

# Tarjeta didáctica de control para tiristores

## ***Luis Alejandro Flores Oropeza***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria,

Teléfono: 449 9 10 84 22

*alejandro.floreso@edu.uaa.mx*

## ***Eduardo Anguiano Mendieta***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria,

Teléfono: 449 9 10 84 22

*ea.anmen@gmail.com*

## ***Edgar López Delgadillo***

Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad 940 Col. Cd. Universitaria,

Teléfono: 449 9 10 84 22

*elopezd@correo.uaa.mx*

## **Resumen**

En este trabajo, se presenta una Tarjeta Didáctica de Control (TDC) para la activación de tiristores, con esta tarjeta se consiguen controlar SCR's y TRIAC's de potencia. Con la TDC, el alumno puede comprobar de una manera sencilla y por etapas la separación de pulsos para el semiciclo positivo y semiciclo negativo, la generación de señales de rampa para ser comparadas con una referencia y generar los ángulos de disparo ( $\alpha$ ) con valores desde  $0^\circ$  y hasta  $180^\circ$  eléctricos. Todo lo anterior haciendo uso de circuitos analógicos sencillos, fáciles de diseñar y calcular por los estudiantes. Para completar la TDC y ampliar su aplicabilidad, se le adicionó una etapa de aislamiento eléctrico que está formada por transformadores de pulsos o por optoaisladores con la intención de poder separar las tierras eléctricas del circuito de control y de potencia. En este trabajo se presentan los aspectos de diseño, simulación, construcción y prueba de un prototipo

de laboratorio de TDC utilizada para controlar SCR's y TRIAC's. Para las pruebas, se utilizaron cargas resistivas e inductivas obteniendo buenos resultados.

**Palabra(s) Clave(s):** aislamiento, ángulo de disparo, sincronización, tarjeta de control, tiristor.

## **1. Introducción**

El SCR y el TRIAC son dos de los principales tiristores que se estudian en los programas de ingeniería electrónica ya que son útiles para controlar señales de corriente alterna (CA) en baja frecuencia. La importancia de su estudio radica en las múltiples aplicaciones en las que estos dispositivos electrónicos pueden ser utilizados. Los SCR fueron de los primeros dispositivos electrónicos capaces de variar el voltaje en los motores de corriente directa (CD), consiguiendo con ello la variación de la corriente, potencia y velocidad. Para el caso de las cargas de CA, los TRIAC son los dispositivos que se encargan de controlar la cantidad de señal eléctrica que se le entrega tanto en el semiciclo positivo como en el semiciclo negativo. De acuerdo a [6], los tiristores se suelen usar para controlar la rectificación en corriente alterna, es decir, para transformar esta corriente alterna en corriente continua (siendo en este punto los tiristores onduladores o inversores), para la realización de conmutaciones de baja potencia en circuitos electrónicos. El uso de los tiristores se extiende también en electrodomésticos, sistemas de iluminación, calentadores, control de temperatura, activación de alarmas, velocidad de ventiladores, herramientas eléctricas (para acciones controladas tales como velocidad de motores, cargadores de baterías), equipos para exteriores como aspersores de agua, encendido de motores de gas, pantallas electrónicas etc. [2]. En realidad hoy en día son muchas de las aplicaciones en las que se les puede encontrar a los tiristores. En el hogar, una de las aplicaciones más comunes que tienen los tiristores, es en el dispositivo llamado "Dimmer" que es el encargado de regular la intensidad de luz en las lámparas incandescentes. En la Fig. 1 se muestra el esquema básico de conexión de un Dimmer [1] y el aspecto comercial que puede tener [5].

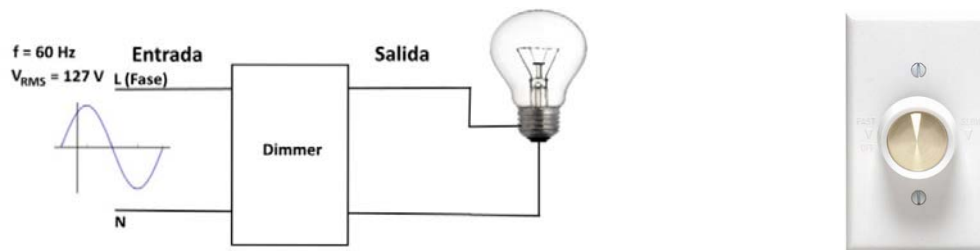
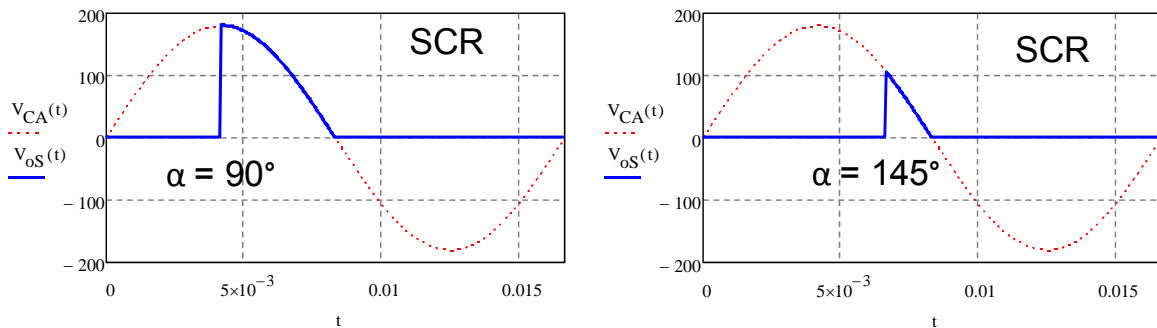
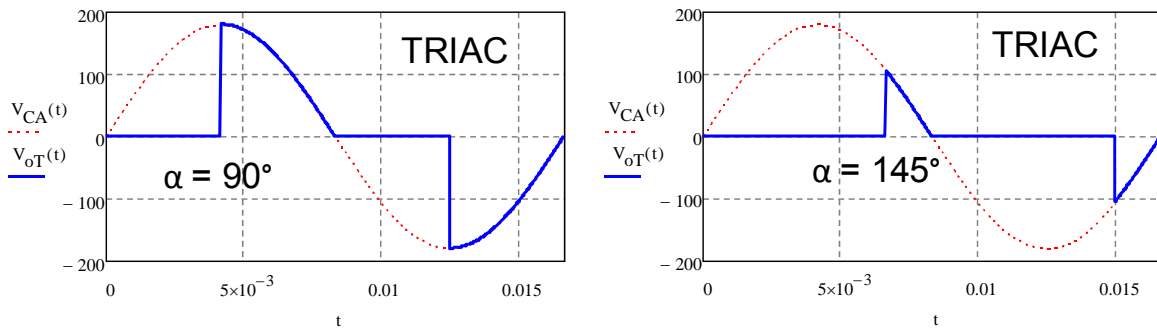


Fig. 1. Esquema básico de conexión de un Dimmer y aspecto comercial.



a) Señales para SCR.



b) Señales para TRIAC.

