

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL DE CÓRDOBA

**Trabajo Práctico De Laboratorio N°2**  
**Control de ángulo de conducción de un SCR**

Alassia, Francisco	60861
Amaya, Matías	68284
Lamas, Matías	65536
Navarro, Facundo	63809
Veron, Misael	62628

Curso: 5r2  
Grupo N°11

**Electrónica de Potencia**

Docentes:  
Ing. Oros, Ramón  
Ing. Avramovich, Javier

24 de mayo de 2019

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Funcionamiento . . . . .	2
<b>2. Desarrollo</b>	<b>4</b>
2.1. Cálculos . . . . .	4
2.1.1. Cálculos de $R_3$ , $R_4$ y $V_Z$ . . . . .	6
2.1.2. Cálculo de $R_5$ , $R_1$ y $C_1$ . . . . .	7
2.2. Circuito Final . . . . .	7
2.3. Mediciones y experimentación . . . . .	8
2.4. Tensión en el capacitor y en la carga . . . . .	9
<b>3. Conclusión</b>	<b>11</b>

# 1. Introducción

Diseñar y construir un circuito para el control del ángulo de conducción de un SCR mediante el método escalón-rampa coseno. La tensión en la carga debe ser controlada por una señal de reverencia  $V_{ref}$ , que variará entre 0 y 10 V.

## 1.1. Funcionamiento

La figura 1 al circuito de control del ángulo de conducción de onda completa de un SCR con disparo por UJT. El circuito del método escalón-rampa coseno de la figura 2, deriva del circuito anterior con el agregado de algunas variantes que permite mayor linealidad entre la tensión de referencia y la tensión en la carga.

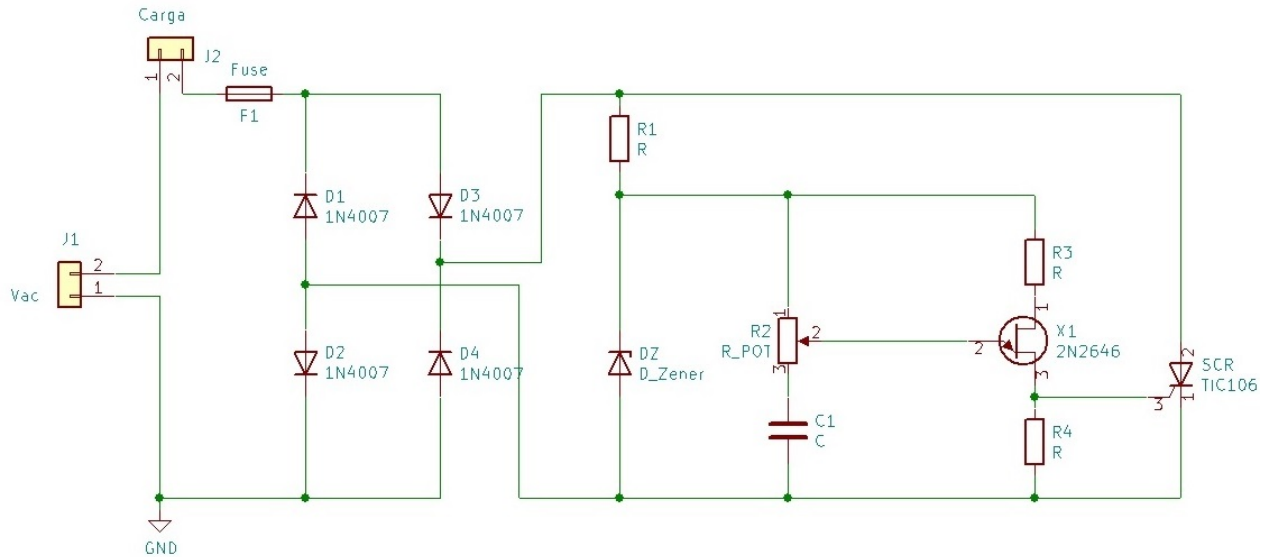


Figura 1: Control de ángulo de conducción de un SCR por un UJT

Cuando  $V_{C1}$  se iguala a la tensión  $V_P$  (disparo del unijuntura), éste se dispara y genera un impulso de corriente entre sus bases que, a su vez produce el disparo del SCR.

