



# APAGADO FORZADO DE TIRISTORES CONMUTACIÓN COMPLEMENTARIA

LUIS LEONARDO RIVERA ABAÚNZA  
SEBASTIÁN EDUARDO CASTELLANOS

## RESÚMEN

En algunos circuitos de tiristor, el voltaje de entrada es de CD, para desactivar al tiristor, la corriente en sentido directo del tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional conocido como circuito de conmutación. Esta técnica se conoce como conmutación forzada y por lo común se aplica en los convertidores de CD/CD (pulsadores) y en convertidores de CD/CA (inversores). La conmutación forzada de un tiristor se puede lograr de siete maneras diferentes, que pueden clasificarse como:

- Auto conmutación
- Conmutación por impulso
- Conmutación por pulso resonante
- Conmutación complementaria
- Conmutación por pulso externo
- Conmutación del lado de la carga
- Conmutación del lado de la línea

Esta clasificación de las conmutaciones forzadas se basa en la disposición de los componentes del circuito de conmutación y en la forma en que la corriente de un tiristor se fuerza a cero. El circuito de conmutación está formado por lo general de un capacitor, un inductor y uno o más tiristores y/o diodos.

## ABSTRACT

*In some thyristor circuits, in-voltage is dc to turn-off the thyristor the current on direct way to the thyristor is pushed to pass through zero using an additional circuit known as switching (toggle) circuit. This technics is*

*known as forced switching (toggle) and is commonly applied to dc/dc and dc/ca converters. The forced switching of a thyristor its can be reached by seven differents ways, such as:*

- *Autoswitching.*
- *Switching by pushing.*
- *Resonant pulse switch.*
- *Complementary switching.*
- *External pulse switching.*
- *Load-side switching.*
- *Line-side switching.*

*This switching clasifications is based on the components placing of the switching circuit and, besides, in the way that current is forced to zero on a thyristor. The switching circuit is composed for a capacitor, an inductor and one or more thyristor or diodes generally.*

*Keywords: SCR, tiristor, circuito complementario.*

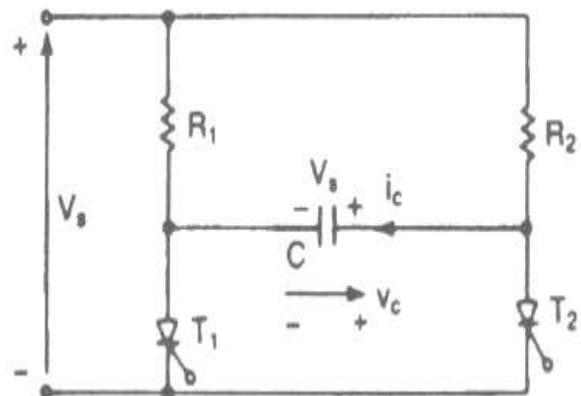
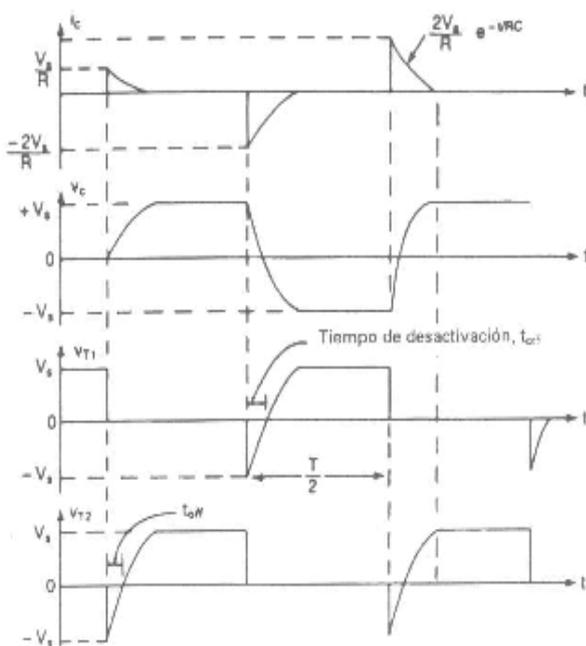


FIGURA 1. Circuito de conmutación

## CONMUTACIÓN COMPLEMENTARIA Y APAGADO FORZADO DE TIRISTORES

La conmutación complementaria se utiliza para transferir corriente entre dos cargas; una disposición como ésta aparece en la figura 1. El disparo de un tiristor conmuta a otro.

