

Multiplicadores de tensión y limitadores

Emmanuel Naranjo Blanco, Adrián Dittel Retana
 naranjo760emm@estudiantec.cr adriandittel19@estudiantec.cr
 Área académica de Ingeniería Mecatrónica
 Instituto Tecnológico de Costa Rica

Resumen—En distintas ocasiones, se debe aumentar o regular la tensión que se encuentra en la salida de un circuito, por lo que se utilizan los circuitos conocidos como multiplicadores o limitadores, acorde a la situación. En este informe, basado en el experimento en el cual se utilizaron dos circuitos multiplicadores y uno limitador, se abarca el funcionamiento que tiene cada uno de ellos de igual forma que resultados se obtienen en ejemplos determinados, todo esto con el fin de lograr la comprensión del funcionamiento de ambas clases de circuitos.

Palabras clave—Multiplicador, Limitador, Diodo, Filtro, tensión de salida.

I. INTRODUCCIÓN

Al utilizar los circuitos electricos en numerosas aplicaciones, se encuentran distintas complicaciones o retos a la hora de lograr una implementación correcta, muchas veces ligado a las limitaciones de los componentes utilizados en la construcción, o de los usos que se requieran.

En ese contexto es donde entran los circuitos multiplicadores y los limitadores, donde los primeros van a ampliar la tensión de salida, basado en configuraciones de diodos y capacitores, (Figura 1):

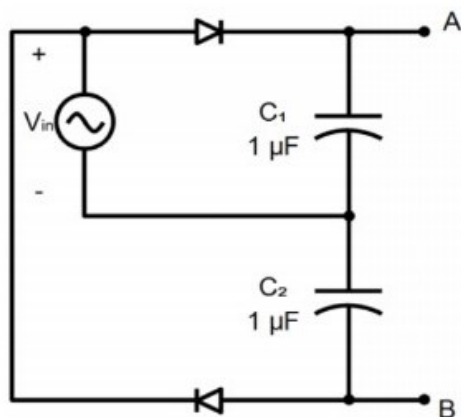


Figura 1. Circuito 1 de medición

Donde el funcionamiento de este circuito va a estar condicionado al semiciclo en que se encuentra, pues se conoce como el circuito duplicador de onda completa pues con la configuración de dos diodos y con dos capacitores conectados en serie logra que se duplique la tensión a la salida, esto se explica de la siguiente forma, tomando en consideración que para esta definición el diodo funciona de forma ideal:

”Durante el semiciclo positivo del voltaje secundario del transformador el diodo D1 conduce y el capacitor C1 se carga a un voltaje pico V_{in} . El diodo D2 no conduce en este momento, ahora durante el semiciclo negativo el diodo D2 conduce y el capacitor C2 se carga, mientras que el diodo D1 no conduce. Si no se absorbe ninguna corriente de carga del circuito, el voltaje a través de los capacitores C1 y C2 es $2V_{in}$ ” [1]

Con LTspice se realizaron las mediciones teoricas para este laboratorio, tomando en cuenta que los diodos se utilizan como aproximados, de esta forma se logra la siguiente gráfica del voltaje en el circuito sin carga:

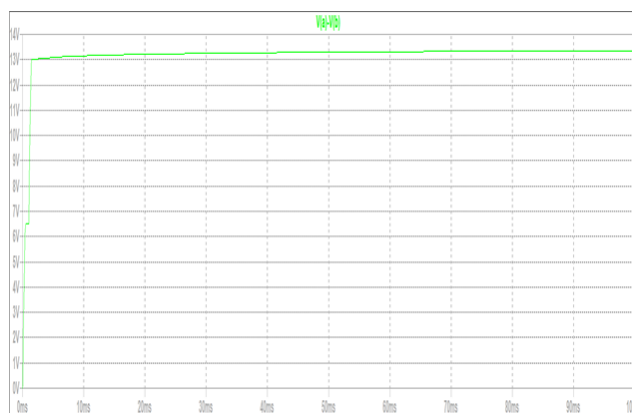


Figura 2. Medición en LTspice del voltaje sin carga del circuito 1

Donde el voltaje máximo a salida tiene un valor de aproximadamente 13.4V, esto en un período de 100ms, donde los valores de tensión se encuentran en el eje vertical mientras que el tiempo se encuentra en el eje horizontal (Figura 2)

