

# Control de Potencia mediante TRIAC

Díaz, Matías - matidiaz2313@hotmail.com  
 Previotto, Santiago – santiagopreviotto@gmail.com  
 Ingeniería Electrónica - UTN Facultad Regional San Francisco  
 Electrónica de Potencia – Ing. Giorgis, Alejandro

## RESUMEN

A lo largo de este práctico podremos controlar la potencia administrada a una carga de tensión alterna mediante el uso de TRIAC. Para ello se tiene en cuenta la naturaleza de dicha carga como así también la potencia a controlar, para poder dimensionar el circuito de manera adecuada.

**Palabras claves:** TRIAC, potencia, carga, control.

## INTRODUCCIÓN

Un TRIAC o Triodo para Corriente Alterna es un dispositivo semiconductor, de la familia de los tiristores. La diferencia con un tiristor convencional es que este es unidireccional y el TRIAC es bidireccional. De forma coloquial podría decirse que el TRIAC es un interruptor capaz de conmutar la corriente alterna.

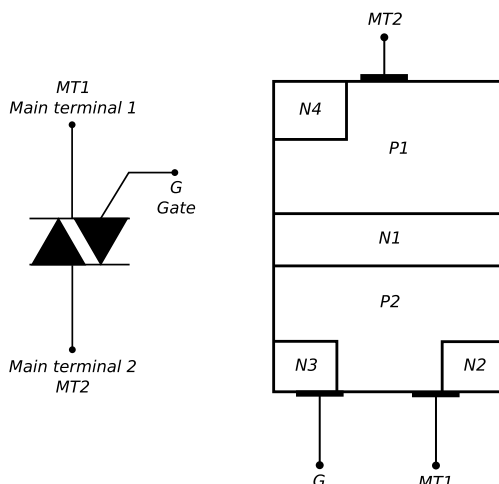


Figura 1: Símbolo y estructura interna.

El TRIAC consta de 3 terminales y su estructura interna está compuesto por 4 capas que consta de seis regiones de dopado. El terminal definido como GATE está diseñado con el fin de que tenga contacto óhmico con las regiones N y P. Esto ayuda a que el dispositivo se active con polaridades positivas y negativas, es decir, como un arreglo de dos tiristores en antiparalelo.

La versatilidad del TRIAC y la simplicidad de su uso lo hace ideal para una amplia variedad de aplicaciones relacionadas con el control de corrientes alternas. Una de ellas es su utilización como interruptor estático ofreciendo muchas ventajas sobre los interruptores mecánicos convencionales, que

requieren siempre el movimiento de un contacto, siendo la principal, la que se obtiene como consecuencia de que el TRIAC siempre se dispara cada medio ciclo cuando la corriente pasa por cero, con lo que se evitan los arcos y sobre tensiones derivadas de la conmutación de cargas inductivas que almacenan una determinada energía durante su funcionamiento. A continuación, se muestran algunas características importantes sobre los TRIAC:

- El TRIAC conmuta del modo de corte al modo de conducción cuando se inyecta corriente a la compuerta. Después del disparo la compuerta no posee control sobre el estado del TRIAC. Para apagar el TRIAC la corriente anódica debe reducirse por debajo del valor de la corriente de retención  $I_h$ .
- La corriente y la tensión de encendido disminuyen con el aumento de temperatura y con el aumento de la tensión de bloqueo.
- La aplicación del TRIAC, a diferencia del Tiristor, se encuentra básicamente en corriente alterna. Su curva característica refleja un funcionamiento muy parecido al del tiristor apareciendo en el primer y tercer cuadrante del sistema de ejes. Esto es debido a su bidireccionalidad.
- La principal utilidad del TRIAC es como regulador de potencia entregada a una carga, en corriente alterna.

Para poner en funcionamiento el mismo, se debe enviar un pulso de activación a través del terminal gate. Si el TRIAC está apagado no hay circulación de corriente entre las terminales MT2 y MT1 sin importar la polaridad del voltaje que se le aplique externamente. Para este caso, el TRIAC se comporta como un circuito abierto. Si el TRIAC está encendido, hay una condición de circulación de corriente de una terminal a la otra, esto depende de la polaridad del voltaje aplicado externamente. En el momento en que el voltaje en MT2 se hace más positivo, entonces la corriente circula de MT2 a MT1. En el momento en que el voltaje en MT1 se hace más positivo, entonces la corriente circula de MT1 a MT2. Para estas condiciones de operación el TRIAC se comporta como un interruptor cerrado.