Cuando se dispara el tiristor  $T_1$ , la carga con  $R_1$  se conecta al voltaje de alimentación,  $V_s$ , y al mismo tiempo se carga el capacitor  $C$  hasta  $V_s$ , a través de la otra carga con  $R_2$ . La polaridad del capacitor  $C$  es como la que aparece en la figura 1. Cuando se conecta el tiristor  $T_2$ , el capacitor queda colocado a través del tiristor  $T_1$  y la carga con  $R_2$  se conecta al voltaje de alimentación,  $V_s$ .  $T_1$  adquiere polarización inversa y se desactiva mediante la conmutación por impulso. Una vez desactivado el tiristor  $T_1$ , el voltaje del capacitor se invierte a  $-V_s$  a través de  $R_1$ ,  $T_2$  y la alimentación. Si el tiristor  $T_1$  se vuelve a disparar, el tiristor  $T_2$  se desactiva y el ciclo se repite. Por lo general, los dos tiristores conducen con iguales intervalos de tiempo. Las formas de onda de los voltajes y las corrientes aparecen en la figura 2 para  $R_1=R_2=R$ . Ya que cada tiristor se desconecta debido a la conmutación por impulso, este tipo de conmutación a veces se conoce como conmutación complementaria por impulso.



**FIGURA 2.** Formas de onda.

En la presente práctica nos pusimos como objetivos los siguientes puntos:

- Verificar de manera experimental en el laboratorio la aplicación del apagado forzado para la conmutación de tiristores en circuitos de corriente directa.
- Diseñar e implementar el sistema de gobierno de tiristores adecuado para realizar el control manual o adecuar control automático sobre el rectificador monofásico semicontrolado.
- Fortalecer la habilidad en el diseño e implementación de circuitos de control lógico para electrónica de potencia y drivers de disparo.

Para realizar la práctica y cumplir con los objetivos propuestos se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Implementación del circuito de conmutación complementaria de tiristores (apagado forzado), usando como resistencia bombillos de 220V/200W.
- La fuente de tensión de corriente directa  $V_{in}$  se obtuvo a partir de la rectificación directa de la tensión de red de 120V/60Hz con filtro capacitivo.
- El capacitor de conmutación  $C$ , se determinó para una condición de uso de potencia, no polar.

Además se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones de funcionamiento:

- Las cargas (bombillos) debían alternar con frecuencia variable entre un segundo y diez segundos. La variabilidad se debía obtener mediante el uso de un potenciómetro en el circuito de control.
- La lógica de control debía usar circuitos integrados CD4027 y CD4047, para la potencia.
- El circuito debía generar su propia fuente de alimentación para la lógica de control usando para ello un diodo

tener de potencia adecuada para la aplicación.

## MATERIALES

Para llevar a cabo la práctica se utilizaron los siguientes materiales:

- Resistencias de diferentes valores.
- Capacitares para filtrado y no polar.
- CD4047
- CD4027
- Transistores 2N2222
- Potenciómetros
- SCRs (TYN612)
- Puente de diodos de potencia.
- Zéner.
- Regulador LM317.
- Bombillos
- Aislador de tierra
- Cable de potencia
- Alambre
- Protoboard
- Osciloscopio
- Puntas

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Lo primero en el diseño de nuestro circuito fue el puente de diodos conectado directamente a la red y con un capacitor de filtrado en paralelo, además un diodo zéner y un arreglo de resistencias para adecuarlo a un voltaje útil para suministrarle al regulador y luego para la alimentación de las siguientes etapas como  $V_{cc}$ .

Utilizamos un puente rectificador que nos ofrecía hasta 150 Vdc, y luego de la salida del diodo zéner nos ofrecía un voltaje de 10V, lo cuál era suficiente para alimentar los subsiguientes circuitos.

El circuito se montó con un zéner de 9.1 y un LM317, como se ve en la figura 3.