En el mismo análisis del circuito esta vez con una carga de una resistencia de $1\text{ k}\Omega$, se puede ver como la tensión de salida varía tanto esto debido a la resistencia que va generar que se descargue el capacitor durante el ciclo negativo, generando así una tensión de rizado [1]. En dicha medición con LTspice se originó el siguiente gráfico:

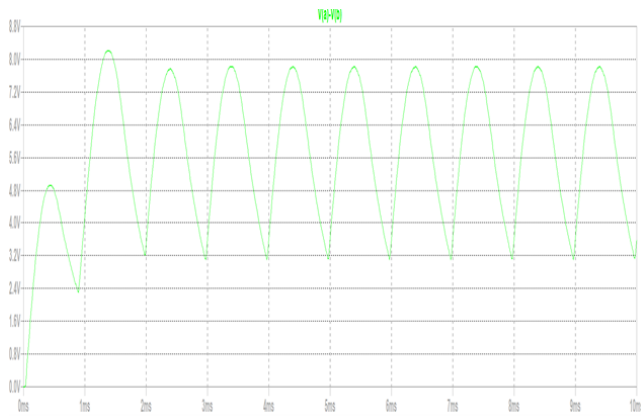


Figura 3. Medición en LTspice del voltaje con carga del circuito 1

Donde se puede observar que en el eje vertical de voltajes, se logró una onda que oscila (una vez estabilizada) entre los valores de 2.9V a 7.8V, esto en un período de 10ms.(Figura 3)

Del mismo modo opera el circuito de medición 2, cuya función es la misma del circuito 1 sin embargo lo hace con otra configuración manteniendo como elementos clave los diodos y los capacitores, dicho circuito se muestra a continuación:

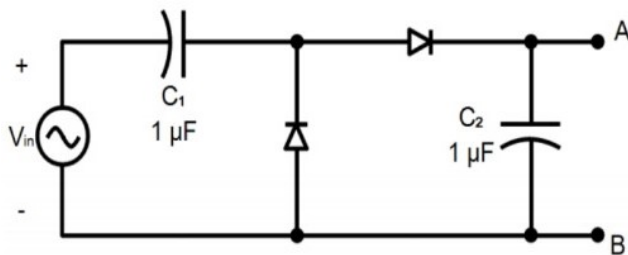


Figura 4. Circuito 2 de medición

En el mismo modo que depende el circuito 1 del ciclo de la onda que atravesase, lo hace este circuito, el cual se conoce como circuito duplicador de media onda, cuyo funcionamiento se define así: "Durante el semiciclo de voltaje positivo de la fuente, el diodo D1 conduce (y el diodo D2 se interrumpe) y así el capacitor C1 se carga hasta el valor pico del voltaje rectificado (V_{in}). El diodo D1 es idealmente un cortocircuito durante este semiciclo y el voltaje de entrada carga el capacitor C1 a V_{in} . Durante el semiciclo negativo, el diodo D1 se interrumpe y el diodo D2 conduce y de ese modo se carga el capacitor C1. Como el diodo D2 actúa como un cortocircuito durante el semiciclo negativo mientras que el diodo D1 está abierto" [1]

La medición teórica de la salida en el circuito 2 sin una carga se presenta en la Figura 5 donde se ve como se cumple que se duplica el valor llegando a 13.4v, esto en un tiempo de 500ms por lo que se puede observar que en esta configuración de circuito duplicador se necesita más tiempo para realizar su función.

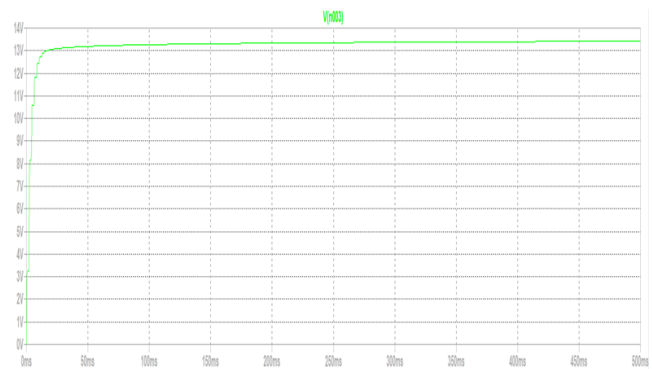


Figura 5. Medición en LTspice del voltaje sin carga del circuito 2

Al conectar la carga de una resistencia de 1 kΩ se observa en la Figura 6 como esta influye nuevamente en la tensión de salida oscilando entre 1.8V a 5.6V, pues si hay una carga conectada a la salida del duplicador de voltaje, el voltaje a través del capacitor C2 se reduce durante el semiciclo positivo y el capacitor se recarga hasta $2V_{in}$, durante el semiciclo negativo. [1], esto con diodos ideales, para la medición se utilizaron diodos aproximados por ende los resultados no son exactamente $2V_{in}$.

