

# PRÁCTICAS PROFESIONALES SUPERVISADAS



**Universidad Nacional de Tucumán**

**Informe:** *Plaqueta Universal de Disparo para Puentes  
Rectificadores con Tiristores*

**Año:** 2015

**Alumno:** Pasutti, Damián Esteban

**Empresa:** SECAR Ing. Eléctrica SRL

- **Objetivo:**

El objetivo del trabajo a realizar es el diseño y armando de una plaqueta que sirva para controlar el ángulo de disparo de tiristores en puentes rectificadores, monofásicos o trifásicos.

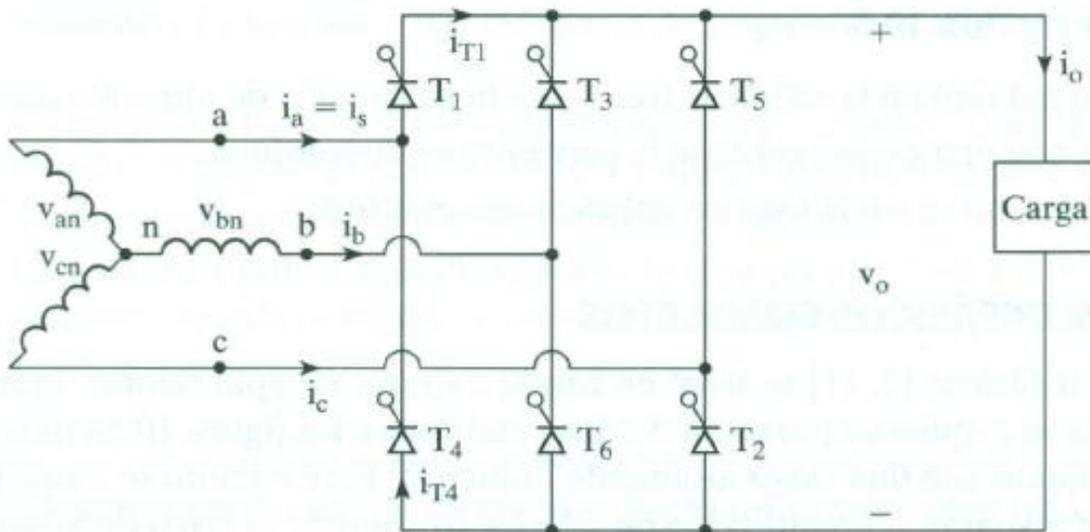
Por la forma que adoptará finalmente la plaqueta, podrá ser utilizada en cualquier configuración de rectificador (semicontrolado, completamente controlado, etc.), teniendo en cuenta que el diseño constará con 3 circuitos de sincronismo para cada una de las fases de la red.

La misma podría utilizarse en un futuro para realizar control de CA, pero el diseño final, es para puentes rectificadores o convertidores de CA/CD.

- **Desarrollo:**

En primera instancia, antes de empezar con el diseño circuital, se debe saber cuál es la configuración que requiere más salidas de control de disparo y qué entradas de sincronismo se necesitan, de manera tal que partiendo de ella, sirva para los distintos tipos de rectificadores que utilizan menos salidas de control de disparo.

La configuración mencionada es la del *Puente Rectificador Trifásico Completamente Controlado*, donde se necesita controlar los disparos de 6 tiristores distintos, en donde cada par de tiristores se conecta a una fase, como se ve en la siguiente figura.



Los ensayos que se realizarán posteriormente son a tensión reducida. Se utilizan 3 transformadores monofásicos de 220 V a 24 V para alimentar el puente. Cuando se realicen los ensayos, la tensión reducida también se usa para las entradas de sincronismo, a fin de obtener una aislación galvánica y proteger la placa de las tensiones de red.

Lo importante a destacar hasta este momento, es que la plaqueta debe tener 6 salidas de control, una para cada tiristor.

Como se observa en la figura anterior, cada rama de tiristores está conectada a cada una de las fases, por lo cual, nuestro circuito debe sincronizarse con las 3 fases, de manera que los tiristores superiores conducirán a un determinado ángulo durante los semiciclos positivos, mientras que los tiristores inferiores, lo harán en los semiciclos negativos.

Por lo tanto, la placa debe tener 3 entradas de sincronismo para las 3 fases, y una entrada para el neutro (centro de estrella).

Para realizar el sincronismo se utiliza el circuito integrado TCA785. El mismo, solo puede sincronizarse con una sola tensión de fase, es decir que en el diseño, se usan 3 de estos CI, uno para cada fase. En la placa, debe haber una entrada para conectar la fuente que alimenta a estos 3 circuitos de control.

Se debe diseñar un circuito de acoplamiento que permita aislar la etapa de Control de la etapa de Potencia para proteger la placa, y a su vez, este circuito debe permitir también controlar la corriente que ingresa a la compuerta de cada tiristor, para poder manejar distintos niveles de intensidad. Esto es debido a que la placa debe ser capaz de disparar tiristores que manejan corrientes mayores. La manera de conseguir esto es teniendo 6 circuitos de acoplamiento (en este caso con optoacopladores), que manejen independientemente la corriente de disparo por cada tiristor. La alimentación de estos circuitos debe ser exclusivamente para los mismos por la razón antes mencionada (aislar etapas). Observando el puente de la figura, se ve que los 3 tiristores superiores tienen sus cátodos unidos, compartiendo un punto de referencia, pero los 3 inferiores no, razón por la cual, se necesitarán de 4 fuentes para alimentar el circuito de acoplamiento (una fuente para alimentar los 3 circuitos de acoplamiento de los tiristores superiores, y una fuente para cada circuito de los tiristores inferiores). Entonces, deben construirse 4 fuentes para esta etapa, y la placa debe constar con 4 entradas separadas para cada una de estas.

Por último, el control del ángulo de disparo debe poder manejarse externamente, y para ello, se coloca una bornera de "entrada de control" en la placa, donde inicialmente se conecta un Trimpot, unido a la placa, para desplazar el ángulo.

Resumiendo, la placa debe tener las siguientes entradas y salidas:

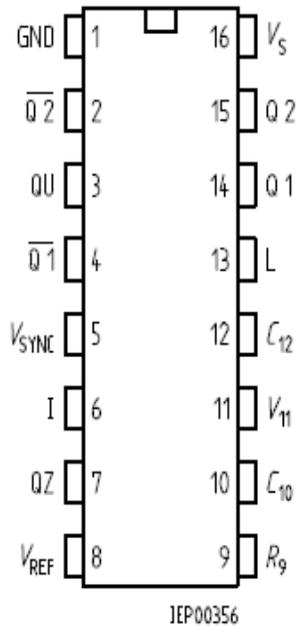
- Entradas de sincronismo para las fases R, S y T, mas entrada del neutro N.
- Entrada de alimentación para circuitos de control (+ - 12V).
- 4 Entradas de alimentación para los circuitos de acoplamiento (+ - 12V).
- 6 Salidas para controlar los disparos de cada tiristor (G y K).
- Entrada de control para ángulo de disparo (+, - y C).



A continuación se detallan algunas características del TCA785 y como es su funcionamiento básico. El resto de los datos, pueden observarse en las hojas de datos del CI que se adjuntan al informe.

### **TCA785:**

Este es un integrado diseñado específicamente para el control por fase del disparo en tiristores y triacs. Es decir, con este dispositivo se puede definir el retardo  $\alpha$  con el que se producirá el disparo del triac o tiristor después del paso por cero, y se suele usar en rectificadores, reguladores, etc. En la siguiente figura vemos la estructura externa del integrado, y la especificación de cada uno de los pines:



**Pin Configuration**  
(top view)

### **Pin Definitions and Functions**

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\overline{Q_2}$	Output 2 inverted
3	$Q_U$	Output U
4	$\overline{Q_1}$	Output 1 inverted
5	$V_{SYNC}$	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	$Q_Z$	Output Z
8	$V_{REF}$	Stabilized voltage
9	$R_9$	Ramp resistance
10	$C_{10}$	Ramp capacitance
11	$V_{11}$	Control voltage
12	$C_{12}$	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	$V_S$	Supply voltage

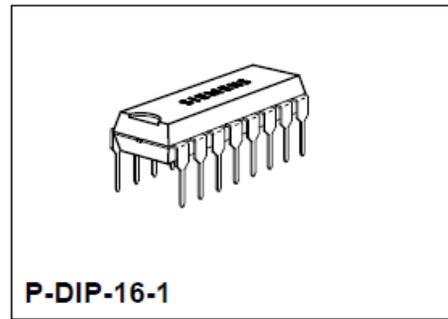
# Phase Control IC

TCA 785

Bipolar IC

## Features

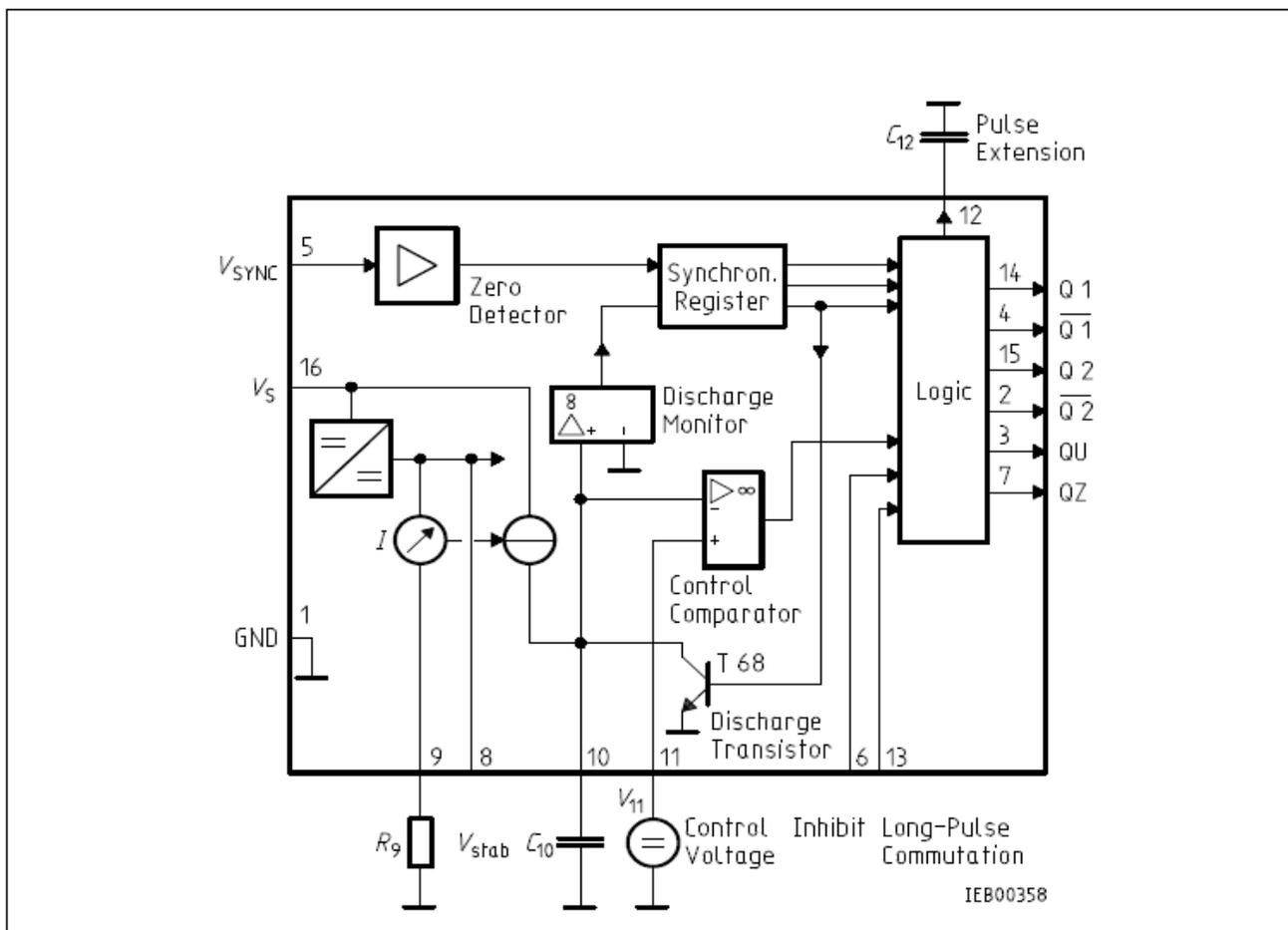
- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	P-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0 ° and 180 °. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.

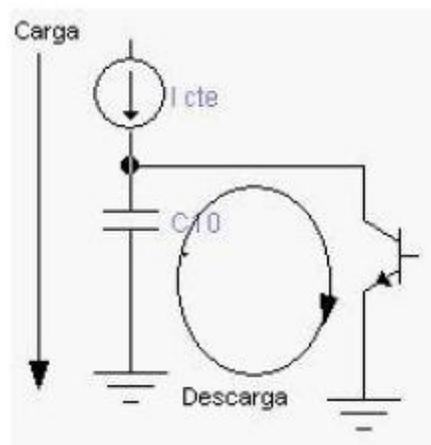


Se describen brevemente los diferentes bloques de los que está compuesto el integrado para entender mejor el funcionamiento.