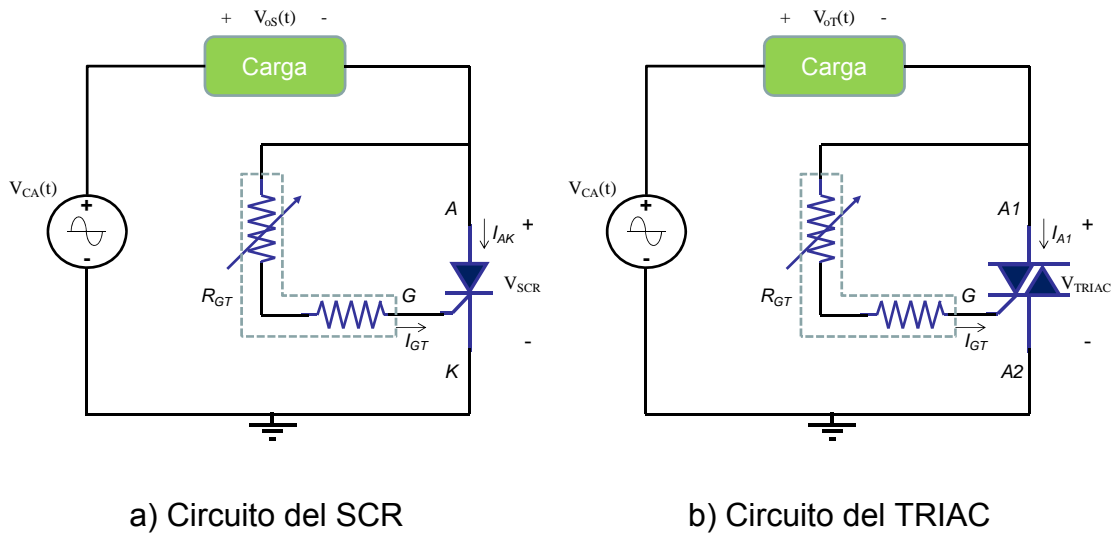
Fig. 2. Señales de voltaje de salida de los tiristores para distintos ángulos  $\alpha$  de disparo donde  $V_{CA}(t)$  es el voltaje de la fuente de alimentación y  $V_{oS}(t)$  es el voltaje en la carga con SCR y  $V_{oT}(t)$  es el voltaje en la carga con TRIAC.

El ángulo de disparo  $\alpha$  en los tiristores, se define como el ángulo a partir del cual comienza a conducir el tiristor y deja pasar a la salida (carga) la señal del voltaje de entrada [7]. Para el caso del SCR (rectificador de media onda) y dado que solo conduce en uno de los semiciclos de la señal de red, este ángulo solo se aprecia en un semiciclo de la forma de onda, en este caso en el semiciclo positivo (Fig. 2a). Para el TRIAC, el ángulo se presenta de forma simétrica en ambos semiciclos de la señal (ver Fig. 2b). En

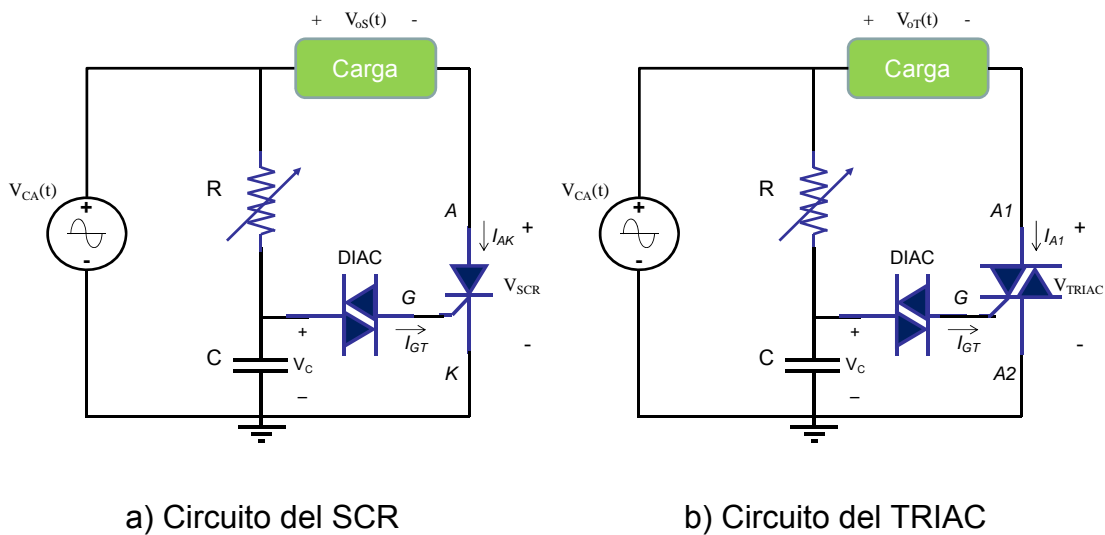
esta figura se aprecia la señal de entrada de voltaje en forma punteada  $V_{CA}(t)$  y la señal de salida en forma continua y sólida  $V_{oS}(t)$  y  $V_{oT}(t)$ .

Para el control del ángulo de disparo  $\alpha$  en los tiristores se pueden encontrar circuitos de sencilla construcción como el mostrado en la Fig. 3 [8]. En este circuito y variando la resistencia  $R_{GT}$  se consigue activar el tiristor una vez que se alcanza la corriente de disparo ( $I_{GT}$ ). Sin embargo, la sencillez de este circuito lleva implícita la limitación del máximo ángulo de disparo que se puede alcanzar en el tiristor siendo este de  $90^\circ$ . Además la resistencia  $R_{GT}$  debe ser de la potencia suficiente para no dañarse mientras aumenta el voltaje en el circuito. Para el caso del TRIAC, y con este circuito, es muy común que se presente una diferencia entre el ángulo de disparo del semiciclo positivo y el semiciclo negativo dejando a este esquema de control como un sistema deficiente debido a su falta de precisión.

Un circuito más preciso y con el que se consiguen tener ángulos de disparo mayores a  $90^\circ$  es el que se muestra en la Fig. 4. En este circuito formado por un arreglo RC y un DIAC, se elimina el efecto de desequilibrio en el ángulo de disparo para el caso del TRIAC. La desventaja que presenta este circuito es el hecho de que el DIAC se activa a partir de un determinado voltaje que limita el mínimo ángulo a partir del cual puede comenzar a conducir el tiristor.



