

## Control de ángulo de conducción de Tiristores “SCR/TRIAC”

### 1. SCR

El rectificador controlado de silicio (SCR) es un dispositivo pnnp de 4 capas, en las cuales tiene tres terminales: ánodo, cátodo y compuerta.

El SCR tiene dos estados posibles de operación. El *estado de apagado* actúa idealmente como un circuito abierto entre el ánodo y cátodo; en realidad, en vez de haber un circuito abierto existe una impedancia muy alta. En el *estado de encendido*, el SCR actúa como un corto circuito del ánodo al cátodo; en realidad se tiene una pequeña resistencia en directa. La estructura y símbolo se puede apreciar en la figura 1.

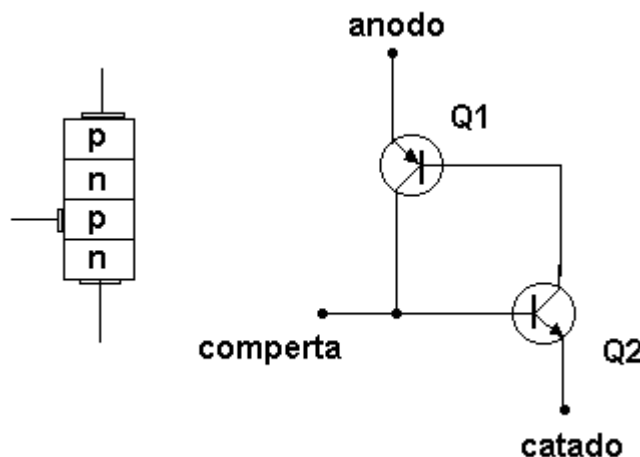


Figura 1

### Funcionamiento básico del SCR

La operación del SCR puede entenderse mejor si su estructura interna pnnp se concibe con un arreglo de dos transistores:

- **Encendido del SCR:** cuando la corriente de compuerta  $I_G$  es cero, en este estado la resistencia entre el ánodo y cátodo es muy elevada lo que se asemeja a un interruptor abierto. Cuando se aplica un pulso de corriente positivo de corriente (disparo) a la compuerta ambos transistores se enciende, la  $I_{b2}$  enciende a  $Q_2$ , proporcionando una trayectoria para  $I_{b1}$  hacia el colector de  $Q_1$ , encendiendo así al  $Q_1$ . La corriente de colector de  $Q_1$  proporciona corriente de base adicional para el  $Q_2$ , que continua en conducción hasta que el pulso de disparo se remueve de la compuerta. Mediante esta acción regenerativa, el  $Q_2$  sostiene la conducción saturada del  $Q_1$  proporcionando una trayectoria para  $I_{b1}$ ;



a su vez, el  $Q_1$  sostiene una conducción saturada del  $Q_2$ , proporcionando una trayectoria para el  $I_{b2}$ .

De esta manera, el dispositivo permanece encendido (se amarra una vez que se le dispara); en este estado la resistencia muy baja entre el ánodo y cátodo puede aproximarse por un interruptor cerrado.

El SCR también puede encenderse sin dispar la compuerta, mediante un incremento en el voltaje ánodo cátodo hasta un valor que exceda al voltaje de ruptura en directa. El voltaje de ruptura en directa decrece cuando  $I_G$  aumenta por arriba de cero. Finalmente se alcanza un valor de  $I_G$  en el cual el SCR se enciende en un voltaje ánodo- cátodo muy bajo. Así como puede verse la corriente de la compuerta controla el valor del voltaje en directa necesario para el encendido.

- **Apagado del SCR:** cuando la compuerta regresa a 0 V después de removerse el pulso de disparo, el SCR no puede apagarse y permanece en la región de conducción directa. La corriente del ánodo debe caer por debajo del valor de la corriente de retención,  $I_H$ , con objeto que puede ocurrir el apagado. Hay 2 métodos básicos para apagar el SCR:
  1. Interrupción de la corriente del ánodo: esta puede interrumpirse mediante un arreglo de conmutación momentánea en serie o en paralelo. El interruptor en serie reduce simplemente a cero la corriente del ánodo y provoca que se apague el SCR. El interruptor en paralelo aleja parte de la corriente total del SCR reduciendo así la corriente del ánodo hasta un valor inferior a  $I_H$ .
  2. Conmutación forzada: requiere básicamente forzar a la corriente de manera momentánea a través del SCR, en dirección opuesta a la conducción directa, de modo que la corriente en directa neta se produzca por abajo del valor de retención.

