



Diseño de Carga Activa para Ensayo de Fuentes de Tensión como Alternativa a Cargas Resistivas

Berger J.J. ^{a*}, Berger M.A. ^b, Korpys E.A. ^c, Krindges F.N. ^d,

Ing Olsson J.A. ^e, Ing. Anocibar H. R. ^f.

^{a, b, c, d, e, f} *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.*

^{a, b, c, d, e, f} *Departamento de Ingeniería Electrónica.*

^c *Proyecto de investigación 16/I1384, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.*

^{e, f} *Proyecto de investigación 16/I142, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: juanjoseberger1999@gmail.com, bergermartin090@gmail.com, ernesto.korpys@gmail.com,
krindgesfer@gmail.com, Jorgealbertoolsson@gmail.com, anocibar@gmail.com.

Resumen

En el siguiente artículo se presenta una breve definición de una fuente de tensión, detallando sus parámetros más significativos como la resistencia interna y su regulación. Para la determinación de estos, se plantea el diseño de una carga activa, la cual se comporta como una resistencia no lineal estable con la corriente. Adicionalmente, se mencionan las ventajas que presenta frente a los elementos pasivos para la misma aplicación.

Objetivo: Implementar una carga activa como reemplazo de cargas resistivas en el ensayo de fuentes de tensión. La misma fue diseñada durante el cursado de la asignatura Mediciones Electrónicas. La capacidad de corriente será de hasta 3 A con una tensión máxima de ensayo de 15 V.

Previo al diseño del circuito se presentan los componentes a utilizar y una breve descripción de cada uno, siendo los principales a utilizar: un Amplificador Operacional, un transistor MOSFET y una referencia de voltaje confiable.

Se concluyó, gracias a los resultados experimentales obtenidos del ensayo a una fuente de tensión del laboratorio y adicionalmente una fuente de tensión ensamblada en la asignatura de Dispositivos Electrónicos de la carrera Ingeniería Electrónica demuestran que el circuito propuesto permite obtener los parámetros esperados, funcionando de la forma prevista.

Palabras Clave – *Amplificadores Operacionales, Carga activa, Carga resistiva, Ensayo de fuentes, MOSFET.*

Tabla 1: Símbolos.

Símbolo	Referencia	Unidad
η	Regulación porcentual de la fuente	(%)
V_V	Voltaje a la salida de la fuente sin carga conectada	Volts (V)
V_{pc}	Voltaje a la salida de la fuente a plena carga	Volts (V)
V_{KA}	Voltaje cátodo-ánodo del TL431	Volts (V)
V_{ref}	Voltaje de referencia interno del TL431	Volts (V)
V_{NI}	Voltaje de entrada No Inversora del AO	Volts (V)
V_I	Voltaje de entrada Inversora del AO	Volts (V)
I_{RS1}	Corriente que se exige a la fuente a ensayar	Amperes (A)
R_{S1}	Resistencia de sensado	Ohms (Ω)
P_1 y R_3	Resistencias de polarización del TL431	Ohms (Ω)
R	Resistencias del divisor resistivo	Ohms (Ω)
R_{lim}	Resistencia limitadora de corriente	Ohms (Ω)
V_K	Voltaje del cátodo del TL431	Volts (V)
I_{pol}	Corriente de polarización del divisor resistivo.	Amperes (A)
V_{fuente}	Voltaje de la fuente a ensayar	Volts (V)
$V_{ce\ sat\ AO1}$	Caida de voltaje por saturación a la salida del AO.	Volts (V)
I_{TL431}	Corriente de polarización del TL431	Amperes (A)
P_{IRF540}	Potencia disipada por el MOSFET IRF540	Watts (W)
T_{jmax}	Temperatura de juntura máxima	Grados Celcius ($^{\circ}C$)
T_{amb}	Temperatura ambiente	Grados Celcius ($^{\circ}C$)
θ_{JA}	Resistencia térmica entre juntura-ambiente	($^{\circ}C/W$)
$R_{DS\ on}$	Valor de resistencia del MOSFET en conducción	Ohms (Ω)
V_c	Voltaje del capacitor	Volts (V)
V_f ó V_{cc}	Voltaje de alimentación del circuito de carga activa	Volts (V)
T	Tiempo deseado para el temporizador	Segundos (seg)
C_1	Capacitor del circuito RC del temporizador	Faradios (μF)
R_{16}	Resistencia del circuito RC del temporizador	Ohms (Ω)

1 Introducción

1.1 Revisión bibliográfica.

Para el ensayo de fuentes se requiere que estas trabajen en sus valores nominales, dichos valores pueden ser alcanzados mediante una carga adecuada. Para comprobar el funcionamiento de generadores, baterías y fuentes se utilizan cargas, las mismas normalmente son resistivas, estas tienen la ventaja de la fácil disposición; pero presentan el inconveniente de ser voluminosas y obtener un valor específico resulta poco práctico [2]. Las cargas activas facilitan este ensayo, debido a que se comportan como una resistencia no lineal que resulta estable contra la corriente, se pueden ajustar y resultan menos voluminosas que las cargas resistivas.

En el documento se diseña una carga activa empleando componentes en disposición del área de Electrónica en la Facultad de Ingeniería UNAM. Con esta, se realizan ensayos a diferentes fuentes de tensión que se disponen en el laboratorio y se exponen los datos obtenidos.