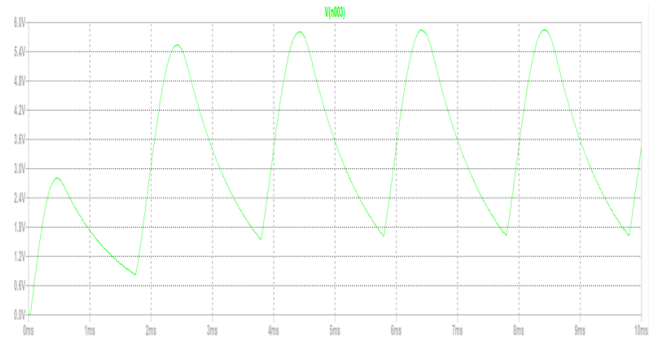


Figura 6. Medición en LTspice del voltaje con carga del circuito 2

Hasta la Figura 6, se ha explicado la teoría relevante para los circuitos multiplicadores, sin embargo el tercer circuito que se utilizó es un circuito limitador el cuál, se conoce como circuito recortador polarizado, pues utiliza fuentes independientes en cada diodo que le va dar la polarización a cada uno (Figura 7).

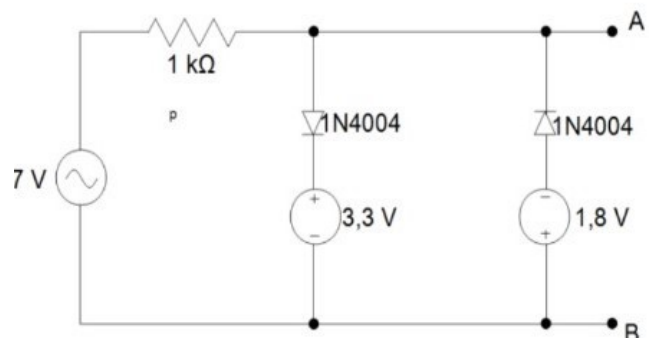


Figura 7. Circuito 3 de medición

En el circuito 3 cuando la tensión de entrada se mantiene dentro de sus límites normales, esto es, entre 7.07 V y -7.07 V; donde ninguno de los diodos hace nada. En el momento en que la tensión es superior a los 4V (los 3.3V de la batería más los 0.7 V de la barrera de potencial del diodo); el diodo D1 queda polarizado directamente y empieza a conducir, de esta forma no permite que la tensión en la carga aumente, si la tensión de entrada disminuye de los -2.5 V, en este caso es el diodo D2 el que se polariza directamente y comienza a conducir; no permitiendo que la tensión en la carga disminuya hasta niveles peligrosos. [2]

En su medición teórica se obtiene una onda de salida que va oscilar de -2.42V a 3.9V, donde se puede ver que sigue teniendo la forma senoidal, pero con sus picos recortados, cumpliendo así la función de limitador, esto en una medición de 10ms, sin embargo se repite cada 2ms, como se observa en la Figura 8.

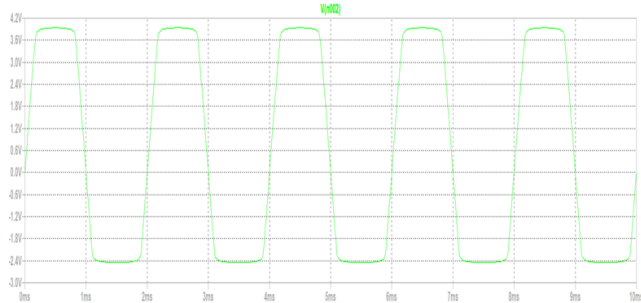


Figura 8. Medición de salida del circuito 3

En el presente informe se va a realizar la medición experimental de los circuitos anteriormente citados, esto con el fin de entender el funcionamiento de circuitos multiplicadores de tensión rectificada, al igual que comprender el principio de funcionamiento de los limitadores de tensión.

II. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el experimento.

Con el objetivo de corroborar el uso de los componentes necesarios, se realizaron mediciones en cada uno de ellos. En el cuadro I se presentan los valores experimentales de la tensión umbral de los dos diodos de silicio utilizados en el experimento y la resistencia del resistor.