**Fig. 3. Activación de tiristores mediante arreglo de resistencias en serie con la carga.**



**Fig. 4. Activación de tiristores mediante circuito RC y DIAC.**

En general ambas propuestas de circuitos son muy sencillos y funcionales para controlar a los tiristores pero también tienen la desventaja de que se encuentran conectados directamente con el tiristor y con la carga. Este hecho limita su utilización por el hecho de estar mezclados eléctricamente el circuito de control con el circuito de potencia. En la bibliografía y con fines educativos, se presenta una tarjeta de control para gobernar el ángulo de disparo de los tiristores [4]. Sin embargo, el control del

ángulo de disparo se hace sobre una señal senoidal de bajo voltaje y las cargas que se utilizan para demostrar su funcionamiento son una resistencia de potencia y como inductor se utiliza el devanado primario o secundario de un transformador. Lo anterior permite demostrar el principio de funcionamiento de los tiristores, sobre todo el hecho de que el tiristor sigue funcionando mientras fluye corriente a pesar de que en sus terminales el voltaje se haya invertido. Lo que no permite, es poder trabajar con niveles de voltaje de la red eléctrica y por lo tanto colocar cargas de mayor potencia como motores de CA y lámparas.

La TDC que se propone en este trabajo supera las deficiencias mencionadas en los circuitos anteriores y se encuentra adecuada para utilizar los niveles de voltaje de la red eléctrica para cargas como lámparas y motores de CA.

## **2. Desarrollo**

La TDC se desarrolla por etapas para su fácil comprensión, análisis y diseño (ver Fig. 5). Básicamente se encuentra integrada por 5 etapas con las cuales se logra hacer que funcione correctamente para el gobierno de los tiristores. La etapa 1 se encarga de proveer aislamiento utilizando un transformador (TF) entre el voltaje de la red eléctrica y la TDC. Se construye una fuente de alimentación a partir de la salida de esta etapa y además provee el voltaje sinusoidal con el que se sincroniza el circuito ( $V_{Sync}$ ). La etapa 2 consiste en el desarrollo de circuitos comparadores, formados con amplificadores operacionales, que a partir de la señal  $V_{Sync}$  obtenida en la etapa 1 se compara a través de cruces por cero y de este modo se generan las señales para cada semiciclo de red. La etapa 3 es la generación de una rampa para cada semiciclo de red con la máxima amplitud de voltaje posible. Esta etapa es la que requiere de un poco más de atención y análisis ya que está formada por un transistor que carga a un capacitor como una fuente de corriente constante. La etapa 4 también es un circuito comparador, formado con amplificadores operacionales, que se encarga de establecer el ángulo de disparo deseado en el tiristor. Por último, la etapa 5 consiste en proveer nuevamente aislamiento eléctrico solo que ahora entre la TDC y los tiristores. Este aislamiento

puede ser óptico utilizando optoacopladores (OPTO) o galvánico mediante un transformador de pulsos (TP).

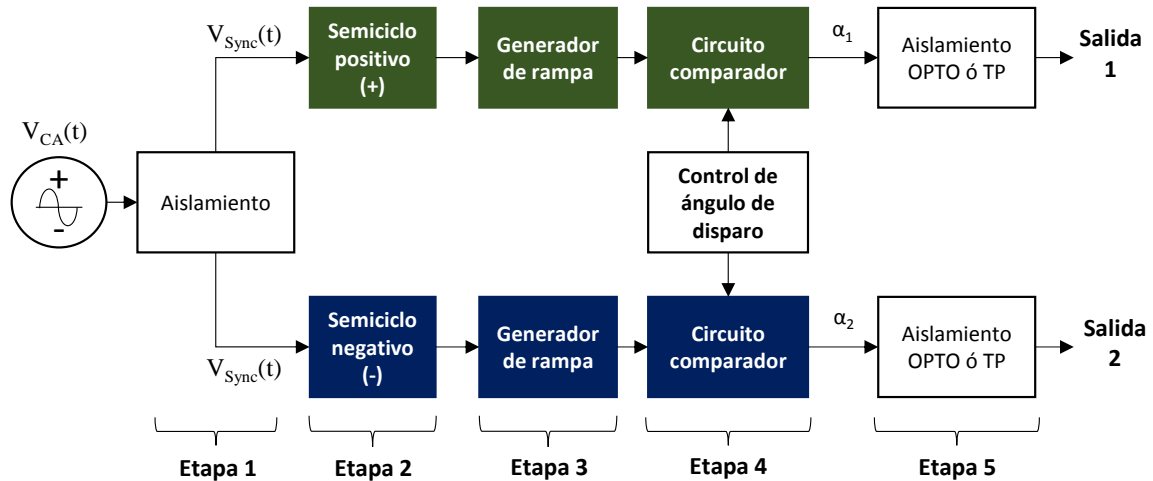


Fig. 5. Diagrama de bloques de la TDC con las 5 etapas propuestas.

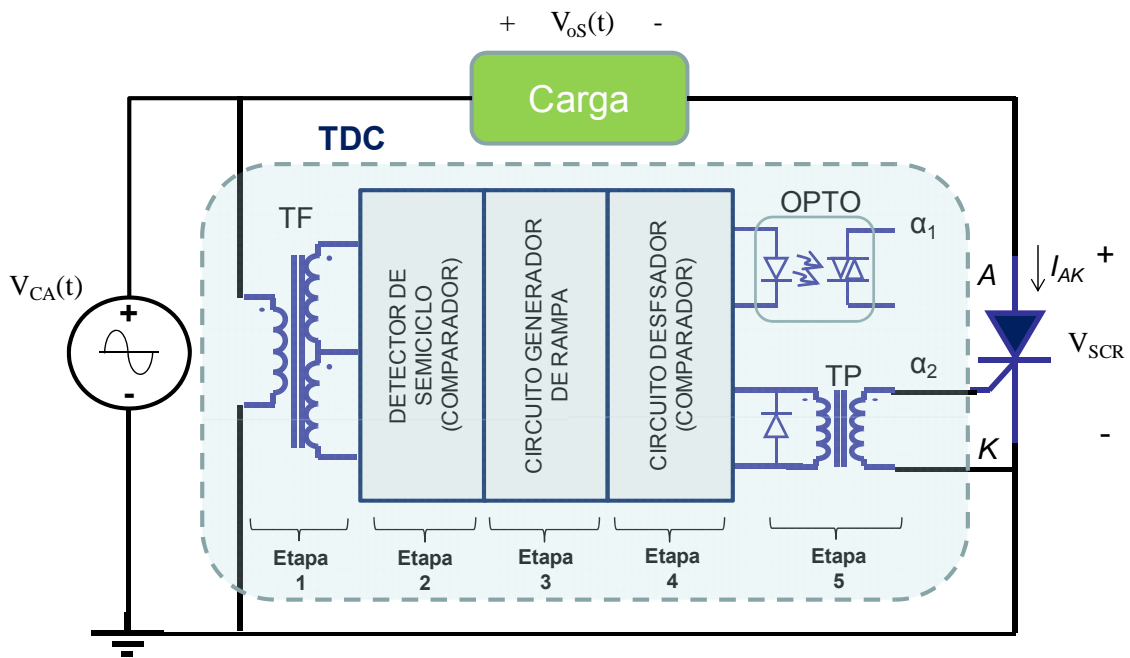


Fig. 6. Forma de conectar la TDC y sus etapas con el tiristor, en este caso a un SCR.