1.2 Fuente de tensión

Se define como fuente de tensión al elemento activo que es capaz de entregar energía, generando una diferencia de potencial entre sus extremos [3]. Dicha diferencia de potencial puede ser alterna, es decir que su valor cambia con el tiempo, o también puede ser constante, no cambia con el tiempo.

Las fuentes de tensión entregan energía que reciben de la red eléctrica, esta última se genera, transmite y suministra en forma de corriente alterna, debido a su eficacia. Los equipos electrónicos requieren de una alimentación de corriente continua relativamente constante y que sea independiente de posibles fluctuaciones que se generan en la tensión de línea o por la carga. Las fuentes reguladas se encargan de transformar la forma de la energía eléctrica de la red, de alterna a continua, además de independizar la tensión de salida de estas posibles perturbaciones de entrada, no obstante, no son ideales.

La idealidad de una fuente de tensión se determina a partir de distintos parámetros como ser su resistencia interna y su regulación. A continuación, se presenta el caso de una fuente de tensión ideal, la cual presenta una resistencia interna igual a cero de modo tal que la tensión se aplica, en su totalidad directamente a la carga como se observa en el ejemplo de la **Figura 1**.

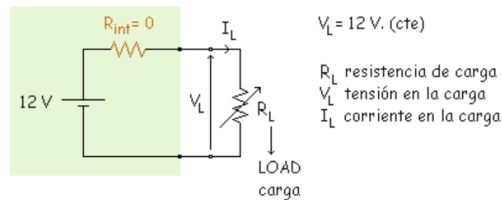


Figura 1: Fuente de tensión ideal de 12 V [4].

La regulación es un parámetro que determina cuánto porcentaje de la tensión disminuye en función de la carga que se conecte a dicha fuente [2]. El cómo se modifica la tensión de salida de una fuente en función de la corriente de la misma puede observarse en la **Figura 2** y la regulación de una fuente puede calcularse como se expresa en la (1) [1].

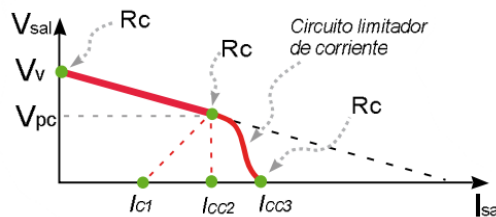


Figura 2: Tensión de una fuente en función de la corriente entregada Figura 2 [5].

$$\eta = \frac{V_v - V_{pc}}{V_v} 100\% \quad (1)$$

En realidad, la resistencia interna de una fuente siempre es distinta de cero. Esto provoca que la tensión de salida disminuye al aumentar la corriente demandada. Este es un parámetro muy importante a tener en cuenta, debido a que los circuitos electrónicos suelen ser sensibles a las variaciones de voltaje en su alimentación. Conocer la resistencia interna permite determinar si la fuente será adecuada para el circuito eléctrico que se pretenda alimentar. En la práctica las cargas son generalmente mucho mayores que la resistencia interna (al menos 10 veces) para conseguir que el valor en sus bornes no difiera mucho del valor en vacío.

Para determinar la resistencia interna de una fuente de alimentación se realizan ensayos a la misma con circuitos de carga activa o resistiva.

1.3 Carga activa.

Se define como carga activa al componente de circuito que se comporta como una resistencia no lineal estable con la corriente. El término “activa” indica que se emplean componentes activos, que son capaces de controlar el flujo de corriente de los circuitos o efectuar ganancias. Los componentes fundamentales son los generadores eléctricos y los componentes semiconductores [6].

Se utiliza la carga activa para conectarla a la salida de la fuente de tensión o batería a ensayar, tomando de estas una corriente constante definida por las características de la carga independientemente del valor de voltaje sobre la carga. El objetivo será determinar los parámetros característicos que definen a una fuente, como ser, resistencia interna y regulación.

La principal ventaja que presenta emplear cargas activas frente a resistencias bobinadas tradicionales es la fácil adaptación, debido a que para estas últimas se deberían hacer distintas combinaciones de resistencias de gran potencia para ensayar una fuente de tensión a distintos niveles de corriente, y la obtención de estas resistencias se dificulta. Sin embargo, con la carga activa se puede obtener fácilmente el valor deseado de corriente de testeo, con una referencia adecuada. Otra ventaja de las cargas activas es que poseen una menor voluminosidad en comparación con las cargas resistivas.

1.4 Amplificador operacional.

Un amplificador operacional es un dispositivo amplificador electrónico de alta ganancia acoplado en corriente continua que tiene dos entradas de alta impedancia y una salida [1].

Sus usos más populares en la industria son como:

1. Amplificador diferencial: es la etapa de entrada que proporciona una baja amplificación del ruido y gran impedancia de entrada. Suelen tener una salida diferencial.
2. Amplificador de tensión: proporciona ganancia de tensión.
3. Amplificador de salida: proporciona la capacidad de suministrar la corriente necesaria, tiene una baja impedancia de salida y, usualmente, protección frente a cortocircuitos. Este también proporciona una ganancia adicional. Su símbolo se muestra en la **Figura 3**.

El amplificador operacional ideal posee las siguientes características:

- Infinita ganancia en lazo abierto
- Infinita resistencia de entrada.
- Corriente de entrada cero.

- Tensión de desequilibrio de entrada cero.
- Infinito rango de tensión disponible en la salida.
- Infinito ancho de banda con desplazamiento de fase cero.
- Rapidez de variación de tensión infinita.
- Resistencia de salida.
- Ruido cero.
- Infinito Factor de Rechazo a Fuente de Alimentación (PSRR).

