



RÍO NEGRO  
UNIVERSIDAD NACIONAL

# Informe de Laboratorio de electrónica analógica 2023

---

**Materia:** Laboratorio de Electrónica Analógica

**Profesor:** Gabarret Pedro

**Alumnos:** Diaz Miguez Lucas, Oehler Mathias y Sotomayor Paredes Braian Gabriel

**Proyecto:** Cargador de baterías de Litio



## Índice

Introducción .....	3
Descripción .....	3
Diseño de bloque A: PWM.....	4
Oscilador de Relajación .....	4
Comparación de Señales .....	4
Generación de la Señal PWM .....	4
Diseño de bloque B: SELECTOR VOLTAJE CORRIENTE.....	6
Bloque C: POTENCIA – BUCK CONVERT.....	7
Circuito esquemático .....	9
BOM Circuit .....	9
Ensayo de Laboratorio .....	10
Resultados .....	11
Salida del Primer Amplificador Operacional .....	11
Entrada del Segundo Amplificador Operacional.....	11
Salida del circuito .....	12
Conclusión .....	12

# Introducción

En un contexto donde la eficiencia energética y el aprovechamiento de fuentes renovables son imperativos, el diseño y desarrollo de sistemas de carga de baterías se erige como un campo de especial relevancia. Este informe aborda la implementación de un cargador de batería de litio destinado a tres celdas (12.6 voltios), con la particularidad de contar con una entrada diseñada para paneles solares cuya tensión varía entre 12 y 18 voltios. Este proyecto integra una solución innovadora basada en un convertidor Buck de alta eficiencia, empleando el versátil LM324. Este circuito no solo regula la tensión de salida, sino que también gestiona la corriente de carga, brindando así un control preciso y seguro del proceso de carga. La amplificación de potencia se logra a través de un transistor MOSFET canal P (2N6847), permitiendo superar las limitaciones de corriente del LM324. Además, se implementa un filtro pasa bajos para asegurar una salida sin rizado, esencial en el cuidado de baterías de litio. Este informe proporciona una visión detallada del diseño y funcionamiento de este cargador, destacando sus características clave y su contribución al avance en la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de energía autónomos.

## Descripción

Para la explicación del circuito se decidió separarlo en 4 bloques. A continuación, se detalla la función de cada bloque. Luego de introducirnos en el funcionamiento de cada bloque se va explicar como integrar ambos bloques para unificar en un mismo circuito.

Bloques	Descripción
Bloque A	PWM
Bloque B	SELECTOR VOLTAJE CORRIENTE
Bloque C	POTENCIA – BUCK CONVERT

Tabla 1 Resumen de funcionamiento

Cabe mencionar que para el armado y diseño del circuito se trató de utilizar los componentes disponibles en el laboratorio.

## Diseño de bloque A: PWM

En este bloque se va a implementar la funcionalidad de PWM, el cual es el encargado de controlar la tensión y corriente de la carga de batería.

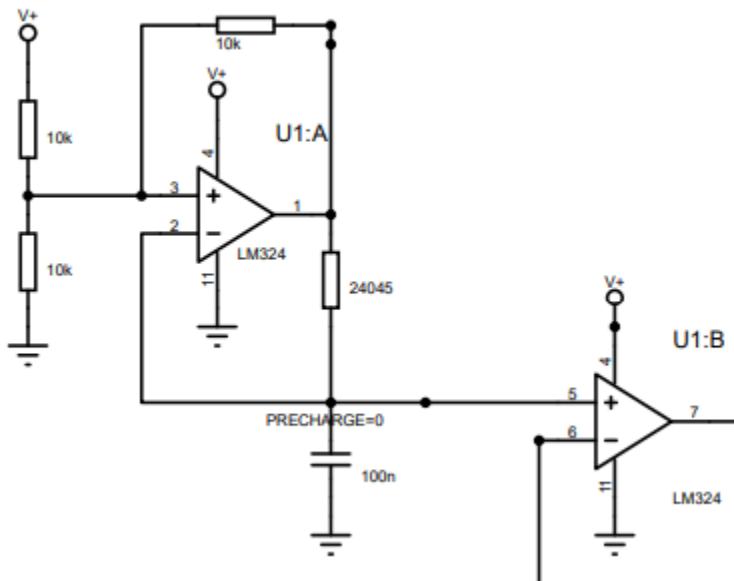


Figura 1 Implementación de Bloque A

En la **Figura 1** se puede ver la implementación de nuestro PWM el cual está basado en un oscilador de relajación.