Un optotriac (también conocido como optoacoplador) es un dispositivo que utiliza un TRIAC en su estructura interna, el cuál es activado mediante una luz infrarroja emitida por un fotodiodo hacia la gate del mismo. Cuando esta luz es interrumpida o bloqueada, el circuito se abre actuando como un interruptor abierto.

También, un optoacoplador puede contar en su estructura interna de un transistor como el PC817. Cuando se manda un pulso externo al fotodiodo, se emite un haz de luz a la base de un transistor interno, este se satura y entra en estado de conducción entre colector y emisor. Para este caso la impedancia entre colector y emisor es baja. Cuando no hay emisión de luz infrarroja, el fototransistor tiene alta impedancia entre colector y emisor y este no entra en conducción.

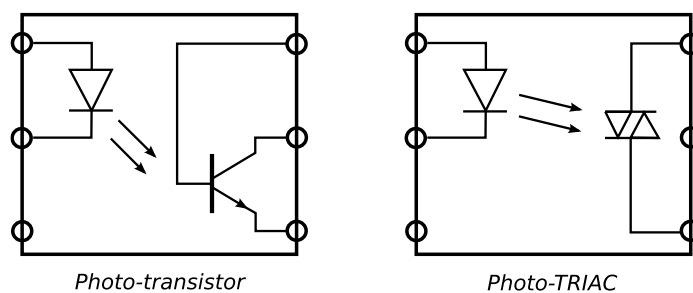


Figura 2: Optotransistor y optotriac.

## DESARROLLO

Se propone realizar un controlador de potencia entregada a una carga, conocido comúnmente como dimmer. Se busca utilizar un circuito optoacoplador para separar la electrónica de control de la de potencia.

Para ello se selecciona el optoacoplador MOC3021, el cual es un optotriac, para controlar el ángulo de disparo y así la potencia en la carga. Además, se necesita un circuito de detección de cruce por cero, debido a que, por el lado del control, se debe conocer cuando la señal de alterna pasa por cero para tener la referencia y producir dicho disparo. Se utiliza un optoacoplador PC817, que es un optotransistor que conduce o no de acuerdo a si hay o no presencia de señal de potencia.

Según la hoja de datos del fabricante, el circuito de aplicación típico para el MOC3021 es el siguiente:

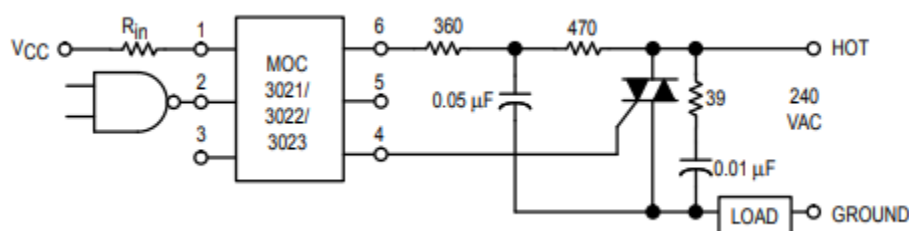


Figura 3: Aplicación típica del MOC3021.

El circuito consta de dos redes Snubber, una para proteger el TRIAC interno del MOC3021 (resistencia de  $470\ \Omega$  y capacitor de  $0.05\ \mu F$ ) y en la otra para proteger el TRIAC que manipula la carga (resistencia de  $39\ \Omega$  y capacitor de  $0.01\ \mu F$ ). Cabe aclarar que una red Snubber es un arreglo de elementos que sirve como protección del semiconductor de potencia ante las conmutaciones de conducción a no conducción y viceversa, soportando las variaciones bruscas de tensión que se producen, estas pueden estropear al dispositivo en cuestión. Para simplificar el circuito, se utiliza una única red Snubber RC para la protección del TRIAC que manipula la lámpara.

La carga a utilizar es una lámpara incandescente de  $220\ V - 42\ W$ , debido a su naturaleza no se necesita manipular grandes corrientes, por lo que un TRIAC como el BT137 es más que suficiente y posee gran disponibilidad en el mercado.