Generador de diente de sierra: Normalmente siempre que tengamos una señal en diente de sierra es debido a que hay algún condensador que se carga y descarga con una corriente constante y en este caso es lo que sucede, vamos a tener un condensador que se cargara con una corriente constante (la cual podemos definir variando el valor de la resistencia R9), con lo que la tensión en bornes del condensador va a subir con una pendiente  $I/C$ , por lo tanto podemos definir la velocidad con la que la tensión en bornes del condensador varía.

$$V_c = \frac{1}{C} \int i(t) dt = \frac{1}{C} \int I dt = \frac{I \cdot t}{C}$$

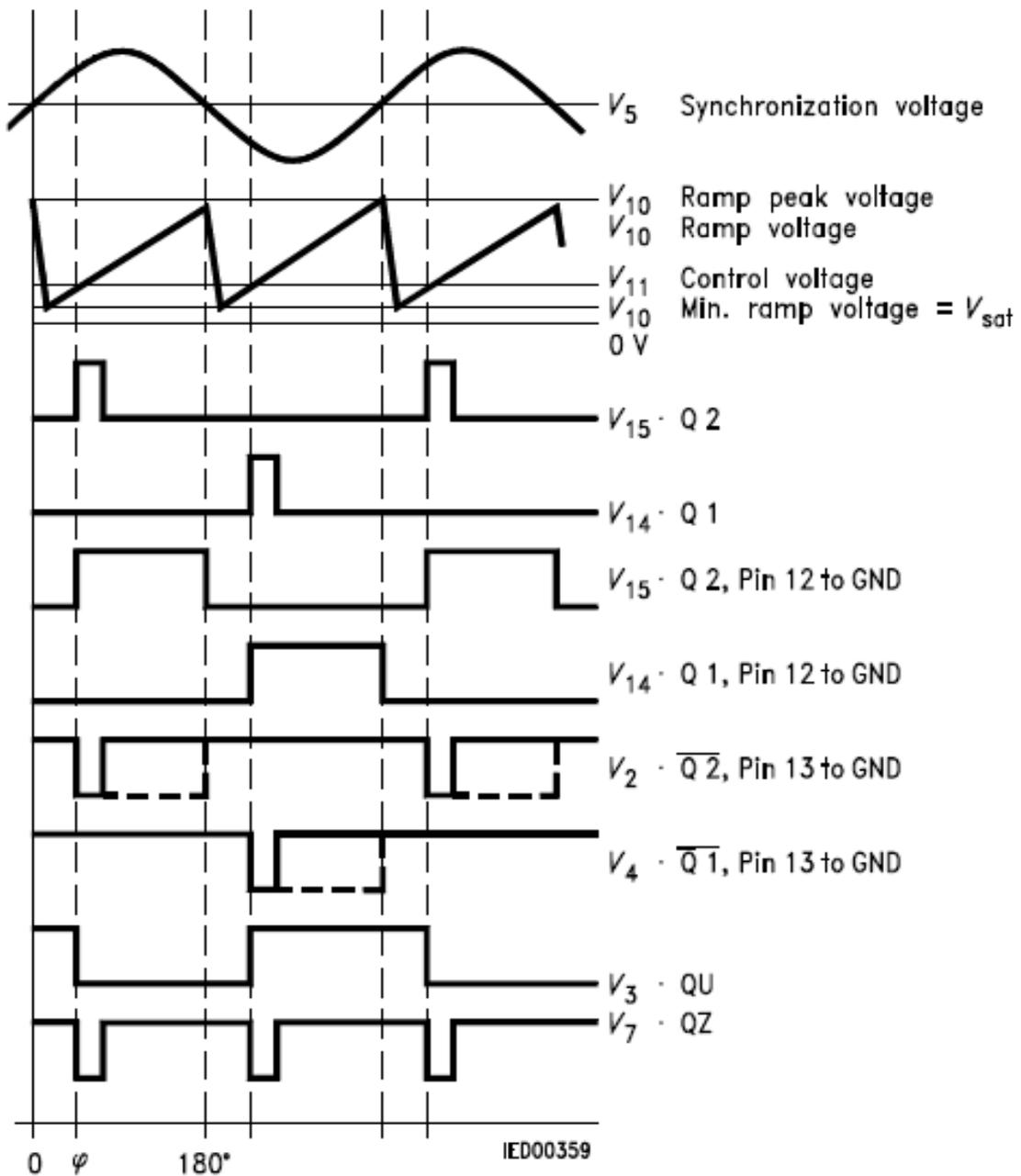
El circuito de carga y descarga del condensador lo podemos ver en la siguiente figura, como hemos dicho la corriente constante con la que se carga el condensador la definiremos nosotros mediante la resistencia R9, y la variación de la tensión en bornes del condensador la definiremos mediante la variación de la corriente constante y la capacidad del condensador que pongamos en el pin 10, sin embargo la descarga del condensador se hará de manera muy rápida a través del transistor. Por lo tanto el modo de funcionamiento es el siguiente, cuando el circuito detector de cero, detecta el paso por cero dará una señal a la base del transistor con lo que este conducirá y por lo tanto se producirá la descarga del condensador a través de este, después de pasar por cero, se quita la señal de la base del transistor con lo que este queda abierto, y el condensador volverá a empezar a cargarse, de una manera más rápida o más lenta dependiendo de los valores de R9 y el condensador puesto en el pin 10.



Comparador: Vamos a tener una tensión de control en el pin 11, la cual compararemos con la tensión que tenemos en bornes del condensador, ajustaremos los valores de R9 y C10 para que la tensión en bornes del condensador coincida con la tensión de referencia en el pin 11 en el instante que nosotros deseemos, ya que cuando ambas tensiones coincidan, es cuando se producirá el disparo.

Señales de salida: Este integrado tiene dos tipos de salidas, una que se activa en los semiciclos positivos de la red y otra salida que se activa en los semiciclos negativos. Además tiene otras

cuatro salidas que son variante de las dos anteriores, dos que son complementarias de las explicadas, y otras dos (pin 3 y pin 7) cuyas formas de señales podemos ver en la siguiente imagen.

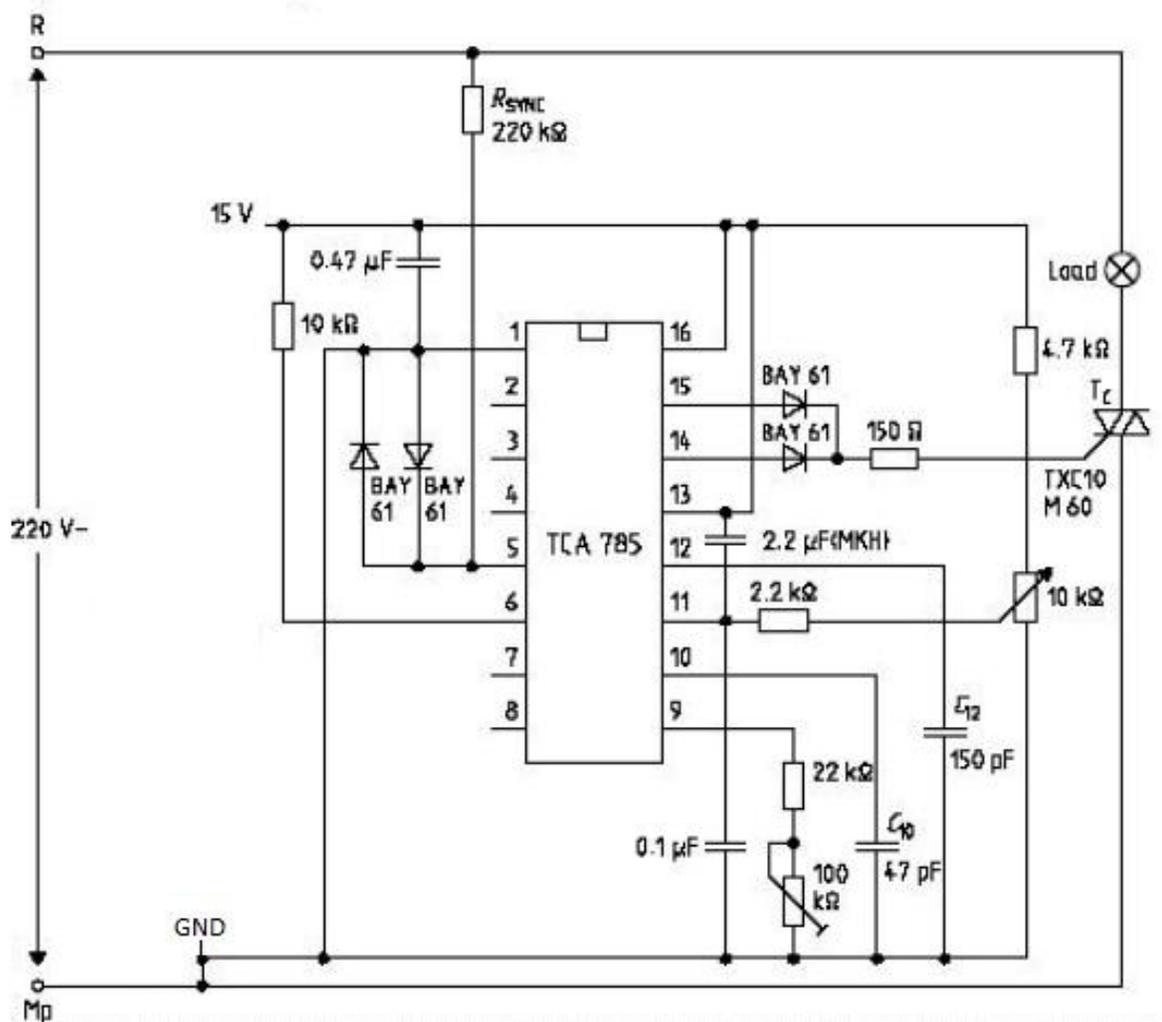


Como podemos apreciar en la imagen, vemos que los pulsos de las señales de disparo son más largos si conectamos el pin 12 a masa, en tal caso el pulso seguirá activo hasta que la señal de red vuelva a pasar por cero, incluso podríamos colocar un condensador en el pin 12 con el que podríamos controlar la duración de los pulsos de disparo.

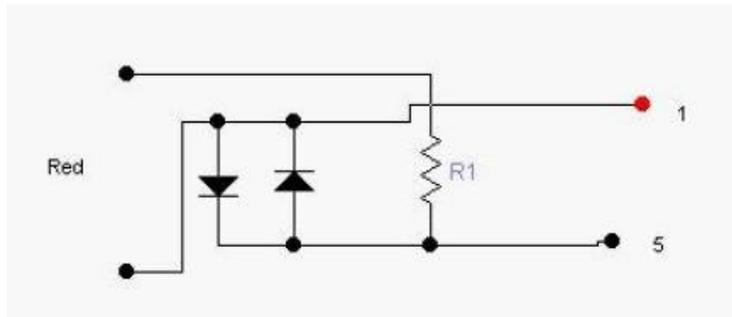
### Hoja de características:

En la hoja de características también podemos ver cierta información sobre el integrado, y vemos que la tensión de alimentación del circuito integrado puede variar entre -0.5V y 18V, pero luego vemos que los valores aconsejables varían entre 8V y 18V. Además, podemos observar cuál es la corriente máxima que tendremos en los pines de disparo, y vemos que es de 400mA. Otros datos importantes que podemos ver en las características, es la corriente con la que cargamos el condensador, ya que en las hojas de características nos dicen que esta corriente debe encontrarse entre 10 y 1000 $\mu$ A. Así como que la máxima tensión que podemos tener en los bornes del condensador es  $V_s - 2V$ , es decir, dos voltios menos que la tensión de alimentación que estemos usando para el integrado.

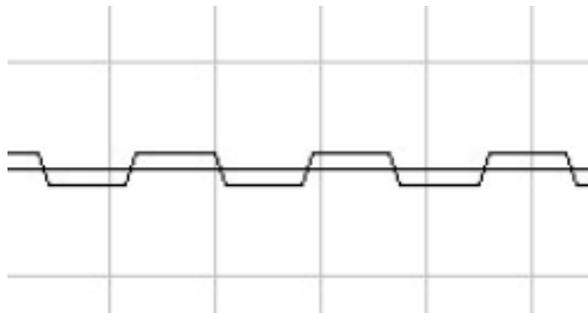
### Ejemplo de Circuito de Aplicación:



Nos debemos fijar en el circuito de sincronización, como hemos visto anteriormente la entrada de la señal de sincronización se produce por el pin 5, pero por ese pin no podemos meter directamente la señal de red, ya que quemaríamos nuestro integrado, por lo tanto, lo que se hace es poner el siguiente montaje:



Con este montaje lo que logramos es que la tensión de red caiga toda en la resistencia, menos los 0.7V que cae en el diodo que este conduciendo, de esta manera la tensión en la entrada del pin 5 serán 0.7V positivos o negativos dependiendo del semiciclo en el que se encuentre la red, por lo tanto tendremos una señal casi cuadrada que pasa de 0.7V positivos a 0.7V negativos y viceversa, que pasa por cero, que es verdaderamente lo que nos interesa, ya que la amplitud nos da igual.



Podemos comprobar que en el pin 10 tenemos el condensador que genera la señal de la rampa, la pendiente de la señal triangular la controlábamos mediante la resistencia colocada en el pin 9, que como vemos, tenemos un potenciómetro para poder ajustarla, con lo que podremos ajustar tanto la pendiente como la tensión máxima en los bornes del condensador. En el pin 12 vemos el condensador que colocamos para especificar la duración de los pulsos de salida. En el pin 11 meteremos la señal de referencia para la comparación, la cual vemos que viene de un circuito que esta alimentado a 15V y luego tenemos varias resistencias y un potenciómetro mediante el cual podemos ajustar la tensión de referencia que emplearemos.

Como vemos a la entrada del pin 11 tenemos un filtro pasa bajo con el cual se busca quitar cualquier posible ruido de la tensión de alimentación que pueda hacer que nuestra señal de referencia se vea alterada, y no se ajuste a la configuración del circuito.

Como vemos en cada una de las salidas del circuito (pin 15 y pin 14) tenemos un diodo colocado, y ambas salidas se conectan posteriormente a la puerta del triac para poder transmitir el pulso que le haga conducir a este, el uso de esos diodos es a modo de puerta OR, ya que cuando alguno de las salidas mande un pulso de activación, este se verá reflejado en la puerta del triac, y de la misma manera se evita un cortocircuito, ya que si uniríamos directamente cuando una salida este a nivel alto, la otra estará a nivel bajo, y por lo tanto se produciría un cortocircuito por lo que mediante la colocación de estos diodos impedimos dicho problema.

Esta es una aplicación básica, pero a la hora de nuestro diseño usaremos prácticamente el mismo circuito de control, con ciertas diferencias que aclararemos, sumándole un circuito de acoplamiento entre las salidas de los disparos del TCA785, y las compuertas de los tiristores.