Para obtener los valores de los componentes de este circuito usamos los siguientes cálculos:

$$R = \frac{(V_{in} - V_{sal})}{I_{total} + I_{zener}}$$

$$R = \frac{(170 - 9.1)}{23mA + 5mA}$$

$$R = 5746\Omega$$

$$Potencia \Rightarrow P = I^2 * R$$

$$P = (28mA)^2 * 5746$$

$$P = 4.5W$$

Para lograr la resistencia de la potencia necesaria implementamos un arreglo de las mismas en serie hasta lograr los valores de potencia y óhmios. La corriente zéner la obtuvimos del datasheet y la del circuito de control la medimos alimentando al mismo de la fuente y midiendo la corriente total.

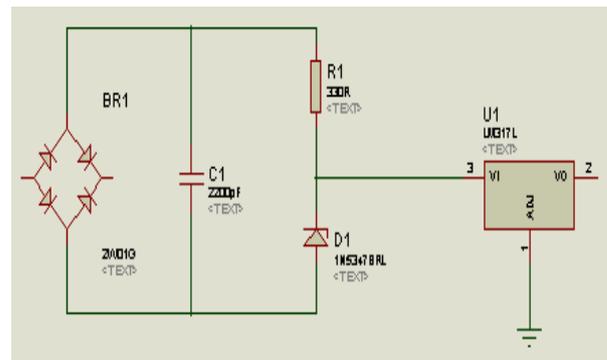


FIGURA 3. Circuito de la fuente.

Posterior a este se montó el circuito de control para los SCR, que constaba de flip-flops tipo JK y D, potenciómetro, capacitares y que iban directamente al driver de potencia, como se ve en la figura 4.

Para el circuito de control obtuvimos los valores del capacitor y la resistencia para un tiempo de 10s. de la siguiente manera:

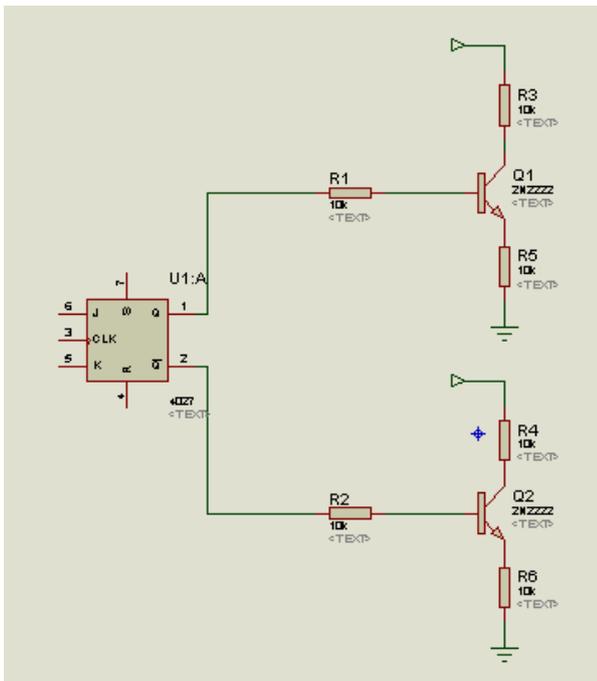
$$t = 3 * C * R$$

$$t = 3 * 2200 pF * R$$

$$R = \frac{10s}{3 * 2200 pF}$$

$$R = 1515.15\Omega$$

$$R_{variable} = 100k\Omega$$



**FIGURA 4.** Circuito de control y driver.

Con el tiempo definido y teniendo un capacitor para la potencia necesaria, procedimos a buscar la resistencia. El procedimiento fue utilizar un potenciómetro para ubicar el valor de la resistencia en los puntos máximo y mínimo, luego ubicamos el valor de la máxima resistencia, que es el del mayor duty, y en paralelo con ésta pusimos un potenciómetro que nos permitiera mediante la utilización de toda su excursión, variar el duty cycle a nuestra señal de control. La forma la obtuvimos del dataste del integrado.

Para la siguiente etapa utilizamos los mismos cálculos usados en el laboratorio previo y que fueron los siguientes:

$$\frac{V_{cc}}{4} = V_{ce}$$

$$r_{iz} = \frac{V_g}{0.1 * I_g}$$

$$10 * I_e = I_g$$

$$I_g(10\%) = I_e$$

Al observar el datasheet del SCR, observamos los siguientes valores que nos permitieron realizar el diseño de esta etapa:

*TYN612*

$I_g = 0.2 - 15mA$

$V_g = 0.8V(máx)$

Con estos datos tomamos un valor medio de voltaje y de corriente y encontramos la impedancia del SCR para llevar a cabo el diseño de la salida del driver.