Estas características se pueden resumir en dos "reglas de oro":

- En el lazo cerrado la salida intenta hacer lo necesario para hacer cero la diferencia de tensión entre las entradas.
- Las corrientes de entrada al dispositivo son aproximadamente cero.

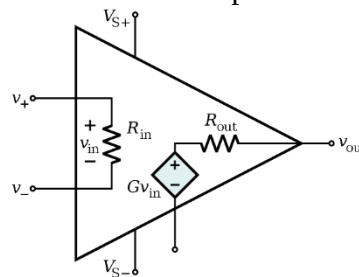


Figura 3: Esquema del amplificador operacional [1].

1.5 MOSFET.

Un MOSFET (transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor) es un dispositivo electrónico que se utiliza para conmutar o amplificar señales electrónicas. Dichas señales pueden ser de tensión o corriente [1].

El MOSFET es un dispositivo de cuatro terminales llamados fuente (Source), drenador (Drain), puerta (Gate) y sustrato (B). Aunque este último generalmente está conectado internamente al terminal de fuente y en consecuencia es común encontrar estos dispositivos con solo tres terminales. Como se aprecia en la **Figura 4**.

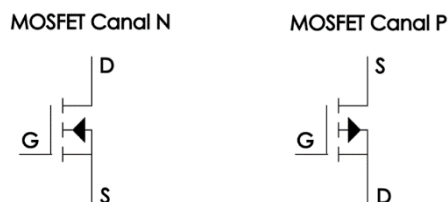


Figura 4: Símbolo del MOSFET de canal N y canal P [1].

El que este dispositivo esté amplificando o conmutando señales electrónicas, va a depender de la relación que halla entre las diferencias de potencial entre sus terminales. Esto define distintas regiones de trabajo de este dispositivo, la región de corte, región óhmica y la región de saturación [1].

El transistor estará en la región de corte cuando la diferencia de potencial entre la puerta y la fuente (V_{GS}) sea menor a una tensión de umbral (V_T) establecido por el fabricante del dispositivo. En esta región el transistor no permite el paso de corriente por los terminales D y S (I_{DS}).

Cuando esta última diferencia de potencial es mayor a la tensión de umbral el transistor pasa a trabajar en la zona óhmica, donde él mismo se comporta como una resistencia variable entre los terminales D y S (R_{DSon}). Dicha resistencia varía su valor dependiendo del potencial que exista entre G y S permitiendo así la disminución o aumento de la corriente que circula entre los terminales D y S.

Por último, Cuando la diferencia de potencial entre D y S (V_{DS}) es mayor a la diferencia entre V_{GS} y V_T el transistor pasa a trabajar en la región de saturación donde por más que aumente V_{DS} no aumenta linealmente la I_{DS} . La curva de transferencia y curva característica de salida del MOSFET se ilustra en la **Figura 5**.

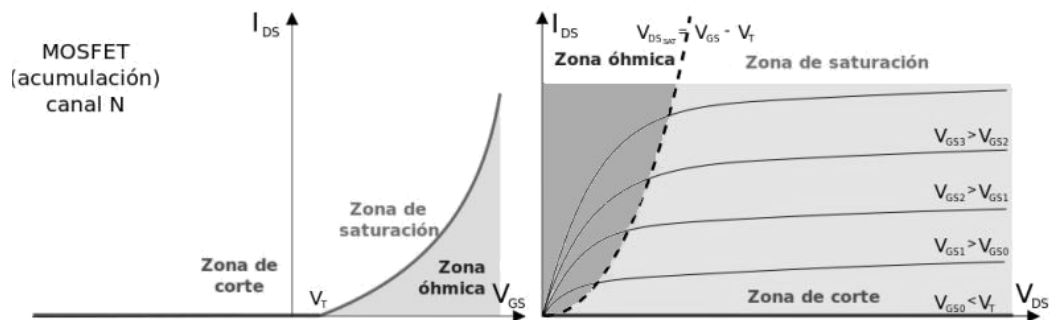


Figura 5: Curvas características del MOSFET [1]

1.6 TL431: Voltaje de referencia de precisión.

El TL431 es un componente de referencia de precisión programable se utiliza en una amplia variedad de circuitos. La función que cumple es la de una referencia de tensión fundamental para mantener la estabilidad del dispositivo en el manejo de corrientes y capacidades de carga variables [7]. El diagrama de bloques de su circuito interno se lustra en **Figura 6N, [8]**.

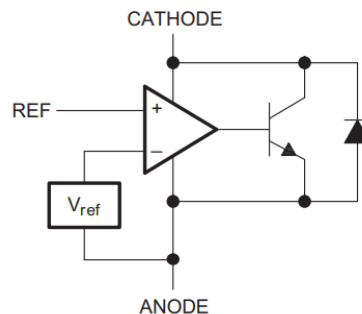


Figura 6: Esquema simplificado del funcionamiento del TL431 [8].