**Oscilador de Relajación:** El oscilador de relajación es un circuito que genera una señal triangular (Salida de U1: A) y rectangular periódica (Salida de U1: B). Está compuesto por una resistencia y un condensador en un bucle de retroalimentación. La carga y descarga del condensador en este bucle determina la frecuencia de oscilación.

**Comparación de Señales:** La señal generada por el oscilador de relajación se compara con una señal de referencia. La señal referencia que utilizamos en esta etapa es la que el usuario selecciona en la etapa del BLOQUE B: SELECTOR VOLTAJE CORRIENTE.

**Generación de la Señal PWM:** Cuando la señal del oscilador cruza el nivel de referencia, el comparador cambia de estado. Este cambio de estado del comparador se traduce en un pulso de salida de PWM. La duración de este pulso (ancho del pulso) está relacionada con el tiempo que la señal del oscilador permanece por encima o por debajo del nivel de referencia.

A continuación, se muestra una simulación de la **Figura 1**, el cual muestra los resultados obtenidos.

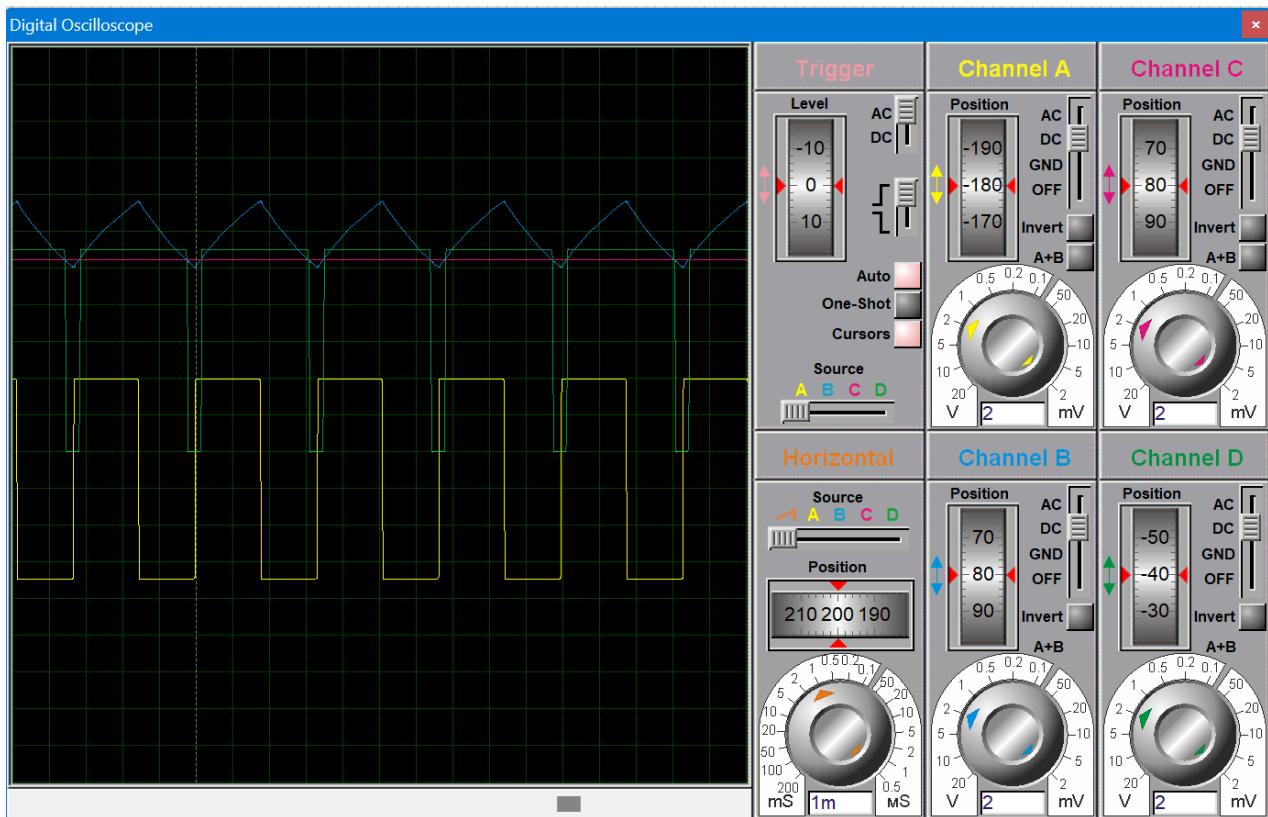


Figura 2 Simulación en Proteus