$I_g = 7mA$

$V_g = 0.65V$

$$Z_g = \frac{V_g}{I_g} = \frac{0.65}{7mA}$$

$Z_g = 92.85\Omega$

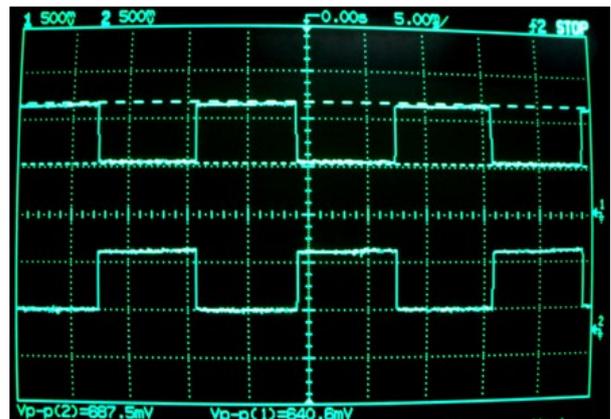
$r = 0.05$

$RB2 = 1K\Omega$

$RC2 = 22K\Omega$

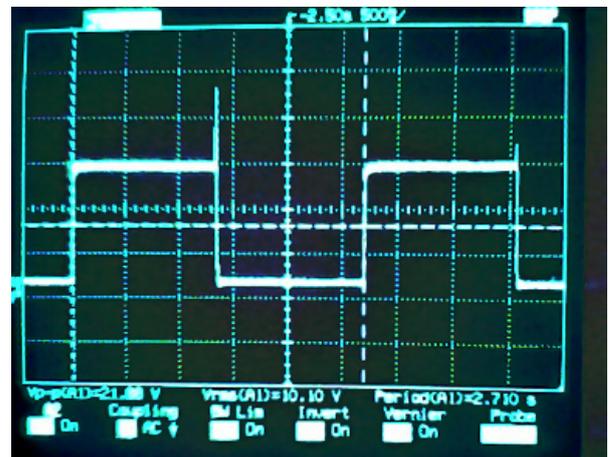
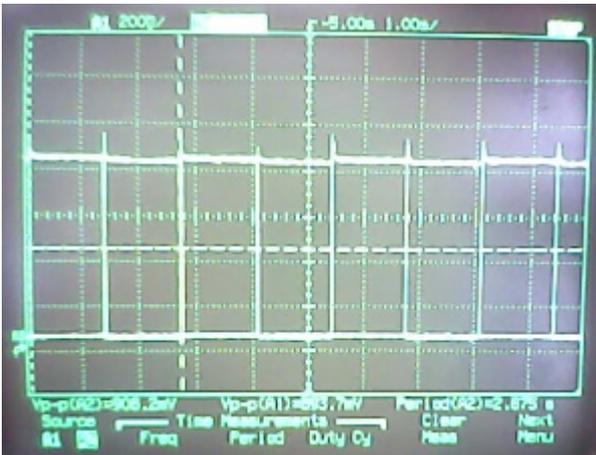
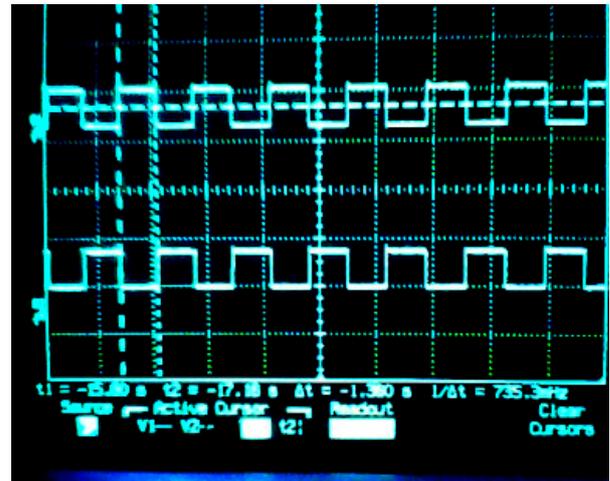
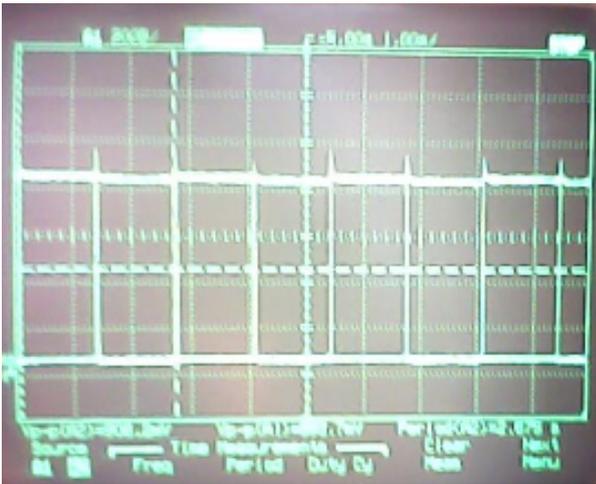
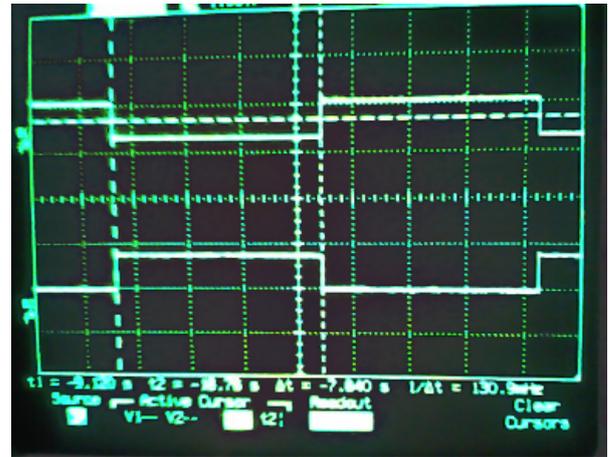
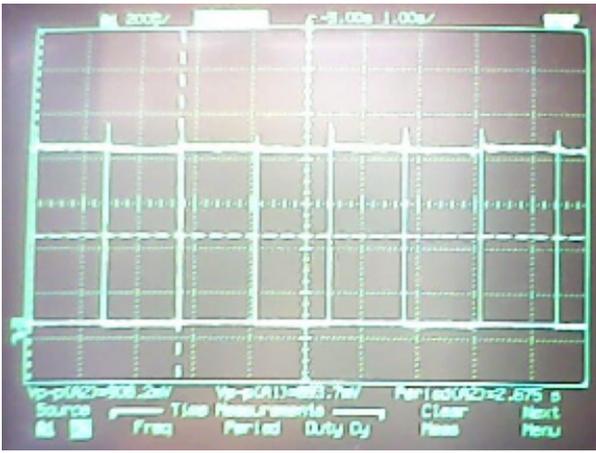
$RE2 = 2.2K\Omega$