Resulta muy conveniente, ya que puede ser ajustado para voltajes de salida desde 2,5 V hasta 36 V mediante un conjunto de resistencias como se indica en la **Figura 7** y se expresa en la (2):

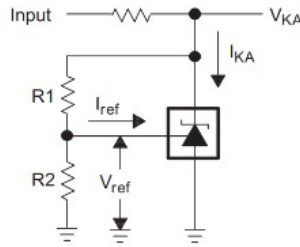


Figura 7: Esquema de conexión y función de salida para $V_{KA} > V_{ref}$ [8].

$$V_{KA} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + I_{ref} R_1 \quad (2)$$

1.7 Monoestable con amplificador operacional.

La configuración que se presenta emplea un AO para comparar las tensiones en sus entradas, siendo la No Inversora una referencia fijada por el divisor resistivo constituido por R2, R3 y R4; mientras que la inversora corresponde al voltaje sobre un capacitor. Cuando la tensión de la entrada I sea menor a la NI el voltaje de salida será el de saturación. Por lo que en condición de reposo el capacitor se encuentra cargado, y la salida del AO cercana a 0 V. Al activar el pulsador, se descarga el capacitor y como $V_I < V_{NI}$ a la salida habrá la tensión de saturación durante el tiempo que tarda en cargar el capacitor hasta el voltaje de referencia [11]. Dicha configuración se muestra en la **Figura 8**.

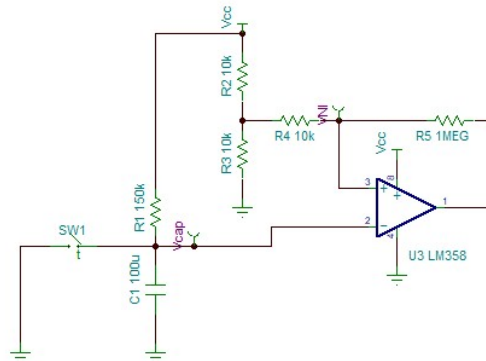


Figura 8: Configuración de monoestable con AO [12].

2 Materiales y Métodos

2.1 Diseño

La carga activa fue pensada para ensayar la fuente de alimentación del laboratorio de electrónica marca GOOD WILL de doble salida de 0-30 V y 0-3 [13]. El ensayo consistió en exigir, distintas corrientes desde 0 a 3 A. Específicamente se pretende ensayar la misma para una tensión de salida de 12 V porque dicho valor es una de las tensiones más frecuentemente utilizadas para alimentar circuitos electrónicos.

Teniendo esto en cuenta se procedió a diseñar el circuito eléctrico de la carga activa proponiendo el uso de un transistor MOSFET de canal N IRF540 [9], un TL431 [8] y un Amplificador operacional LM358 [10]. El circuito logrado tiene la característica de poder seleccionar la corriente de ensayo que se exigirá a la fuente de alimentación y además no permitirá la circulación de dichas

corrientes por más de 10 segundos por medio de un pulso eléctrico que se aplicará mediante un pulsador sin retención.

A base de los componentes y configuraciones presentadas se planteó el diseño del circuito en la **Figura 9**, Con el simulador Tina TI [12]. Cuyo diagrama de bloques puede observarse en la **Figura 10**.

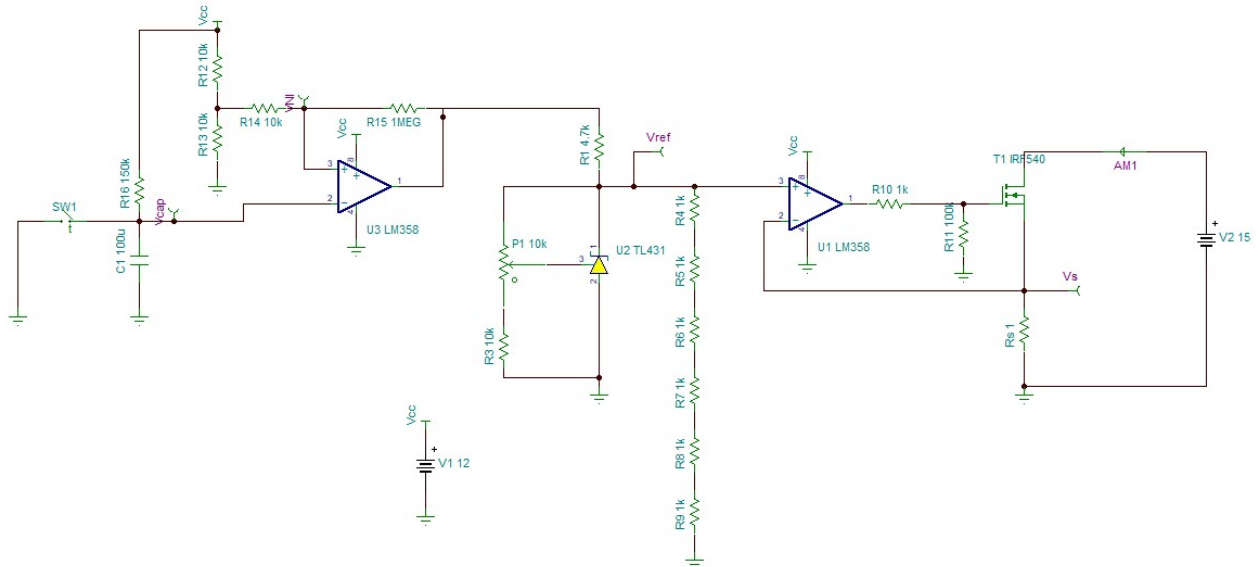


Figura 9: Circuito propuesto para la carga activa.