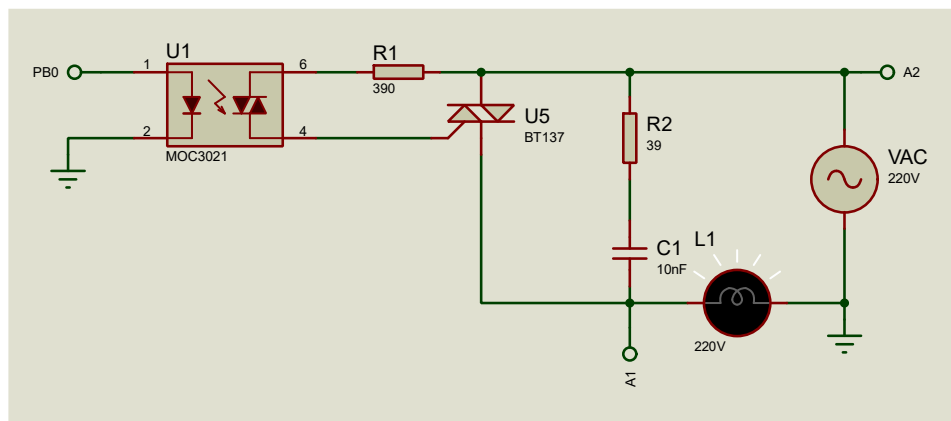


Figura 4: Circuito de potencia.

A través del pin PB0 podemos controlar el optotriac MOC3021, este dispara la compuerta del TRIAC BT137 cuando se detecta el cruce por cero, la resistencia R1 limita la corriente que circula por la compuerta del mismo. Se conecta una red Snubber en paralelo al TRIAC, esta suprime corrientes no deseadas introducidas por la carga resistiva, las cuales pueden disparar el TRIAC en cualquier momento y causar problemas de operación.

Para el circuito de detección de cruce por cero, utilizamos un transformador 220 V – 12 V para ingresar con una tensión más segura al optotransistor PC817. En el siguiente circuito, se puede observar la conexión realizada:

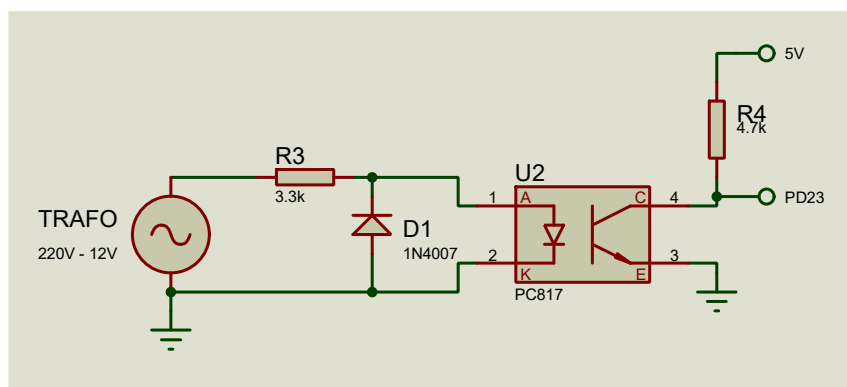


Figura 5: Circuito detector de cruce por cero.

Cuando la señal alterna está en un semiciclo positivo, el fototransistor se polariza, entrando en corte debido a que no hay diferencia de tensión entre colector y emisor, en cambio, con la señal alterna en un semiciclo negativo, el optotransistor no se polariza existiendo una diferencia de potencial entre el colector y emisor de VCC. El Diodo 1N4007 se encarga de proteger al optoacoplador de los semiciclos negativos y la resistencia de 3300  $\Omega$  limita la corriente por el mismo.