## Definiciones de hoja de datos

*Corriente media*  $I_{fsm}$ : es el valor que puede alcanzar una punta de corriente ánodo-cátodo de forma accidental, esto transitoriamente y no de modo recurrente ( $I_{fsm}$ ).

*Corriente máxima de puerta*,  $I_{Gfs}$ : la corriente máxima de puerta se simboliza  $I_{Gfs}$  y es el valor máximo instantáneo que puede alcanzar un pico de corriente en el electrodo de mando del tiristor.

*Tensión directa de disparo*,  $V_d$ : la tensión directa de disparo  $V_d$  (o también  $V_{BO}$ ) es la tensión directa por encima de la cual se ceba al tiristor por disparo directo.

*Tensión inversa de ruptura*,  $V_{rr}$ : la tensión inversa que produce la ruptura del elemento se designa como  $V_{rr}$ .

*Tensión inversa recurrente*,  $V_{rwm}$ : la tensión inversa recurrente es  $V_{rwm}$ . Se define así al valor máximo que puede tomar la amplitud de tensión u inversa periódica aplicada entre ánodo y cátodo del tiristor.

*Tensión inversa recurrente de pico*,  $V_{rpm}$ : son los valores máximos que pueden alcanzar la tensión inversa recurrente de pico es  $V_{rpm}$ . (del tiristor).

## Implementación control SCR

El objetivo de este práctico es el de diseñar y construir un circuito empleando un SCR, midiendo sobre la carga utilizada, que es una lámpara de 220V-100W, el Ángulo de conducción. El TIC 116 es el elegido para este práctico. El ángulo de conducción y por lo tanto la potencia media disipada en la carga es controlado por una tensión variable entre 0 y 11 voltios. Se buscará establecer una variación lineal entre el ángulo de conducción y dicha tensión.

Siguiendo los cálculos del desarrollo teórico visto en el apunte de clase, se llegó al siguiente circuito:

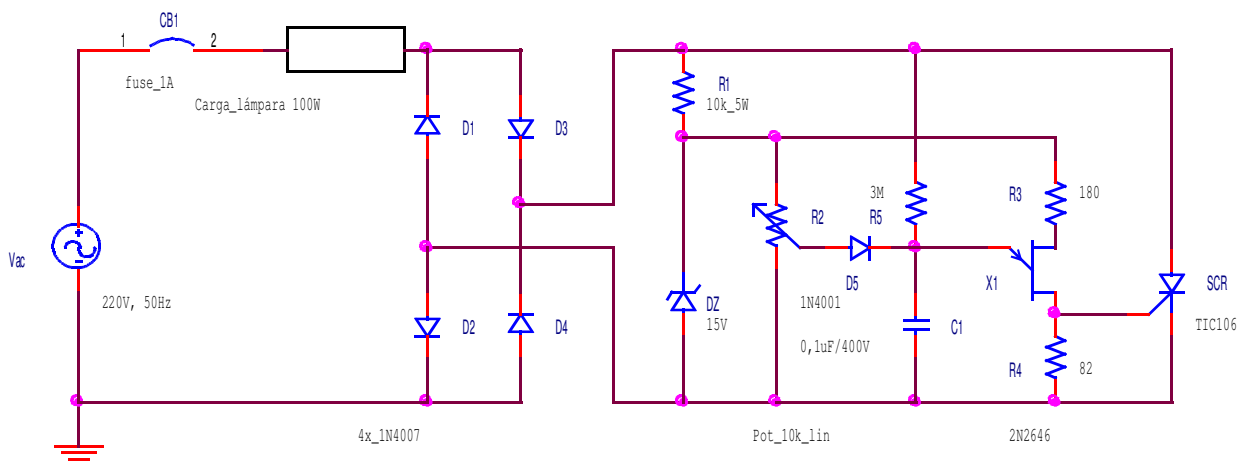


Figura 2

Donde vemos que la tensión de referencia es el punto medio de un potenciómetro de 10Kohm lineal, un diodo zener de 12 V.