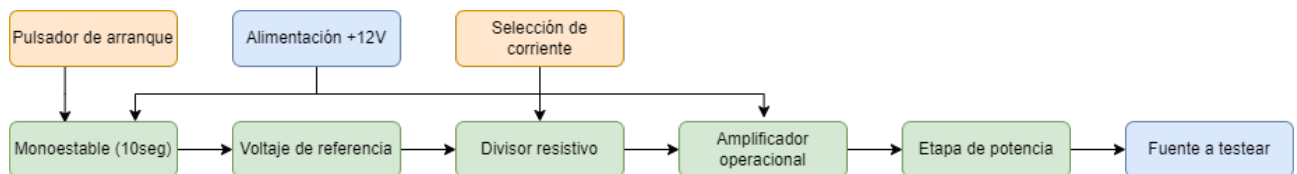


Figura 10: Diagrama de bloques de la carga activa.

2.2 Funcionamiento.

Primero se parte de la selección de la corriente a ensayar, esta selección se hace por medio “jumpers” que a través de un divisor resistivo de 6 resistencias permite seleccionar distintos niveles de tensión en la entrada no inversora de un A.O. Por la configuración en la que se conecta este A.O. dicho nivel de tensión se impone en la resistencia de censado R_{s1} y por medio de la ley de ohm se obtiene la corriente con la que se desea ensayar la fuente.

Luego se proporciona un pulso de arranque del circuito que por medio de un circuito monoestable permite establecer una tensión de referencia al divisor resistivo. Dicho circuito monoestable es obtenido de otro A.O. que está configurado como un detector de cruces por 0. La otra función de este circuito es temporizar el funcionamiento del dispositivo, para proteger al MOSFET de sobre disipación.

Todo el circuito se alimenta con una tensión de 12 V y la salida del mismo es una bornera donde se debe conectar los bornes de la fuente a ensayar.

2.3 Cálculos de diseño:

La característica principal de funcionamiento, como se explicó en la sección de los amplificadores operacionales, es que la salida del AO buscará que la tensión en los bornes de la entrada no inversora e inversora sea prácticamente 0 V. De modo que si se ingresa una tensión en la entrada no inversora (pin 3), la entrada inversora (pin 2) tendrá la misma tensión, que a su vez está dada por la ley de Ohm, donde la misma puede calcularse como en la (3).

$$V_i = V_I = I_{R_{S1}} R_{S1} \quad (3)$$

Esta resistencia se denomina resistencia de shunt, y el valor a disposición en la cátedra [Referencia de la catedra] es de 1 Ω y 7 W. De modo que, si se quiere sustraer una corriente de 3 A a la fuente, la tensión de referencia en la entrada no inversora será de 3 V.

Para obtener estos 3 V se empleará el TL431 que nos permite obtener el voltaje de referencia deseado en base a la (2) de modo que se obtiene una relación de resistencias que se muestra en la [4].

$$3V = 2,5V \left(1 + \frac{P_1}{R_3} \right) \rightarrow \frac{P_1}{R_3} = \frac{3V}{2,5V} - 1 = 0,2 \quad (4)$$

Para cumplir con esta relación [4] se escoge una $R_3 = 10 k\Omega$ y un preset de $P_1 = Pot = 10 k\Omega$. Este último se configuró para obtener una referencia exacta de 3 V.

Se plantea emplear un divisor resistivo de manera de obtener valores de voltaje de 3 V; 2,5 V; 2 V; 1,5 V; 1 V y 0,5 V. Para ello se empleó 6 resistencias del mismo valor imponiendo que por las mismas circule una corriente de máximo 0,5 mA con lo que se pudo calcular el valor de dichas resistencias por medio de la (5).

$$6R = \frac{V_K}{I_{pol}} = \frac{3V}{0,5mA} = 6 k\Omega \rightarrow R = 1 k\Omega \quad (5)$$

La obtención de distintos valores de tensión se logró mediante unos jumpers (Puentes de unión eléctrica). Este puente permitió escoger el valor de voltaje que ingresa al AO de manera de controlar la corriente que se extrae de la fuente ensayada.

Para polarizar al TL431 se eligió que por el mismo circule una corriente de 1 mA [1] y teniendo en cuenta que en el peor caso la caída de potencial por el AO es de aproximadamente 2 V [1], el valor de la resistencia que limitara este valor de corriente puede calcularse por medio de la (6) [1].

$$R_{\lim i} = \frac{V_{cc} - V_{ce\ sat\ AO1} - V_K}{I_{TL431} + I_{pol}} \quad (6)$$

Reemplazando valores en (6) se obtuvo (7) :

$$R_{\lim i} = \frac{12V - 2V - 3V}{1mA + 0,5mA} = 4,66 k\Omega \rightarrow R_{\lim i} = 4,7 k\Omega \quad (7)$$

Se utilizó el MOSFET como medio para que el AO controle la cantidad de corriente que circula de manera de mantener el voltaje entre sus entradas prácticamente igual. El modelo escogido es el

IRF540 [9] debido a que soporta corrientes de hasta 20 A y tensiones de hasta 100 V entre Drain y Source además de su disponibilidad.

Se empleó además el resistor R11 para disminuir la sensibilidad al ruido del MOSFET. De no estar presente cuando la salida del amplificador operacional sea nula, el potencial del terminal G quedaría determinado por el ruido o algún campo eléctrico externo.