Como se puede observar en la **Figura 2** cuando configuramos la referencia, hacemos variar el ancho del pulso del PWM. Además, podemos observar la salida de U1: A (Pulso Triangular) y la salida de U1: B (Pulso Rectangular).

La selección para las resistencias se basó en la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{C \cdot f \cdot \ln(4)}$$

Donde se seleccionó  $C$  y  $f$  para determinar la Resistencia necesaria para obtener la frecuencia deseada de 5 KHz.

## Diseño de bloque B: SELECTOR VOLTAJE CORRIENTE

En este bloque se diseñaron dos posibles configuraciones para seleccionar la performance del PWM. A continuación, está la implementación en un esquemático de este bloque:

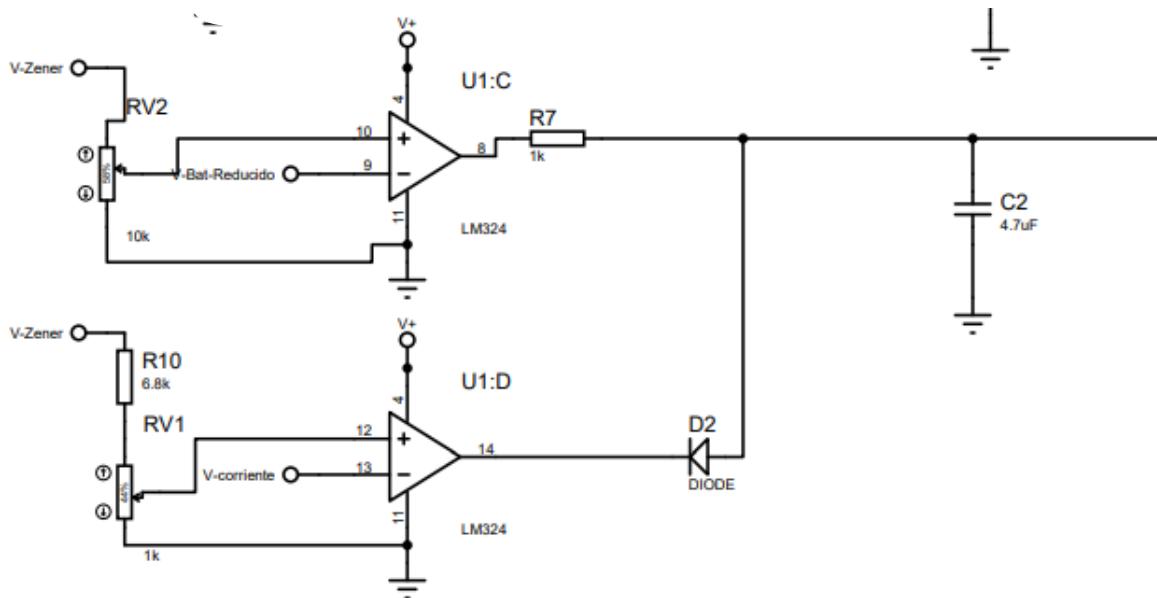


Figura 3 Implementación bloque B

En la **Figura 3** podemos apreciar los dos selectores ya mencionados, donde U1: C es el encargado de configurar la tensión que debe mantener el PWM (Bloque A). El integrado U2: D se encarga de configurar la corriente que también debe mantener el PWM. El uso del capacitor C2 como filtro es una medida efectiva para eliminar señales no deseadas y reducir interferencias tanto de fuentes externas como internas al circuito. Esto garantiza que la señal PWM sea estable y libre de ruido, lo que contribuye a un funcionamiento más confiable y preciso del sistema en su conjunto.