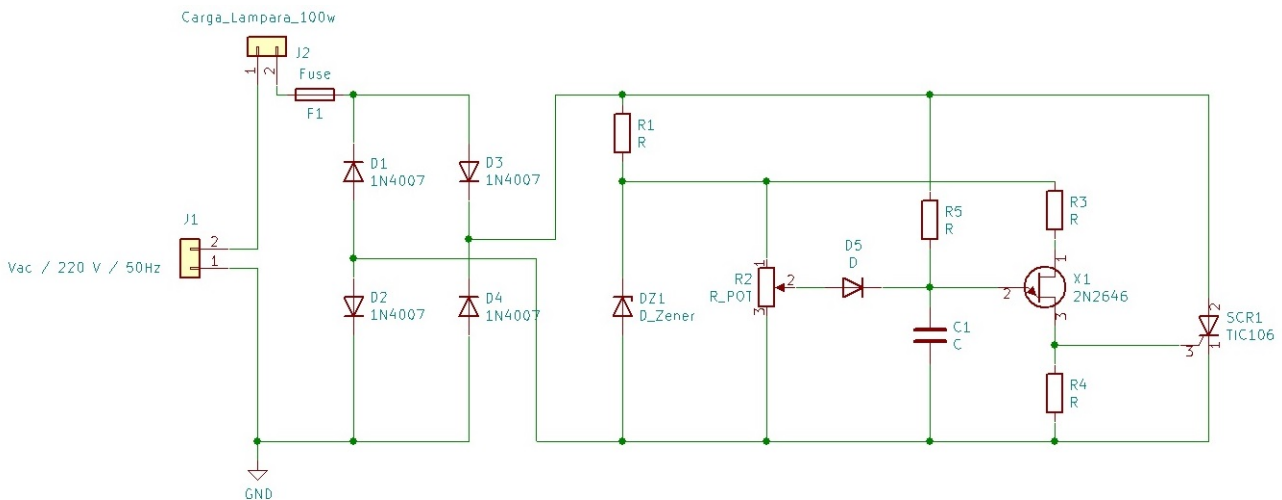


Figura 2: Circuito escalón-rampa coseno

El método escalón-rampa consiste en cargar el capacitor con un escalón inicial de amplitud variable (malla  $R_2 - D_5 - C_1$ ) y luego con una rampa de pendiente fija (rama  $R_5 - C_1$ ). El capacitor se carga inicialmente a través de la resistencia del potenciómetro  $R_2$  y del diodo  $D_5$ . Una vez cargado con el escalón inicial, el diodo deja de conducir y el capacitor pasa a cargarse con la tensión rectificada de la línea a través de  $R_5$  hasta que  $V_{C1}$  se iguala a la tensión  $V_P$  produciendo el disparo del UJT.

La malla  $R_2 - D_5 - C_1$  se define como constante de tiempo  $\tau_1$  y la rama  $R_5 - C_1$  como  $\tau_2$ , siendo el valor de la misma mucho mayor que  $\tau_1$  de forma que la tensión en el capacitor forme una rampa. El valor de esta constante  $\tau_2$  debe satisfacer el caso de que el escalón inicial sea nulo (el potenciómetro en su extremo inferior), para que la tensión en el capacitor llegue a la tensión de disparo (10V) en un semiciclo de la tensión de entrada.

Si se modifica la rampa de forma que su crecimiento no sea lineal, sino cosenoidal, se logra que la tensión de referencia  $V_C$  (tensión instantánea en el capacitor) y la tensión aplicada en la carga  $V_L$ , sea prácticamente lineal.

El puente de diodos  $D_1-D_4$ , son los encargados de rectificar la tensión de línea para el correcto funcionamiento del SCR.  $R_1$  limita la corriente que circula por el diodo zener.

En el control por “rampa-escalón” o “rampa-pedestal”, el valor del escalón es fijado por una tensión de referencia, de nivel ajustable, definida por el control del usuario; siendo la rampa una tensión que superpuesta al valor del escalón genera la referencia total de comparación necesaria para disparar al SCR en un punto de umbral fijo. Realmente, el disparo del SCR es generado por el disparo del UJT que entrega en dicho evento una corriente que es suficiente para excitar la compuerta del tiristor. Por tanto, el circuito de control, apunta a hacer que quien se dispare sea el transistor unijuntura. De forma de visualizar mejor esta operación, debe visualizarse la siguiente figura.

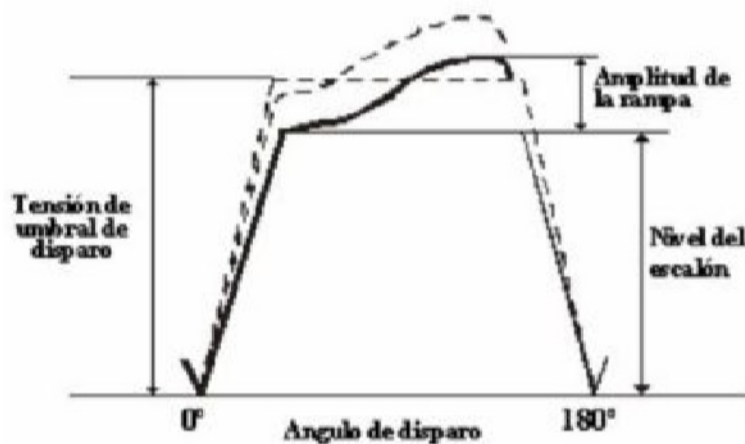


Figura 3: Estructura de la señal de disparo como combinación de una rampa coseno montada sobre un escalón variable./