Una manera más general de observar cómo se conecta la TDC al tiristor desde la señal de red se muestra en la Fig. 6. En esta figura se observan todas las etapas que se

involucran desde la red eléctrica hasta la salida aislada por optoacoplador o transformador de pulsos.

Las salidas de la TDC pueden ser dos transformadores de pulsos (TP) para controlar directamente dos SCR's en antiparalelo y por separado o se le pueden conectar dos optoacopladores, también para controlar SCR's o TRIAC's. En la Fig. 7 se muestra cómo se deben conectar cada uno de los optoaisladores o transformadores a los tiristores.

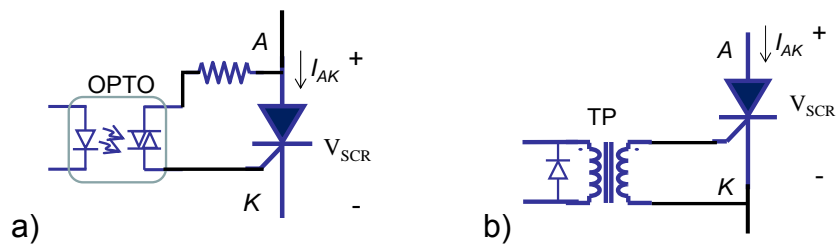


Fig. 7. Conexión del tiristor a) al optoacoplador y b) al transformador de pulsos.

## Diseño de la TDC

### Etapa 1

El diseño del aislamiento de la red de entrada, las fuentes de alimentación para el circuito de control ( $V_{cc}$  y  $V_{EE}$ ) y la señal de referencia de corriente alterna  $V_{Sync}$  se obtienen con un transformador de 127V/24V con derivación central. De este modo, se tienen dos salidas de 12V eficaces cada una. Se construye un rectificador de onda completa con un puente de diodos, dos capacitores conectados en serie, dos reguladores de tensión, uno para el voltaje positivo LM7815 y otro para el voltaje negativo LM7915. De igual manera se agregan otros dos capacitores para la salida de los reguladores. La señal de voltaje de referencia con la que se sincroniza el pulso de los tiristores  $V_{Sync}$  se obtiene de uno de los devanados de 12V conectando entre sus terminales un divisor de voltaje para disminuir la amplitud de la señal al 50%. En la Fig. 8 se muestra el diagrama de la etapa 1 de la TDC.



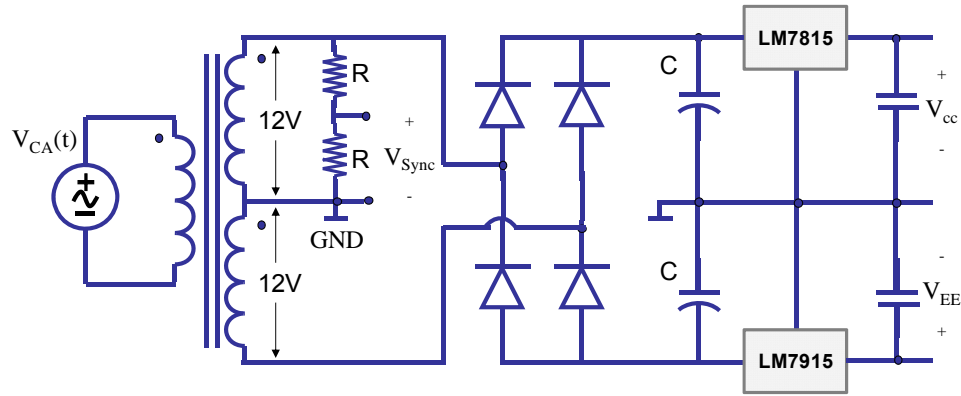


Fig. 8. Diseño de la Etapa 1 de la TDC.

## Etapa 2

Esta etapa está constituida básicamente por dos Amplificadores Operacionales, uno para detectar el semiciclo positivo y el otro para detectar el semiciclo negativo, las entradas de los comparadores son GND y  $V_{Sync}$  de forma simétrica (ver Fig. 9). Las salidas son dos, una señal cuadrada en fase con el semiciclo positivo y otra en fase con el semiciclo negativo. En la salida de los OPAMPs se coloca un diodo que deja pasar únicamente la señal positiva de cada salida y son estas señales, a través de un transistor y una resistencia, las que en la siguiente etapa restablecen el valor alcanzado por los voltajes de rampa.

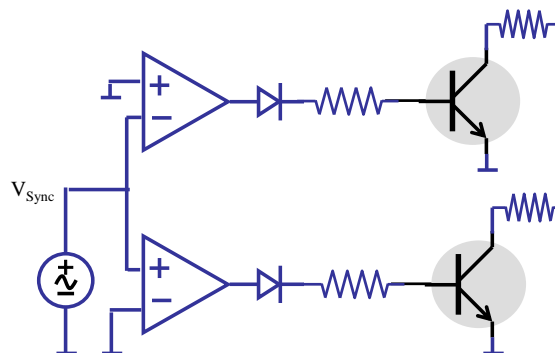
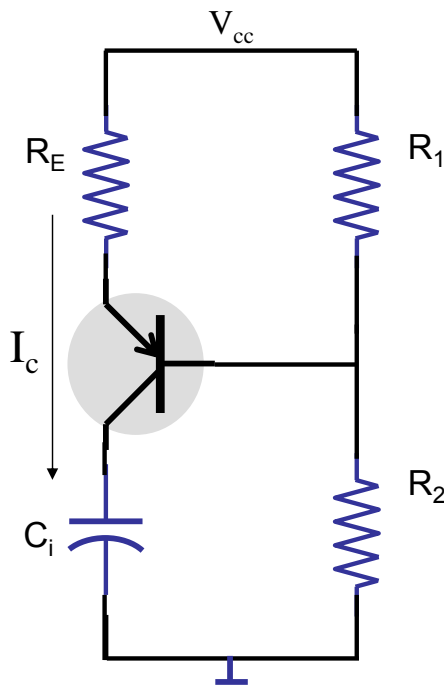


Fig. 9. Diseño de la Etapa 2, OPAMPS para la detección del cruce por cero de la señal y transistor para restablecimiento de la rampa.