También podemos observar que a la entrada de los selectores tenemos una entrada llamada Zener.

El circuito divisor resistivo junto con el diodo Zener permite mantener un nivel constante de voltaje que entra en el sistema, lo que es esencial para un funcionamiento preciso y predecible del PWM y otros componentes del bloque de control. Esto no solo protege al sistema de daños potenciales causados por variaciones inesperadas de voltaje, sino que también contribuye en gran medida a garantizar que la performance deseada del circuito se mantenga constante y estable en todo momento. A continuación, se presenta el esquemático del circuito Zener

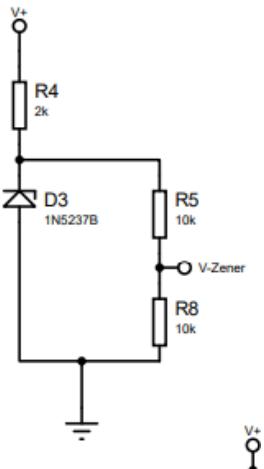


Figura 4 Circuito zener

## Bloque C: POTENCIA – BUCK CONVERT

En el diseño del bloque de conmutación y potencia, la inclusión de un convertidor Buck es una estrategia eficaz para reducir la tensión de entrada a un nivel adecuado para cargar las baterías de litio. Al bajar la tensión de entrada, el convertidor Buck permite regular la tensión de salida de manera precisa y eficiente. El MOSFET Q1, configurado como un conmutador, desempeña un papel clave en la conmutación de la corriente a través del circuito. Al funcionar como un interruptor controlado, el MOSFET canal P controla el flujo de corriente a través del circuito, lo que permite regular la cantidad de energía suministrada a las baterías.

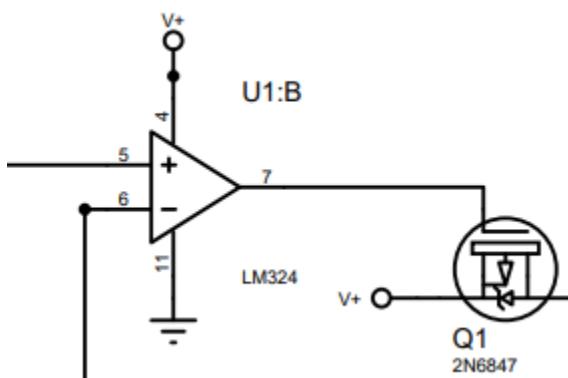


Figura 5 Comutador

La operación del convertidor Buck implica un ciclo de trabajo controlado en el que el transistor MOSFET se enciende y se apaga a una frecuencia específica. Durante el ciclo de encendido, el inductor almacena energía de la entrada. Durante el ciclo de apagado, la energía almacenada en el inductor se transfiere a la carga a través del diodo de trampa y el capacitor, manteniendo así una



salida de voltaje estable y regulada. La selección de los valores para esta configuración fue mediante la ecuación

$$L = \frac{V_{OUT} * (V_{OUT} - V_{IN})}{\Delta I_L * f_s * V_{IN}}$$

$$C_{OUT(min),OS} = \frac{\Delta I_L}{8 * f_s * V_{OUT}}$$

$C_{OUT(min)}$ : Capacitancia de salida mínima para Overshoot deseado. (C3)

$\Delta I_L$ : Cambio máximo de corriente de salida en la aplicación, estimado por la frecuencia.

$V_{OUT}$ : Voltaje de salida deseado.

$f_s$ : Frecuencia de conmutación mínima del convertidor.