$D_1$  ,  $D_2$  ,  $D_3$  y  $D_4$  hacen el papel de rectificador de onda completa, donde tienen que soportar la potencia de la carga.

R1 limita la corriente que circulara por el diodo zener.

El circuito que se implementó es un control de ángulo de conducción (*escalón rampa-coseno*) onda completa con disparo de unijuntura (TUJ) de rampa. Donde con este tipo de circuito se obtiene una relación casi lineal de transferencia de tensión en punto medio del potenciómetro en función de la tensión total aplicada a la carga.

Donde, en el comienzo del ciclo el capacitor  $C_1$  se carga con un escalón inicial, a través de  $R_2$  (potenciómetro) y  $D_5$  . La constante de tiempo definida por el potenciómetro  $R_2 C_1$  tiene que ser mucho menor que la constante de tiempo de carga del capacitor por  $R_5$  , por esto:

$$R_2 C_1 \ll R_5 C_1$$

Una vez cargado el capacitor con el escalón inicial, ahora se cargará con la rampa coseno generada por  $R_5 C_1$  .

Las mediciones que se realizaron fueron de la siguiente manera; se fijaba un valor de referencia donde con este valor se medía la forma de onda en la carga. Para medir la forma de onda en la carga teníamos que tener cuidado con las masas ya que estas no tenían un mismo potencial, de esta manera obteníamos de forma directa el valor rms de la tensión en la carga y mediante el siguiente cálculo obteníamos el ángulo de conducción en la carga:

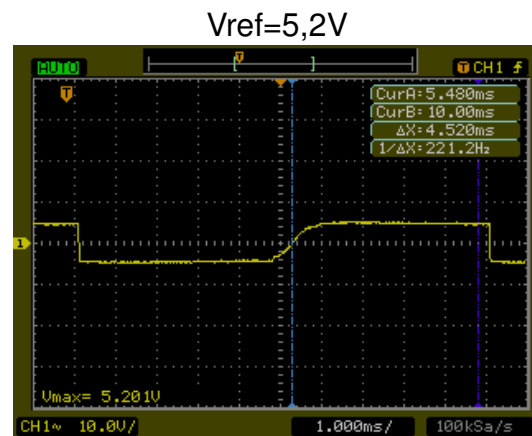
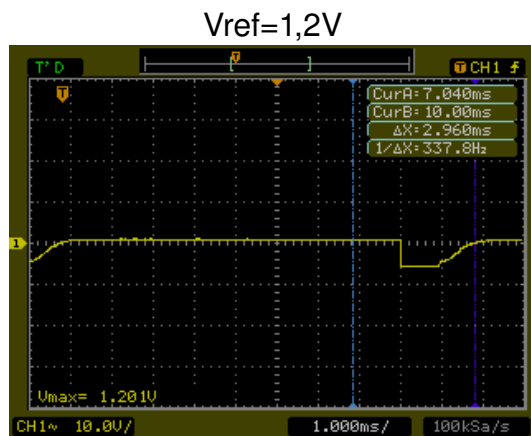
$$\theta = T_{cond} \frac{180}{10\text{mseg}}$$

Las mediciones realizadas sobre el circuito anterior, que se ven reflejadas en la tabla 1, nos arrojan la relación entre la tensión de referencia y el ángulo de conducción, Figura 3a, como también la relación con la tensión en la carga, Figura 3b.