Geométricamente se observa que existe un nivel al cual el UJT se dispara, denotado de forma específica por el valor  $V_p$  que se elige para el circuito como condición. Como por diseño, la rampa tiene siempre la misma velocidad de crecimiento y dado que se monta encima del nivel del escalón, el punto de corte en el nivel de disparo se efectuará según la magnitud de pedestal. Así, si el pedestal se varía hacia arriba en su magnitud, la rampa cortará antes el nivel de disparo del UJT lo que se traduce en un ángulo menor de disparo y en un mayor ángulo de conducción; de la misma forma, sucede si se disminuye la magnitud del pedestal, se alcanzará el punto de corte en un ángulo mayor de disparo y con un ángulo menor de conducción. En vista a esto, es necesario colocar correctamente el potenciómetro de control, de forma que variaciones a la derecha implique mayor brillo (mayor ángulo de conducción) en la lámpara. Además es claro por la forma de la figura (rampa montada al escalón) que determina el punto donde se corta el nivel de disparo y sucede el mismo, que la pendiente de inicio del pedestal debe asemejarse a la de un flanco con un tiempo finito de subida mucho menor que el tiempo total del semiciclo. Así la pendiente con la que el pedestal debe alcanzar la magnitud de referencia debe ser muy pequeña comparada con la pendiente que debe tener la rampa, por lo que tendrán constantes temporales muy diferentes. De todo ésto se desprende que primero sucederá el escalón por su velocidad de alcance de régimen estacionario. El principio recientemente desarrollado es la idea de funcionamiento general, pero resta ver cómo hace el circuito de control para llevar a cabo el funcionamiento con dicha idea. Cómo el control de la luminosidad se efectúa por el punto en que se corta el umbral y por tanto se dispara el SCR, debiéndose toda la acción sólo al nivel impuesto por el escalón en base a la tensión de referencia, es indiscutible que el control del usuario se realizará en el subcircuito de generación del pedestal. Observando el esquema de circuito, al inicio de un semiciclo el capacitor está descargado o tiene un nivel insuficiente de tensión. Por tanto, al ajustar el potenciómetro en una posición se genera una tensión de referencia continua en el ánodo del diodo, que mientras sea mayor que el potencial  $V_e$ , permitirá una circulación de corriente a través del capacitor de modo de cargarlo y comenzar el escalón. Dadas las exigencias geométricas, para que sea un pedestal, el flanco tiene que quedar determinado por una velocidad de carga que debe ser muy rápida en relación con el tiempo de medio ciclo. Por tanto, para obtener los valores de la resistencia y de capacidad intervinientes, debe buscarse como resultado un valor pequeño de tiempo. Puesto que la carga de este tramo se efectúa con el potenciómetro y el único capacitor del circuito, su constante RC debe surgir con el criterio anterior. Continuando la operación del circuito, en un momento del proceso de rápida carga, el capacitor adquiere en un algún instante un potencial  $V_e$  tal que es igual a  $(V_{ref} - V_d)$  o superior, en consecuencia, el flujo de corriente hacia el capacitor se interrumpe y la tensión en el mismo se estabilizará, lo que determina la parte plana del pedestal y dará

el punto de inicio a la rampa. Debe notarse que dada la relación de pendientes, es el primer momento a partir del cual el efecto de la rampa es claramente notable. Como la constante temporal de la rampa debe ser bastante mayor que la del flanco del pedestal, se requiere un arreglo de una resistencia mucho más grande que el potenciómetro con el mismo capacitor. Por tanto, el valor de  $R_5$ , puede ser obtenido tomando una constante temporal suficientemente grande como para que en un semiciclo se alcance la tensión de disparo  $V_p$  del UJT. La particularidad por la que esta resistencia está conectada a la línea donde circula señal rectificada es debido a que la rampa de carga debe ser del tipo coseno y ésta forma o función sólo puede obtenerse si por el capacitor circula una corriente senoidal. De esta manera, el capacitor se cargará dando forma a la rampa que se adiciona al nivel previo de tensión del escalón. Según la magnitud del pedestal, la rampa alcanzará el umbral de disparo  $V_p$  en una cantidad determinada de grados del semiciclo por lo que en ese instante, la resistencia entre el emisor y la base B1 del UJT decrece rápidamente haciendo que el condensador se descargue a través de la resistencia  $R_4$  ocasionando un pulso de corriente de magnitud suficiente para gatillar la compuerta del tiristor. Una vez que el pulso cae a cero y termina, el UJT recupera el estado de bloqueo inicial y el condensador está libre para poder cargarse de nuevo en el siguiente ciclo de onda completa.

## 2. Desarrollo

Para el diseño, los dispositivos elegidos son los siguientes:

- SCR : TIC 106
- UJT : 2N2646
- Zener: 1N4745
- Diodo: 1N4007

### 2.1. Cálculos

Por consigna, debe efectuarse para una carga resistiva de  $220 V_{RMS}$  y  $1 kW$ , entonces

$$I_L = \frac{P_L}{V_L}$$

$$I_L = \frac{1000 W}{220 V_{RMS}}$$

$$I_L = 4,54 A_{RMS}$$

De la hoja de datos del SCR, se tiene:

- $V_{DRM} = 400 V$
- $I_T = 5 A$  a  $80^\circ C$
- $I_{GT} = 200 \mu A$
- $V_{GT} = 1,2 V$

Para garantizar que el disparo se encuentre siempre dentro de la zona de disparo seguro, se establece:

$$I_G = 5 * I_{GT}$$

$$I_G = 1 mA$$

De la hoja de datos del UJT, se tiene:

- $\eta = 0,75$
- $R_{BB(off)} = 7 k\Omega$
- $R_{BB(on)} = 600 k\Omega$

Los valores de las resistencias de las bases son, por la relación:

$$\eta = \frac{R_{BB1}}{R_{BB(off)}}$$

$$\eta = \frac{R_{BB1}}{R_{BB1} + R_{BB2}}$$

entonces,

$$R_{BB1} = 5250 \Omega ; R_{BB2} = 1750 \Omega$$

### 2.1.1. Cálculos de $R_3$ , $R_4$ y $V_Z$

En la figura 4 se muestra el circuito equivalente con el agregado de las resistencias que procederemos a calcular como así también la curva característica del UJT. La corriente que debe circular entre la base 2 y la base 1 debe ser

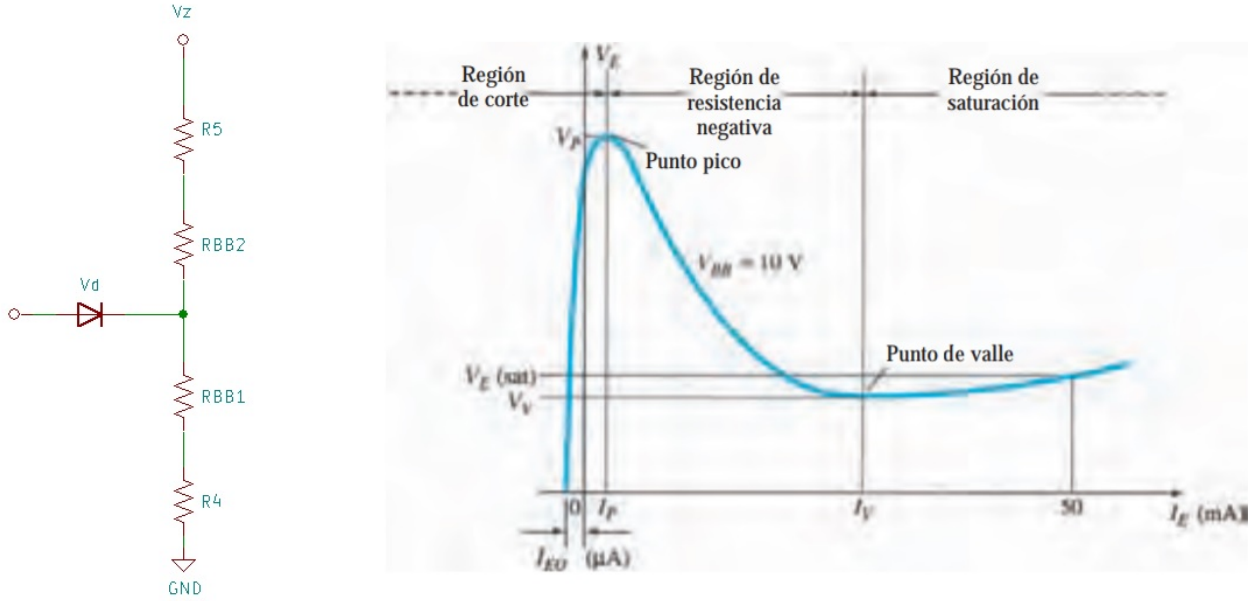


Figura 4: Circuito equivalente y curva característica

mucho mayor que la requerida por el SCR,

$$I_{B2B1(on)} = 15 I_G$$

La tensión en  $R_4$ , debe ser la necesaria para el disparo del SCR y la corriente en la resistencia será la diferencia entre  $I_{B2B1(on)}$  e  $I_G$

$$V_{GT} = R_4 * (I_{B2B1(on)} - I_G)$$

$$V_{GT} \approx 82 \Omega$$

Por otro lado,  $V_P$  por consigna debe ser 10 V, entonces

$$V_{E(off)} < 10 V ; V_{E(on)} > 10 V$$

Cuando el UJT no está disparado, la tensión entre  $R_{BB1}$  y  $R_4$  debe ser

$$V_{E(off)} = V_D + \eta V_{B2B1} + V_{R4}$$

$$V_{E(off)} = V_D + V_{B1R4}$$

quedando

$$V_{B1RA} = 9,5 V$$

y la corriente

$$I_{B2B1(off)} = \frac{V_{B1RA}}{R_{BB1} + R_4} = 1,782 mA$$

La tensión en la base 2 es

$$V_{B2} = I_{B2B1(off)}(R_{BB} + R_4) = 12,62 V$$

y en  $R_3$

$$I_{B2B1(off)} * R_3 = V_Z - V_{B2} \quad (1)$$

Por otro lado, cuando el UJT es disparado la resistencia  $R_{BB}$  desciende a  $600 \Omega$  entonces

$$\begin{aligned} V_Z &= V_{R3} + V_{B2B1} + V_{R4} \\ V_Z &= I_{B2B1(on)}(R_3 + R_{BB} + R_4) \end{aligned} \quad (2)$$