$L$ : Inductor calculado. (L1)

El diodo D1 cumple la función de cerrar el circuito de la bobina. Esta configuración se llama diodo de trampa. Generalmente un diodo de recuperación rápida asegura que la corriente fluya suavemente a través del inductor y el capacitor cuando el MOSFET se apaga, evitando la interrupción brusca de la corriente y permitiendo la transferencia suave de energía a la carga.

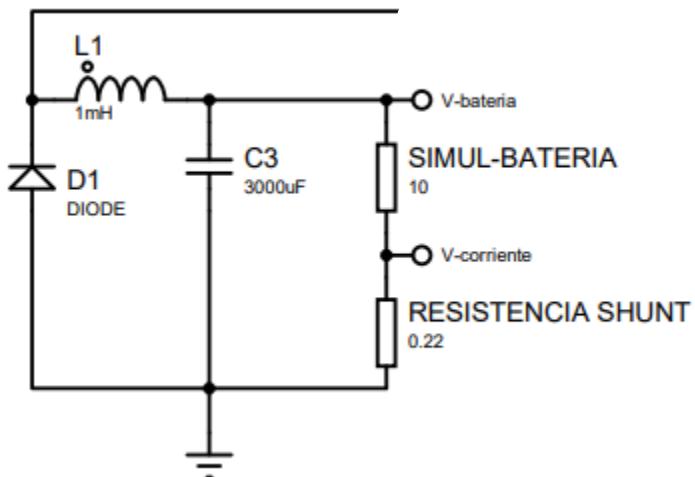
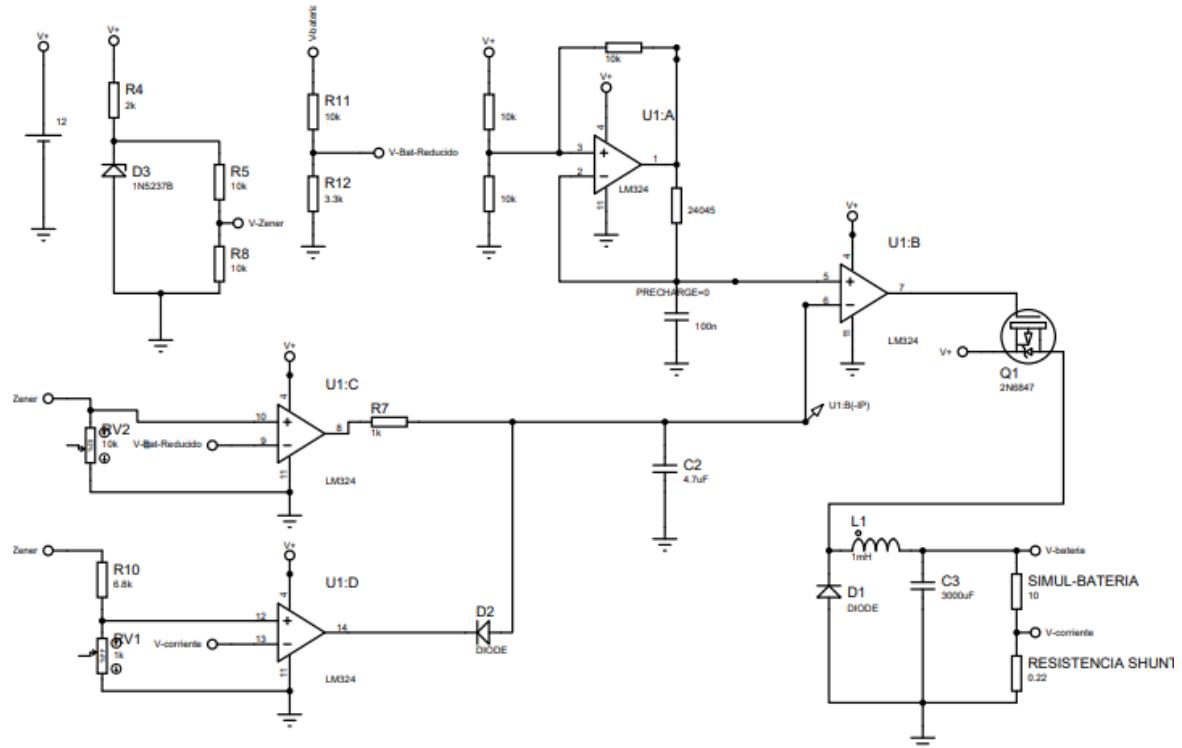


