

## **Práctica N° 3**

### **Puente de Tiristores- Control Comando Arco-coseno**

### **Instructivo**

#### **1 Objetivo:**

- Estudiar el funcionamiento de un puente trifásico doble vía, 6 pulsos de tiristores comandado por control arco-coseno.
- Observar el funcionamiento del convertidor controlando en lazo abierto y cerrado una máquina de continua, y logrando que la misma trabaje como generador y como motor.
- Observar el funcionamiento de un generador asíncrono que tiene como máquina de arrastre a dicha máquina de continua.

#### **2 Materiales:**

- Planta física del convertidor
- Controlador del convertidor.
- Grupo motor continua - motor de inducción (grupo Ward-Leonard).
- Fuente (variable) de continua para la excitación del motor de continua (Variac-Rectificador).
- Protección del motor de continua (Contactor).
- Transformador aislador de potencia.
- Inductancia de potencia.
- Instrumentos de medida.
- Bancos de condensadores y resistencias.

#### **3 Descripción general de la planta:**

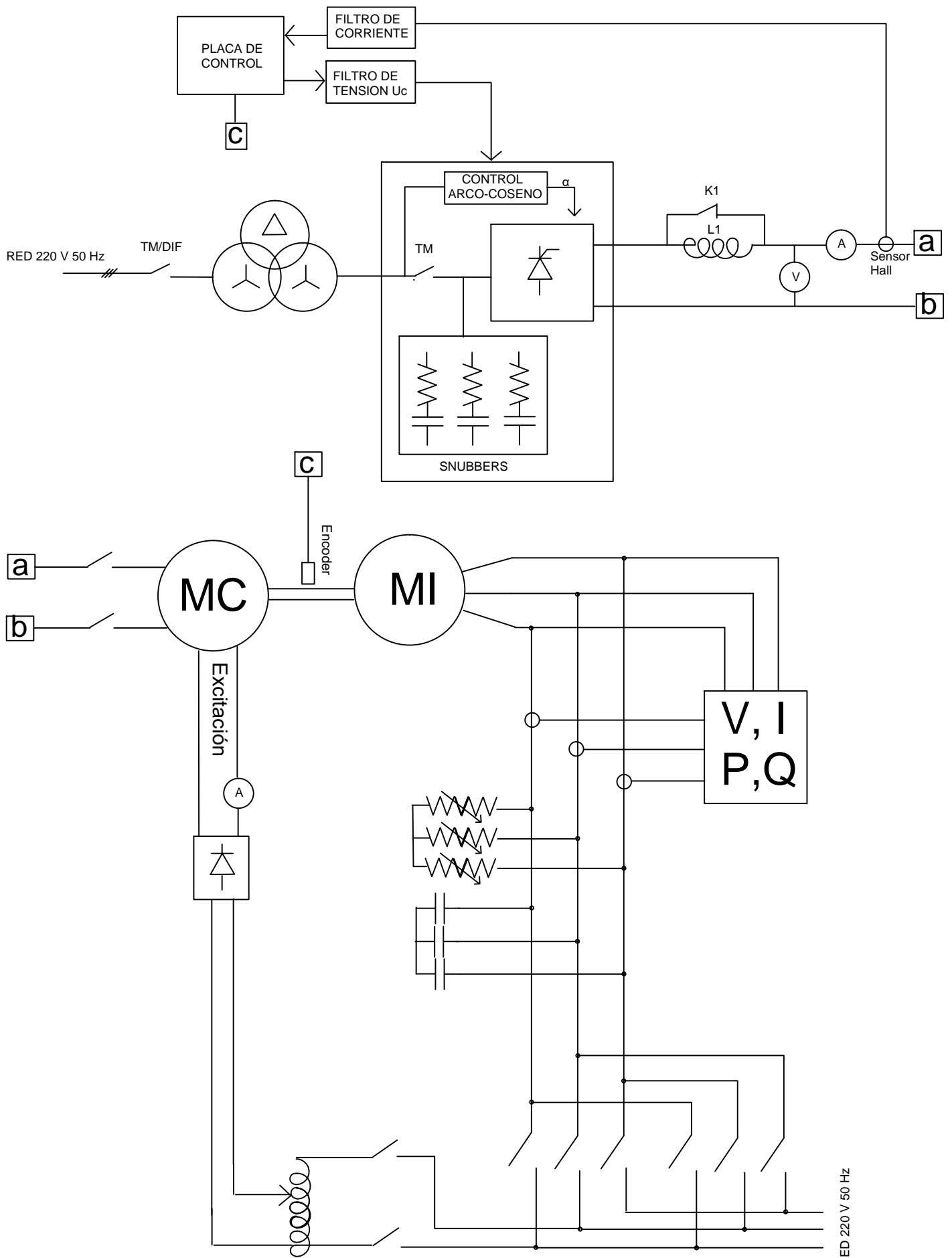
El esquema de la figura 1 muestra el circuito y componentes a utilizar durante la práctica.