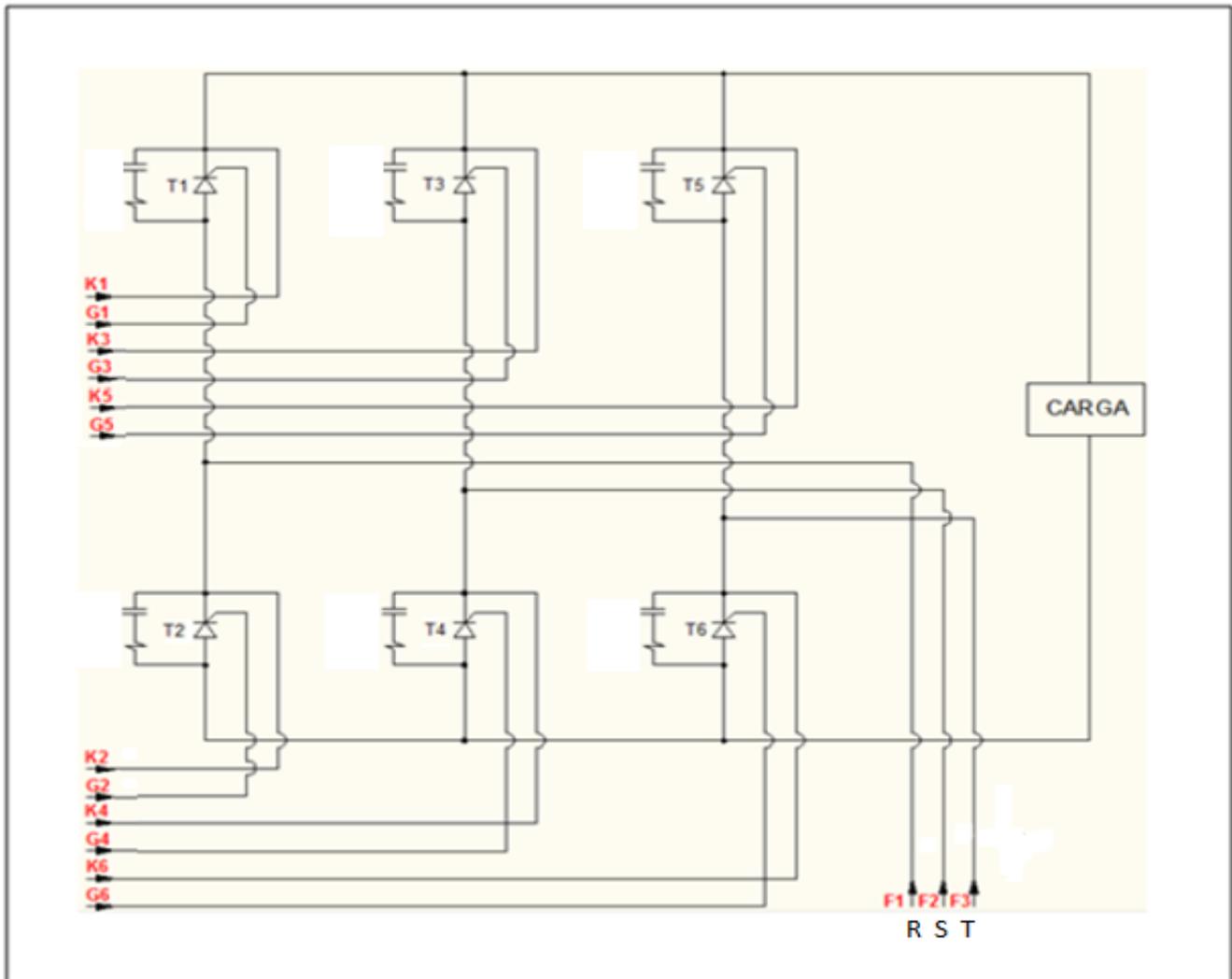
● **Diseño del Circuito:**

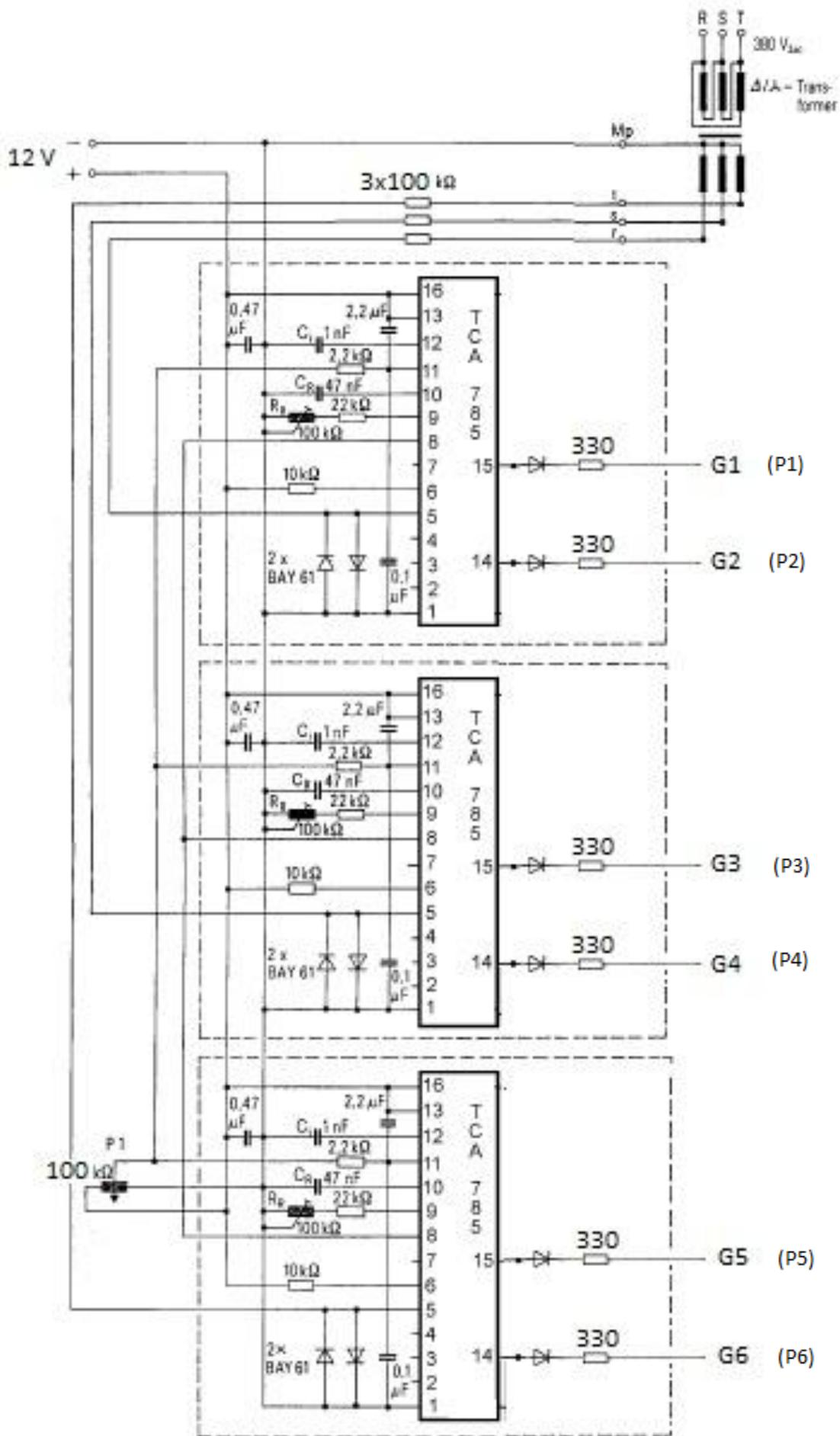
Como ya se ha mencionado, el circuito a diseñar es el de un rectificador trifásico completamente controlado, y al mismo se lo divide en 2 partes:

- Circuito de control sincronizado con cada una de las fases.
- Circuito de acoplamiento entre etapa de Control y etapa de Potencia.

Cuando se realiza el diseño de la parte de control, no se toma directamente la señal de la red para el sincronismo, sino que se utilizan transformadores de 220 V a 24 V. Con esto se logra tener una aislación galvánica entre la red y la plaqueta, lo que da un mayor grado de protección para la misma.

El diseño final de esta etapa es el siguiente, teniendo en cuenta como es el puente que controlaremos (Etapa de Potencia).





Ya a esta altura obtenemos los 6 pulsos para controlar los 3 semiciclos positivos y los 3 semiciclos negativos de las 3 fases (G1, G3 y G5, controlan el semiciclo positivo de R, S y T, mientras que G2, G4 y G6, los semiciclos negativos de R, S y T).

Por el momento nos quedemos con que se controla el ángulo de disparo de cada fase. Luego observaremos que cuando se ensaye el puente rectificador trifásico completamente controlado, las conexiones son las mismas, pero se configura de manera distinta el primario y secundario de los transformadores. Esto se hace con el fin de sincronizar de manera correcta las tensiones de línea que alimentan al puente, con las tensiones de fase que entran en la plaqueta.

Siguiendo con el diseño, ahora implementaremos la etapa de acoplamiento.

Como la plaqueta debe ser de tipo universal, las corrientes que ingresan por las compuertas de los tiristores deben variar según cuanto sea la intensidad mínima requerida para que se realice el disparo y estos empiecen a conducir. Por lo cual, el diseño debe permitir modificaciones que permitan incrementar la corriente de excitación de compuerta. Para lograr esto, usaremos optoacopladores 4N25, donde los LEDs internos de entrada de los integrados, se conectarán con cada uno de los pulsos de disparo, habilitando los transistores de salida (según sea el caso), que conduzcan las corrientes hacia las compuertas de los tiristores.

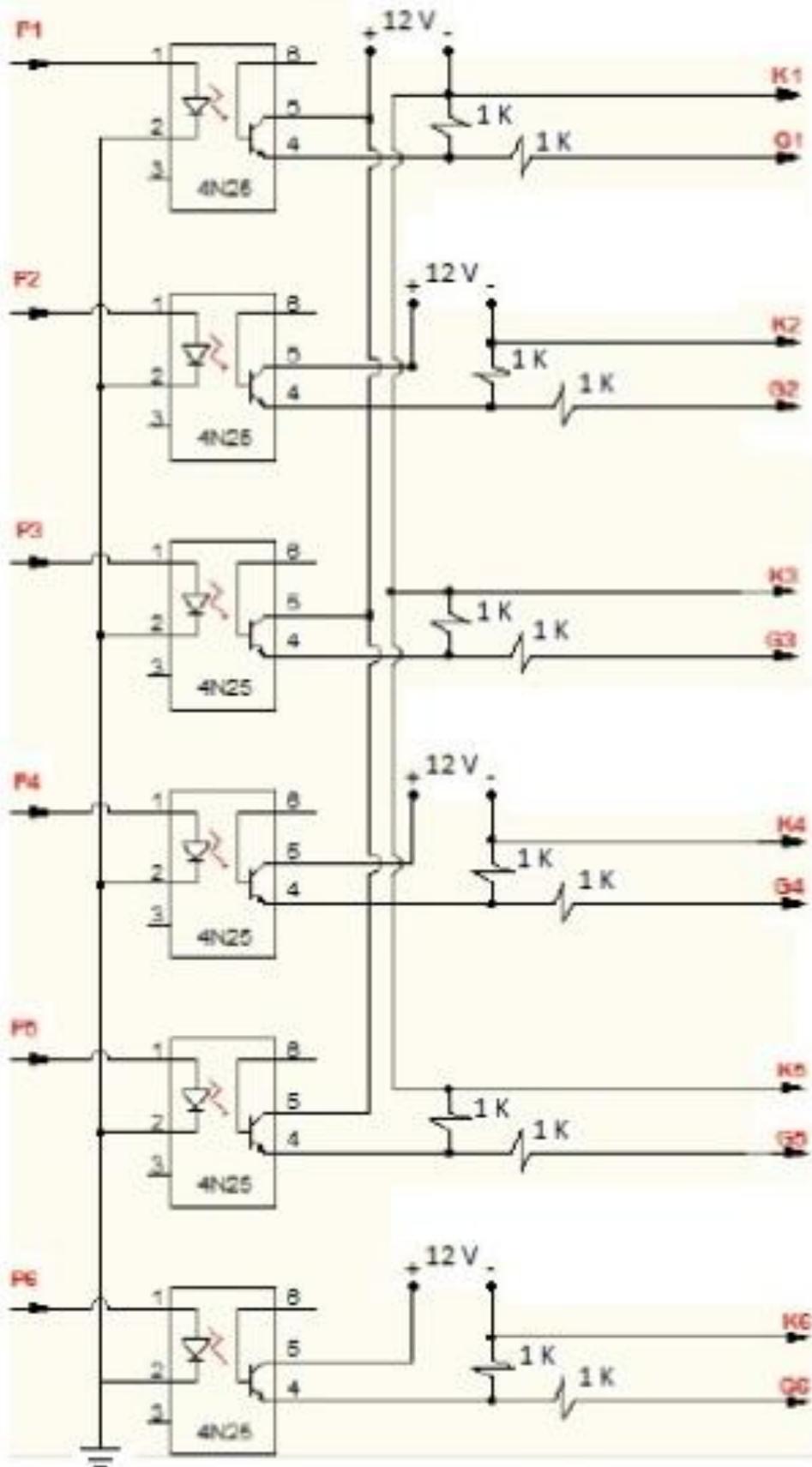
Si se observa bien la figura donde se muestra el puente (Etapa de Potencia), vemos que los 3 tiristores superiores comparten un mismo punto donde sus cátodos se conectan entre ellos, y cuando conducen comparten un mismo potencial. Pero los 3 tiristores inferiores, no pueden tener la misma referencia debido a que pondríamos en cortocircuito las fases, con lo cual, se nos presenta un problema debido a las referencias con las que excitaremos los tiristores para ponerlos en conducción. La única manera de solucionar este inconveniente es construir 4 fuentes distintas para alimentar los circuitos de disparo en la etapa de acoplamiento. Una fuente se utilizará para alimentar los circuitos que disparan los tiristores T1, T3 y T5 (rama superior), mientras que las 3 restantes, se usarán para cada uno de los circuitos de disparo de los tiristores de la rama inferior, es decir, una fuente alimentará el circuito de T2, otra el circuito de T4, y la última el circuito de T6. De esta manera, cada tiristor tiene una referencia distinta, lo que me asegurará que no habrá problemas al momento de conectar el puente.

Como los futuros ensayos se realizarán en un puente didáctico que posee la cátedra de Electrónica de Potencia, los valores de las resistencias de esta etapa se calcularán para suministrar la corriente necesaria que disparará los tiristores de dicho puente.

Luego de realizar un determinado número de mediciones y cálculos, se establecen los valores de las resistencias, obteniendo a la salida de cada circuito una corriente de 10 mA, cuando cada uno de estos, es alimentado con una fuente de 12 V.

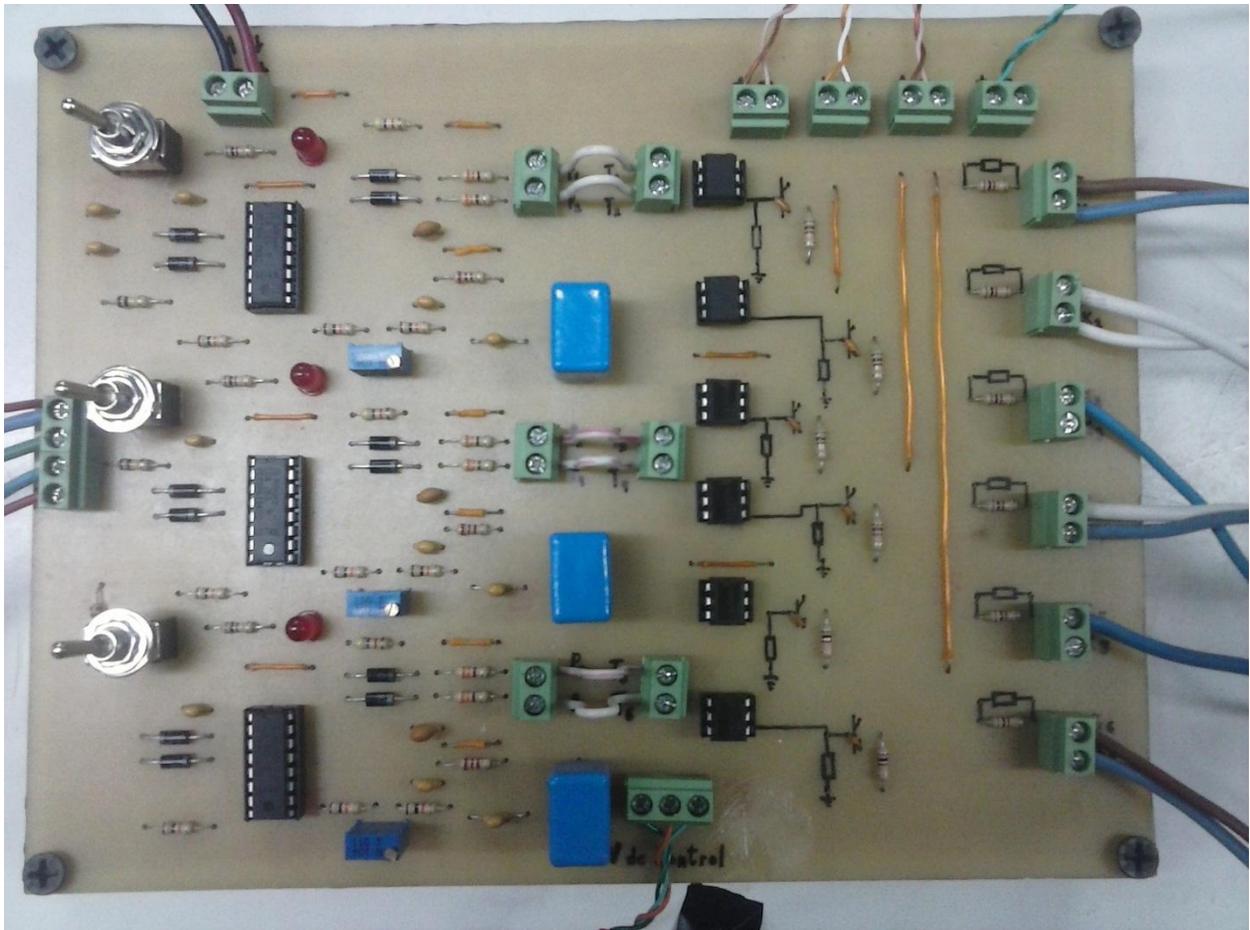
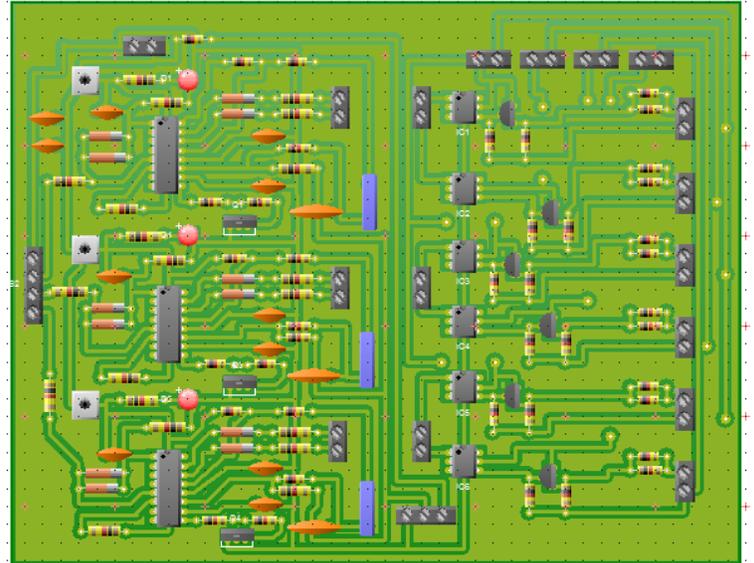
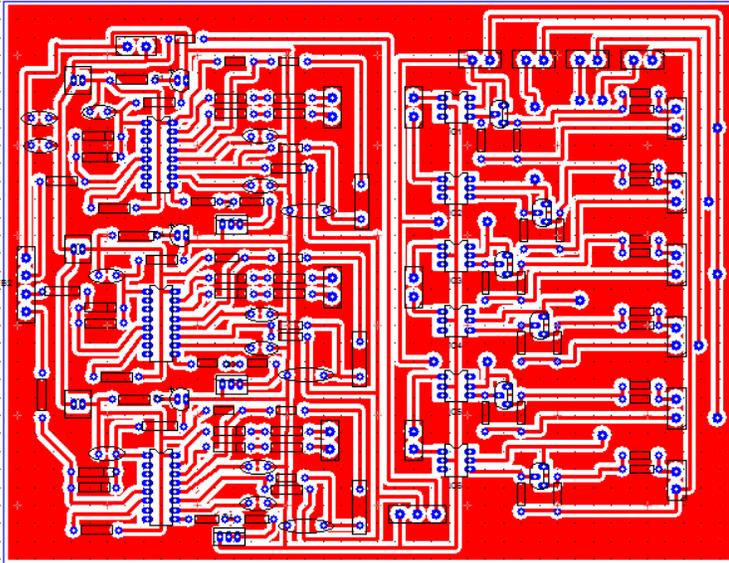
A continuación se muestra como es el diseño final de la etapa de acoplamiento.