Figura 6 Buck Convert - Carga

## Circuito esquemático



## BOM Circuit

Category	Quantity	References	Value
Resistors	1	R1	2 KΩ
Resistors	1	R2	3.3 KΩ
Resistors	1	R3	24 KΩ
Resistors	1	R4	1 KΩ
Resistors	5	R5	10 KΩ
Resistors	1	R6	6.8 KΩ
Resistors	1	R7	0.22 Ω
Diodes	2	D1, D2	1N4734A
Diodes Zener	1	D3	1N5237B
Capacitors	1	C1	100 nF
Capacitors	1	C2	4.7 uF
Capacitors	1	C3	3000 uF
Inductors	1	L1	1 mH
OPAM	4	U1: A, U1: B, U1: C, U1: D	LM324
MOSFET	1	Q1	2N6847



## Ensayo de Laboratorio

Se procede a armar el circuito en el laboratorio para su ensayo:

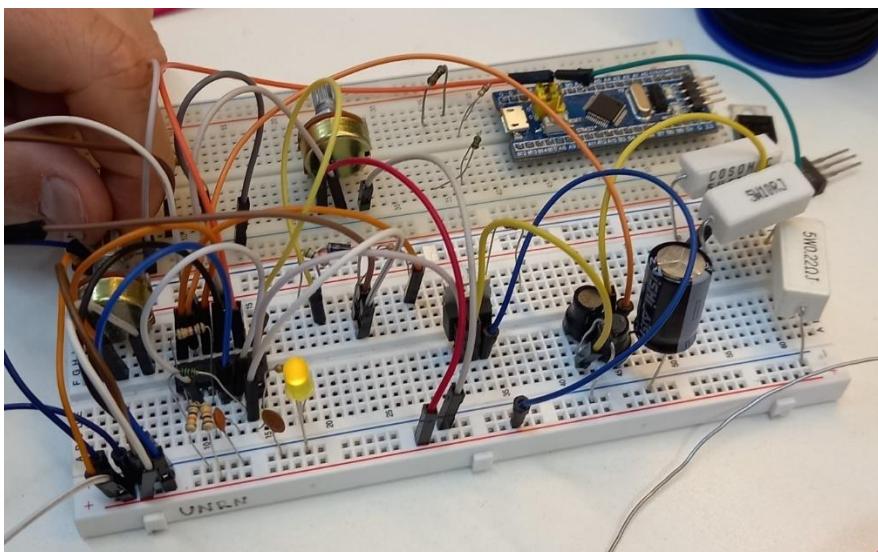


Figura 7 Montaje en Protoboard

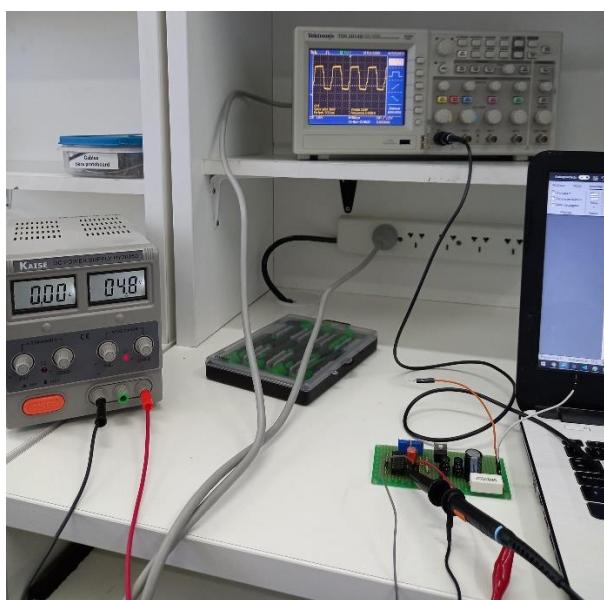


Figura 8 Configuración del ensayo

Referencia	Instrumento	Modelo
F1	Fuente de voltaje simple	Kaise
M1	Multímetro	Fluke 87
O1	Osciloscopio	Tektronix TDS2012