De lo anterior, se puede formar un sistema de ecuaciones entre las ecuaciones 1 y 2, se obtiene

$$R_3 = 180 \Omega$$

$$V_Z \approx 13 V$$

### 2.1.2. Cálculo de $R_5$ , $R_1$ y $C_1$

Como se definió al principio  $\tau_1$  corresponde a  $R_2C_1$  y  $\tau_2$  a  $R_5C_1$ . Se forzará a que el capacitor se encuentre completamente cargado a su valor final luego de un tiempo 20 veces menor al semiciclo de la tensión de red

$$\tau_1 = \frac{10 \text{ ms}}{20} = 500 \mu s$$

Si se elige  $C_1 = 100 \text{ nF}$  entonces

$$R_2 = \frac{500 \mu s}{100 \text{ nF}} = 5 \text{ k}\Omega$$

Suponiendo el caso en el que la tensión del escalón es de  $0 V$ , el capacitor deberá cargarse al valor de  $10 V$  a través de  $R_5$  en un tiempo de  $10 \text{ ms}$ . Suponiendo una señal cuadrada en lugar de una senoidal y la amplitud aplicada a la resistencia  $R_1$  de  $V_{ACp} = 311 V$ , se tiene

$$C_1 R_5 = \frac{V_{ACpico}}{V_{Cmax}} * 10 \text{ ms}$$

quedando

$$R_5 = 3,1 \text{ M}\Omega$$

## 2.2. Circuito Final

Se termina presentando el esquemático final con el agregado de los valores de los componentes, además se aclara que se agrega dos potenciómetros de tipo trimmer con el fin de calibrar el circuito ante variaciones de los valores de los componentes.

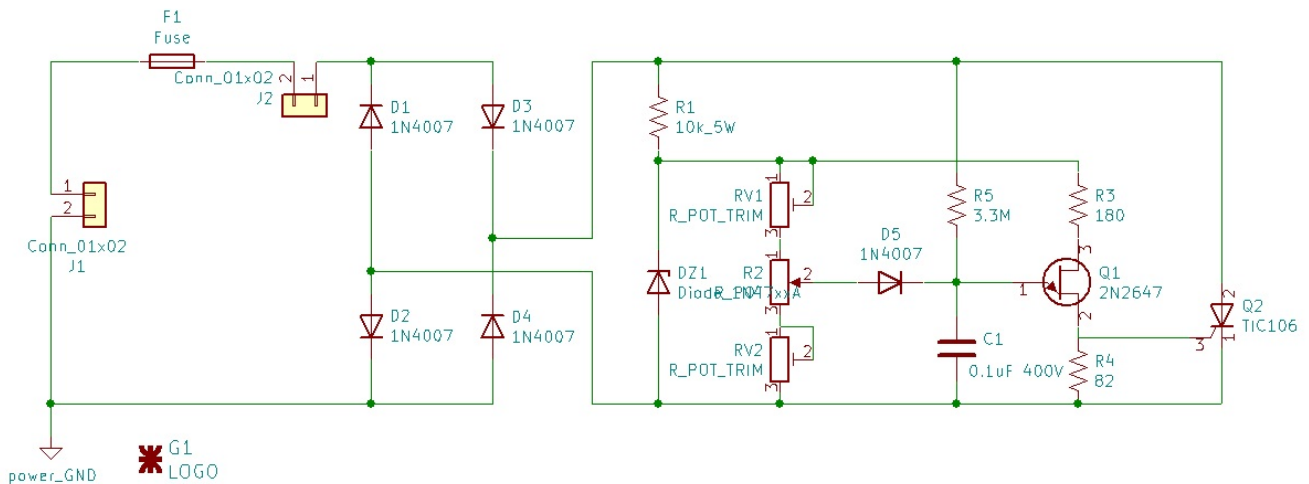


Figura 5: Circuito final

### 2.3. Mediciones y experimentación

Como forma de demostración que el circuito con el método de control de *escalón rampa-coseno* provee un control totalmente lineal entre la tensión de referencia  $V_{REF}$  establecida por el usuario y la potencia aprovechada por la carga, es necesario efectuar un barrido de la misma ( $V_{REF}$ ) y medir tanto el valor resultante de tensión eficaz aplicada a la carga como el ángulo de onda que conduce.

$V_{REF}$ (Capacitor)	$V_{RMS}$ (Carga)	Angulo [grados]
1	1,7	8,5
2,1	2	9,2
3	2,4	10,1
4	3,1	10,4
5	26,4	27
5,4	48,2	36
5,8	65,6	45
6,2	85,5	54
6,6	108,6	63
7	133,8	72
7,4	142,7	81
8	158,7	90
8,4	177,4	99
8,8	189,3	108
9,2	199,8	117
9,4	208,9	126
9,8	218,3	135
10	221,3	153
10,4	222,8	162
10,6	223	174,2
10,9	225	176

Los datos recopilados por la tabla pueden ser traspasados a dos gráficos en función de la tensión de referencia de modo de comprobar la linealidad entre la transferencia de control y la potencia de carga a la salida.