Como se puede ver, el puente de tiristores se alimenta de la red mediante un transformador de potencia de forma que el mismo queda aislado de la red.

La llave en paralelo con la bobina  $L_1$  (3,5 mHy) está a los efectos de observar como cambia la corriente de salida al variar la inductancia del circuito. Es equivalente a cambiar la inductancia del modelo del motor de continua.

La corriente de excitación de la máquina de continua es controlada por un variac rectificado, como se puede ver en la figura (recordar que un debilitamiento del campo produce un aumento de la velocidad del motor).

El motor de inducción se puede alimentar con una red directa o inversa según se accione el correspondiente contactor. De este modo se tiene control sobre el sentido de giro del mismo.



El banco de condensadores y resistencias está a los efectos de mostrar como el motor de inducción puede llegar a generar tensión de frecuencia variable en un sistema aislado de la red de distribución.

Todos los contactores que aparecen en el circuito son comandados desde un mismo tablero en donde también se encuentra el variac para controlar la corriente de excitación así como también los medidores de corriente y tensión mostrados en el circuito.

En bornes de la máquina de inducción se conecta un analizador de red de modo de poder medir en cada instante la tensión, corriente y flujo de potencia por la misma.

El sistema controla corriente, y está implementado en una placa Arduino Mega la cual muestrea el sistema cada unos 300  $\mu$ s. La placa recibe la señal del sensor de efecto hall luego de pasada por un filtro de segundo orden tiempo de levantamiento 3 ms, de modo de obtener el valor de continua de corriente sin mayores retrasos en el lazo. También se mide la velocidad mediante un encoder rotatorio; ésta medida es, para los fines de esta práctica, meramente informativa y de seguridad. Seguridad pues si la placa detecta una sobrecorriente o una velocidad excesiva es capaz de abrir un relé de estado sólido en serie con la energización del contactor de alimentación del motor de continua, y de este modo funciona como protección del motor y del puente de tiristores.

El sistema tiene además un circuito capaz de detectar si se está en modo de conducción continua o discontinua y en función de esto el controlador implementado digitalmente en la Arduino pasa de ser proporcional-integral (PI) a ser integral (I).

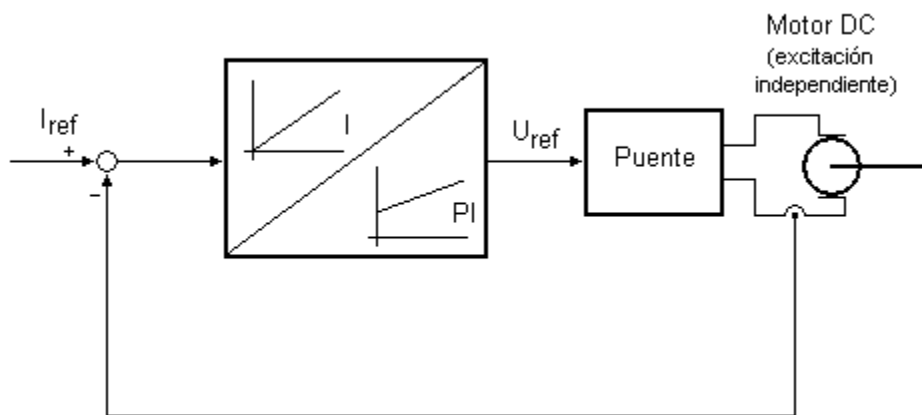


Figura 2.

La placa impone en una de sus salidas la tensión de referencia para controlar el comando arco-coseno.

La comunicación con la placa se hace en tiempo real desde un puerto serie de una PC. De esta forma es posible operar el sistema en lazo abierto en cuyo caso el usuario impone la tensión de control y en lazo cerrado caso en el que solamente se puede

imponer la corriente objetivo. También se puede solicitar a la placa que envíe el estatus de funcionamiento, donde informa los valores medidos de velocidad y corriente, modo de conducción, constantes de los controladores implementados, estado del lazo, entre otros.