Dado que este componente disipa la mayor parte de la potencia, para una fuente de 12 V con 3 A la misma en régimen permanente puede calcularse por medio de la (8).

$$P_{IRF540} = V_{DS} I_{DS} = (V_{fuente} - V_K) I_{DS} \quad (8)$$

Reemplazando valores se obtuvo que la potencia a disipar sería de 27 W y con la información proporcionada por el fabricante, puede calcular la máxima potencia que podría disipar este componente, sin disipador mediante la (9).

$$P_{IRF540} = \frac{T_{Jmax} - T_{amb}}{\theta_{JA}} \quad (9)$$

Reemplazando valores se obtuvo que la mayor potencia que podría disipar dicho transistor sin disipador sería igual a 2,5 W por lo que será necesario que este componente es montado sobre un disipador de resistencia térmica 5,25 °C/W. Incorporando este disipador, el componente podría disipar aproximadamente 16 W que aun es inferior a la potencia calculada en la (8). Es por ello que se temporizó el tiempo en el que el dispositivo permitirá el paso corriente.

La carga activa diseñada posee principalmente un límite inferior para las tensiones de alimentación que pueden ensayarse. Este límite viene dado por la caída de potencial necesaria en la resistencia de censado R_s y la caída de potencial en el transistor. Dicho límite puede calcularse conociendo la corriente con la que se probará la fuente por medio de la (10).

$$R_s I_{Rs1} + I_{Rs1} R_{DSon} \quad (10)$$

Para una corriente de 3 A dicho límite inferior posee el valor de 3,21 V por lo que no se podrá ensayar fuentes de alimentación con una tensión menor.

Para no forzar al componente a sobrecalentarse se pretende que este trabaje en lapsos de tiempos cortos, suficientes para realizar la medición. Es por ello se incorporó un circuito monoestable utilizando el otro amplificador operacional disponible en el integrado del LM358. Este entrega el voltaje a la referencia solo durante un tiempo definido por el circuito RC cuando se presione el pulsador.

El tiempo que se estará encendido está dado por la (11).

$$V_c = V_f - (V_f - V_i) e^{\frac{-t}{R_{16} C_1}} \rightarrow T = -R_{16} C_1 \ln \left(\frac{V_f - V_c}{V_f - V_i} \right) \quad (11)$$

donde las condiciones son: $V_f = V_{cc}$ $V_i = 0V$ $V_c(T) = \frac{V_{cc}}{2}$

Para obtener un $T=10s$, se definió el valor del capacitor a $C_1=100\mu F$ y a partir de este se calculó R_{16} por medio de la (12).

$$R_{16} = \frac{T}{-C_1 \ln\left(\frac{V_f - V_c}{V_f - V_i}\right)} \quad (12)$$

Reemplazando valores se obtuvo que dicho valor de resistencia debería ser igual a $R_{16}=150k\Omega$.

2.4 Diseño PCB.

Tras realizar pruebas del circuito en una protoboard (Modulo experimental) y comprobar su correcto funcionamiento, se pasó al diseño del circuito impreso utilizando software de diseño. El mismo puede observarse en la **Figura 11**, en la **Figura 12** y **Figura 13** puede observarse un modelo 3D del circuito final diseñado en el software. En la **Figura 14** puede observarse el circuito final obtenido.

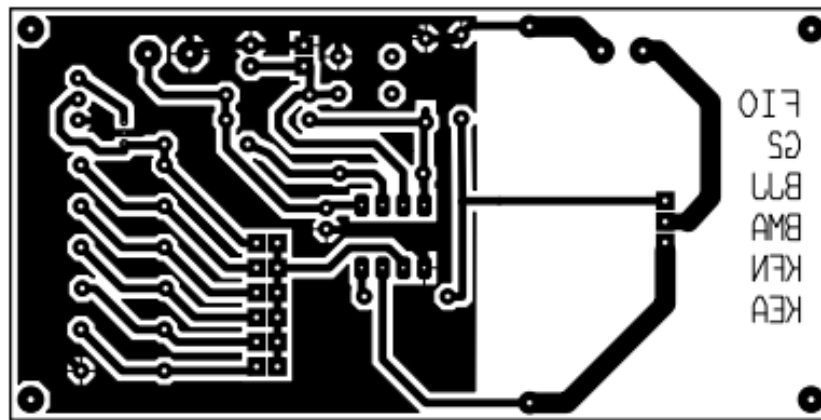


Figura 11: Diseño del circuito impreso.