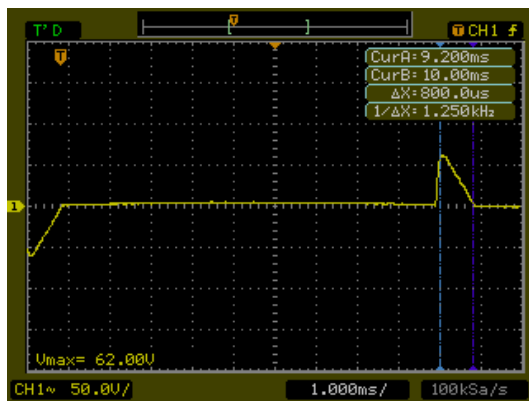
Vref [volt]	CONDUCCION		Vrms [volt]
	Tiempo [mseg]	ángulo [°]	
0,4	0,44	7,92	4,5
1,2	0,8	14,4	12
3,2	2,96	53,28	89,3
5,2	4,52	81,36	147
7,2	6,24	112,32	174,7
9	9,04	162,72	223,9

Tabla 1

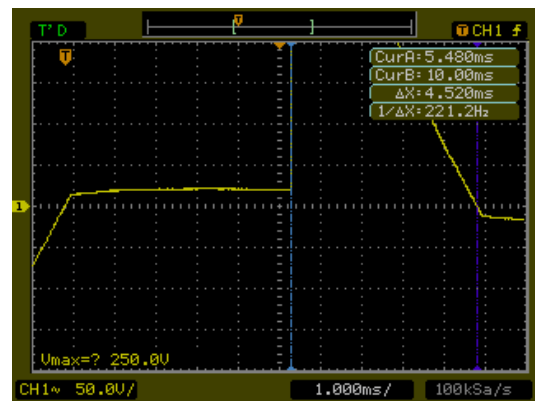
En las siguientes gráficas se puede observar algunas de las mediciones realizadas en nuestro circuito. Se muestra la forma de onda sobre la carga para una determinada tensión de referencia.