Por último, la placa provee al usuario dos señales. Una con la tensión de control enviada al comando arco-coseno, y otra con la señal de corriente medida sin filtrar.

Nota: en el anexo se adjunta esquemático de la placa de control así como también del comando arco-coseno.

#### 4 Descripción del equipamiento de potencia:

- El transformador de potencia:

Relación: 240V/220V  
S<sub>n</sub> = 25.7 kVA  
z<sub>cc</sub> = 1,6 %

- La máquina de continua:

P = 3,68 kW	La = 8,5 mHy	J = 0,22 kgm <sup>2</sup>
I = 20,6 A	Ra = 0,9 Ohm	Fricción constante = 2,2 Nm
V = 220 V	R <sub>exc</sub> = 220 Ohm.	
n = 1500 rpm		
4 polos		
I <sub>exc</sub> = 1A		

La constante  $k_e$ , definida como  $E = k_e \times \omega$  con  $\omega$  la velocidad angular en rad/s y  $E$  la tensión inducida, se muestra en la figura 3 para distintas corrientes de excitación y la tensión inducida para una velocidad angular de 1497 rpm.

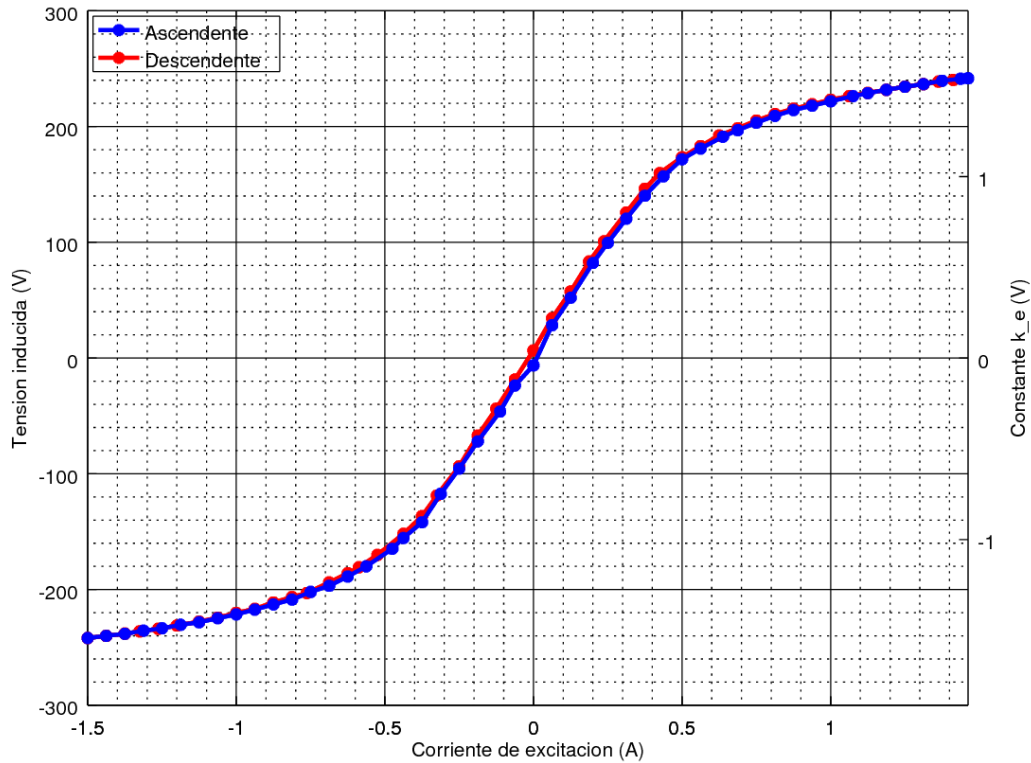


Figura 3

- La máquina de inducción:

$$U_n = 220\text{V}$$

$$I_n = 14\text{ A}$$

$$P = 4\text{ kW}$$

- El puente de tiristores:

6 tiristores CD431690B

## 5 Desarrollo de la práctica:

Al llegar al laboratorio, el estudiante debe conocer el funcionamiento del convertidor, la distinción entre los modos de conducción continua y discontinua y las características operación de los motores a utilizar en la práctica.