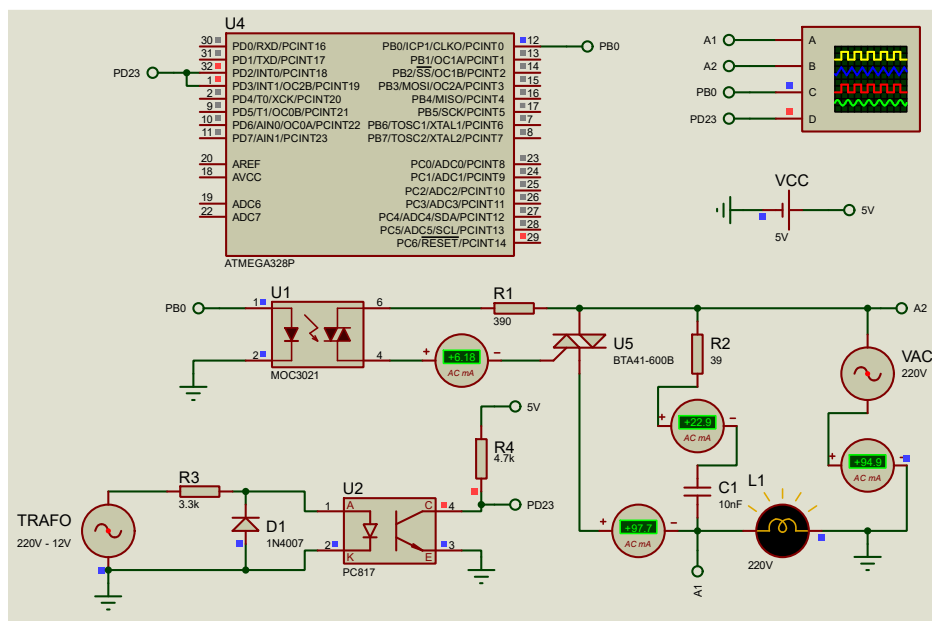


Figura 6: Diseño de circuito en Proteus con corrientes.

Se plantea el circuito de la figura 6 de control de potencia y se simula mediante el software Proteus, para poder observar que corrientes circulan por cada elemento y poder dimensionar correctamente los resistores y corroborar la selección del TRIAC. Cabe aclarar que el TRIAC BT137 no está disponible en el software, por lo que se selecciona el BTA41-600B de características similares.

La potencia que tiene que disipar la resistencia de la red Snubber es:

$$P_{R39} = (20 \text{ mA})^2 \times 39 \Omega = 15.6 \text{ mW}$$

Por otro lado, la resistencia que limita la corriente por la compuerta del TRIAC tiene una potencia de:

$$P_{R390} = (6 \text{ mA})^2 \times 390 \, \Omega = 14.04 \text{ mW}$$

Mediante esta última resistencia, se limita la corriente por la gate a 6 mA, lo cuál está dentro del valor recomendado por el fabricante.

$I_{GT}$	Corriente de disparo de la gate	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}; T_2 + G^+; T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$	$10\text{ mA}$
----------	---------------------------------	--	----------------

La corriente por los terminales T1 y T2 del BT137 es aproximadamente  $100\text{ mA}$ , de esta forma podemos decir que estamos dentro de los parámetros establecidos por el fabricante que plantea como máximo una corriente por terminales de  $8\text{ A}$ .

$I_{T(RMS)}$	Corriente RMS	Full sine wave; $T_{mb} \leq 102\text{ }^{\circ}\text{C}$	8 A
--------------	---------------	---	-----

Entonces teniendo las potencias disipadas, se buscan resistencias de  $1/4$  W, suficientes para manipular las corrientes en juego.

Ahora teniendo en cuenta el funcionamiento de ambos circuitos, tanto el de control de potencia como el de detección de cruce por cero, se necesita diseñar un programa para un microcontrolador capaz de controlar ambos circuitos. Se utiliza un microcontrolador de la marca Atmel, ATMEGA328P, posee 32kb de memoria flash, 2kb de memoria RAM y 1kb de EEPROM. Consta de 14 entradas/salidas digitales con 6 salidas PWM y 6 entradas analógicas. La siguiente ilustración describe la disposición de pines del mismo.