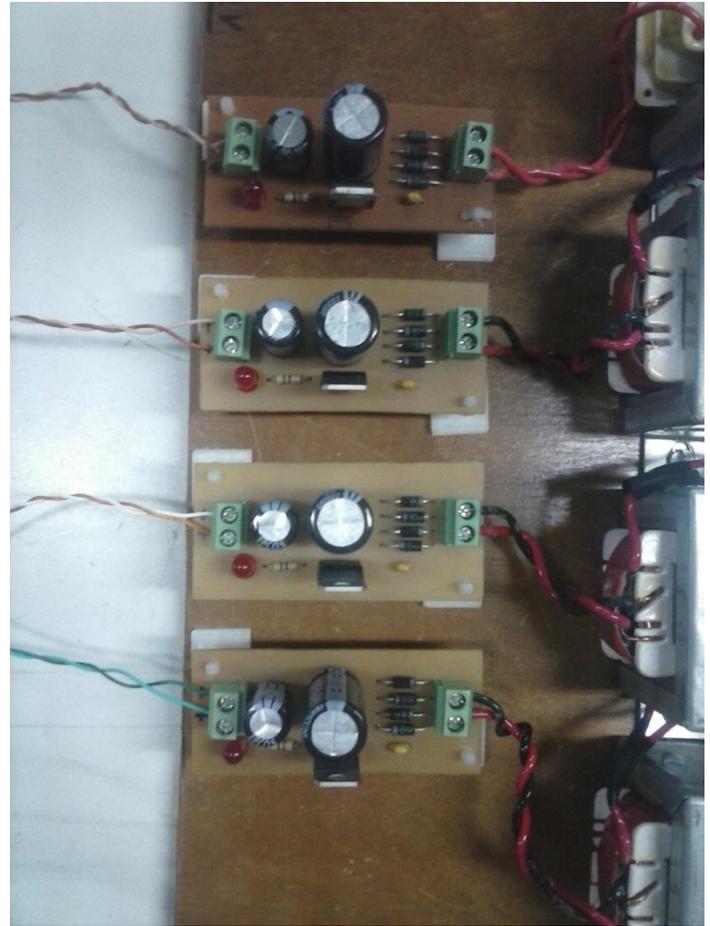
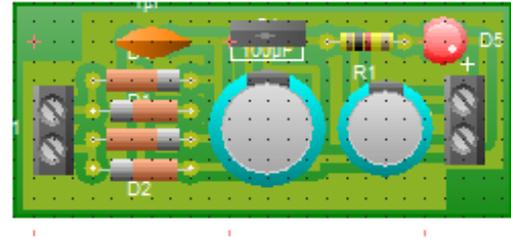
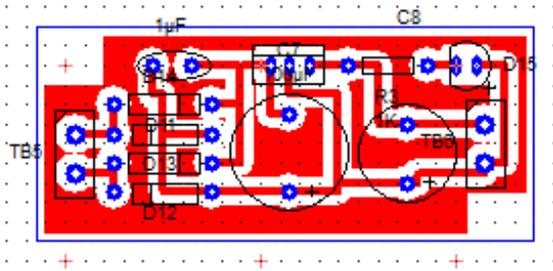
Observación: cuando se arme la plaqueta, se dejarán pistas abiertas (que estarán señalizadas), para la futura inserción de resistencias y transistores, con el fin de aumentar la corriente de disparo, si se maneja un puente de mayor potencia.



- **Armado de la Plaqueta:**

Primero se diseña el circuito con el programa PCB Wizard, para luego proceder con el armado de la plaqueta. A continuación se muestra como queda el circuito impreso conseguido, tanto de la plaqueta entera, como de las fuentes, y después, el armado final.





- **Utilización de la Placa:**

A continuación se detalló cómo deben realizarse las conexiones en los bornes de la plaqueta, desde la alimentación de la misma, las entradas de las tensiones de fase reducidas de la red (24 V) para el sincronismo, las fuentes para la etapa de acoplamiento, y finalmente, como son los bornes de salida de los disparos que se conectarán con la etapa de potencia.

Como luego se realizarán distintos ensayos con distintos tipos de rectificadores, empezaremos por mostrar los elementos que usamos para concretar las pruebas.

**Transformadores monofásicos de medición:**



Estos son los transformadores que utilizaremos para reducir la tensión de la red, con los cuales nos conectaremos al puente, y a su vez (en primera instancia), también usaremos para conectar cada fase a la plaqueta de control de disparo.

Para los ensayos realizados, tanto el primario como el secundario, se conectan en configuración de estrella.

**Puente rectificador trifásico controlado didáctico:**



Este es el puente que se usará en los ensayos.

El mismo tiene entradas para fichas bananas, donde se realizarán las distintas configuraciones.

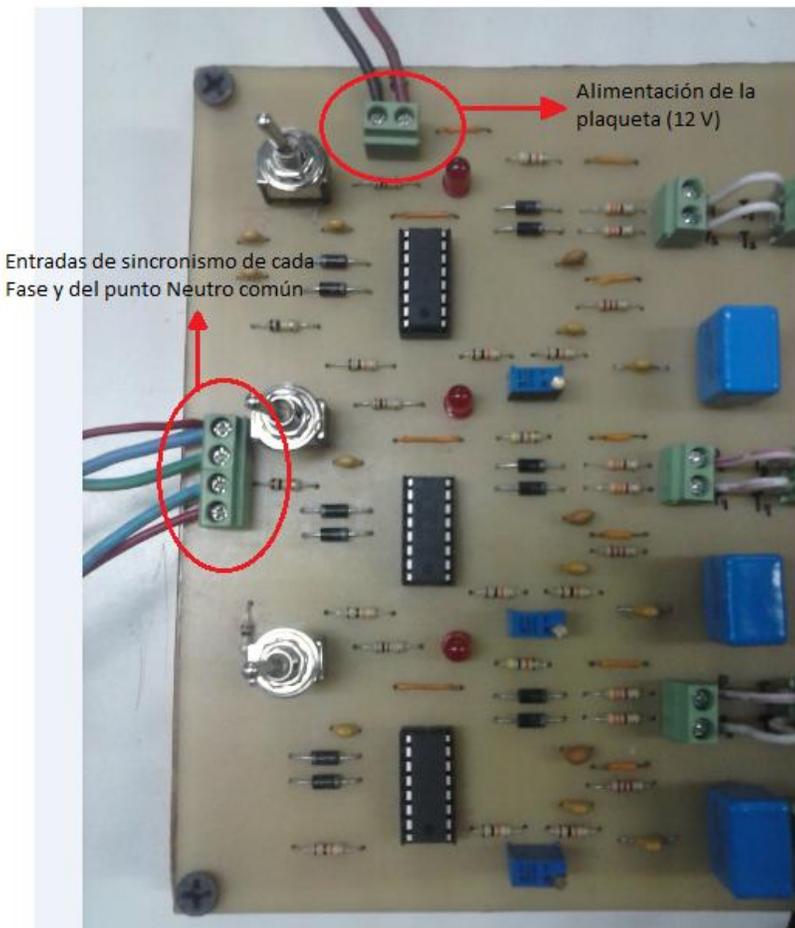
El puente posee 2 tipos de cargas para llevar a cabo las pruebas.

Una carga es puramente resistiva y la otra carga es resistiva-inductiva.

Los valores de cada una se detallan en las próximas imágenes.



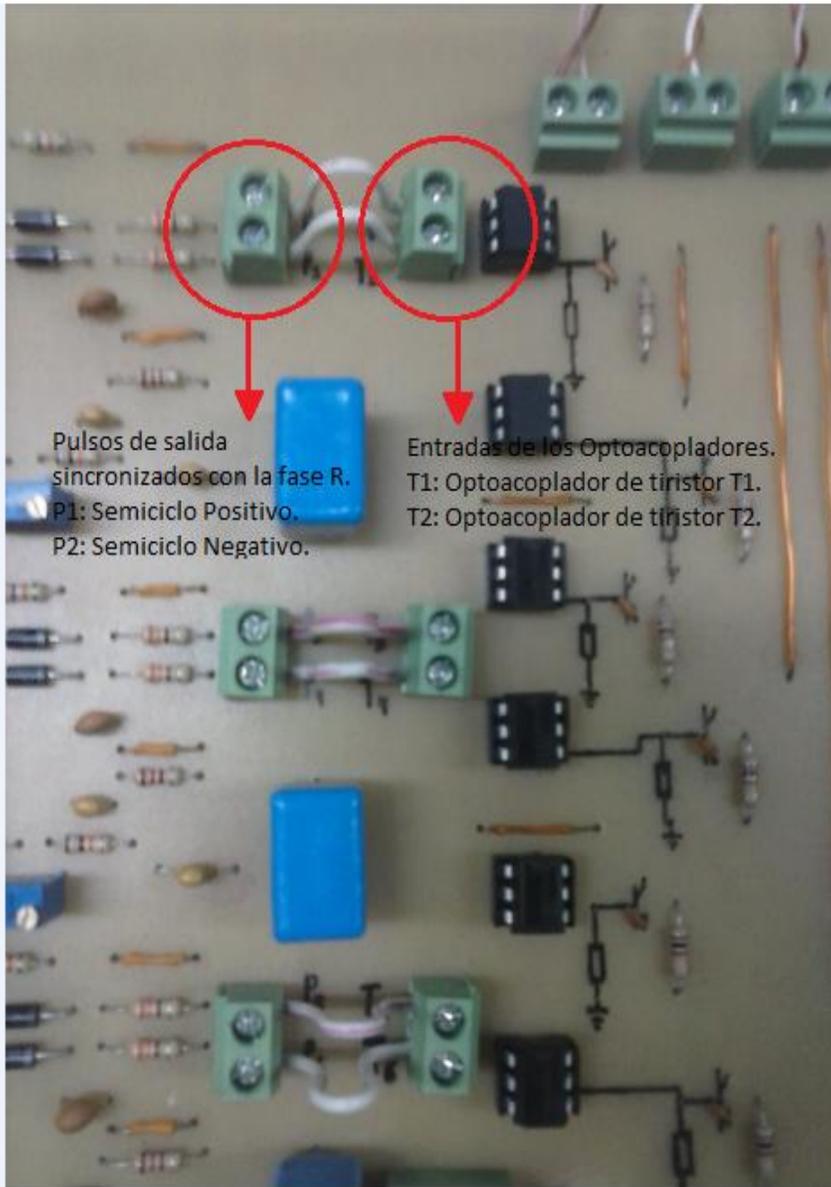
**Conexiones en la Placa:**



Es muy importante realizar bien la conexión de la alimentación en la bornera. En la plaqueta está señalado cuál es el borne positivo (+) y cuál es el negativo (-).

De igual manera, está señalado en la bornera de sincronismo donde debe conectarse el neutro, y donde cada fase (siguiendo la secuencia).

Las llaves agregadas sirven para deshabilitar cada uno de los circuitos de sincronismo, si se deseara hacerlo. El orden de cada llave, de arriba hacia abajo, es el mismo que el de la secuencia (R, S, T).



La finalidad de estas borneras, es la de poder cambiar la configuración del tipo de rectificador que se quiera implementar. Por ej., como se ve en la imagen, los puentes entre las borneras están conectados para un rectificador trifásico, ya que cada par de pulsos de cada fase se conecta a la entrada de cada optoacoplador, y se maneja cada tiristor con un solo pulso. Si se quiere realizar el control de un puente rectificador monofásico completamente controlado, con solo 2 pulsos (provenientes de una sola bornera doble de la izquierda), debo controlar 4 tiristores (2 borneras dobles de la derecha). Si el control se hace con la fase R, se debe puentear P1 con 2 entradas de los optoacopladores, y P2 con otras 2. Al estar estas borneras, el trabajo se facilita al quitar puentes de cables y agregar otros.

Siguiendo el circuito, se observa fácilmente que pulsos salen de cada bornera y cuáles son las entradas de cada optoacoplador.