### 5.1 Preinforme.

Para todos los cálculos se asumirá que la impedancia de cortocircuito del transformador es nula ( $X_{CC}=0$ ). Además, el modelo de la armadura del motor de continua a utilizar es una inductancia ( $L_M$ ) en serie con la f.e.m. del rotor ( $E$ ).

*a* - Para  $E=150\text{ V}$ ,  $L_M=8.5\text{ mHy}$   $U=220\text{ V}$  calcular la corriente media que hace que la corriente esté en el límite de la conducción discontinua.

*b* - Simular el circuito y verificar el cálculo realizado en *a*.(usar el .CIR del apéndice como base) y adjuntar el .CIR utilizado y la forma de onda de corriente y tensión de salida.

*c* - Estudio del grupo Ward-Leonard

*c1* - Analizar qué pasa si con el convertidor controlando la corriente del motor en un valor fijo se conecta la llave que alimenta el motor de inducción.

*c2* -¿ Que sucede si se invierten la fases de alimentación del motor de inducción?

*c3* -¿En que sentido fluye la energía (potencia) para cada uno de los órdenes de fase de alimentación del motor de inducción?

*c4* – Explicar cómo se puede utilizar la máquina de inducción como generador *sin conectarse a la red*.

Para las partes *c1-c3*, se recomienda realizar el estudio teniendo presente cómo son las curvas par-velocidad del motor de inducción. Recordar además que un motor de continua con excitación fija y corriente de armadura constante produce un par constante.

*d* – Modelado del sistema:

Realice un diagrama de bloques genérico (sin valores numéricos) que modele al sistema completo en conducción continua excluyendo la máquina de inducción. Para los filtros de medición de corriente y de tensión de control, utilice una transferencia genérica. Modele al puente de tiristores como un sistema de primer orden con la mayor constante de tiempo posible (para este caso sí explique cuál es esta constante y a qué situación corresponde). Considere al controlador PI de constantes genéricas  $k_i$  y  $k_p$ . El motor de continua modelarlo según los datos relevantes de la sección “Descripción de equipamiento de potencia”; puede asumir que el par de rozamiento, en lugar de ser constante es lineal con la velocidad de constante B.

Explique qué cambia del sistema para conducción discontinua.

## 5.2 Laboratorio.

**Precaución: no accionar el *contactor* sin estar corriendo el programa de control. Al accionar el *contactor*, hacerlo con tensión de control nula.**

### 5.2.1 Técnica.

**Carga resistiva:** previo a trabajar con el grupo conecte una carga resistiva en bornes del convertidor. Establezca comunicación con la placa y en lazo abierto releve la transferencia del sistema comando Arco-coseno + puente de tiristores.

**Carga L-E:**

1. Montar el circuito según el esquema de conexionado de la figura 1. **Cortocircuitar  $L_1$ .**

Establecer comunicación con la placa de control y seleccionar *lazo abierto*.

2. Variar la tensión de referencia y verificar que a partir de cierta velocidad el motor de inducción genera tensión de frecuencia variable de acuerdo a la velocidad del mismo.
3. Poner al sistema en el límite de conducción continua y observar qué pasa si se intercala L1 en el circuito.

Para L1 cerrada y en el límite de la conducción continua:

4. Medir U,  $\langle I_o \rangle$ , velocidad, corriente de excitación y el ángulo alfa.
5. Obtener una estimación de la inductancia  $L_M$ .

Para L1 intercalada en el circuito y en el límite de la conducción continua:

6. Medir U,  $\langle I_o \rangle$ , velocidad, corriente de excitación y el ángulo alfa.
7. Obtener una estimación de la inductancia  $L_1 + L_M$ .

Pasar a *lazo cerrado*.

8. Cerrar la llave de alimentación del motor de inducción. Observar que pasa con la tensión del convertidor durante el transitorio y verificar que el sistema funciona de acuerdo al estudio realizado en el preinforme para ambas posiciones de la llave inversora.

Para el caso en que la máquina de continua trabaja como generador tener la precaución de **disminuir la tensión de excitación a 100 V**.

## 6 Informe:

- Graficar la ganancia del conjunto comando Arco-coseno + puente de tiristores para carga resistiva, explicitando la ganancia para conducción continua.
- Explicitar los cálculos para las partes 5 y 7 de la técnica.
- Contrastar los valores calculados para el preinforme con los datos relevados en el laboratorio justificando posibles diferencias.
- Resuma someramente las enseñanzas y conceptos adquiridos durante la práctica.