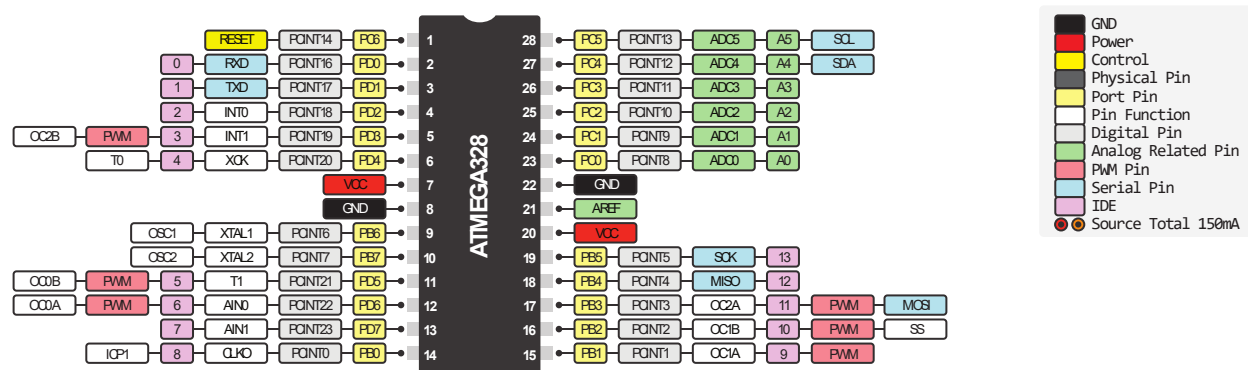


Figura 7: Pines del ATMEGA328P.

La idea principal del programa es evaluar el cruce por cero de la señal de control provista por el optoacoplador PC817 y en base a esto dar una señal al optoacoplador MOC3021 y así disparar el TRIAC. Entonces se utilizan dos interrupciones, INT0 e INT1, con la finalidad de detectar los flancos tanto de subida como de bajada de la señal del PC817. Luego ambas interrupciones realizan la misma secuencia, primero, un tiempo de espera que puede ser de hasta 10 ms, es decir la mitad del periodo de la onda de 50 Hz de alterna y luego, colocan en alto una salida digital PB0 durante 2  $\mu$ s, tiempo recomendado de ancho del pulso para el disparo del BT137, según lo indica el fabricante. A continuación, se muestra el segmento de código en lenguaje C para el microcontrolador seleccionado.

```
/*
 * Trabajo Práctico 1
 * Electrónica De Potencia
 * Ing. Giorgis, Alejandro
 * UTN Facultad Regional San Francisco
 * Diaz, Matías; Previotto, Santiago
 */
/** \file main.c */

#define PRTC 50    // porcentaje de potencia entrada a la carga

/* librerías */
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>

int main() {
    cli();          // desactiva las interrupciones globales
    DDRB |= (1<<DDB0); // PB0 como salida (MOC3021)
    PORTB &=~ (1<<PORTB0); // PB0 inicializado en 0
    DDRD &=~ (1<<DDD2); // PD2 como entrada (INT0)
    DDRD &=~ (1<<DDD3); // PD3 como entrada (INT1)
    // interrupción INT0 para flancos de subida
    EICRA &=~ (1<<ISC00);
    EICRA |= (1<<ISC01);
    // interrupción INT1 para flancos de bajada
    EICRA |= (1<<ISC10);
    EICRA |= (1<<ISC11);
    // activación de INT0 e INT1
    EIMSK |= (1<<INT0);
    EIMSK |= (1<<INT1);
    sei(); // activa las interrupciones globales
    while(1) {
    }
    return 0;
}

ISR(INT0_vect) {    // rutina de interrupción INT0
    _delay_us((int)(PRTC*(10000/100))
);
    PORTB |= (1<<PORTB0);
    _delay_us(2);
    PORTB &=~ (1<<PORTB0);
```

```

}
ISR(INT1_vect) { // rutina de interrupción INT1
    _delay_us((int)(PRTC*(10000/100))
);
    PORTB |= (1<<PORTB0);
    _delay_us(2);
    PORTB &=~ (1<<PORTB0);
}

```

Para realizar el circuito en placa se utiliza el software KiCAD. Se realiza el diseño del esquemático siguiente:

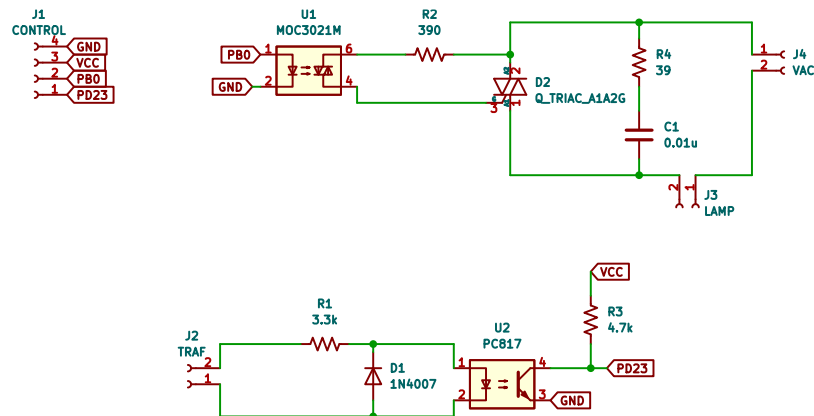


Figura 8: Esquemático en KiCAD.

La siguiente figura muestra el diseño del PCB con los componentes correspondientes:

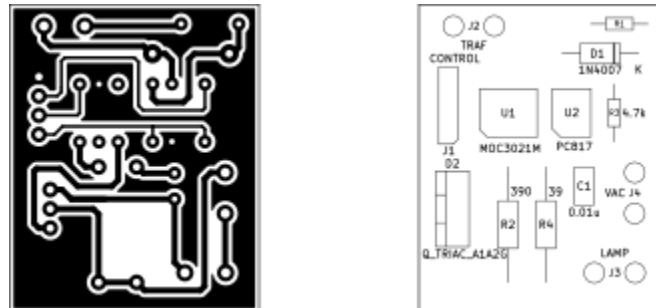


Figura 9: Diseño de PCB y ubicación de componentes.

El circuito soldado en placa queda de la siguiente manera:

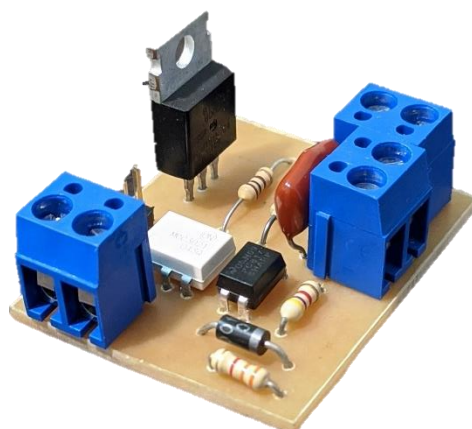


Figura 10: Placa terminada.

Para los ensayos de laboratorio se prueba primero el circuito de detección de cruce por cero, donde se utiliza un transformador de 220V-12V y la salida de control del PC817 conectada al microcontrolador en los pines PD2 y PD3 para detectar los flancos de subida y de bajada. Se mide con el osciloscopio el pulso en la salida PB0 del ATMEGA328P y se observa el pulso de  $2\ \mu\text{s}$  correspondiente, lo que verifica el funcionamiento óptimo.

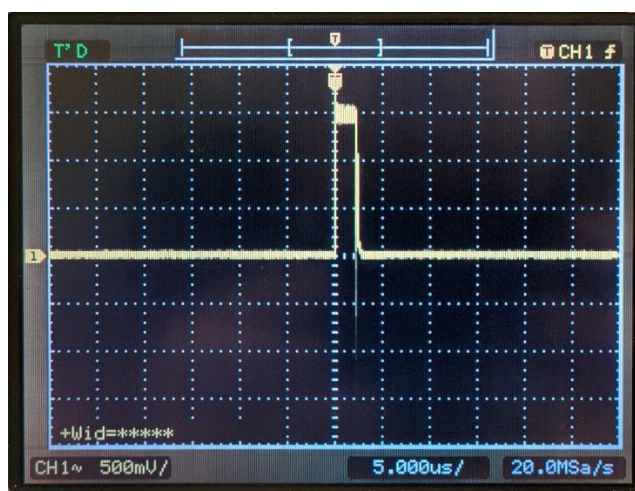


Figura 11: Pulso de PB0.

Ahora se varía el porcentaje de potencia entrada en la programación y se observa en el osciloscopio la señal entrada a la carga (señal de color verde) y la señal de 220V de línea (señal de color amarillo).