Vrms=12V



Vrms=147



Conducción SCR - ángulo/Vref

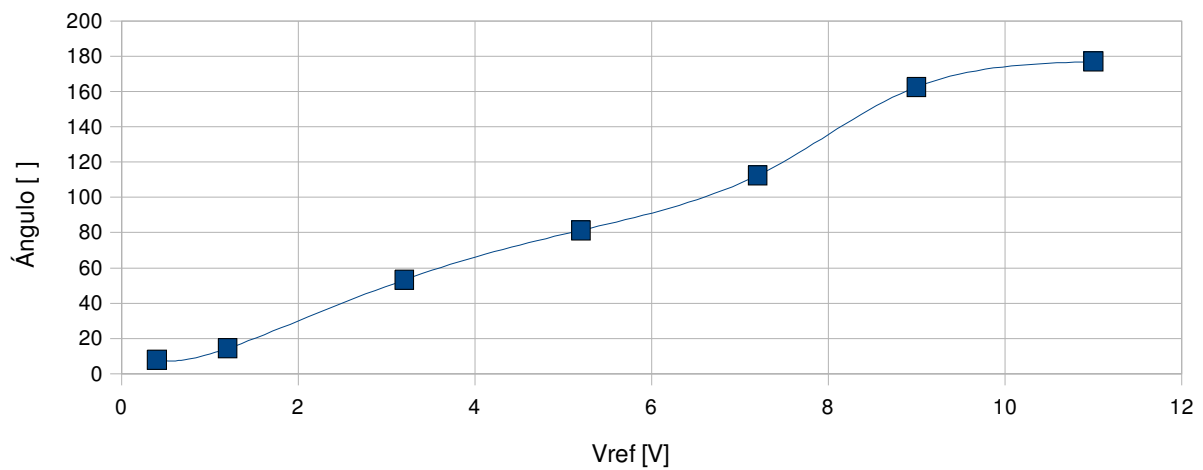


Figura 3a

Conducción SCR - Vrms/Vref

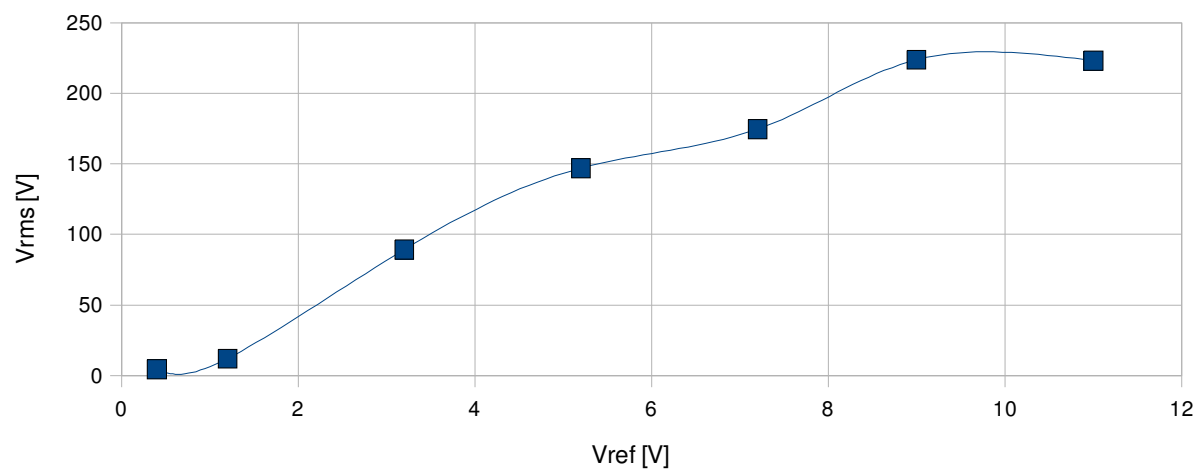


Figura 3b



### **Observaciones:**

El disparo del tiristor se realiza mediante un TUJ, que genera un pulso cuando su emisor alcanza una tensión de **17V**. Este valor, superior al calculado originalmente (11 V), nos permitía una mayor excursión de la tensión de referencia, ya que al comienzo del práctico, no lográbamos el rango deseado de valores debido a que el SCR se disparaba a los 4V de referencia. Para obtener la  $V_p$  utilizamos 2 diodos zener en serie.

## **2. Conclusiones**

Las conclusiones que hemos sacado de este práctico son:

- Mediante la linealización obtenida con éste diseño, que queda evidenciada en las curvas relevadas, logramos un control más adecuado de la potencia entregada a la carga.
- Se utiliza un TUJ para asegurar un disparo abrupto del SCR.
- Nos parece importante destacar que el Resistor R1 aumentaba su temperatura (debido a una gran disipación de potencia) a un valor considerable cuando por la carga hacemos circular una corriente baja o nula. Por ello, debe tenerse un especial cuidado en el cálculo de la potencia del mismo.

## **2. TRIAC**

El diac y el triac son tiristores capaces de conducir corriente en ambas direcciones (bilaterales). La diferencia entre ambos es que el diac cuenta con dos terminales anodo1-anodo2, mientras que el triac cuenta con un tercer terminal que es el de compuerta.

### **Funcionamiento básico del TRIAC**

El triac funciona básicamente con dos SCR conectados en paralelo en direcciones opuestas con un terminal de compuerta común.

Operación del triac mediante su terminal de compuerta:

- **Encendido del triac:** puede encenderse mediante un impulso de corriente en la compuerta y no requiere voltaje de ruptura para iniciar la conducción. Cuando se le dispara a encendido, dependiendo de la polaridad del voltaje a través de sus terminales A1 y A2 será el sentido de conducción; si A1 > A2 en polaridad, el sentido de conducción será de A1 a A2, o viceversa. Al igual que el SCR el voltaje de ruptura decrece cuando la corriente compuerta aumenta.
- **Apagado del triac:** Así como otros dispositivos de cuatro capas, el triac deja de conducir cuando la corriente del ánodo cae por debajo de un valor especificado de corriente de retención,  $I_H$ . La única forma de apagar el triac es reduciendo la corriente hasta un nivel suficientemente bajo. Los métodos para el apagado son del mismo tipo del SCR interrupción de la corriente de ánodo o conmutación forzada.

## Implementación control TRIAC

El fin de este práctico es diseñar, construir y medir un circuito que controle el ángulo de conducción sobre una carga de 100W.

