para la señal del generador de onda cuadrada (trazo celeste).



Figura 13: Análisis de *overshoot* en osciloscopio.

En primer lugar, es posible observar que la señal cuadrada no es ideal, lo cual es totalmente esperable. Lo destacable es que durante su *rise time* (tanto para alcanzar su tope positivo, como el negativo) es el instante en el cual se hace presente el *overshoot* tanto en el inicio del instante de “paso” como en el de “corte”.

Al consultar la hoja de datos del switch [1] se sabe que la tensión de control se debe encontrar entre 500 mV y -500 mV. Al observar la figura 13 se nota que el *overshoot* se hace presente, durante el *rise time* de la onda cuadrada, en el momento previo en que la señal logra superar el valor absoluto de 500 mV. Luego de superar este umbral en el nivel de tensión, la señal en la salida se estabiliza manteniendo su valor pico hasta el siguiente semiciclo de la señal cuadrada.

Otro efecto observado cuando se midió la señal a la salida del equipo fue que al modificar las puntas del osciloscopio (en sus configuraciones de  $x1$  o  $x10$ ) para la misma configuración del equipo en sus frecuencias de oscilación y de onda cuadrada, también varió la amplitud de la misma (figuras 14 y 15).



Figura 14: Señal de salida con punta  $x1$  del osciloscopio.

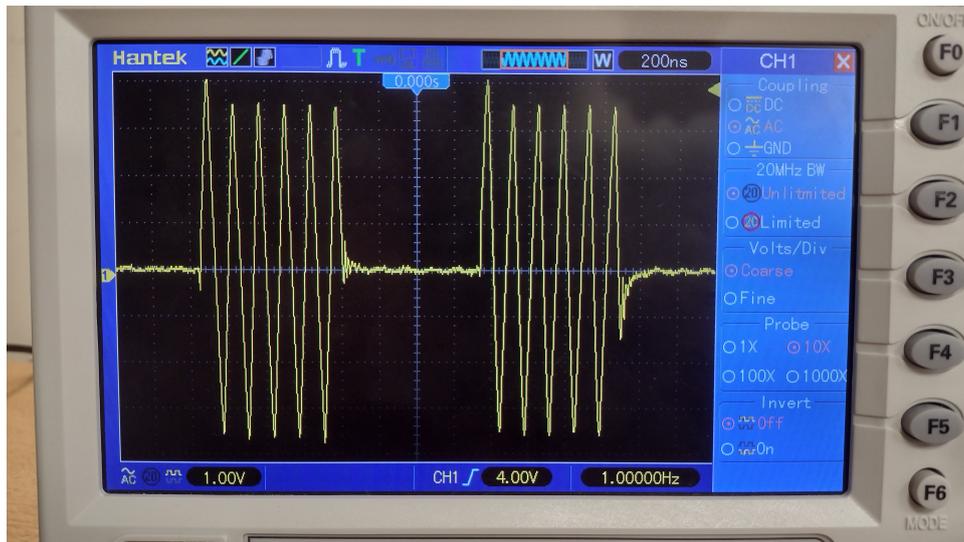


Figura 15: Señal de salida con punta x10 del osciloscopio.

Se aprecia que cuando la punta se encuentra ajustada en  $x1$  (figura 14), la tensión en la señal de salida es de  $2,2 V_p$ , mientras que para la misma condición del generador, pero con la punta configurada en  $x10$  (figura 15), se tiene una tensión de salida de  $3,4 V_p$ , es decir una tensión mayor. Recordando que la punta del osciloscopio conforma un filtro pasa bajos, se puede encontrar una posible explicación a este fenómeno. Cuando la punta se encuentra en su configuración  $x10$ , se reduce la capacidad de la carga que la misma le presenta al equipo respecto a la configuración  $x1$ . Esta reducción de capacidad repercute en el aumento de la frecuencia de corte del filtro pasa-bajos, por lo que posiblemente cuando la punta se encontraba en  $x1$ , es decir, cuando el filtro tenía una frecuencia de corte menor, el filtro aplicaba una atenuación en la señal de salida del equipo. Este efecto no se le atribuye a la parte resistiva de la carga que presenta el sistema punta + osciloscopio debido a que la misma es de  $1 M\Omega$ , la cual es mucho mayor a la impedancia de salida del equipo generador. Sin embargo, es recomendable el agregado de un nuevo buffer en la salida del equipo, es decir, a la salida del switch, el cual junto con una resistencia de  $50 \Omega$  determinaría el valor de la impedancia de salida y le presentaría al switch, y por consiguiente al resto del circuito, una alta impedancia de valor estable independientemente del valor de la carga que se conecte.