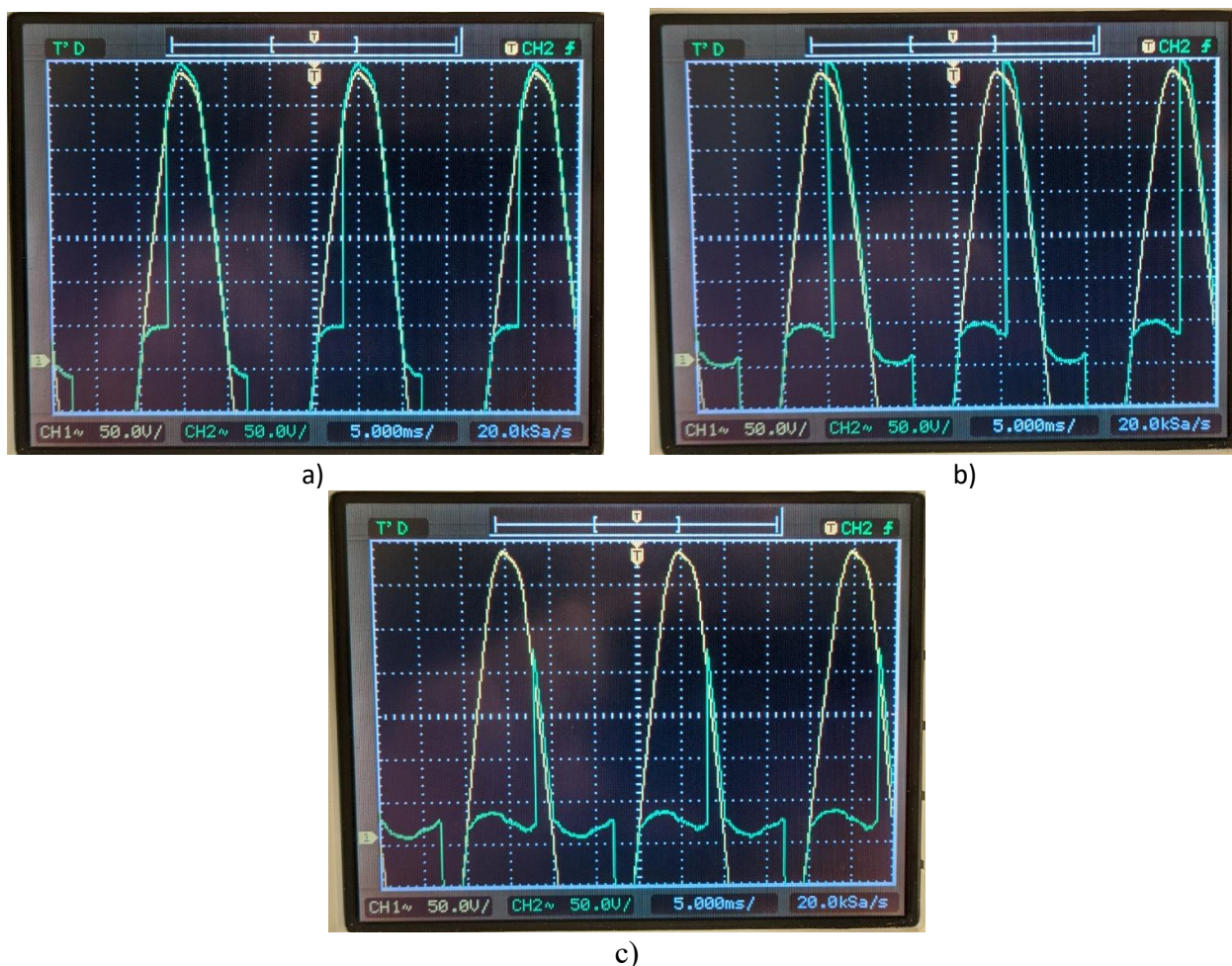


Figura 12: a) Señal al 25%. b) Señal al 50%. c) Señal al 75%.

### CONCLUSIONES

Se puede destacar que el control de potencia mediante un TRIAC, es necesario un circuito dedicado a la detección del cruce por cero, de esta manera se tiene referencia de cuando la señal de línea es nula y poder referenciar bien el lapso de tiempo disponible para disparar el TRIAC. Además, se puede decir, que debido al control realizado como se describe a lo largo del práctico, la carga, en este caso una lámpara, ante un porcentaje de señal muy bajo (<20%), no llega a iluminar debido a que el filamento no se enciende correctamente con ese voltaje aplicado.