### Etapa 3

Esta etapa está compuesta por un transistor pnp que se encarga de entregar al capacitor  $C_i$  una corriente constante. El arreglo de resistencias ( $R_E$ ,  $R_1$  y  $R_2$ ) debe ser capaz de mantener el flujo de corriente fija a través del colector del transistor y al mismo tiempo por el capacitor. Con esto se consigue tener una rampa de tensión para posteriormente ser comparada con una referencia de voltaje ( $V_{comp}$ ) y determinar el ángulo de disparo del tiristor. De todo el circuito, esta etapa es la que requiere un poco más de análisis y reflexión para su implementación adecuada. En la Fig. 10 se muestra el arreglo del transistor y el capacitor.



**Fig. 10. Diseño de la Etapa 3, transistor pnp funcionando como fuente de corriente para el capacitor  $C_i$ .**

Se sabe que el voltaje de un capacitor en función de la corriente está dado por la siguiente expresión [3]:

$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{\infty} i(t) dt \quad (1)$$

Se puede considerar a la corriente  $I_C$  como constante dado que la idea es que se entregue de esta forma por el circuito del transistor. El voltaje inicial en el capacitor es cero, debido a que cada medio ciclo de red ( $T/2$ ) se restablece para volver a cargarse. Entonces, al sustituir estas consideraciones en la Ec. (1) lo que resulta es:

$$V_C(t) = \frac{I_C}{C_i} \int_0^T dt = \frac{I_C T}{C_i 2} = \frac{I_C}{2C_i f} \quad (2)$$

Si la idea es que el capacitor  $C_i$  se cargue al máximo voltaje de alimentación (en este caso  $V_{cc}$ ) durante el medio ciclo de red, entonces la Ec. (2) queda de la siguiente manera:

$$V_{cc} = \frac{I_C}{2C_i f} \quad (3)$$

Donde  $f$  es la frecuencia de la red eléctrica.

De acuerdo a la Fig. 10, y suponiendo que la corriente de base es despreciable frente a la corriente en las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  se pueden determinar las siguientes ecuaciones.

$$V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (4)$$

$$V_{R_E} = V_{R_1} - V_{BE} \quad (5)$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_{R_E}}{R_E} \quad (6)$$

Con la Ecuación 3 y despejando el valor de  $C_i$ , se construyó una gráfica de la variación de  $C_i$  para distintos valores de  $V_{cc}$  (ver Fig. 11). Se consideró un rango de diseño de corriente de colector de hasta 1mA (1,000µA) y voltajes de alimentación  $V_{cc}$  de 12V a 18V. Se establecieron estos valores debido a que son los valores más comunes que se pueden encontrar en el diseño de un transistor y además para no consumir demasiada energía del circuito. Con esto, lo que se consigue es una gráfica en la que se puede observar claramente la variación de la capacitancia en función del voltaje de alimentación  $V_{cc}$  y de la corriente  $I_C$  con la que se desee diseñar el circuito. Por ejemplo, si se selecciona una corriente de  $I_C = 800\mu A$ , entonces el capacitor que se debe escoger

para  $V_{cc}$  de 12V es de 550nF aproximadamente. Para 15V y 18V sería de 450nF y 380nF respectivamente. Es importante recordar que con estos valores, el capacitor  $C_i$  se cargará teóricamente hasta el valor de  $V_{cc}$  en medio ciclo de red.

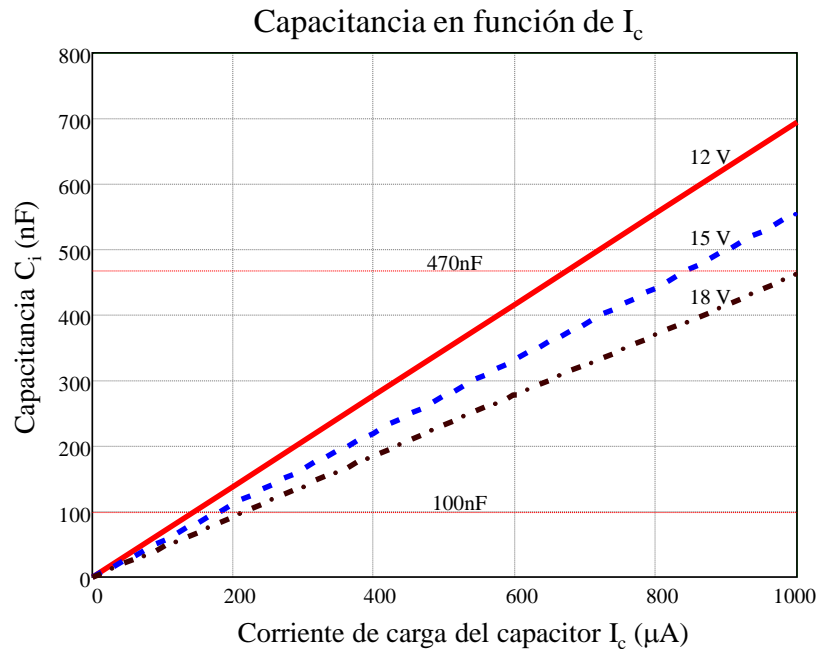
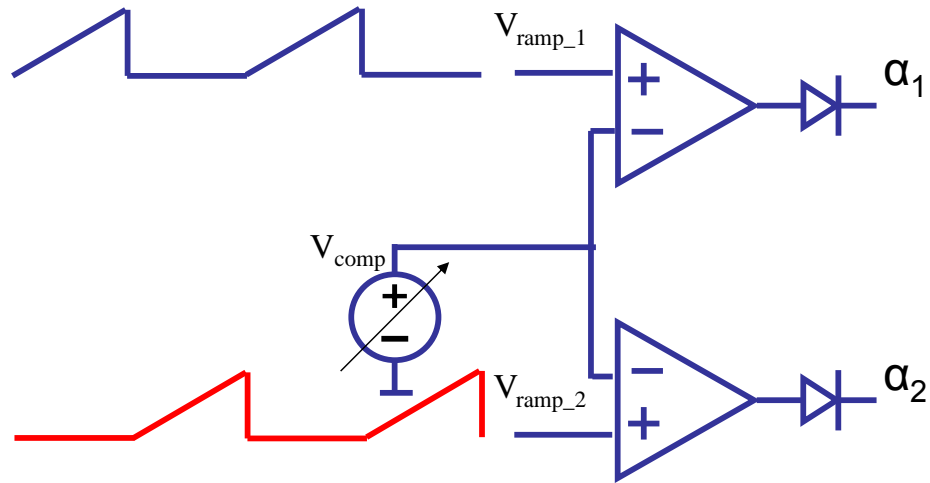


Fig. 11. Variación de  $C_i$  en función de la corriente  $I_c$  y del voltaje  $V_{cc}$ .