#### 4. Resultados y análisis

A continuación se presentan los resultados de las mediciones realizadas sobre el equipo modificado.

En la tabla 4 se observa la caracterización del generador de onda cuadrada. Se observa que a pesar de estar alimentado con  $10 V$ , la tensión pico a pico es de  $5 V$  aproximadamente. Esto no afecta al resultado ya que solamente se lo utiliza como señal de control para cambiar el estado del switch, y no afecta la amplitud de la señal de salida.

Tabla 4: Mediciones finales del generador de onda cuadrada.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad
Frecuencia	12	676	kHz
Tensión	4,89 (@ 12 kHz)	5,02 (@ 676 kHz)	Vpp

En cuanto al oscilador, se puede observar que la tensión de salida es superior a la simulada, la cual se muestra en la tabla 2. También se ve que el rango de frecuencias no se modifica con respecto a los

valores obtenidos en la primera implementación.

Tabla 5: Mediciones finales del oscilador.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad
Frecuencia	6,5	6,9	MHz
Tensión	10,2 (@ 6,9 MHz)	10,4 (@ 6,5 MHz)	Vpp

Finalmente, en la tabla 6 se expresan los valores de tensión pico a pico de la señal cuando el equipo se encuentra ajustado en los extremos de frecuencia tanto del oscilador como del generador de onda cuadrada. Se puede ver que la tensión de salida se ve reducida a la mitad aproximadamente, con respecto a la tensión del oscilador. Esto se debe al arreglo de resistencias agregado. Además, se puede ver que la impedancia de salida no alcanza los 50  $\Omega$  buscados.

Para solucionar estos últimos dos problemas se propone agregar un buffer a la salida del switch en serie con una resistencia de 50  $\Omega$ . De esta manera, se obtendría una tensión de salida en vacío del mismo valor que la del oscilador. Al conectarle una carga de 50  $\Omega$  la tensión se vería reducida a la mitad, lo cual es esperable y se tiene en cuenta cuando se trabaja con equipos de radiofrecuencia.

Tabla 6: Mediciones de la salida del generador.

Cuadrada	12 kHz		676 kHz	
Oscilador	6,5 MHz	6,9 MHz	6,5 MHz	6,9 MHz
Tensión	4,6 Vpp	4 Vpp	4,5 Vpp	4 Vpp
Impedancia	168 $\Omega$			

## 5. Conclusiones

En esta instancia se realizó modificaciones de un generador pulsado implementado por estudiantes anteriores de la materia Instrumentos y Mediciones Electrónicas.

Se logró corregir el principal problema de la inestabilidad de la frecuencia en la señal de salida al agregar un buffer entre la salida del oscilador y el switch.

En lo que respecta al rango de frecuencias del oscilador se piensa la posibilidad de que el mismo puede ser aumentado al rediseñar la PCB para atenuar los componentes capacitivos parásitos empleando componentes de tecnología *SMD* en lugar de los *through-hole* con lo que se desarrolló la presente implementación. Sin embargo, con este tipo de oscilador no se suele conseguir un ancho de banda mucho mayor al calculado y simulado, por lo tanto si se quisiera aumentar aún más se debería optar por otro tipo de oscilador. Otro fenómeno que se puede ver al utilizar este tipo de oscilador es la variación de la amplitud de la onda al variar la frecuencia. Nuevamente, si se quisiera eliminar este efecto se debería rediseñar el oscilador utilizando una topología diferente.

En cuanto a la impedancia de salida del equipo, se propone el agregado de un buffer en serie con una resistencia de 50  $\Omega$  a la salida, ya que con las modificaciones realizadas en este informe se obtiene una impedancia de salida de 168  $\Omega$ .

## Referencias

1. Toshiba. *TC4066BP/BF/BFN/BFT*, 1997.
2. Rodrigo Aguirre; Esteban Dragone; Julieta Mascaró. *IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GENERADOR PULSADO*, 2022.
3. Texas Instruments. *LFx5x JFET Input Operational Amplifiers*, 2015.
4. Analog Devices. *AD817 Datasheet*, 1995.