Al igual que en el práctico pasado se desea lograr una relación "lineal" entre la tensión de referencia y el ángulo de conducción

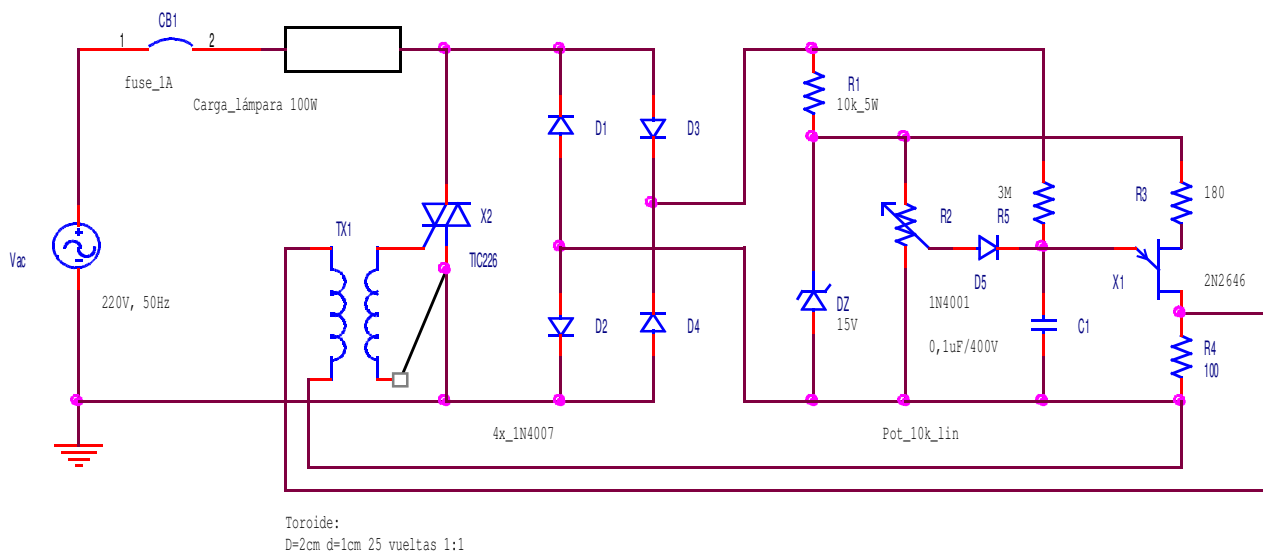


Figura 4

El funcionamiento es prácticamente el mismo, lo que cambio es el método de disparo del triac que se realiza mediante un toroide bobinado por nosotros. Las especificaciones del toroide que fueron las dadas por el profesor son  $D=2\text{cm}$ ,  $d=1\text{cm}$ , 25 vueltas y relac 1:1. Que mediante el disparo del unijuntura (TUJ) se genera una corriente a través del primer bobinado del toroide, esto genera una variación del campo magnético, generándose así un impulso de corriente en el segundo bobinado del toroide que va hacia la compuerta del triac.



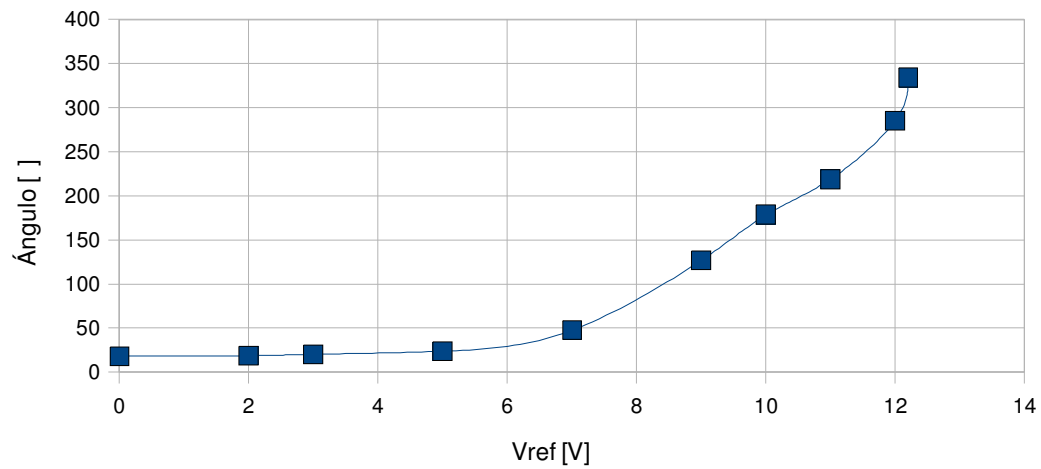
$D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  no tienen que ser de potencia ya que no son atravesados por la corriente que circula por la carga.