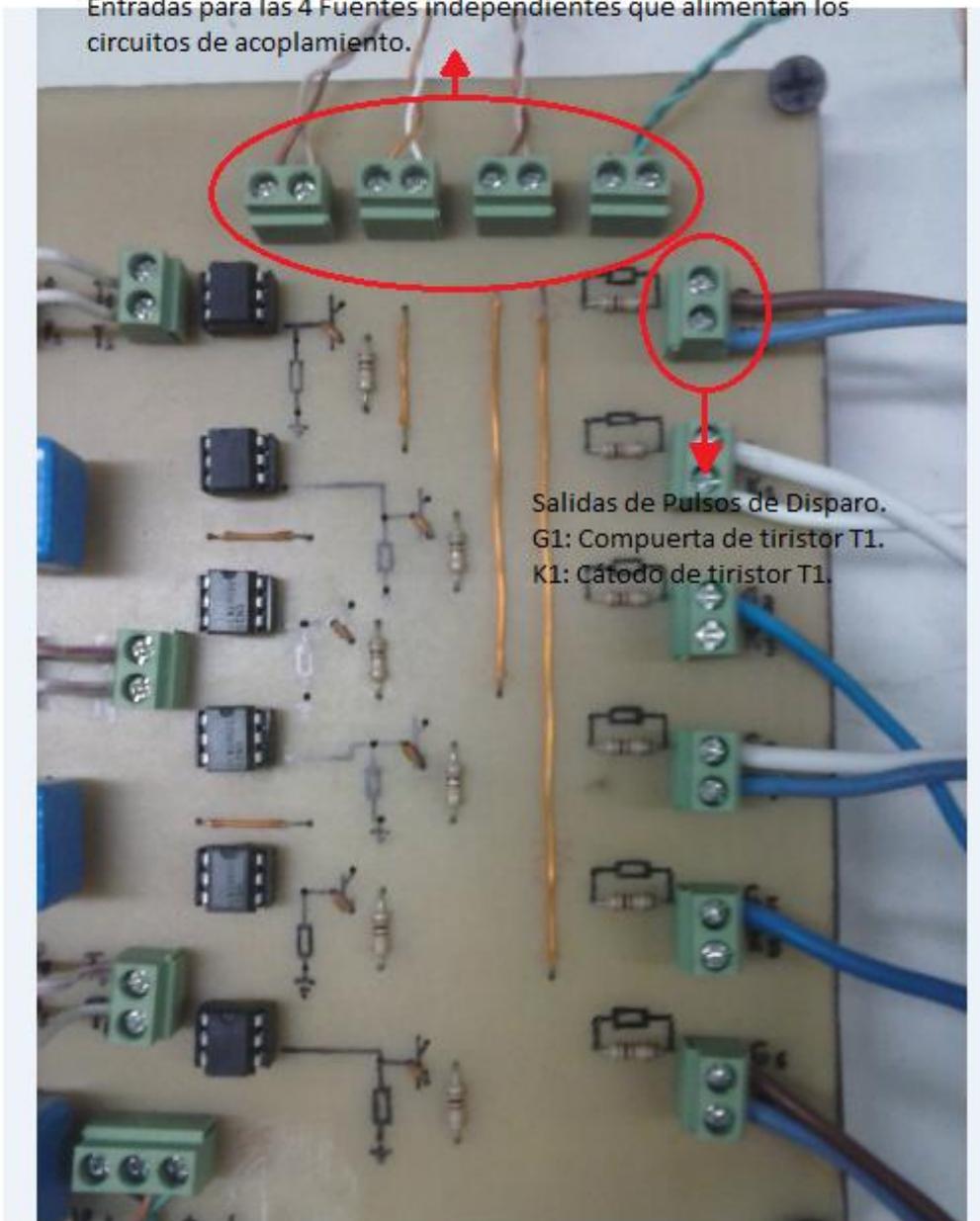
De cualquier manera, también se encuentran señalizados en la plaqueta.



Esta bornera es la de la tensión de control, con la cual se maneja el ángulo de disparo de los tiristores. El borne de la izquierda es la masa (GND) de la alimentación, y el borne derecho es +12 V. El borne central es el de referencia o control. En la plaqueta se encuentra pegado un Trimpot, conectado a esta bornera, para realizar el control del ángulo.

Desconectando los cables del Trimpot, dejamos la bornera de control accesible para realizar un control externo.

Entradas para las 4 Fuentes independientes que alimentan los circuitos de acoplamiento.



Salidas de Pulsos de Disparo.  
G1: Compuerta de tiristor T1.  
K1: Cátodo de tiristor T1.

Como se observa, las 4 borneras superiores son las de las fuentes de alimentación que mencionamos anteriormente, las cuales deben ser independientes una de otra. A estas borneras, se conectarán las 4 fuentes diseñadas y construidas para esta etapa.

Se encuentran señalizados los signos "+" y "-" de cada fuente en la plaqueta.

Cada bornera de salida viene identificada con el nombre de la compuerta y cátodo del tiristor al que corresponde.

Si quiere vérselo de otra manera, observando de arriba hacia abajo, el primer par de bornes (las 2 primeras borneras dobles), corresponden a los

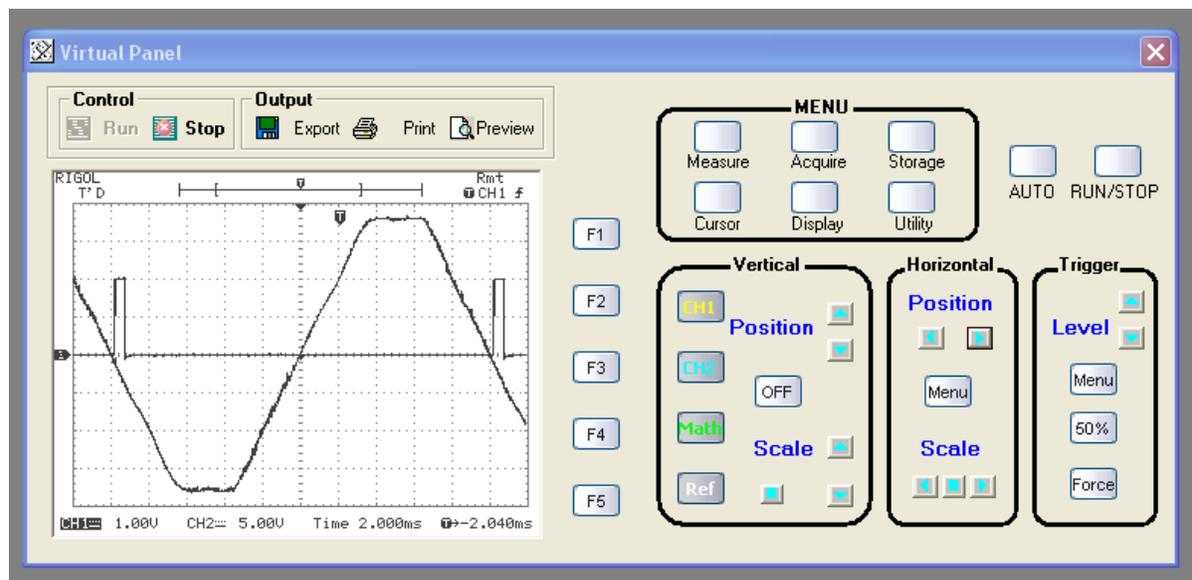
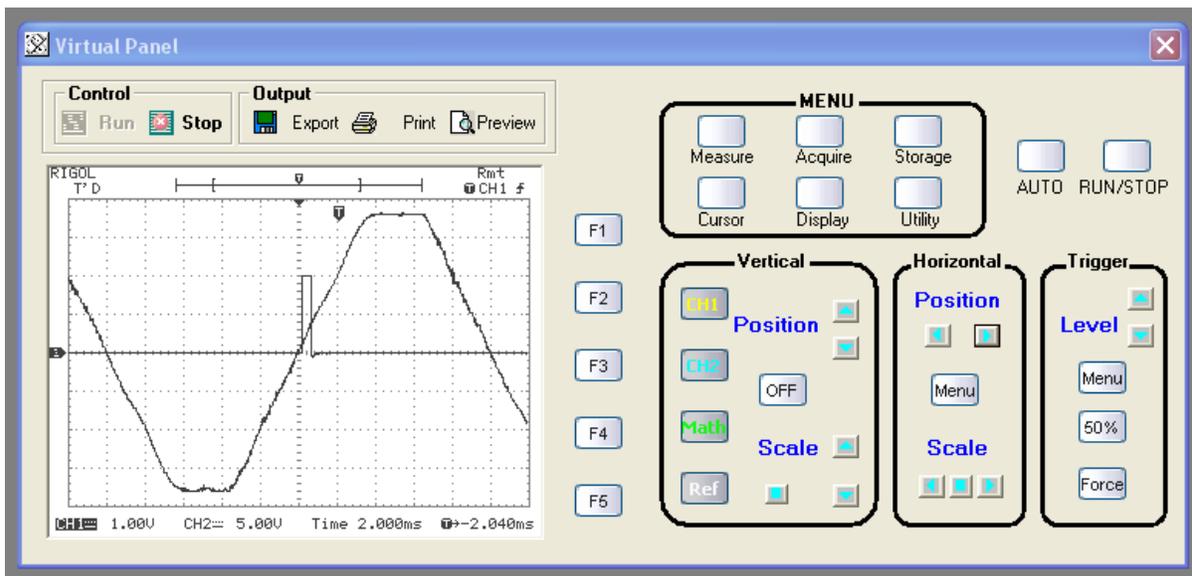
pulsos de la fase R, las siguientes 2 borneras, a los pulsos de la fase S, y las últimas 2, a los pulsos de la fase T. Esto es así, cuando los puentes que conectan las salidas de los pulsos de los TCA785 y las entradas de los optoacopladores, se conectan como se ve a la izquierda de la imagen (configuración para un rectificador trifásico).

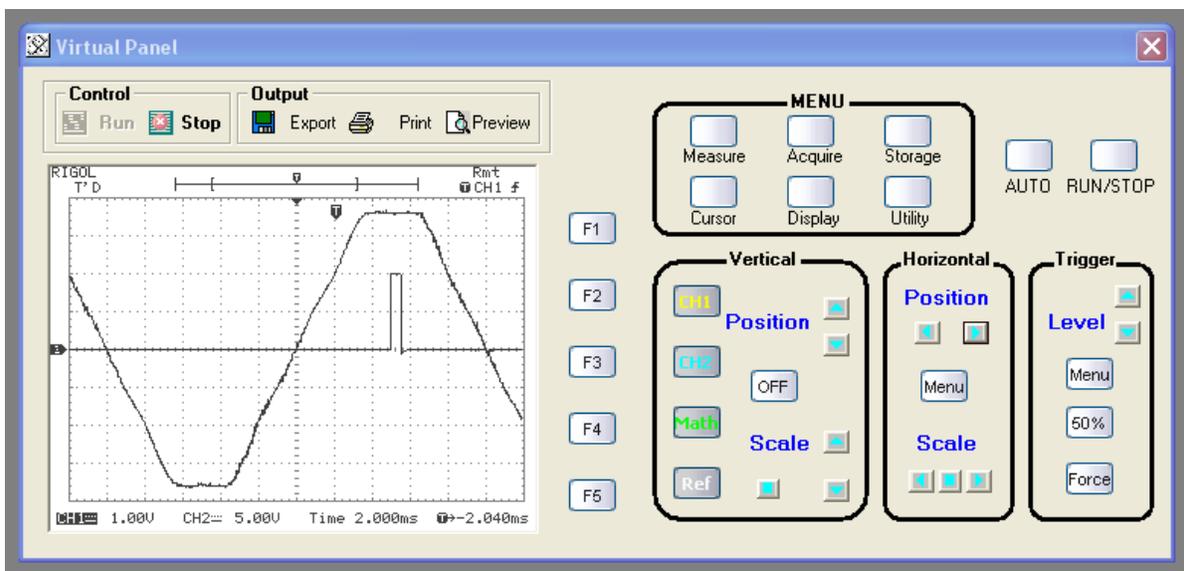
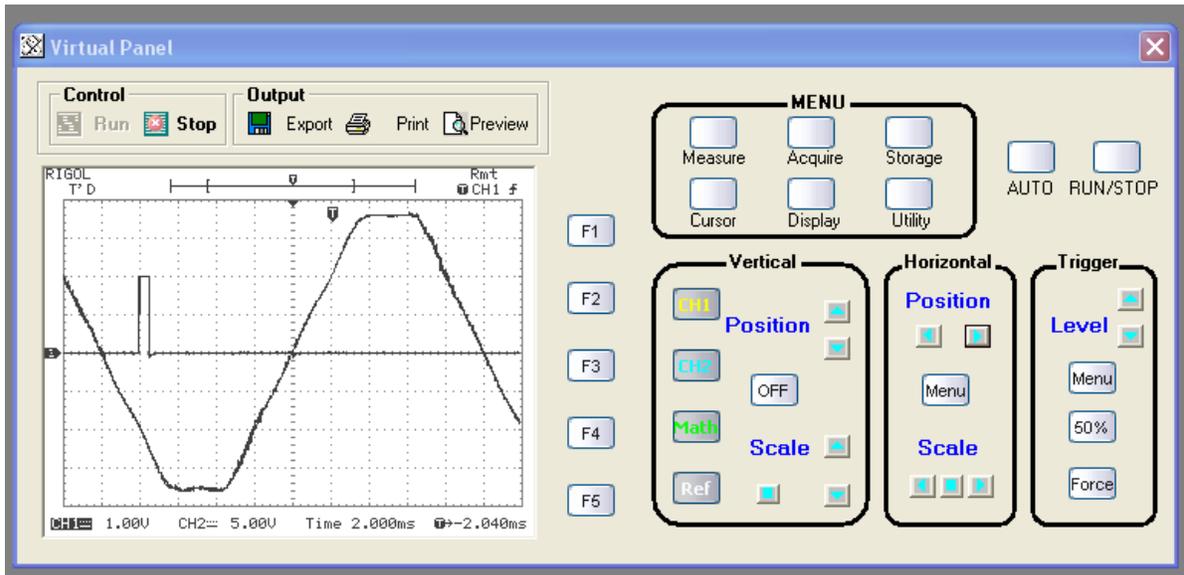
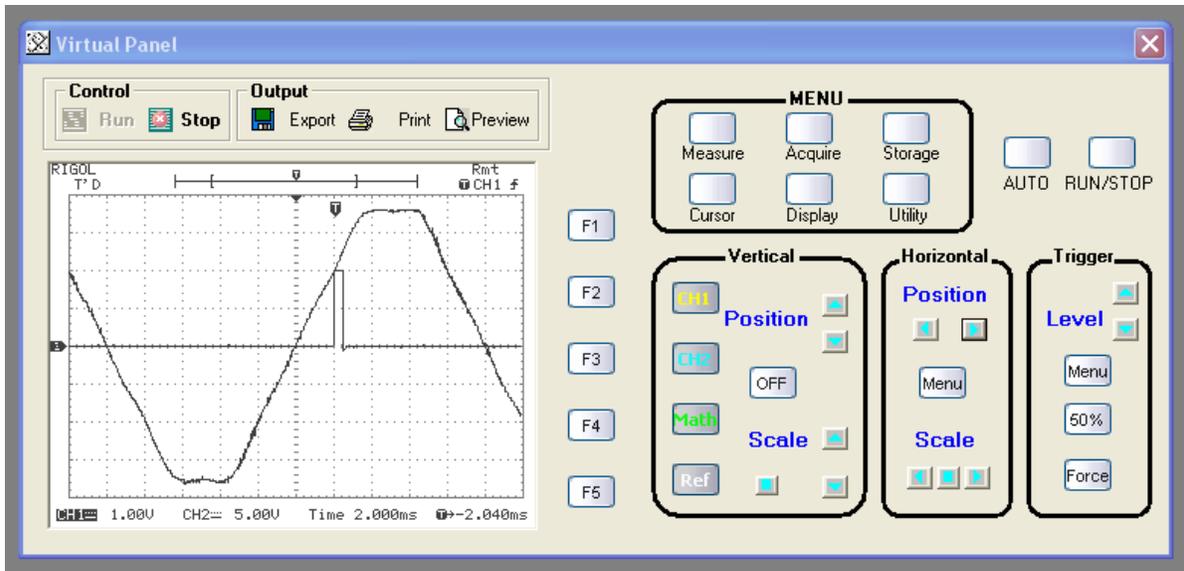
Lo último a agregar, que ya se lo mencionó y se puede ver claramente, es que también se dejó señalizado, para un futuro, donde deberían ir las resistencias y los transistores, si se desea aumentar las corrientes de las compuertas de los tiristores.