#### Etapa 4

Esta etapa resulta muy sencilla de construir ya que se trata únicamente de comparar por medio de amplificadores operacionales las señales de rampa generadas en la etapa anterior con un nivel de tensión fijo (ver Fig. 12). Lo que resulta de esta comparación es directamente el ángulo de disparo para los tiristores en fase con la señal de red y con la posibilidad de variar desde  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$ .



**Fig. 12. Diseño de Etapa 4, circuito comparador para determinar el ángulo de fase de cada salida.**

### Etapa 5

Esta etapa es para aislar eléctricamente la TDC de los tiristores y sus respectivas tierras y voltajes de potencia. La forma de conectar estos optoacopladores o transformadores de pulsos se observa en la Fig. 7.

### 3. Resultados

Para comprobar el funcionamiento de la TDC se realizó un diseño con los datos presentes en la siguiente tabla:

Elemento	Valor
$R_1$	3.9 k $\Omega$
$R_2$	15 k $\Omega$
$R_E$	3.3 k $\Omega$
$V_{cc}$	15V

Tomando en cuenta las ecuaciones de la Etapa 3 resulta.

$$V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

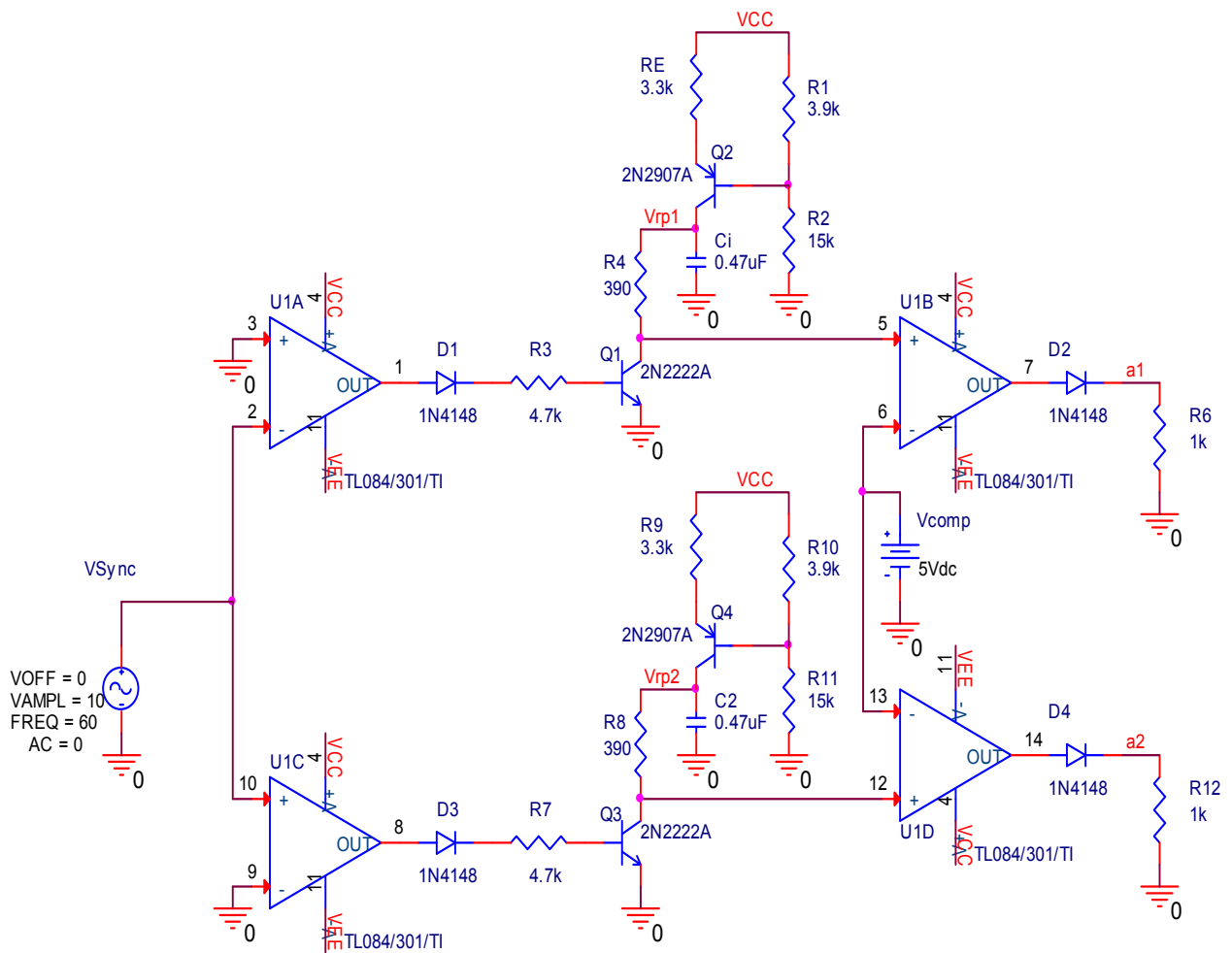
$$V_{R_E} = V_{R_1} - V_{BE}$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_{R_E}}{R_E} = 725.82\mu A$$

De acuerdo a la gráfica de la Fig. 11, resulta un capacitor aproximado de 430 nF, pero se colocó uno de 470 nF por ser el valor más cercano disponible.

### Simulación

Para comprobar los resultados del circuito propuesto, se realizaron simulaciones en Orcad y verificar que los voltajes y sobre todo las señales estuvieran en fase con la señal de red de la entrada. Del mismo modo se varió el nivel de referencia de voltaje  $V_{comp}$  para comprobar que el ángulo de disparo para ambas salidas se veía modificado en la misma proporción y simultáneamente. En la Fig. 13 se muestra el circuito simulado en Orcad. En este circuito solo se incluyen con más detalle las etapas 2, 3 y 4 ya que las etapas 1 y 5 son de fácil implementación y no es necesario realizar una simulación para verificar su funcionamiento.