Las mediciones se realizaron de manera idéntica que se hicieron con el SCR donde se transcribieron en la tabla 2.

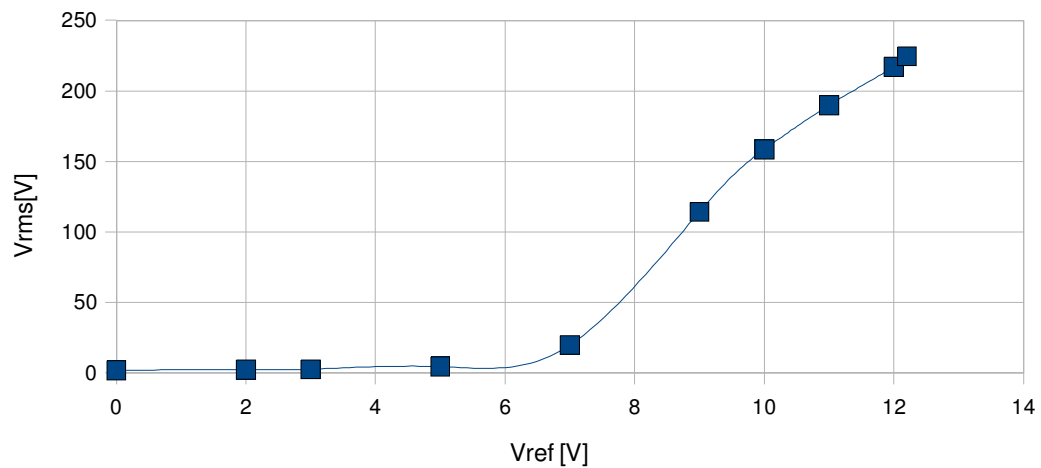
Vref [Volt]	CONDUCCION		Vrms [Volt]
	tiempo [mseg]	Ángulo [°]	
0	1	18	1,96
2	1,04	18,72	2,43
3	1,12	20,16	2,71
5	1,32	23,76	4,62
7	2,64	47,52	19,95
9	7,04	126,72	114,4
10	9,92	178,56	158,5
11	12,16	218,88	189,8
12	15,84	285,12	217
12,2	18,56	334,08	224,5