# Anexo

## 1 - Archivo de referencia para la simulación

Se adjunta un ejemplo del circuito a simular.

```

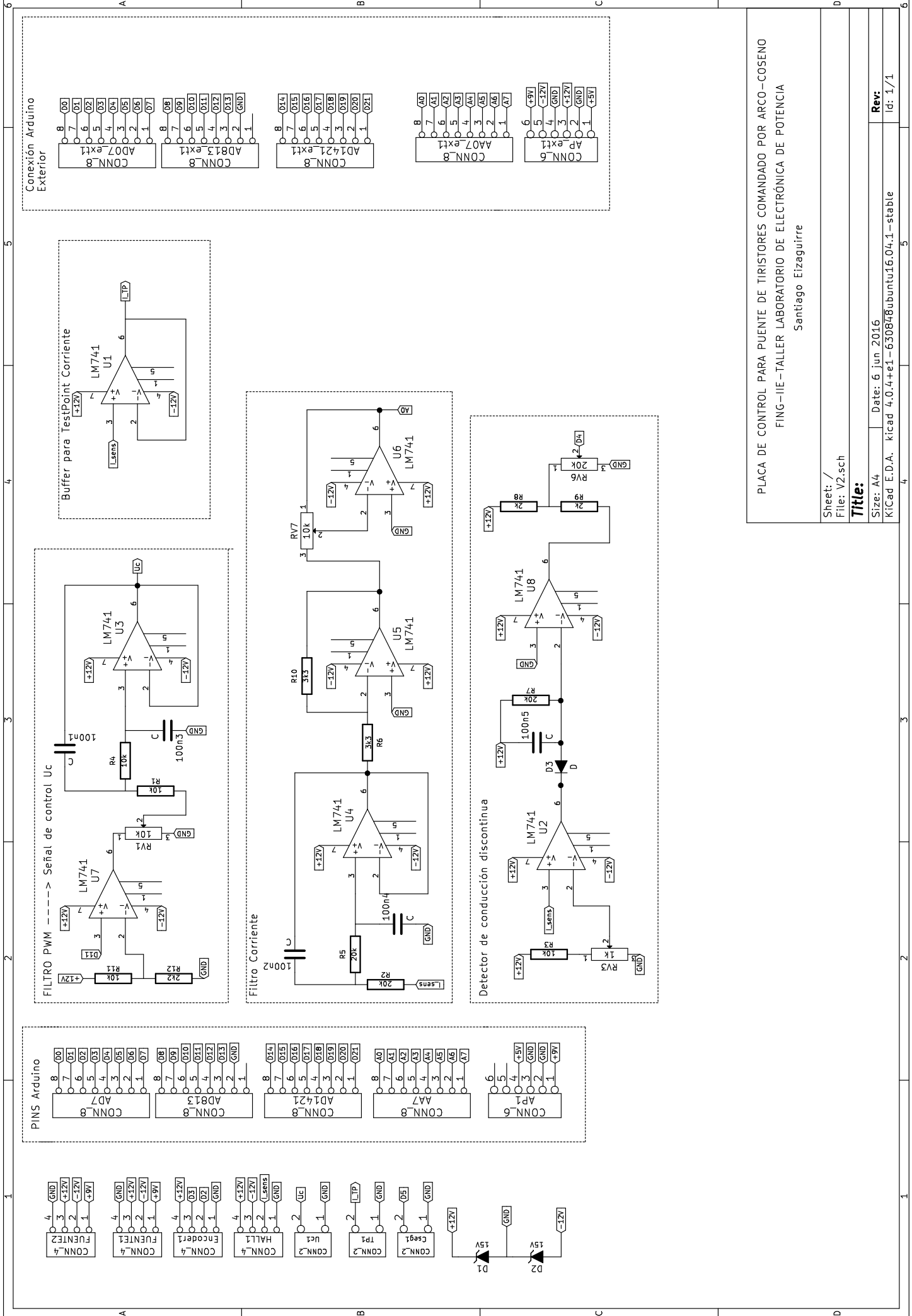
THYINV3.CIR
*Three-Phase, Thyristor-Bridge Inverter
*Power Electronics: Simulation, Analysis & Education.....by N. Mohan
.LIB PWR_ELEC.LIB
.PARAM PERIOD= {1/50}, DEG120={1/(3*50)}
.PARAM ALFA= XX.X, PULSE_WIDTH=0.5ms
*
LD 4 5 10mH IC=10A
*
XTHY1 12 4 SCR PARAMS: TDLY=0           ICGATE=2V
XTHY2 22 4 SCR PARAMS: TDLY={DEG120}    ICGATE=2V
XTHY3 32 4 SCR PARAMS: TDLY={2*DEG120}  ICGATE=2V
XTHY4 6 32 SCR PARAMS: TDLY={DEG120/2}  ICGATE=2V
XTHY5 6 12 SCR PARAMS: TDLY={3*DEG120/2} ICGATE=2V
XTHY6 6 22 SCR PARAMS: TDLY={5*DEG120/2} ICGATE=2V
*
VSA 12 0 SIN(0 311V 50 0 0 {30+ALPHA})
VSB 22 0 SIN(0 311V 50 0 0 {-90+ALPHA})
VSC 32 0 SIN(0 311V 50 0 0 {-210+ALPHA})
VDC 5 6 150V
*
.TRAN 10us 100ms 0m 20us UIC
.END