Cuadro I
VALORES DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS.

	Valor teorico	Valor Exp 1	Valor Exp 2
Resistor (Ω)	1000	(996.960 \pm 0.001)	(982.117 \pm 0.001)
Diodo 1 (V)	0.7	(0.456 \pm 0.001)	(0.456 \pm 0.001)
Diodo 2 (V)	0.7	(0.456 \pm 0.001)	(0.456 \pm 0.001)

En el cuadro II se continúa la información del cuadro I, donde se muestran los valores experimentales promedio y el porcentaje de error entre los datos teóricos y experimentales.

Cuadro II
VALORES DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS (CONTINUACIÓN).

	Valor teorico	Valor Promedio	% de error
Resistor (Ω)	1000	(989.538 \pm 7.422)	1
Diodo 1 (V)	0.7	(0.456 \pm 0.00)	35
Diodo 2 (V)	0.7	(0.456 \pm 0.00)	35

En el análisis experimental de los circuitos 1, 2 y 3 se utilizaron los mismos valores de entrada. El generador de funciones se ajustó con una tensión de entrada de 5 Vrms, lo que es aproximadamente 7.07 voltios pico y con una frecuencia de 500 Hz. A continuación, se presentan las gráficas de las señales de salida de cada circuito determinadas con el osciloscopio.

Por un lado, las figuras 9 y 10 corresponden al circuito de medición 1 (figura 1), donde el eje vertical representa la tensión (5 V / Div) y el eje horizontal es la base de tiempo (500 μ s). La figura 9 corresponde a la señal de salida sin carga conectada, cuyo valor de tensión alcanza los 13.3 V. Así, la señal de salida con el resistor de 1 k Ω se presenta en la figura 10, donde alcanza una tensión máxima de 8.1 V y una mínima de 2.95 V.

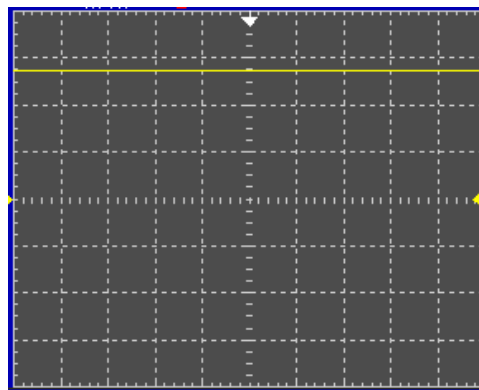


Figura 9. Medición experimental de la señal de salida del circuito 1 sin carga.

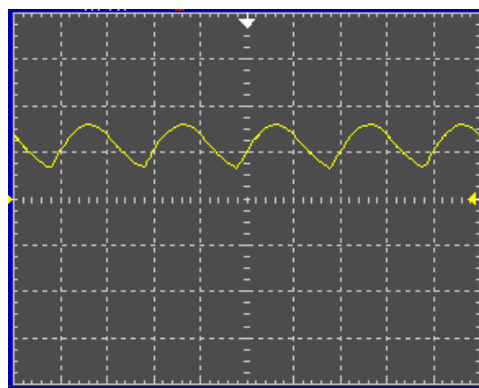


Figura 10. Medición experimental de la señal de salida del circuito 1 con carga.

Por otro lado, las figuras 11 y 12 corresponden al circuito de medición 2 (figura 4), donde el eje vertical representa la tensión (5 V/Div para la salida sin carga y 2 V/Div para la salida con carga) y el eje horizontal es la base de tiempo

(500 μ s). La figura 11 corresponde a la señal de salida sin carga conectada, cuyo valor de tensión alcanza en promedio 13.727 V. Además, la señal de salida con el resistor de 1 k Ω se presenta en la figura 10, donde se alcanza una tensión máxima de 5.9 V y una mínima de 1.6 V.

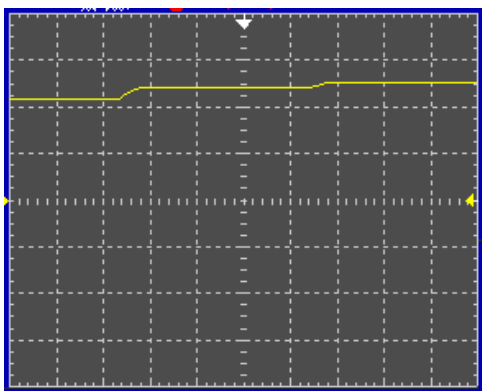


Figura 11. Medición experimental de la señal de salida del circuito 2 sin carga.

