



**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**Grado en Ingeniería Eléctrica**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

TFG Nº: **770G02A95**

TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL  
LABORATORIO**

AUTOR: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**

TUTOR: **JOSÉ LUÍS CALVO ROLLE**

TUTOR: **LUÍS ALFONSO FERNÁNDEZ SERANTES**

FECHA: **FEBRERO DE 2016**

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR

TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

---

# **ÍNDICE GENERAL**

---

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N**

**15405 - FERROL**

FECHA: **FEBRERO DE 2016**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**

# Contenidos del TFG

<b>ÍNDICE GENERAL</b>	1
Contenidos del TFG	2
Índice de figuras	6
<b>MEMORIA</b>	8
Índice del documento Memoria	9
1 Objeto	11
2 Alcance	12
3 Antecedentes	13
3.1 Motores eléctricos	13
3.2 Convertidor ac/dc	14
3.2.1 Rectificador de media onda	14
3.2.2 Rectificador de onda completa	15
4 Normas y referencias	17
4.1 Bibliografía	17
4.2 Programas de cálculo	17
5 Definiciones y abreviaturas	18
5.1 Abreviaturas	18
5.2 Definiciones	18
6 Requisitos de diseño	19
7 Análisis de las soluciones	20
7.1 Entrada analógica	20
7.2 Separación de circuitos	22
8 Resultados finales	24
8.1 Bloque de alimentación	24
8.1.1 Alimentación principal	24
8.1.2 Alimentación secundaria	26
8.1.3 Alimentación de las puertas	27
8.2 Bloque de instrumentación	27
8.2.1 Detección de paso por cero	27
8.2.2 Optoacopladores	28
8.3 Bloque de control	30
8.3.1 Alimentación	30
8.3.2 Entrada digital	31
8.3.3 Entrada analógica	31

8.3.4	Salida digital . . . . .	31
8.3.5	Tiempos de respuesta . . . . .	33
8.3.6	Programa de control . . . . .	34
8.4	Motor DC . . . . .	36
8.5	Bloque de potencia . . . . .	37
8.5.1	Convertidor de media onda controlado . . . . .	37
8.5.2	Convertidor de onda completa semicontrolado . . . . .	40
8.5.3	Sistema de conmutación . . . . .	42
9	Orden de prioridad entre los documentos básicos . . . . .	44
<b>ANEXOS</b> . . . . .		45
	Índice del documento Anexos . . . . .	46
10	Documentación de partida . . . . .	47
10.1	Anteproyecto . . . . .	47
10.2	Asignación de trabajo fin de grado . . . . .	48
11	Montaje y pruebas . . . . .	51
11.1	Alimentación primaria y secundaria . . . . .	51
11.1.1	Placa de prototipado . . . . .	51
11.1.2	Placas multiperforadas . . . . .	52
11.1.3	Placa de circuito impreso . . . . .	54
11.1.4	Análisis . . . . .	54
11.2	Detección de paso por cero . . . . .	55
11.2.1	Placa de prototipado . . . . .	55
11.2.2	Placa multiperforada . . . . .	55
11.2.3	Placa de circuito impreso . . . . .	56
11.2.4	Análisis . . . . .	57
11.3	Circuito del regulación . . . . .	58
11.3.1	Placa de prototipado . . . . .	58
11.3.2	Placa multiperforada . . . . .	59
11.3.3	Placa de circuito impreso . . . . .	60
11.3.4	Análisis . . . . .	61
11.4	Salidas ARDUINO . . . . .	62
11.5	Circuito de potencia . . . . .	65
11.5.1	Placa de prototipado . . . . .	65
11.5.2	Placa multiperforada . . . . .	66
11.5.3	Placa de circuito impreso . . . . .	66
11.5.4	Análisis convertidor de media onda controlado . . . . .	67
11.5.5	Análisis convertidor de onda completa semicontrolado . . . . .	68
12	Hojas de características . . . . .	71
	A-max 16 . . . . .	72
	C106D1 . . . . .	74
	TLC2272AC . . . . .	79
	TL061CN . . . . .	90