```

## 2 – Esquemáticos

En las siguientes figuras se muestra el esquemático de la placa de control y seguidamente el de la placa de comando arco-coseno.

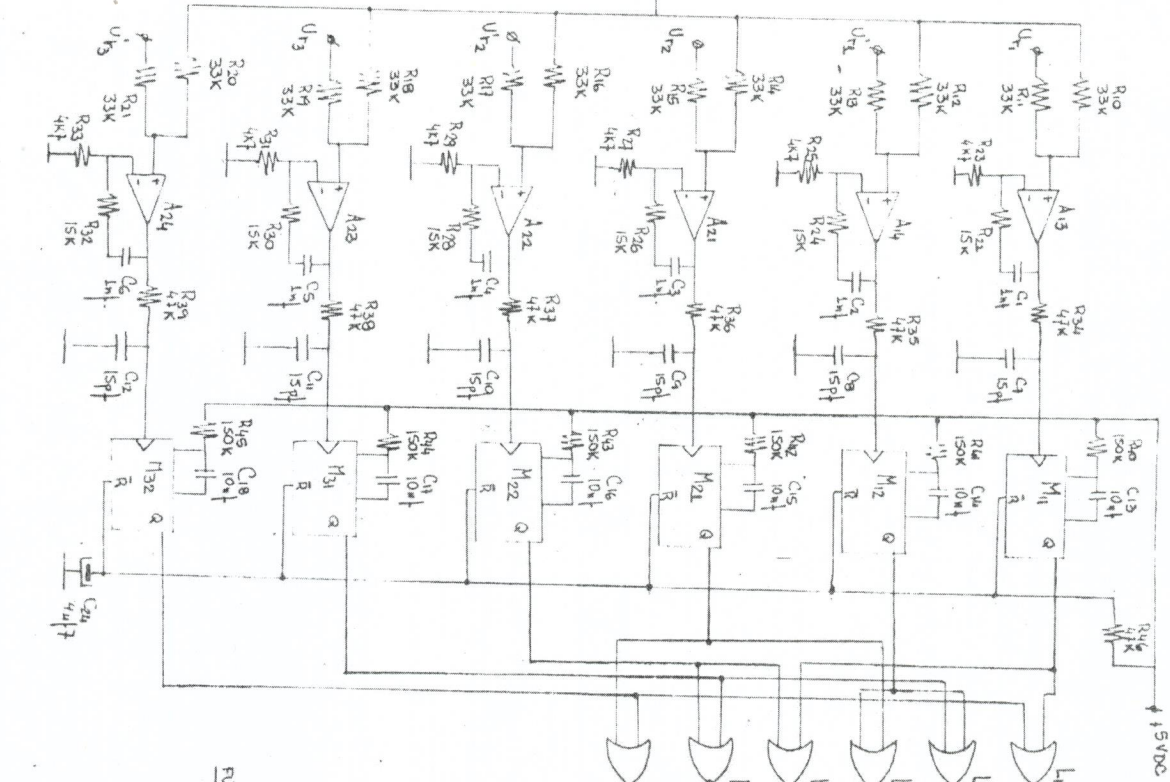
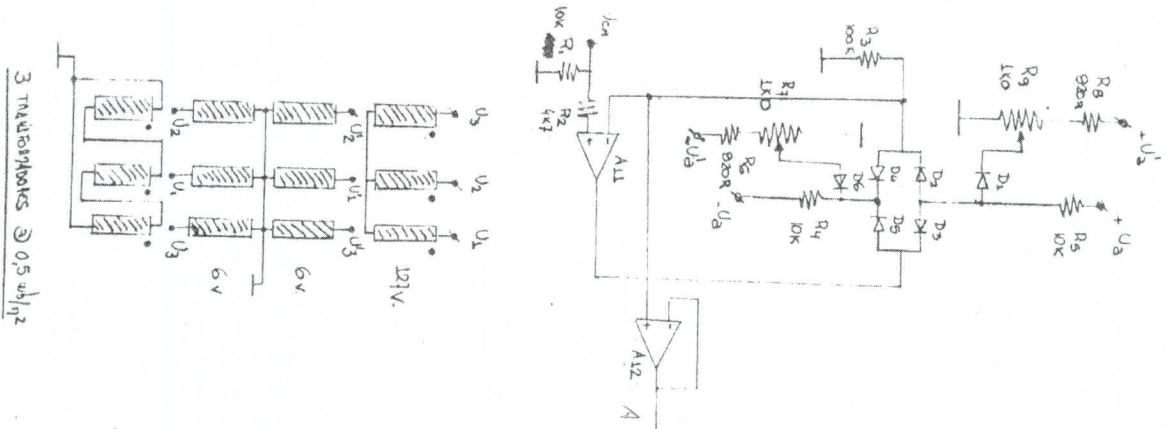