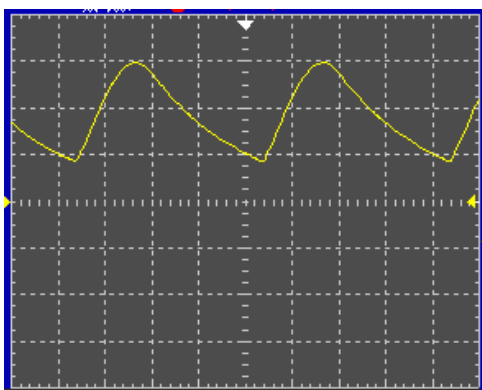


Figura 12. Medición experimental de la señal de salida del circuito 2 con carga.

Por último, la salida del circuito limitador (figura 7) se muestra en la figura 13. En esta gráfica la tensión en el eje vertical es de 2 V/Div y la base de tiempos es de 500 ms en el eje horizontal. Así, la tensión máxima que se alcanza es de 3.86 V y la tensión mínima es de -2.46 V.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se contrasta la teoría expuesta en la introducción con los datos experimentales del experimento.

Con el objetivo de comprobar el buen funcionamiento de los componentes, estos fueron medidos con el multímetro del simulador. En los cuadros I y II se presentan las mediciones obtenidas. El valor promedio de la resistencia experimental es de 989.538 Ω con una incertidumbre de 7.422 Ω . Al comparar este valor con el dato teórico de 1 k Ω se obtuvo un porcentaje de error de 1 %, lo cual permite concluir que las mediciones se realizaron de forma correcta. En el caso de los diodos de silicio, el valor de la tensión de umbral teórica ronda entre 0.5 y 0.7 V. Sin embargo, el valor medido con el multímetro para ambos diodos fue (0.456 \pm 0.001) V, lo cual es un valor inferior al que

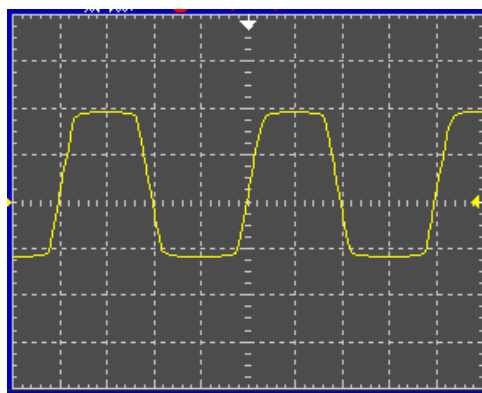


Figura 13. Medición experimental de la señal de salida del circuito 3.

se esperaba obtener con un porcentaje de error de 35 %. No obstante, al estar bajo un ambiente de simulación se infiere que los diodos están funcionando correctamente. Además, todas las mediciones para los diodos dio como resultado el mismo valor debido a que Multisim no permite agregar tolerancia a los diodos.

III-A. Circuitos Multiplicadores de Voltaje.

Como se mencionó en la introducción, los circuitos multiplicadores de voltaje se encargan de elevar el valor pico de la tensión de salida a valores superiores del voltaje pico rectificado. En este experimento se utilizaron dos multiplicadores, uno de onda completa (figura 1) y uno de media onda (figura 4). Ambos circuitos se analizaron con y sin carga en la salida, representada por un resistor de 1 k Ω . Además, a modo resumen, los valores teóricos, experimentales y los porcentajes de error se tabularon en los cuadros IV y III. Al examinar las gráficas de tensión de salida para ambos circuitos sin carga, se nota que son muy similares. La figura 9 muestra la salida del circuito de onda completa, cuyo voltaje promedio es de (13.300 \pm 0.001) V y la figura 11 muestra la salida del circuito de media completa, la cual presenta un pequeño rizado y su voltaje de DC promedio es de (13.727 \pm 0.001) V. De este modo, al observar las señales teóricas (figuras 2 y 5) y comparar los valores presentados en el cuadro III se puede concluir que el resultado es correcto, con tan solo un porcentaje de error de 2 % para el circuito de media onda y 1 % para el circuito de onda completa.

Cuadro III
VALORES DE TENSIÓN DE SALIDA DE LOS CIRCUITOS 1 Y 2 SIN LA CARGA
R=1 k Ω .