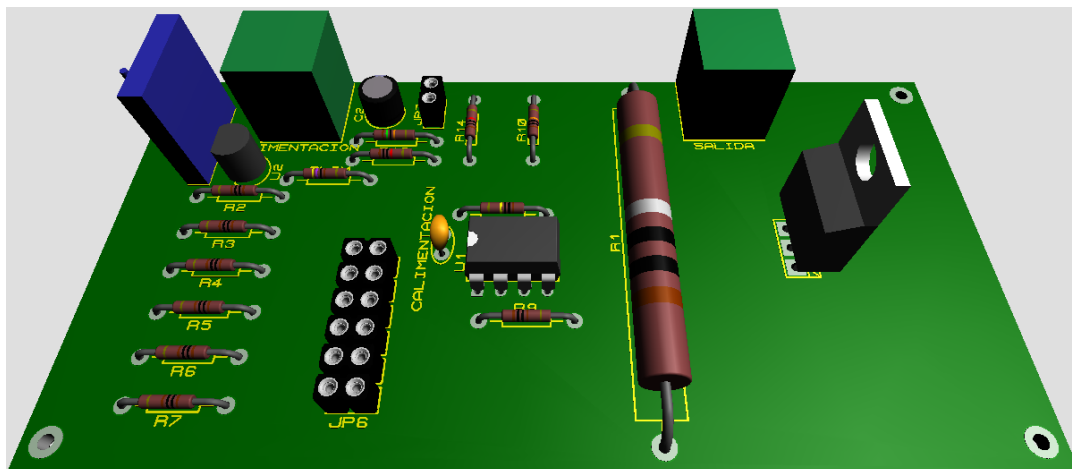


Figura 12: Vista superior del PCB mediante software

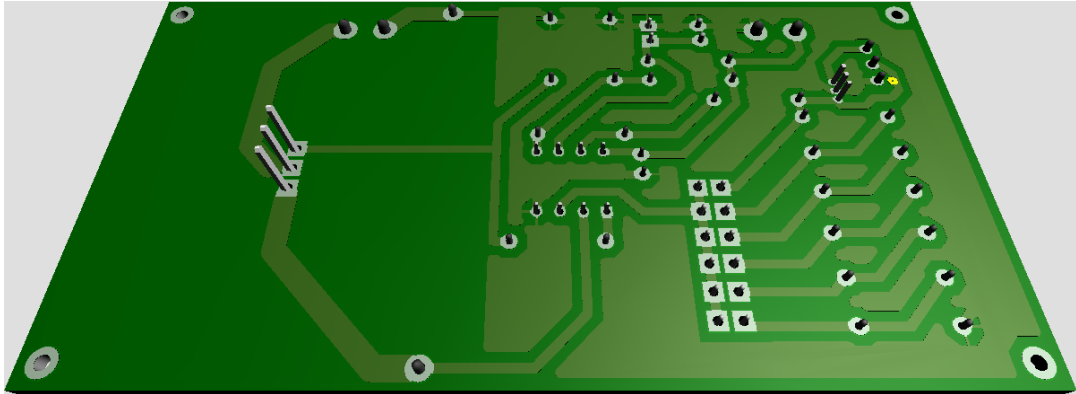


Figura 13: Vista inferior del PCB mediante software.

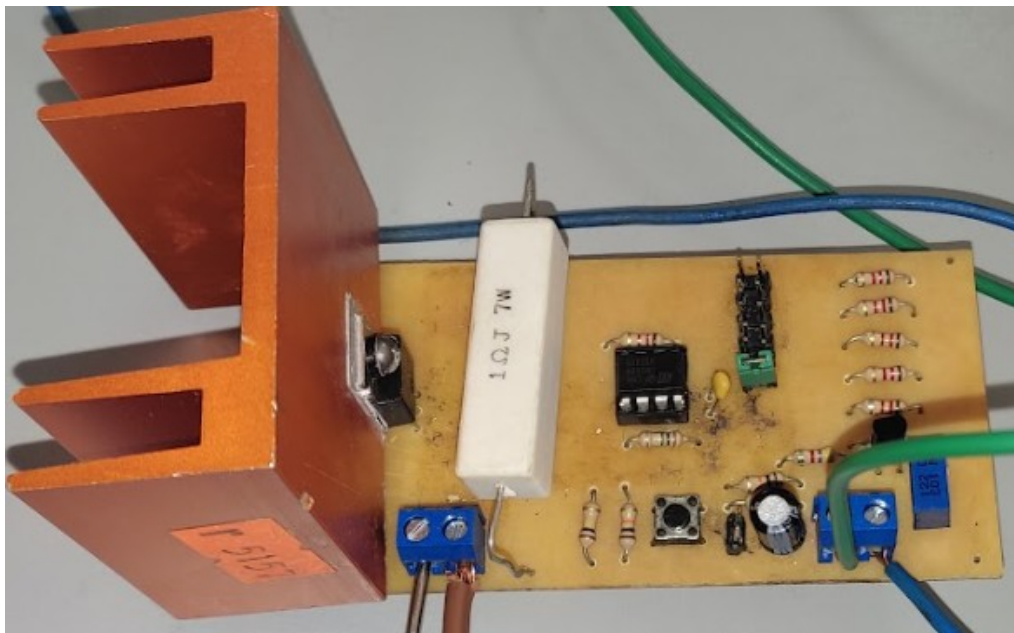


Figura 14: Circuito final.

3 Resultados.

3.1 Procedimiento

Para el ensayo de carga para una fuente de tensión se siguió el siguiente procedimiento:

- Se fijó el valor de tensión de salida de la fuente.
- Se alimentó la carga activa con una fuente externa de 12 V.
- Se seleccionó el nivel de carga que se exigirá a la fuente (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 A).
- Se conecta la carga activa a la fuente de tensión.
- Con un multímetro en paralelo a la carga activa, se tomó registro de la tensión que entrega la fuente en bornes de salida.
- Con un multímetro en serie con la carga se tomó registro de la corriente que entrega la fuente.
- Se repitió el procedimiento para cada selección de carga activa.

A continuación, se presenta en la **Tabla 2** y la **Tabla 3** los datos relevados a través del ensayo de distintas fuentes siguiendo el procedimiento.

Tabla 2: Ensayos realizados a la fuente de alimentación del laboratorio.