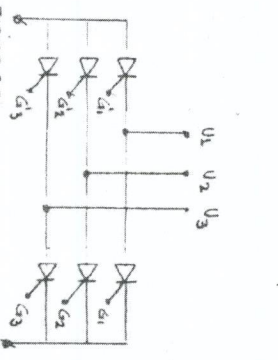
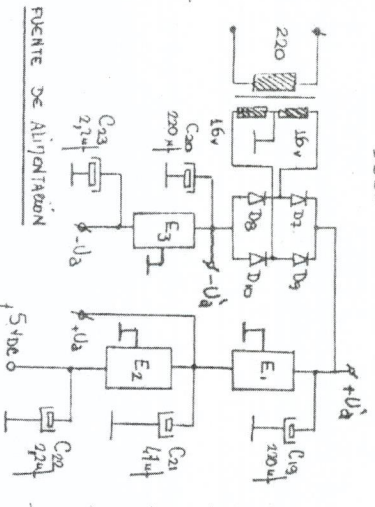
PLACA DE CONTROL PARA PUENTE DE TIRISTORES COMANDADO POR ARCO-COSENOS  
 FING-II-E-TALLER LABORATORIO DE ELECTRONICA DE POTENCIA  
 Santiago Eizaguirre

Sheet: /	Date: 6 jun 2016	Rev:
File: V2.sch		
<b>Title:</b>		
Size: A4	File: V2.sch	Id: 1/1
KiCad E.D.A. kicad 4.0.4+e1-630848ubuntu16.04.1-stable		

DISPOSITIVO DE CONTROL DE CONDUCTA  
[Arriba Origen]