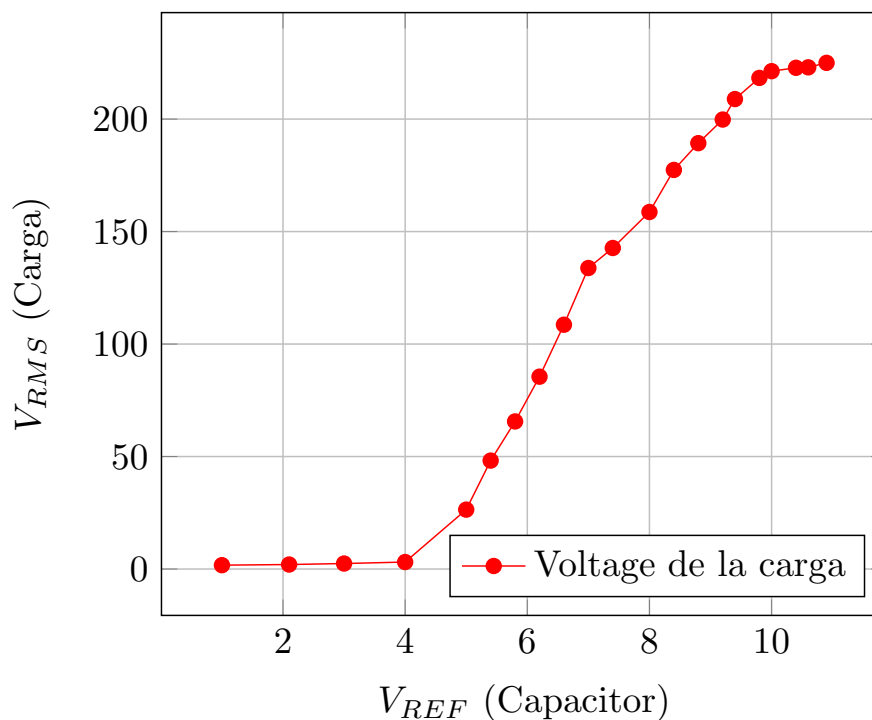
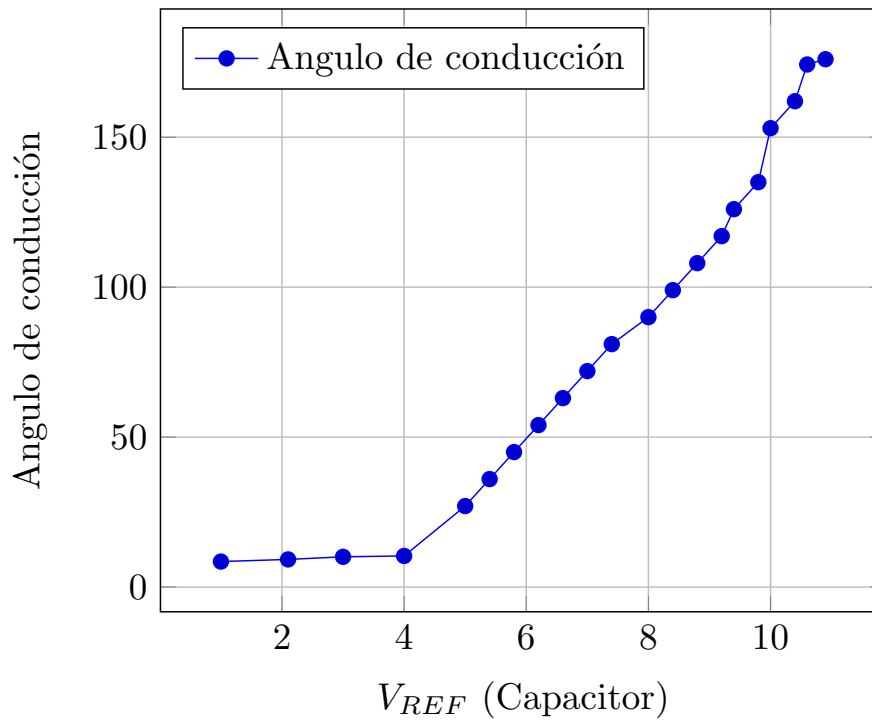


Figura 6: Tensión eficaz en la carga contra  $V_{REF}$

El primer gráfico ilustra la relación entre la tensión eficaz aplicada a la carga respecto al nivel de tensión aplicado con el control del potenciómetro, lo que se traduce en luminosidad, siendo el nivel más bajo a la lámpara apagada y el mayor a plena luminosidad.



Figura 7: Angulo de conducción contra  $V_{REF}$ 

El segundo gráfico también se puede traducir en lo mismo, este expresa la relación de transferencia pero de forma indirecta ya que relaciona la tensión de referencia con respecto al ángulo de conducción que será directamente proporcional a la tensión eficaz aplicada sobre la carga, a mayores ángulos la señal que incursiona sobre la carga se vuelve cada vez más senoidal.