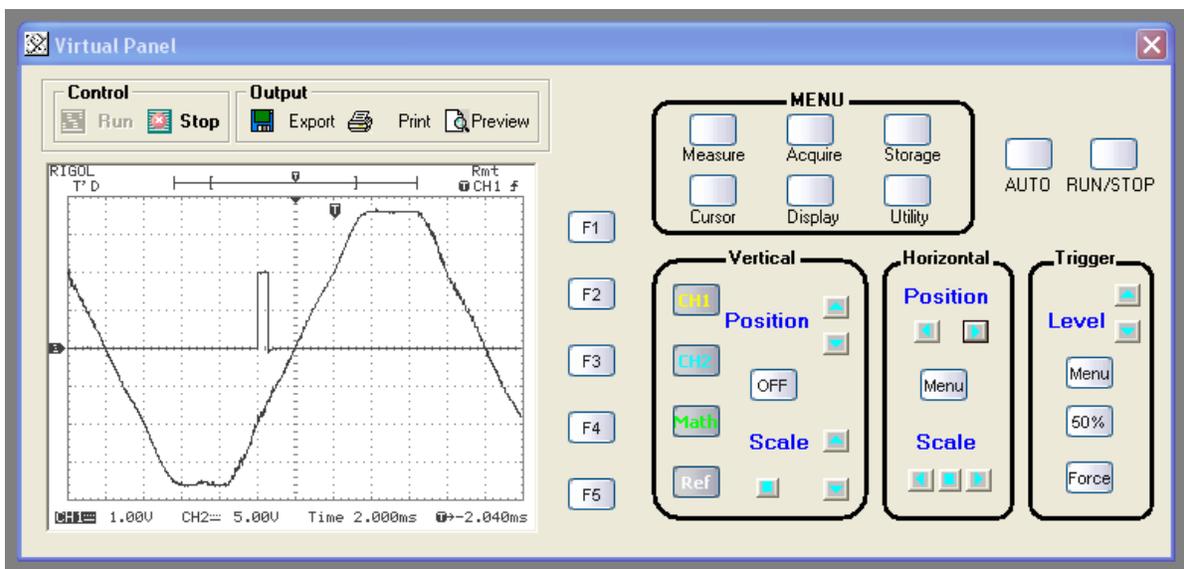
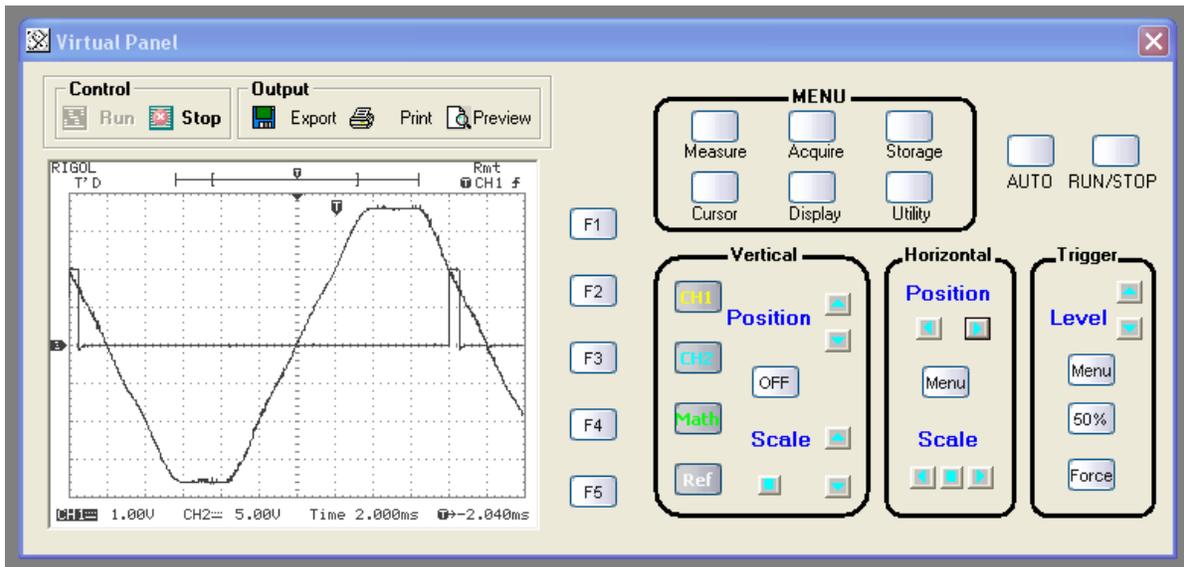
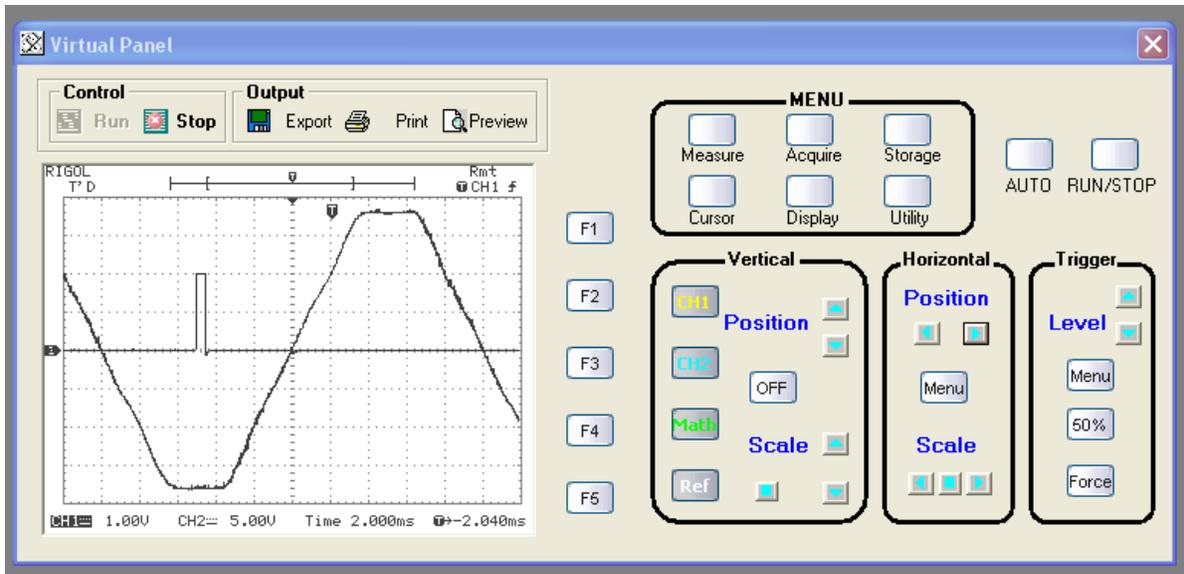
- **Ensayos:**

Para realizar los ensayos usamos el programa “Ultrascope”, que me permite capturar en la computadora las imágenes que el osciloscopio está mostrando al momento de hacer la medición.

Ahora veremos como son los pulsos (tanto del semiciclo positivo como del semiciclo negativo), cuando se sincronizan con una fase determinada. Se muestran los pulsos en 4 posiciones específicas, o si se lo quiere ver desde el punto de vista del ángulo con el que dispararía a los tiristores, se ven en 4 ángulos distintos.







Si se observa la escala de tiempo, vemos que cada división es de 2 ms, y cada una de estas divisiones, a su vez, esta subdividida en 5 partes. El periodo total abarca 10 divisiones, lo que nos da un periodo de 20 ms, es decir, una señal de 50 Hz (que es lo que esperábamos). Como el periodo de cada semiciclo es de 10 ms, y tengo 25 divisiones para observar en este, divido los 180° en 25, para estimar con que ángulo desplazo al pulso en cada división.

Calculando lo recién mencionado, obtenemos que los pulsos en las figuras están a 0°, a 36°, a 90° y a 144° aproximadamente.

Los ensayos realizados, y los resultados obtenidos, son midiendo la forma de onda en la carga puramente resistiva. En cada uno, se mostrará cómo es la respuesta para un disparo a los 36°, a los 90° y a los 150° aproximadamente.

Observación: Las imágenes que veremos a continuación son, como mencionamos, para la carga óhmica. No obstante, se adjuntan al informe videos donde se observan las respuestas para los 2 tipos de carga (óhmica pura y óhmica-inductiva).

### **Rectificador Monofásico Completamente Controlado:**

Antes de realizar la conexión que se muestra en el esquema eléctrico, se debe cambiar la disposición de los puentes que unen los circuitos de control con los optoacopladores.

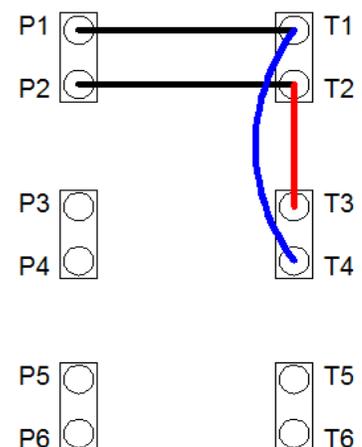
En la figura de la derecha, se observa que los puentes están conectados de tal forma que cada tiristor es disparado por pulsos independientes unos del otro. Cuando se trabaja con el rectificador monofásico completamente controlado, 2 tiristores deben dispararse en simultáneo con un mismo pulso de control durante el semiciclo positivo, y los otros 2 tiristores de igual manera en el semiciclo negativo.

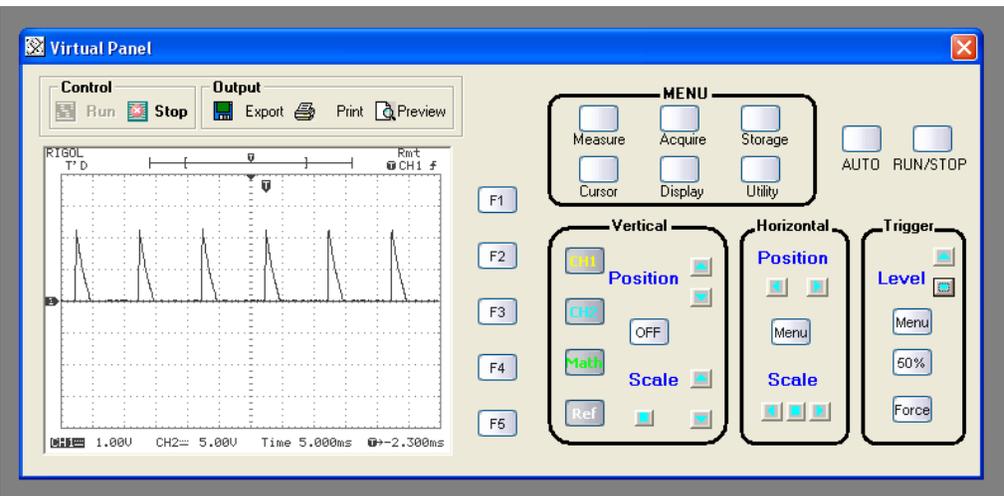
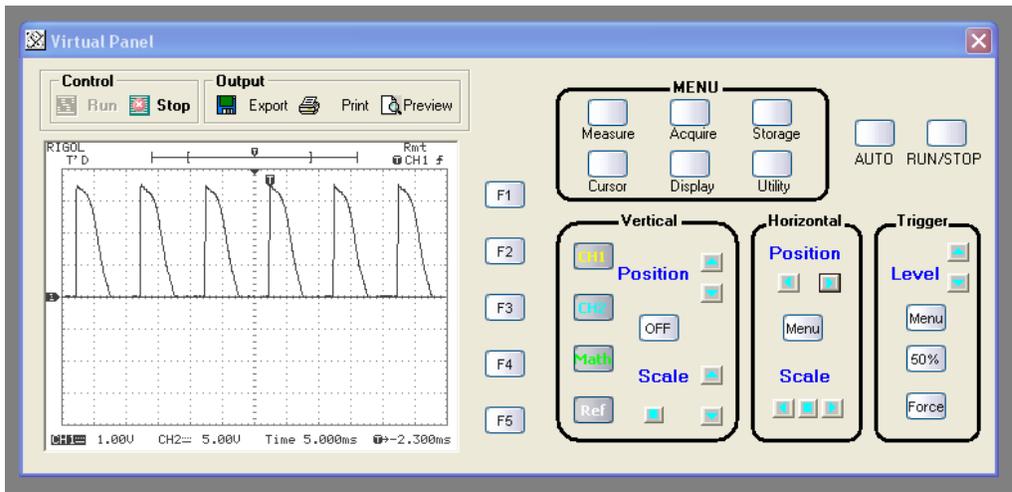
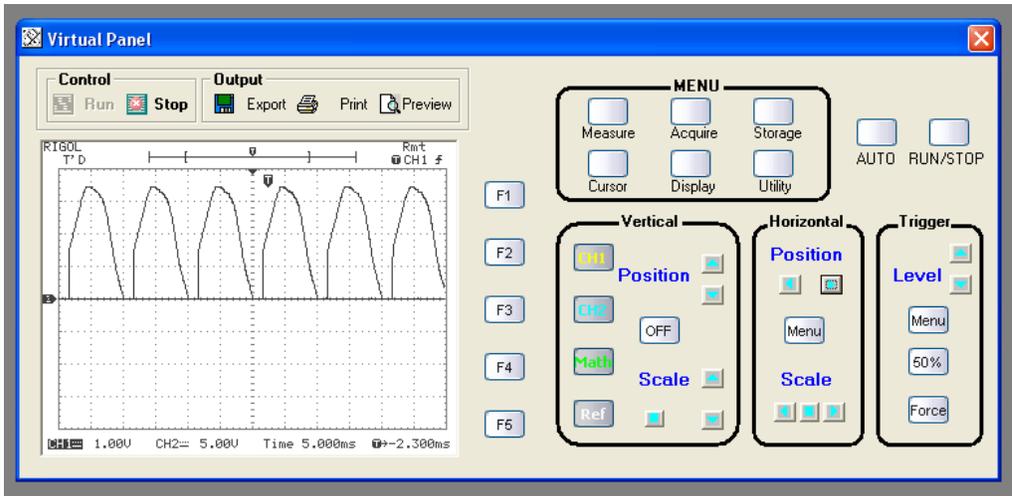
Para lograr esto, se hace lo siguiente:

Si se utilizan los tiristores T1, T2, T3 y T4 (como muestra el esquema de conexión eléctrico), y se alimenta el puente con la fase R, se deben desconectar todos los puentes excepto los que unen P1 con T1 y P2 con T2. Esto significa que T1 se controla con el pulso del semiciclo positivo de la fase R, y T2 con el pulso del semiciclo negativo de la misma fase.