Tabla 2

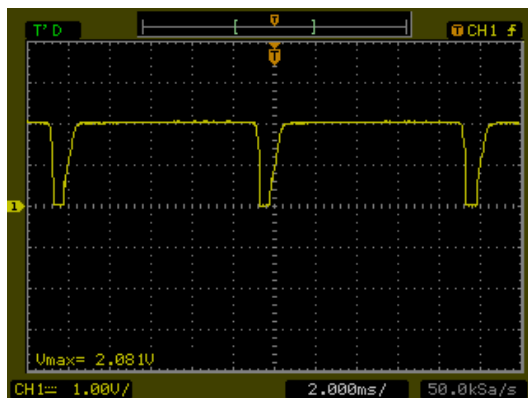
Conducción TRIAC - Ángulo/Vref



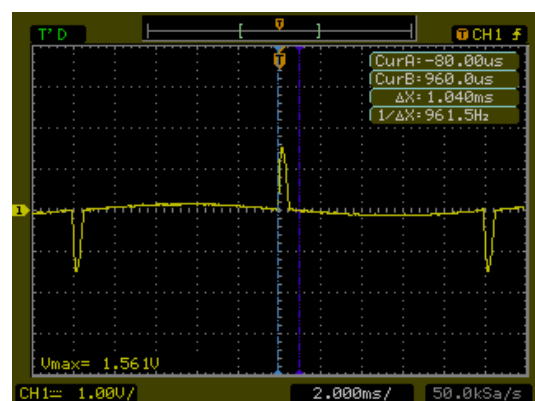
Conducción TRIAC - Vrms/Vref



Vref=2,081 V

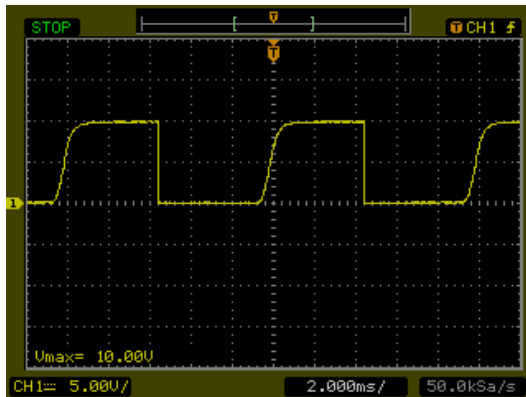


Vrms=2,43V

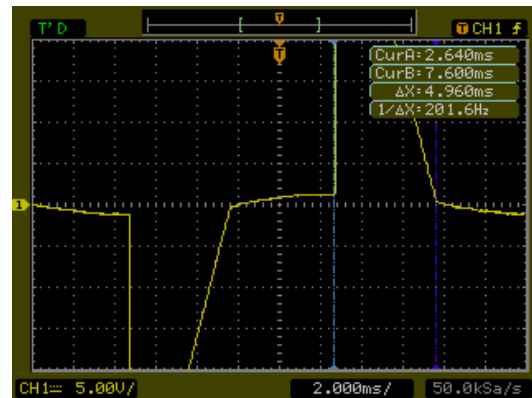




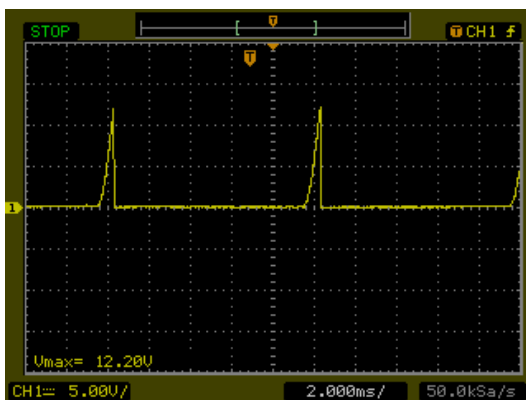
Vref=10V



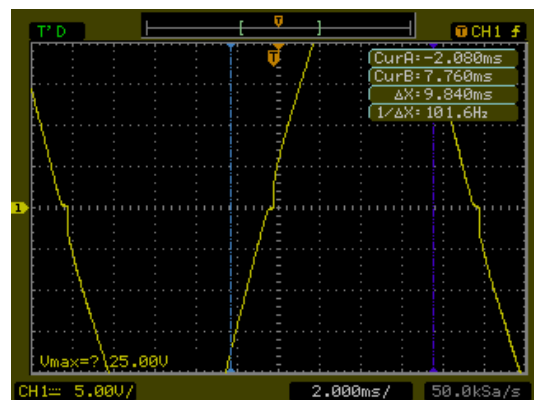
Vrms=158,5V



Vref=12,2V



Vrms=224,5V



### Observaciones:

Fue fundamental la implementación del transformador toroidal ya que nos permitió el aislamiento de las masas tanto del circuito controlador y la compuerta del TRIAC. El sentido del bobinado del toroide debió ser de forma que el flujo magnético se suma entre las bobinas e induce una f.e.m. De la misma polaridad.

Uno de los problemas fundamentales en la implementación del circuito fue la referencia de potencial de la compuerta del TRIAC. Cuando recurrimos a la hoja de datos del dispositivo se consideró la referencia a A2 pero debería ser A1, por lo tanto, se tuvo problemas para el control del disparo.

### Conclusiones

Las conclusiones que hemos sacado de este práctico son:

- Como en la primera parte del práctico, se mantuvo la linealidad del disparo.



- En el TRIAC, a diferencia del SCR, la tensión  $V_G$  es mayor para el disparo. Ésto se observa en las curvas del TRIAC.
- Otras conclusiones son similares a las realizadas para el SCR por lo que obviamos muchas de ellas.