El cambio respecto al nuevo diseño fue incrementar en 330 ohmios la resistencia de emisor para aumentar levemente el voltaje para el disparo.



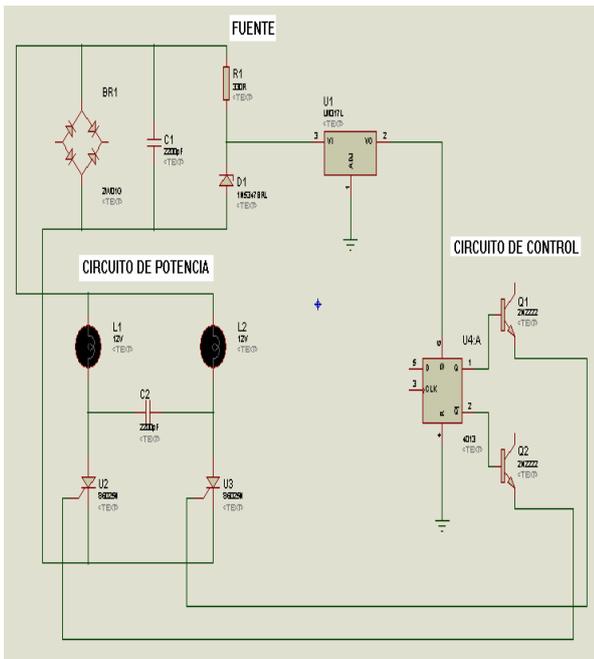
**FIGURA 5.** Salida del circuito de control.