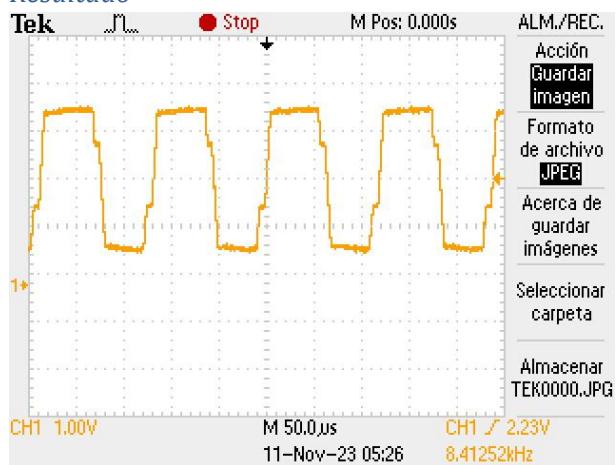
Tabla 2: Instrumental utilizado

# Resultados

## Salida del Primer Amplificador Operacional

Se obtuvo la señal cuadrada deseada, lo cual es indicativo de un funcionamiento correcto de la etapa de PWM. La generación de la señal cuadrada es crucial para controlar el ciclo de trabajo y, por lo tanto, la cantidad de energía entregada a la batería.

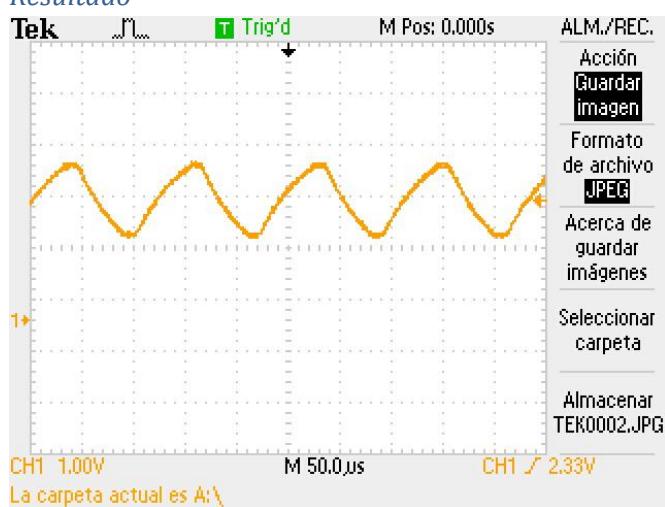
### Resultado



## Entrada del Segundo Amplificador Operacional

Se observó una señal triangular en la entrada del segundo Opam, generada por el capacitor. Esto sugiere que el circuito está funcionando como se espera y que la etapa de filtrado y generación de la forma de onda triangular está operando correctamente.

### Resultado



### Salida del circuito

En la salida del circuito logramos obtener un ripple de 50 mV, lo cual era lo que deseábamos, poco ripple causado por la Buck convert. Además, pudimos evaluar que la tensión y la corriente que se seleccionaba eran independientes entre ellas.



### Conclusión

En la salida del circuito, hemos alcanzado nuestro objetivo de obtener un ripple de tan solo 50 mV, demostrando así la eficacia de la etapa de la Buck convert en la minimización de fluctuaciones no deseadas. Este bajo nivel de ripple es esencial para preservar la integridad de las baterías de litio. Además, se ha confirmado la independencia entre la tensión y la corriente seleccionadas, un logro significativo que permite un control preciso y personalizado del proceso de carga. Vale la pena destacar que la modulación PWM, una técnica utilizada para transmitir señales analógicas mediante una señal portadora digital desempeña un papel clave en nuestro diseño. Aunque nos hemos enfrentado a limitaciones en la frecuencia, la propuesta de reemplazar amplificadores operacionales por componentes de mejor rendimiento en frecuencia ofrece una vía para mejorar aún más la eficiencia del sistema.