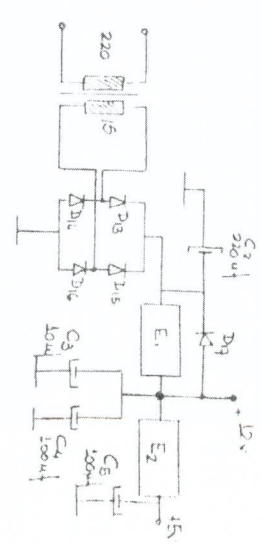
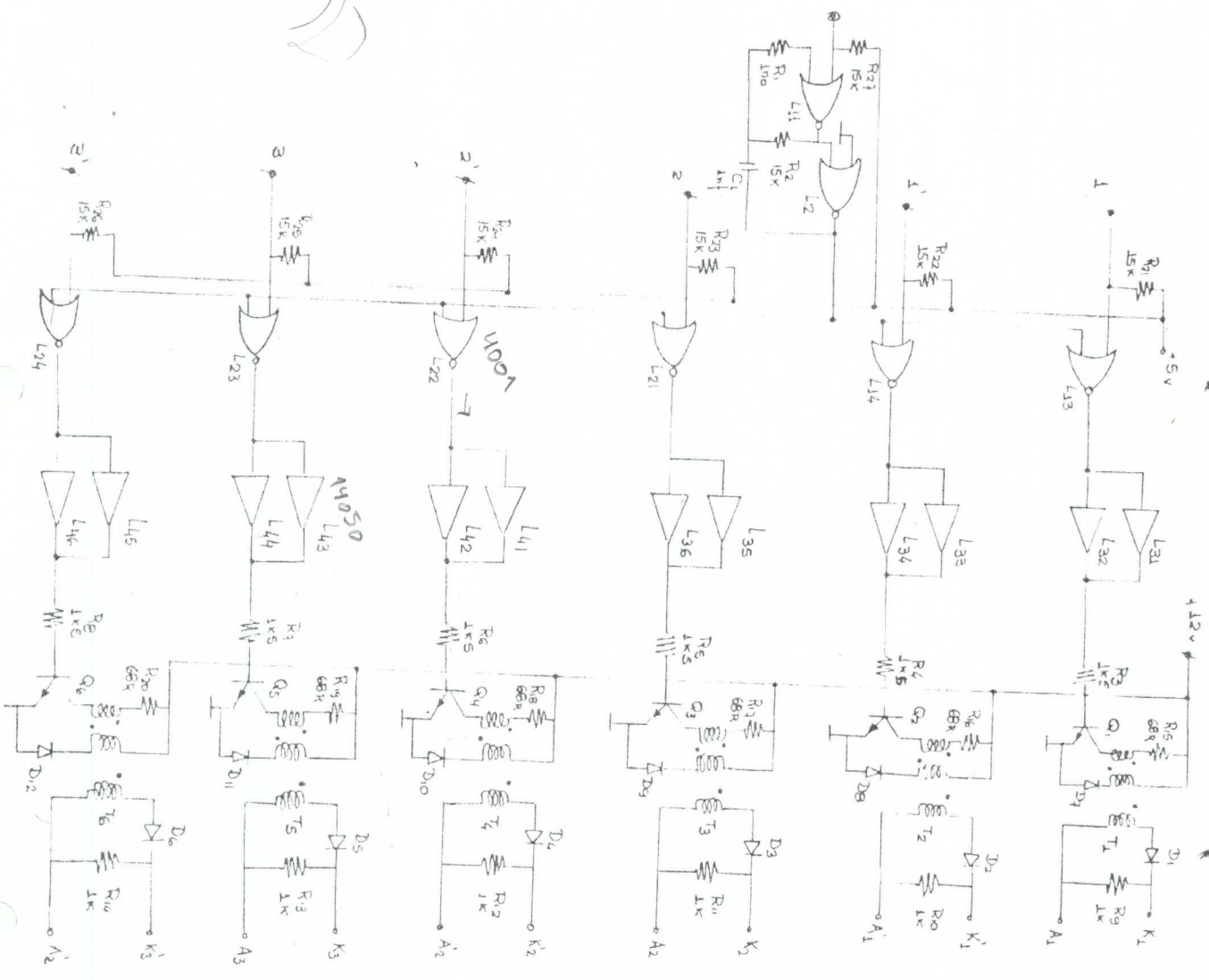
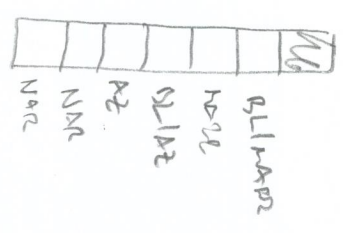
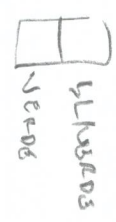
INTERFASE : LOGICA NEGATIVA    PULSOS DE DISPARO



NOTA: LOS CAPACITORES C25 a C31 SON DESCAPRO DE FUENTE (2µ/50V) Y NO FIGURAN EN ESTE ESQUEMA.

3 TRANSISTORES @ 0,5 w/1/2

FUENTE DE TIRISTOR



FUENTE DE ALIMENTACIÓN

- BL / MARRON
- MARRON
- BL / CBL
- AZUL
- BL / NARANJA
- NARANJA

- BL / MARRON
- MARRON
- BL / CBL
- AZUL
- BLANCO
- NARANJA