**Fig. 13. Simulación de la TDC en Orcad SPICE.**

Las formas de onda que se obtuvieron se muestran en la Fig. 14 y Fig. 15, se puede observar cómo se van generando a lo largo del circuito la señal de sincronización  $V_{Sync}$ , las señales de rampa  $V_{ramp1}$  y  $V_{ramp2}$ , del mismo modo y después de compararse las señales de rampa con  $V_{comp}$  se observa cómo cambia el ancho del pulso en  $\alpha_1$ , y  $\alpha_2$ .

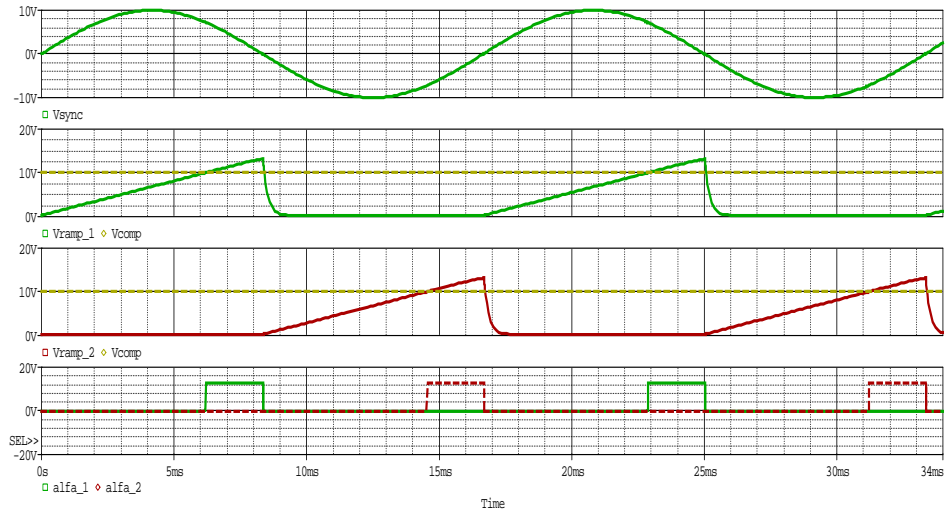


Fig. 14. Formas de onda de la simulación para  $\alpha = 135^\circ$ .

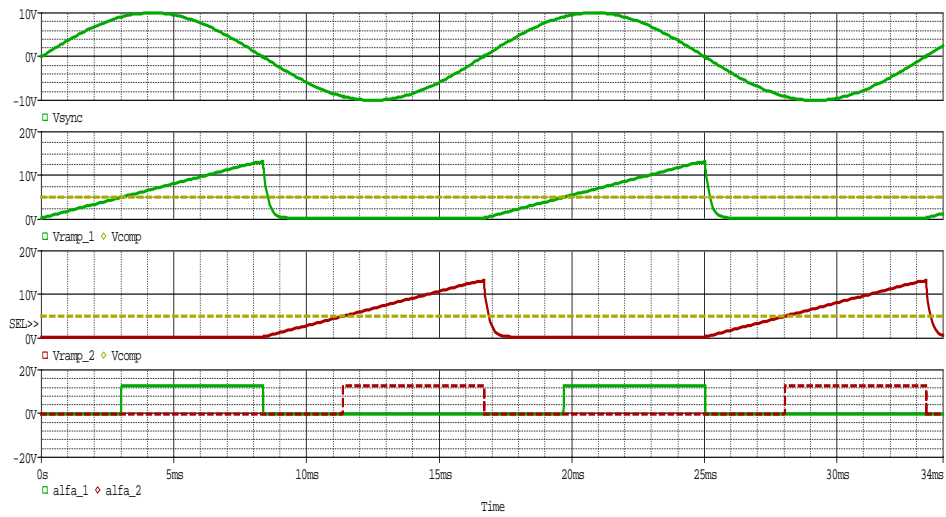
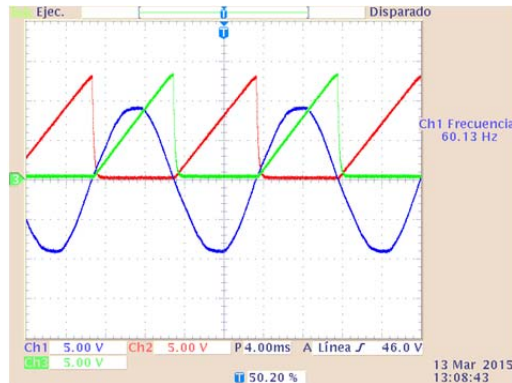


Fig. 15. Formas de onda de la simulación para  $\alpha = 67.5^\circ$ .



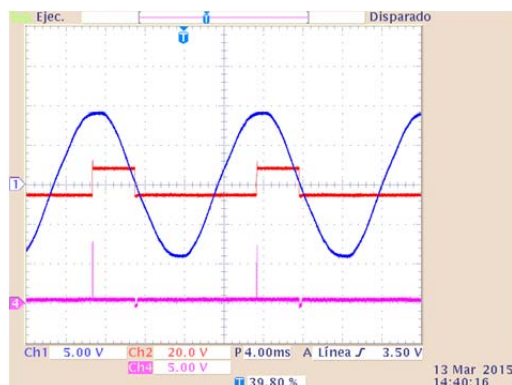
## Pruebas en prototipo

Se realizaron distintas pruebas en el prototipo de laboratorio, se comprobó que las señales que se simularon coincidieran con las señales del prototipo. Por ejemplo, en la Fig. 15 se presenta el voltaje  $V_{sync}$  que es el voltaje de salida del transformador y con el cual se sincronizan los pulsos de la TDC.



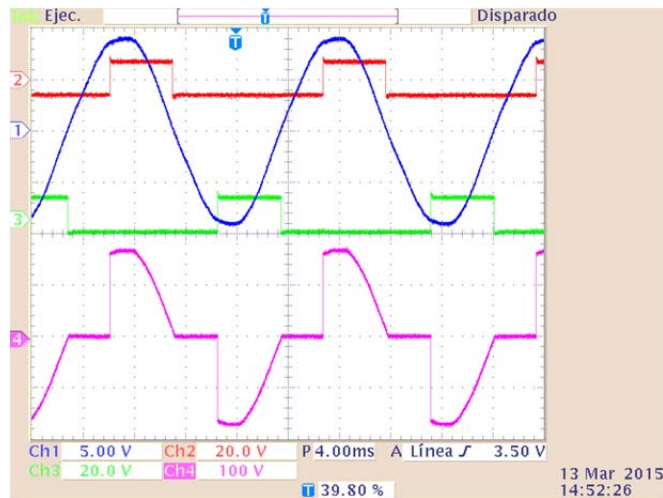
**Fig. 16. Formas de onda de Ch1  $V_{Sync}$ , Ch3  $V_{ramp1}$  y Ch2  $V_{ramp2}$ .**

En la Fig. 16 se presenta  $V_{sync}$  y la salida del circuito comparador tal como ingresa al transformador de pulsos. Lo que se observa en el canal 4 (Ch4), es el voltaje de salida del transformador de pulsos y que es lo que ingresa a la compuerta del tiristor. Obsérvese que solo se trata de un delgado pulso positivo cuando inicia la forma de onda y que con ese ancho del pulso es suficiente para poder activar el tiristor.