Finalmente El circuito total quedaba montado como se muestra en la figura12, aunque es un diagrama general y no constan todos los componentes que ya se enumeraron y explicaron anteriormente.



**FIGURAS 6-7-8.** Señales observadas en el osciloscopio a la salida de los tiristores. Se pueden apreciar las amplitudes, la conmutación y los picos en cada cambio.

**FIGURAS 9-10-11.** Señales sobre la carga con los picos de corriente y las señales de conmutación.



**FIGURA 12.** Circuito montado.

## OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Pudimos observar el cambio de disparo en el circuito de los bombillos gobernado por los pulsos mandados por el flip-flop utilizado mediante la variación en la excursión del potenciómetro y su cambio en amplitud en cada una de las etapas del montaje, notando el comportamiento con y sin carga y con y sin fuente. También observamos la variación en el ancho del pulso mediante el uso del potenciómetro pero esta variación siempre fue simétrica, igual el tiempo en alto que en bajo y el tiempo de uno en alto era igual al del otro en bajo.

Se nos presentaron problemas al momento de trabajar con la fuente del zéner puesto que no nos brindaba el voltaje exactamente con los mismos componentes de amplitud y rizado del que nos brindaba la fuente, pero con algunos arreglos de resistencias y un capacitor se corrigió fácilmente.

Pudimos observar los picos de corriente cuando hay cambios o conmutación en el circuito, aunque no lo pudimos medir claramente para confrontarlo con lo visto en clase.

De acuerdo a las curvas características de los componentes y a su comportamiento tuvimos que adaptar algunos de los elementos complementarios de los circuitos como resistencias y capacitores para obtener el resultado deseado.

Se utilizó simplemente un flip-flop, ya que no hubo necesidad de invertir señales ni negarlas. Con las salidas normal y negadas del integrado y trabajando en modo astable se pudo ahorrar en dispositivos y en dinero, además del espacio en la protoboard.

El ruido que se observa en las señales sobre la carga son debidas al capacitor no polar en su carga y descarga.

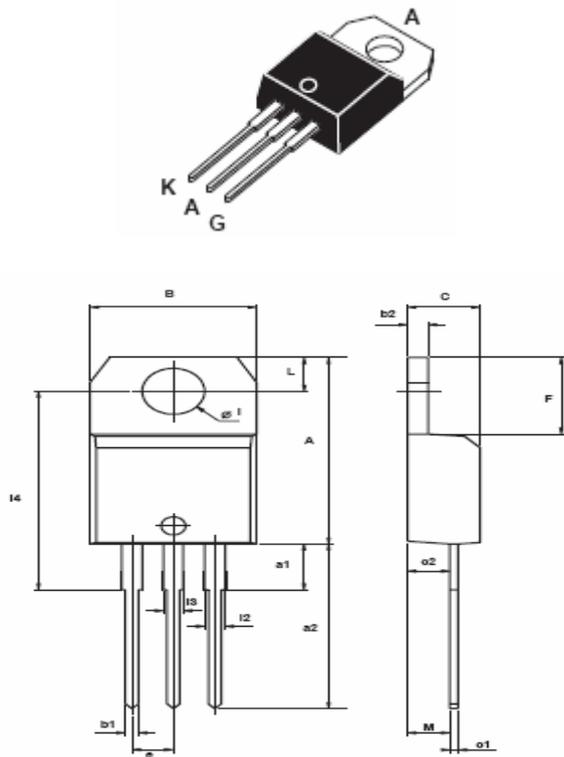


**LUIS LEONARDO RIVERA ABAÚNZA.** Universidad de Ibagué. Programa de Ingeniería Electrónica. Semestre VIII.

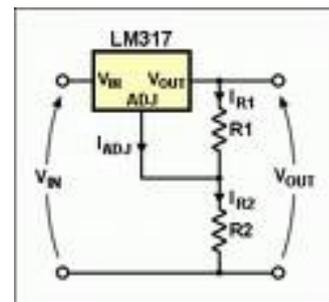
**SEBASTIÁN CASTELLANOS.**  
 Universidad de Ibagué. Programa de  
 ingeniería electrónica. Semestre VIII.

**ANEXOS.**

**ALGUNOS ELEMENTOS USADOS EN  
 EL MONTAJE**



**SCR- TYN612**



**LM 317 Y CONFIGURACIÓN**



**ZÉNER 9.1**