	Media Onda	Onda Completa
Valor teórico (V)	13.4	13.4
Valor experimental (\pm 0.001)V	13.727	13.3
% de error	2	1

Como se puede observar en los resultados, la tensión de salida es aproximadamente el doble de la tensión de entrada, la cual es de 5 Vrms o 7.071 Vp. De este modo, se puede concluir que los circuitos están duplicando la tensión de salida y por tanto cumpliendo con su objetivo.

En cuanto a la tensión de salida, la forma de las señales de ambos circuitos sí cambian un poco. Por un lado, la salida del circuito de onda completa (figura 10) se caracteriza por tener una tensión máxima de 8.1 V, una tensión mínima de 2.95 V y una frecuencia de 1000 Hz. En comparación con la gráfica teórica medida en LTspice (figura 6), donde $V_{m\acute{a}x} = 7.8$ V, $V_{m\acute{i}n} = 2.9$ V y $f = 500$ Hz, se puede apreciar varios aspectos. Primero, las gráficas son casi las mismas con la excepción de que los valores teóricos y experimentales difieren un poco, donde hay un porcentaje de error de 4 % para la tensión máxima y 2 % para la tensión mínima (Cuadro IV). Segundo, la frecuencia de salida es el doble de la frecuencia de entrada, lo cual es de esperar debido al comportamiento que tiene el rectificador de onda completa.

Por otro lado, la salida del circuito de media onda (figura 12) tiene un valor pico máximo de 5.9 V y uno mínimo de 1.6 V, y una frecuencia es de 500 Hz. Del mismo modo que el circuito anterior, esta señal es prácticamente la misma señal teórica (6) con un porcentaje de error de 5 % para la tensión máxima y 11 % para la tensión mínima. Además, la frecuencia de entrada es la misma que la frecuencia de salida, lo cual es correcto según la teoría.

Cuadro IV
VALORES DE TENSIÓN DE SALIDA DE LOS CIRCUITOS 1 Y 2 CON LA CARGA $R=1$ k Ω .

	Media Onda		Onda Completa	
	$V_{m\acute{a}x}$	$V_{m\acute{i}n}$	$V_{m\acute{a}x}$	$V_{m\acute{i}n}$
Valor teórico	5.6	1.8	7.8	2.9
Valor experimental (± 0.01) V	5.90	1.60	8.10	2.95
% de error	5	11	4	2

III-B. Circuito Limitador de Voltaje.

Como se explicó en la introducción los circuitos limitadores o recortadores eliminan una porción de una onda por arriba o por abajo de un cierto voltaje. En la figura 13 se muestra la gráfica de la señal de salida del circuito limitador experimental y en la figura 8 se presenta la señal de salida teórica. Al contrastar ambas gráficas se puede evidenciar que el circuito cumple su función, la cual es recortar las porciones mayores a 4 V y menores a -2.5 V de la onda de entrada de 7 Vp. Además, en el cuadro V se exhiben los datos donde hay un porcentaje de error de 4 % para el recorte positivo y de 2 % para el recorte negativo de la señal. Estas cifras permiten afirmar que el resultado experimental obtenido es correcto.

Cuadro V
VALORES DE TENSIÓN EXPERIMENTAL Y TEÓRICA DEL CIRCUITO 3.

	Valor teórico	Valor Experimental	% de error
Voltaje Máx (V)	4	(3.86 \pm 0.01)	4
Voltaje Mín (V)	-2.5	(-2.46 \pm 0.01)	2

IV. CONCLUSIONES

1. Los circuitos limitadores se utilizan para eliminar una sección de una onda de corriente alterna. Al cambiar la configuración del circuito y modificar los valores de la fuente de CD, se puede evitar que una señal sobrepase el nivel de tensión deseado.

2. La cantidad de tensión que se multiplique mediante un circuito multiplicador está relacionada con la cantidad de capacitores y diodos que se coloquen en la configuración.

3. Los capacitores del circuito multiplicador permiten que se almacene la energía en el periodo de carga. Esta energía es cedida en el periodo de descarga cuando se coloca una carga en la salida. Esto ocasiona el rizado que se observa en el osciloscopio, el cual entre más pequeño, mejor.

REFERENCIAS

- [1] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky. (2009). Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos 10ma Edición.
- [2] Guillermo Huerta. (2020). Rectificadores y limitadores. Ingeniería colectiva tomado de: <https://siticed.com.mx/2020/01/24/rectificadores-y-limitadores/>