**Fig. 17. Formas de onda de Ch1  $V_{Sync}$ , Ch2  $\alpha$  y Ch4 voltaje en la compuerta del tiristor y después del Transformador de Pulsos (TP).**

En la Fig. 17 se muestran el voltaje de sincronización  $V_{sync}$  los ángulos de disparo  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  así como el voltaje de salida en la carga  $V_{oT}(t)$ . En este caso el voltaje es simétrico porque se están controlando dos SCR's en antiparalelo lo cual permite que la señal sea como la que corresponde a un TRIAC. Obsérvese que a pesar de que se trata de dos SCR's, el ángulo de disparo para cada uno de los semiciclos es prácticamente el mismo por el hecho de estar gobernados mediante la TDC.



**Fig. 18. Formas de onda de Ch 1  $V_{Sync}$ , Ch2  $\alpha_1$ , Ch3  $\alpha_2$ , y Ch4  $V_{oT}(t)$  controlando dos SCR's en antiparalelo con Transformadores de Pulsos (TP).**

#### 4. Discusión

Hoy en día se pueden encontrar múltiples propuestas de circuitos de control para el desarrollo de prácticas en las que se aplican los conceptos relacionados con el control de los tiristores. Sin embargo, en la mayoría de estas propuestas se incluyen circuitos que son de muy sencilla construcción pero con poca versatilidad en aspectos como el control del ángulo de disparo, ya que en muchos de ellos el control está limitado para valores de apenas  $90^\circ$ . También es verdad que en muchas de las referencias de electrónica, se obvia a los circuitos para control y disparo de los tiristores. En muchos de los libros solo aparecen recuadros que indican la existencia de un circuito de control o mando del tiristor pero no se dan más detalles de éste. Para el caso de los alumnos que inician con este estudio, cualquier ayuda es de utilidad. Con el desarrollo y

explicación teórica del funcionamiento de la TDC, los alumnos podrán construir su propia tarjeta de control logrando de este modo que el aprendizaje sea más significativo para ellos. Podrán hacer y proponer sus propias prácticas para que a partir de ellas se generen sus propias conclusiones.

De igual modo a pesar de que existen muchos circuitos de relativa sencillez en su construcción, el tiempo que se invierte en la construcción de estos puede afectar para el análisis adecuado de los mismos. Una vez que se tiene una TDC se puede optimizar el tiempo y aprovechar al máximo las prácticas de tiristores.

## **5. Conclusiones**

Se presenta el análisis y diseño de una Tarjeta Didáctica de Control para tiristores. Se presentan las formas de onda de su implementación. Con esta tarjeta, el alumno tiene la posibilidad de controlar el ángulo de disparo de dos tiristores SCR's o un TRIAC. El ángulo de disparo puede estar comprendido desde  $0^\circ$  y hasta  $180^\circ$  sin ningún problema y con certeza de mayor precisión. Se cuenta con aislamiento eléctrico entre la red de alta tensión y el circuito de mando para los tiristores. El aislamiento para el control de los tiristores puede hacerse mediante optoacoplador o utilizando transformadores de pulsos. Simulaciones en Orcad SPICE corroboran buena operación de la TDC en sus partes medulares.

En trabajos futuros se pretende controlar el ángulo de disparo de los tiristores mediante un Control Digital. Al hacerlo de esta manera, las posibilidades de gobierno se multiplican significativamente debido a la alta precisión que pueden alcanzar los controladores digitales. Controlar sincrónicamente dos, tres, cuatro o la cantidad necesaria de tiristores será posible únicamente programando cada una de las salidas con su respectiva salida amplificada de control.

## 6. Referencias

- [1] ALF, Dimmer digital utilizando un microcontrolador PIC, Microcontroladores y Software. <http://microsysoftware.blogspot.mx/2015/02/dimmer-digital-de-3-niveles-de.html> Consultado por última vez en junio de 2015.
- [2] R. L. Boylestad, L. Nashelsky. Dispositivos pnnp y otros, *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. 2003. México: Pearson, Prentice Hall. 923-964 pp.
- [3] W. H. Hayt, J. E. Kemmerly, S. M. Durbin. Capacitores e inductores, *Análisis de circuitos en ingeniería*. 2012. México D.F. Mc Graw Hill. 217-260 pp.
- [4] Control de potencia en alterna. Prácticas de laboratorio. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales ETSII, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Noviembre 2011.
- [5] Home Depot, Dimmers y controles de luces. <http://www.homedepot.com.mx/comprar/es/centro/electrico/dimmers-y-controles-de-luces>. Consultado por última vez en junio de 2015.
- [6] Tiristores, teoría y aplicaciones. Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica IPN. <http://es.slideshare.net/Boytronic/tiristores-caractersticas-aplicaciones-y-funcionamiento>. Consultado por última vez en junio de 2015.
- [7] A. Malvino, J. B. Bates, Tiristores, *Principios de Electrónica*. 2007. Mc Graw Hill. Aravaca, Madrid. 490-529 pp.
- [8] T. Wildi, *Elementos fundamentales de electrónica de potencia, Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. 2007. Pearson, Prentice Hall. México. 480-554 pp.

## **7. Autores**

Luis Alejandro Flores Oropeza nació en Aguascalientes, México en 1976, obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico por parte del Instituto Tecnológico de Aguascalientes y el grado de Doctor en Ingeniería Electrónica por la Universidad Politécnica de Madrid en España en 1999 y 2005 respectivamente. Actualmente es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Sus intereses se centran en el estudio de las fuentes de alimentación conmutadas, corrección del factor de potencia y control.

Eduardo Anguiano Mendieta es alumno de 9º semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, forma parte del grupo de alumnos becarios participantes de los proyectos de investigación del Departamento de Sistemas Electrónicos.

Edgar López Delgadillo Graduado de Ingeniería en Electrónica y Sistemas de Comunicación Digital por la Universidad Autónoma de Aguascalientes en 2002. Obtuvo los grados de Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica en 2004 y 2010 respectivamente. Actualmente está adscrito al Centro de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Sus principales áreas de interés son el diseño de circuitos integrados analógicos y en modo mixto y los sistemas adaptables digitales y analógicos.