Ensayos de la carga activa. Caracterización de la fuente de alimentación de laboratorio.								
N° Ensayo	Corriente exigida [A]	Tensión de salida de la fuente [V]	Tensión de referencia [V]	Valor de referencia real aplicado a RS	Error de referencia debido al offset del A.O.	Valor real de RS.	Valor de Ri	Regulación
0	0,000	12,030	0,016	0,016	0,000			
1	0,480	12,030	0,500	0,496	0,004	1,033	0,000	0,00%
2	0,960	12,030	0,996	0,983	0,013	1,024	0,000	0,00%
3	1,450	12,020	1,494	1,474	0,020	1,017	0,007	0,08%
4	1,920	12,020	1,995	1,969	0,026	1,026	0,005	0,08%
5	2,430	12,020	2,495	2,464	0,031	1,014	0,004	0,08%
6	2,900	12,020	2,991	2,950	0,041	1,017	0,003	0,08%
Promedio					0,019	1,022	0,003	0,06%

Para las fuentes de alimentación del laboratorio se obtuvo una resistencia interna de $3\text{ m}\Omega$ y una regulación menor a $0,1\%$ lo que demuestra porqué son tan utilizadas, ya que estos parámetros tienen un valor relativamente bajo que en consecuencia permite considerar estas fuentes como ideales.

Tabla 3: Ensayos realizados a la fuente de alimentación realizada en Dispositivos Electrónicos.

Ensayos de la carga activa. Caracterización de la fuente de alimentación de realizada en Dispositivos electrónicos.					
N° Ensayo	Corriente exigida [A]	Corriente real [A]	Tensión de salida de la fuente [V]	Valor de Ri [Ohm]	Regulación [%]
0	0,00	0,00	12,14		
1	0,50	0,48	12,13	0,02	0,08%
2	1,00	0,97	12,11	0,03	0,25%
3	1,50	1,46	12,09	0,03	0,41%
4	2,00	1,27	1,74	8,19	85,67%

Por otro lado, para la fuente de alimentación, realizada durante el cursado de la asignatura de Dispositivos Electrónicos, se obtuvo una resistencia interna de $30\text{ m}\Omega$ y una regulación menor a $0,5\%$. Dichos resultados no permiten considerar que la fuente es tan ideal respecto a las del laboratorio, pero son lo suficientemente bajos como para utilizar dicha fuente para probar diferentes circuitos electrónicos que no demanden más de $1,5\text{ A}$, ya que como puede observarse en la **Tabla 3** para una corriente de 2 A la salida de fuente ya no es capaz de establecer la diferencia de potencial de 12 V para la que fue diseñada.

4 Conclusión.

- Se concluye que se logró el correcto diseño e implementación de la carga activa confirmando las ventajas y desventajas que posee la misma frente a las cargas resistivas.
 - Con el diseño propuesto se puede adoptar sencillamente el valor de corriente a ensayar mediante el intercambio del valor de tensión en la entrada no inversora del amplificador operacional.
- Superados los parámetros nominales o fronterizos, es donde realmente se empieza a notar que la fuente presenta dificultades para entregar sus valores nominales.
- Las fuentes de laboratorio hacen honor a su nombre presentando una resistencia interna muy baja que permite despreciarla a diferencia de las fuentes estándar.

5 Referencias

- [1] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky, “Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos”, 10 ed. México, Pearson Education, Inc. 2009.
- [2] Anocibar H.R. “Conversión Tensión a Corriente” Mediciones Electrónicas 2022.
<https://aulavirtual.fio.unam.edu.ar/mod/url/view.php?id=49241> -acceso 25/07/2022.
- [3] Wikipedia, “Fuente Eléctrica”.
https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_el%C3%A9ctrica - acceso 25/07/2022
- [4] “Fuentes de tensión”.
http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema1/Paginas/Pagina2.htm - acceso 25/07/2022
- [5] “Ensayo regulación de carga”
https://campus.fi.uba.ar/pluginfile.php/107353/mod_resource/content/1/050_Regulacion_de_carga_1.pdf -
acceso 25/07/2022
- [6] Richard C. Jaeger, Travis N. Blalock (2004), “Carga Activa”
https://es.wikipedia.org/wiki/Carga_activa - acceso 25/07/2022
- [7] EcuRed, “TL 431”
https://www.ecured.cu/TL_431 - acceso 25/07/2022
- [8] TL43XX Precision Programmable Reference, TL431, Texas Instruments, Revised January 2015.
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1083117/TI1/TL431.html> - acceso 25/07/2022
- [9] N-channel TrenchMOS transistor IRF540, Philips Semiconductors, Revised August 1999.
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17799/PHILIPS/IRF540.html> - acceso 25/07/2022
- [10] Dual Low Power Operational Amplifiers, LM358, Motorola, Rev 2 1996.
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/3067/MOTOROLA/LM358.html> - acceso 25/07/2022
- [11] Anocibar H.R. “GAEA12_Circuitos Monoestables” Electrónica Analógica2022.
https://aulavirtual.fio.unam.edu.ar/pluginfile.php/265864/mod_resource/content/1/GAEA12_Monoestables.pdf – acceso 25/07/2022
- [12] TINA-TI V9, Special Complementary Basic Edition, Distributed by Texas Instruments, 2014 by DesignSoft – Texas Instruments.
- [13] Laboratory DC Power Supply, GPC 3030D, GOOD WILL
<http://scm.goodwill.com.tw/en/product/productdetail.aspx?pid=38&mid=53&id=158> – acceso 25/07/2022