#### 2.4. Tensión en el capacitor y en la carga

Se obtuvieron las siguientes capturas de pantallas, en todos los casos la imagen de la izquierda representa la tensión en el capacitor, y la de la derecha la tensión en la carga. La figura 8 se obtiene cuando la lámpara está irradiando

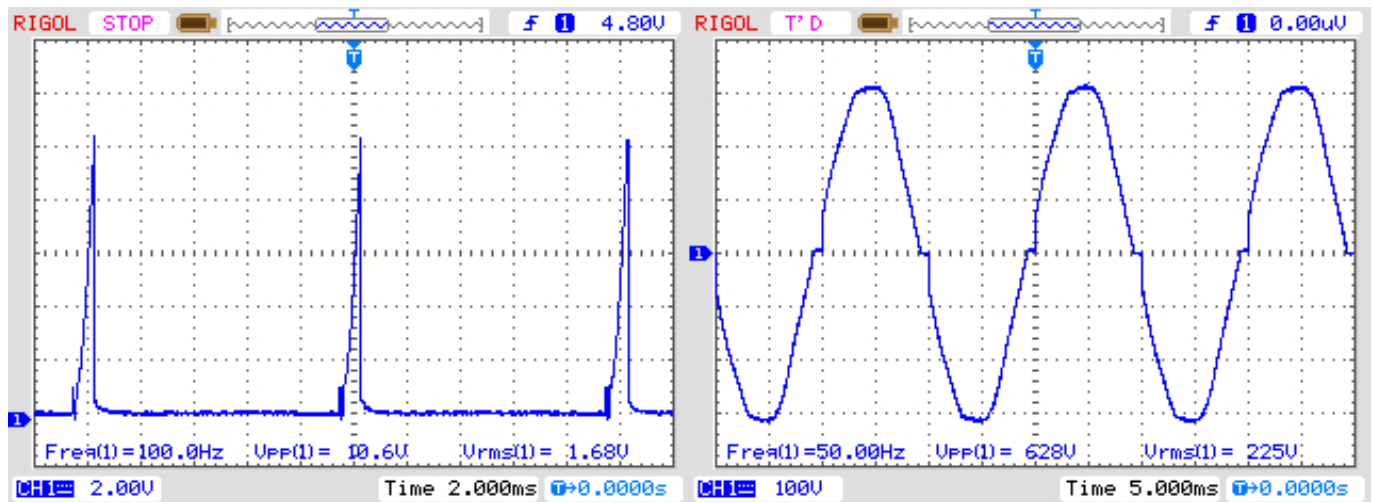


Figura 8: Tensión máxima en la carga

a máxima potencia. Una característica notable es que la forma de onda compuesta por la rampa y el escalón se ve como un pulso de muy corta duración. Esto puede entenderse recordando que para máxima luminosidad la carga debe conducir la mayor porción de onda posible, lo que se traduce en un instante de disparo muy temprano con un nivel máximo en el pedestal. Así, la velocidad con que debe alcanzarse el umbral de disparo hace que en el flanco de subida del pedestal pueda apreciarse perfectamente la rampa del escalón que corresponde a la constante de tiempo más rápida

(entre el capacitor y el potenciómetro) y que como consecuencia de ello se vuelva muy difícil apreciar el efecto que la segunda rampa tiene.

La escasa duración de la señal total de control se debe a que una vez que el UJT se dispara, su resistencia entre emisor y B2 disminuye súbitamente provocando una señal de disparo hacia el SCR lo que provoca una descarga rápida de la tensión del capacitor, así en el caso de máxima potencia, como el umbral se alcanza muy rápidamente, de la misma forma debe descargarse esta tensión para tener cuanto antes el disparo en el tiristor. En la figura 9, se demuestra