Realizando las conexiones como se muestra más adelante en el esquema, se observa que durante el semiciclo positivo, deben conducir T1 y T4, por lo tanto, se debe puentear los bornes de T1 y T4. De forma similar, se ve que durante el semiciclo negativo deben conducir T3 y T2, entonces, también debe puentearse el borne de T2 con el borne de T3.

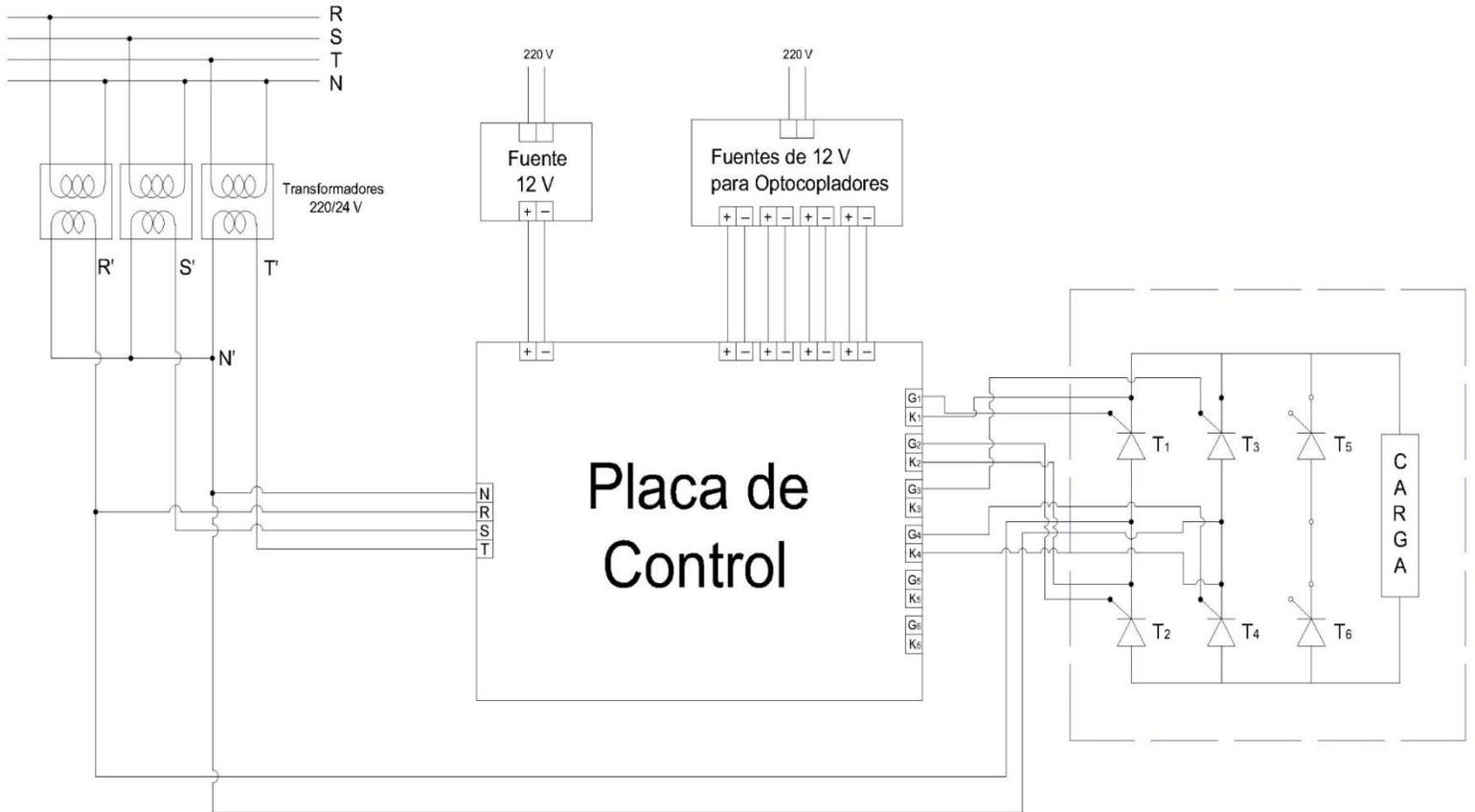
Hecho esto, ya están listas las salidas de la placa para conectarse y realizar la prueba.





Esquema de conexión eléctrico:

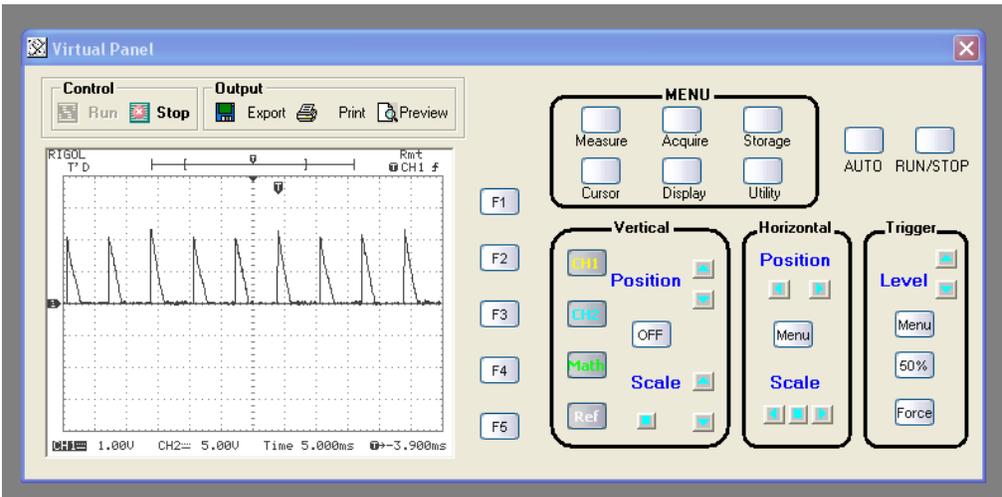
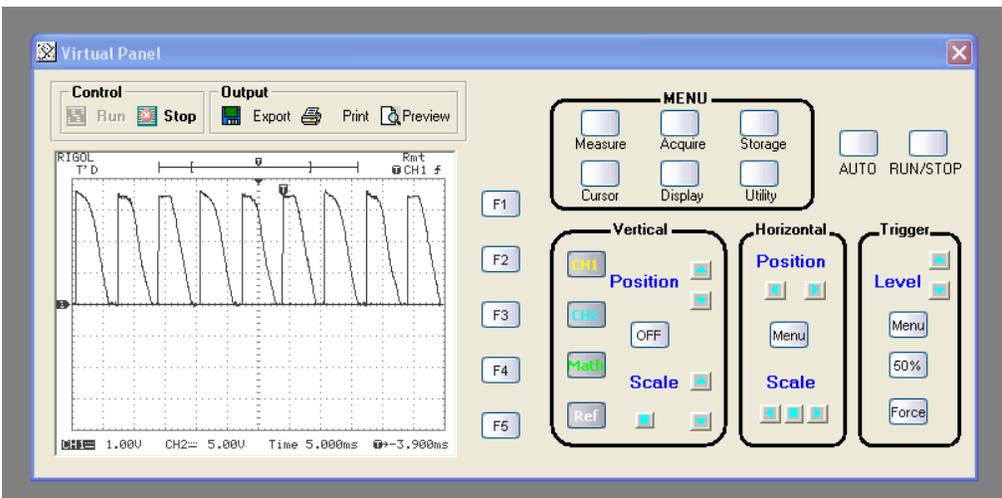
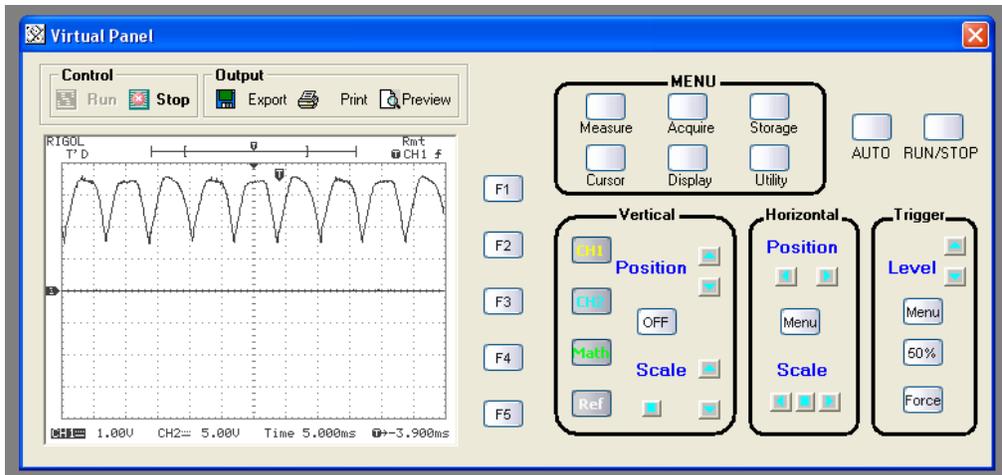
## Rectificador Monofásico Completamente Controlado



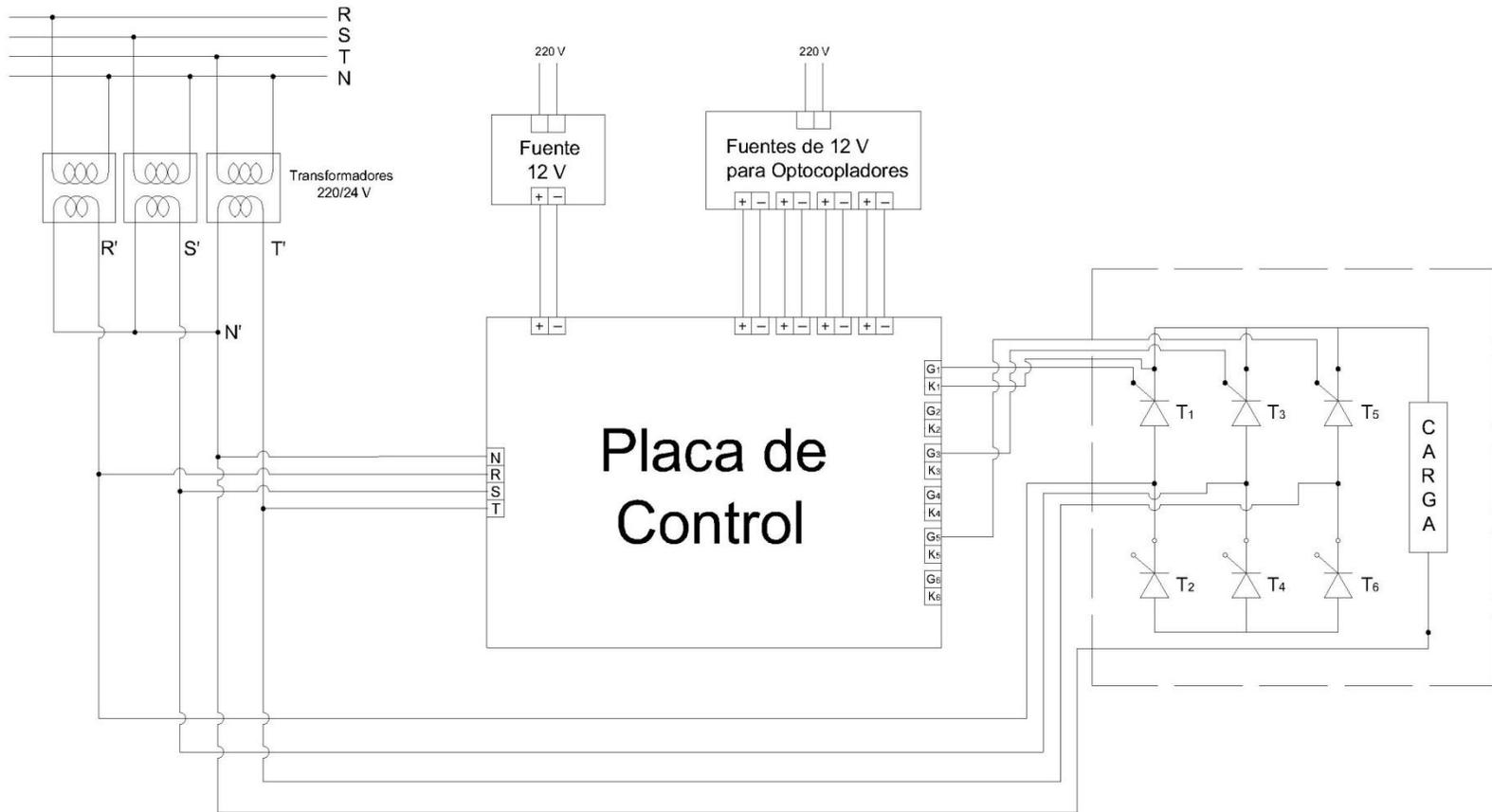
**Rectificador Trifásico de Media Onda:**

Para realizar el resto de los ensayos, los puentes que conectan los circuitos de control con los circuitos de acoplamiento, deben tener la misma disposición con la que se encontraban inicialmente (Figura de la derecha).

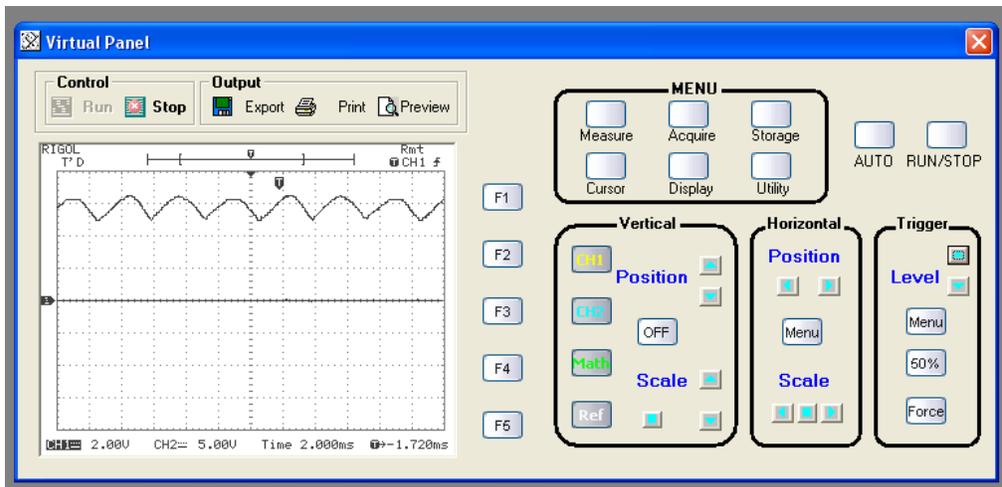


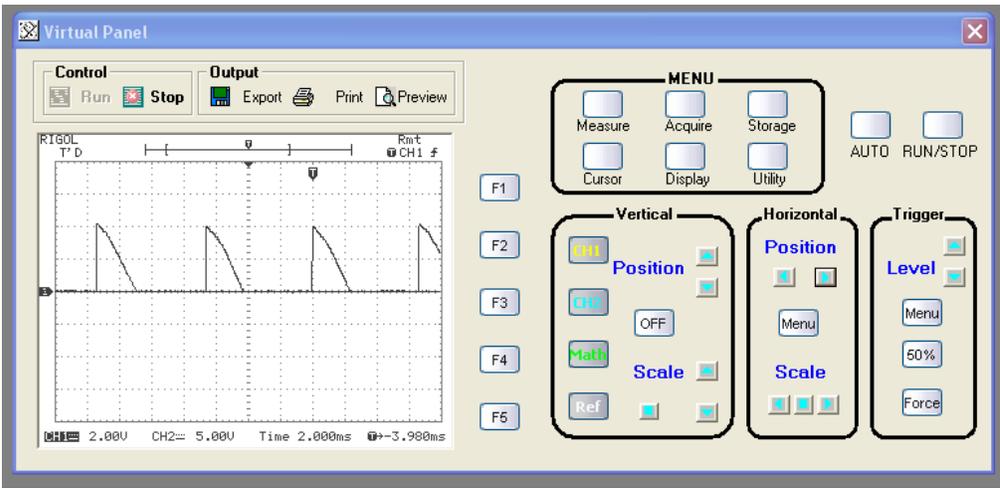
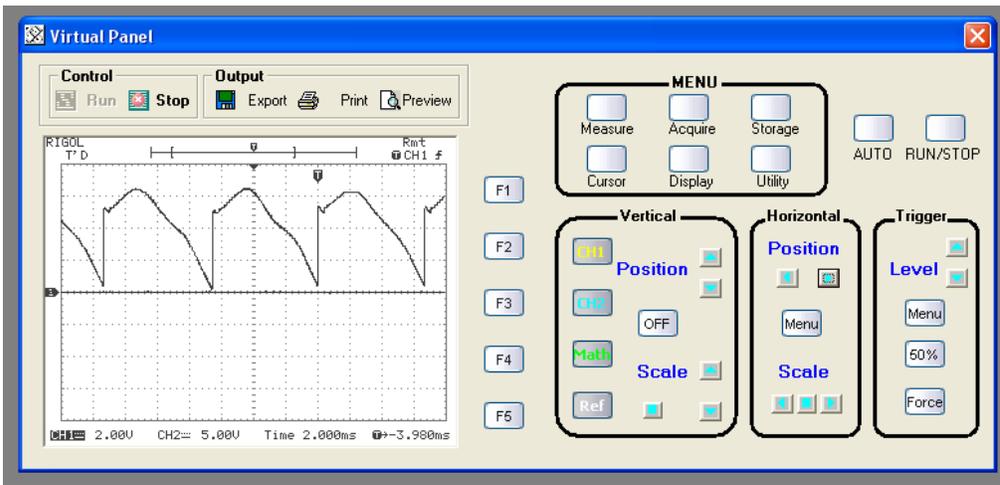


# Rectificador Trifásico de Media Onda

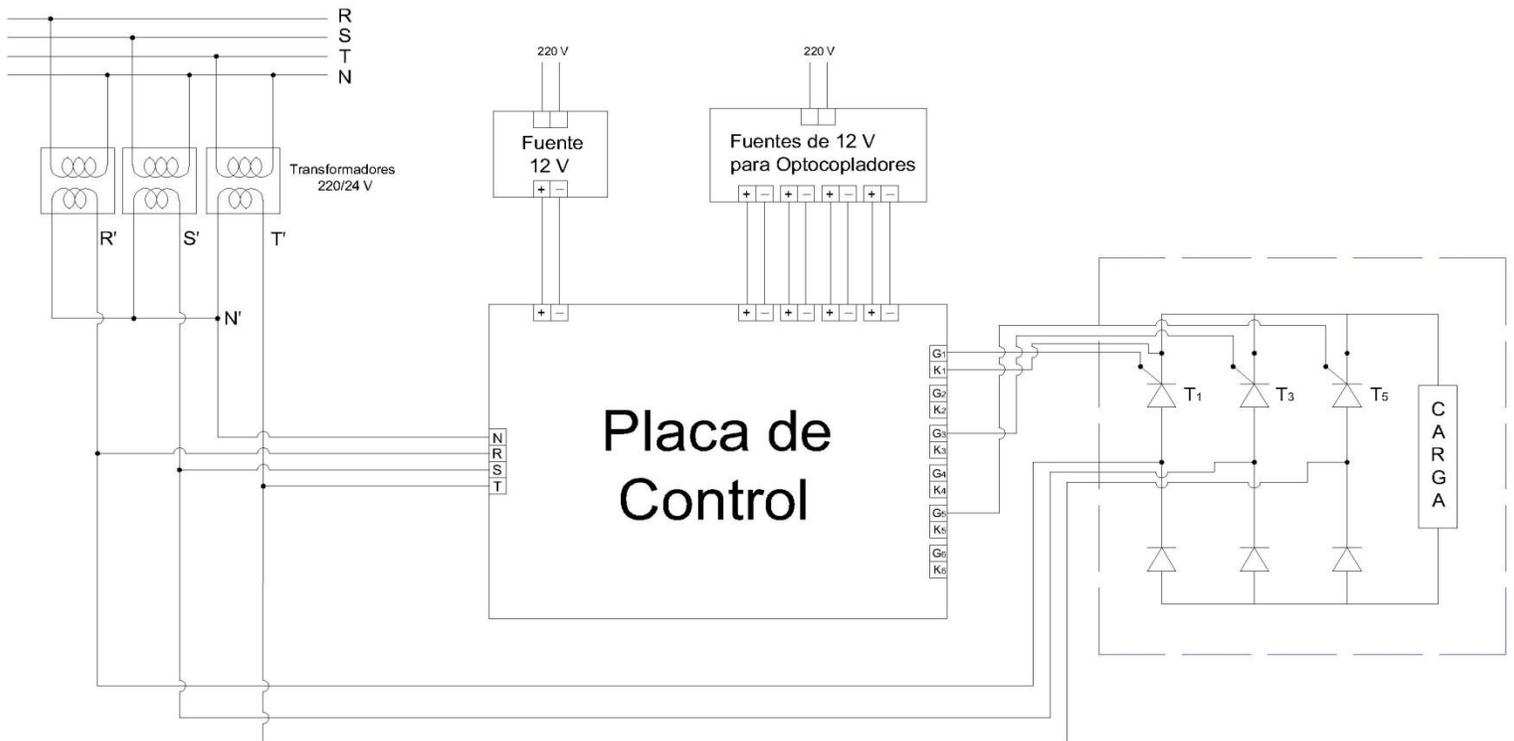


## ***Rectificador Trifásico Semicontrolado - Control en Semiciclo Positivo:***

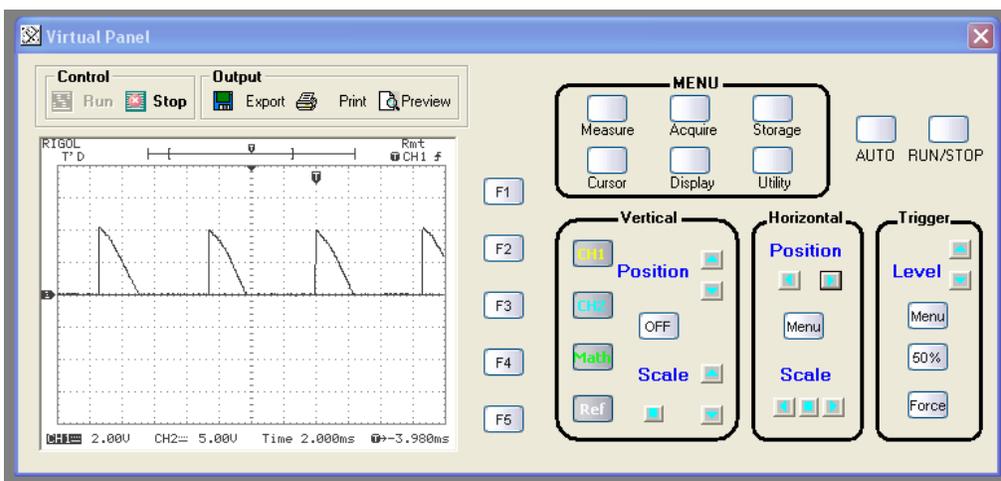
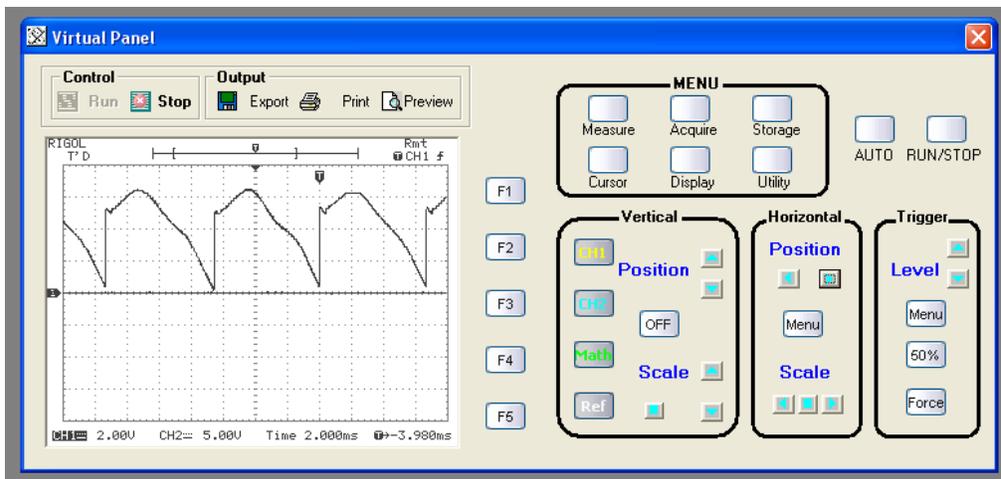
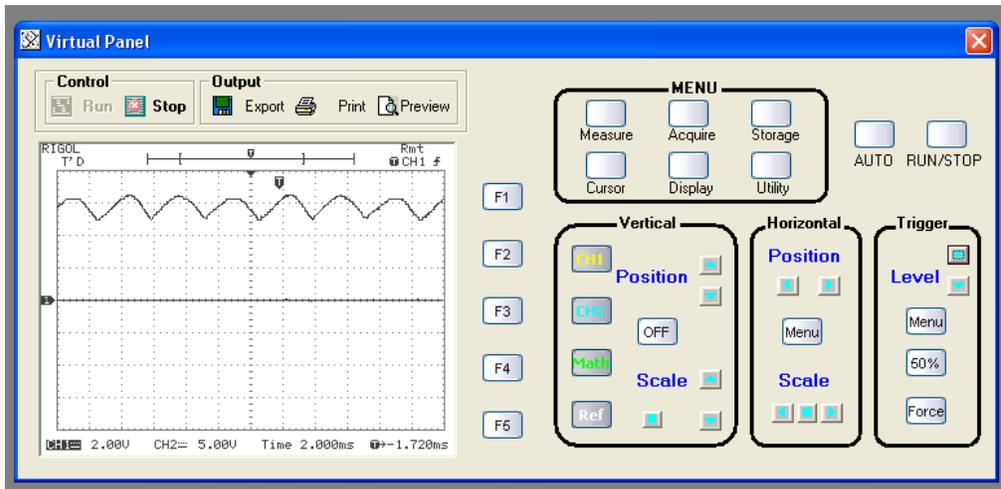




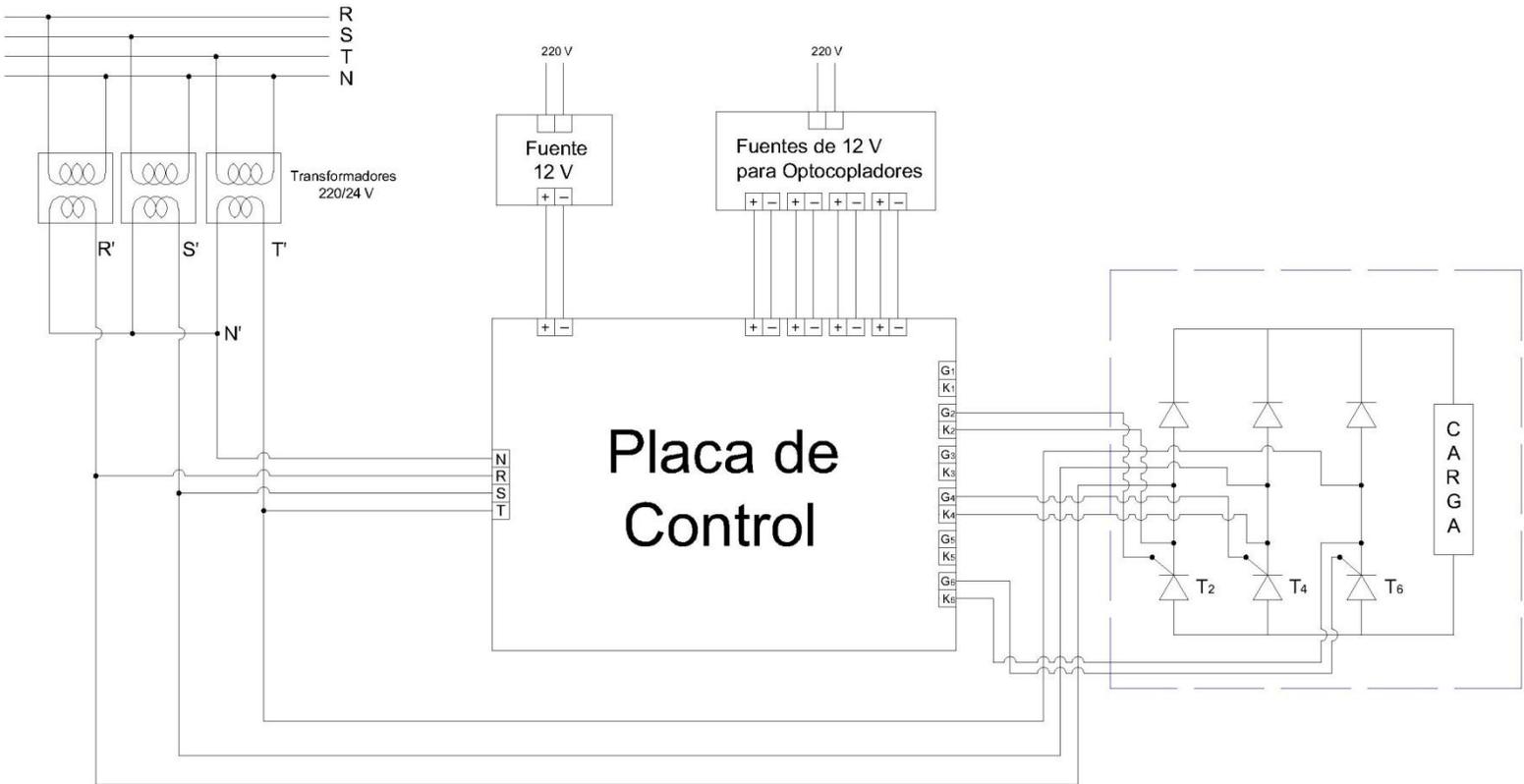
## Rectificador Trifásico Semicontrolado - Control Semiciclo Positivo



## Rectificador Trifásico Semicontrolado - Control en Semiciclo Negativo:



# Rectificador Trifásico Semicontrolado - Control Semiciclo Negativo



- **Bibliografía:**

- *Electrónica de Potencia, Daniel W Hart.*
- *Electrónica de Potencia, Universidad Técnica Federico Santa María.*
- *Introducción a la Electrónica de Potencia.*
- *Electrónica de Potencia - Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones, Muhammad Rashid.*