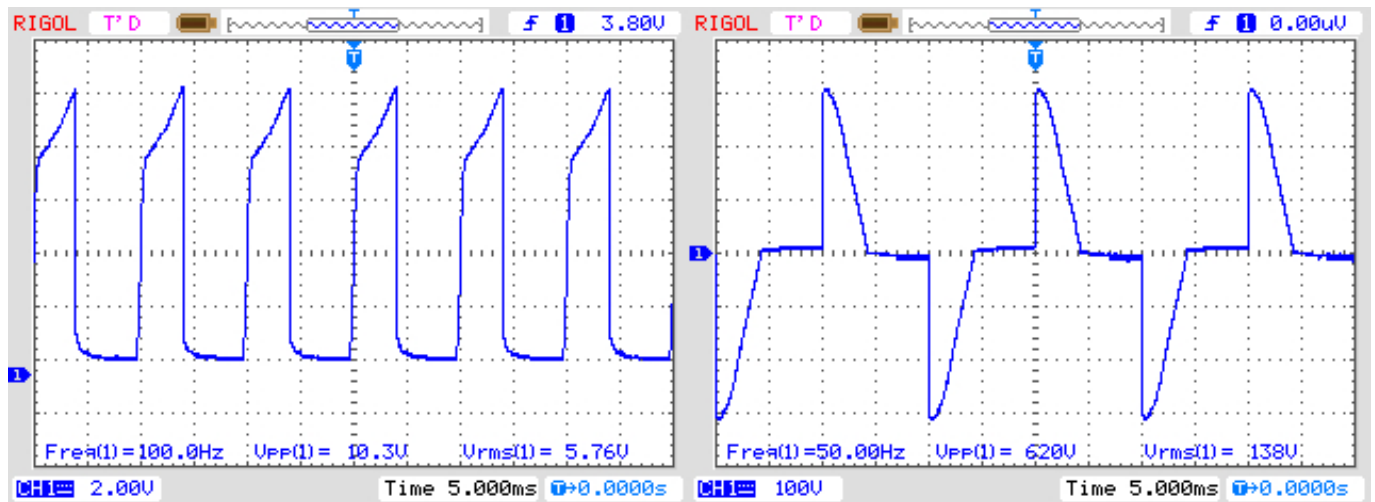


Figura 9: Tensión media en la carga

que cuando se disminuye la luminosidad en la lámpara, el disparo se realiza en un lapso temporal más grande dado que el ancho de la señal de control es mayor que para el caso de máxima potencia. Esto se debe a que el UJT se gatilla en una porción de ciclo más tarde y el capacitor se descarga súbitamente en ese instante. Debe observarse también que siempre la señal alcanza el umbral de disparo, pero aquí la tensión en el pedestal no es máxima (pues ese caso corresponde a máximo brillo) sino que está en un valor inferior y es la tensión superpuesta de la rampa coseno es la que posibilita el valor máximo, además, que a causa de su baja pendiente se confunde en instantes iniciales con el pedestal.

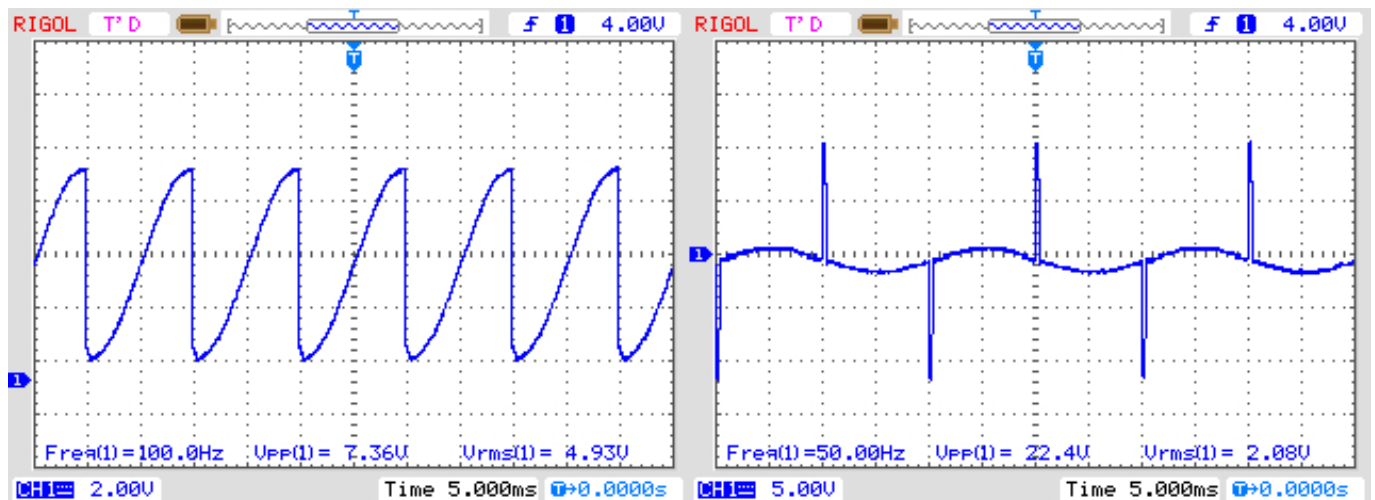


Figura 10: Tensión mínima en la carga

### 3. Conclusión

El método escalón-rampa coseno presenta las siguientes ventajas y desventajas:

- Ventajas
  - \* Se puede emplear para un control preciso de la intensidad lumínica de una lámpara, la temperatura de un soldador u otros dispositivos alimentados con la tensión de la red.
  - \* Requiere de dispositivos de baja potencia.
  - \* Circuito de bajo costo y fácil implementación.
- Desventajas
  - \* Para lograr una buena linealidad requiere que los componentes utilizados sean lo más exactos posibles.
  - \* El valor de la resistencia de la carga debe ser menor que la resistencia total del circuito de control.

Por requisito, la tensión máxima de referencia debe ser de 10 V para ello se coloca una resistencia en serie ubicada en el extremo superior del potenciómetro, sabiendo que:

- $I_{R1} = 30 \text{ mA}$
- $I_Z = 20 \text{ mA}$
- $I_{B2B1(off)} = 1,8 \text{ mA}$

La corriente que circula por la rama del potenciómetro cuando el UJT se encuentra apagado es:

$$I_{pot} = I_{R1} - I_Z - I_{B2B1(off)}$$

$$I_{pot} = 8,2 \text{ mA}$$

quedando finalmente

$$R_{sup} = \frac{5,3 \text{ V}}{8,2 \text{ mA}}$$

$$R_{sup} \approx 680 \Omega$$

Debido a la no exactitud del valor, tanto del capacitor como el de las resistencias, el circuito presenta una alinealidad entre el giro del potenciómetro en la zona mínima y el ángulo de conducción. Para poder mejorar este defecto se coloca una resistencia en serie ubicada en el extremo inferior para que la tensión del escalón arranque desde un valor mínimo.

$$R_{inf} = \frac{4,8 \text{ V}}{8,2 \text{ mA}}$$

$$R_{inf} \approx 560 \Omega$$