4N25 . . . . .	97
1N4007 . . . . .	102
<b>PLANOS . . . . .</b>	<b>105</b>
Índice de los Planos . . . . .	106
Mapa de conexiones . . . . .	107
Circuito de alimentación primaria y secundaria - esquema . . . . .	108
Circuito de alimentación primaria y secundaria - pistas (bottom) . . . . .	109
Circuito de alimentación primaria y secundaria - taladros . . . . .	110
Circuito de alimentación primaria y secundaria - encapsulados . . . . .	111
Circuito de regulación - esquema, pistas (bottom), taladros y encapsulados . . . . .	112
Circuito de detección de cero - esquema . . . . .	113
Circuito de detección de cero - pistas (bottom) . . . . .	114
Circuito de detección de cero - taladros . . . . .	115
Circuito de detección de cero - encapsulados . . . . .	116
Circuito de potencia - esquema . . . . .	117
Circuito de potencia - pistas (bottom) . . . . .	118
Circuito de potencia - taladros . . . . .	119
Circuito de potencia - encapsulados . . . . .	120
<b>PLIEGO DE CONDICIONES . . . . .</b>	<b>121</b>
Índice del documento Pliego de condiciones . . . . .	122
13 Pliego de condiciones . . . . .	123
13.1 Especificaciones de los materiales . . . . .	123
13.1.1 Selección de los componentes . . . . .	123
13.1.2 Selección de los componentes sustitutos . . . . .	123
13.2 Pruebas de verificación . . . . .	123
13.2.1 Circuito de alimentación . . . . .	124
13.2.2 Circuito de detección de paso por cero . . . . .	124
13.2.3 Circuito del potenciómetro . . . . .	124
13.2.4 Optoacopladores . . . . .	124
13.2.5 ARDUINO UNO . . . . .	124
13.2.6 Rectificador me media onda controlado y onda completa semicontrolado . . . . .	125
13.3 Montaje . . . . .	125
13.4 Especificaciones de software . . . . .	125
13.5 Condiciones de almacenaje . . . . .	126
<b>ESTADO DE MEDICIONES . . . . .</b>	<b>127</b>
Índice del documento Estado de Mediciones . . . . .	128
14 Estado de mediciones . . . . .	129
14.1 Bloque de alimentación . . . . .	129
14.2 Bloque de instrumentación . . . . .	130
14.3 Bloque de control . . . . .	130
14.4 Bloque de potencia y motor . . . . .	131

<b>PRESUPUESTO</b> . . . . .	133
Índice del documento Presupuesto . . . . .	134
15 Presupuesto . . . . .	135
15.1 Bloque de alimentación . . . . .	135
15.2 Bloque de instrumentación . . . . .	136
15.3 Bloque de control . . . . .	137
15.4 Bloque de potencia y motor . . . . .	138
15.5 Gastos varios . . . . .	139
15.6 Total . . . . .	140

# Índice de figuras

3.2.1	Convertidor de media onda controlado por tiristor . . . . .	15
3.2.2	Convertidor de onda completa semicontrolado . . . . .	16
7.1.1	Conexión de LM741 emulando alimentación de ARDUINO . . . . .	20
7.1.2	Tensión de offset corregida . . . . .	21
7.1.3	Entrada analógica del ARDUINO con alimentación externa . . . . .	21
7.1.4	Regulación sin seguidor de tensión . . . . .	22
8.0.1	Diagrama de bloques . . . . .	24
8.1.1	Conexión general del transformador . . . . .	25
8.1.2	Circuito de alimentación secundaria . . . . .	26
8.1.3	Respuesta de la alimentación secundaria . . . . .	26
8.1.4	Alimentación de las puertas de los tiristores . . . . .	27
8.2.1	Circuito de detección de paso por cero . . . . .	27
8.2.2	Respuesta del circuito de detección de paso por cero . . . . .	28
8.2.3	Protección de la entrada digital del ARDUINO . . . . .	29
8.2.4	Aislamiento ARDUINO - tiristor . . . . .	29
8.3.1	Esquema general de ARDUINO . . . . .	30
8.3.2	Entrada analógica del ARDUINO . . . . .	31
8.3.3	Comportamiento del ARDUINO . . . . .	32
8.3.4	Tiempos de retraso (fuera de escala) . . . . .	33
8.3.5	Monitor Serie . . . . .	35
8.4.1	Motor maxon, gama A-max . . . . .	36
8.5.1	Simulación del rectificador de media onda controlado . . . . .	37
8.5.2	Rectificación con tiempo de espera de 3ms . . . . .	38
8.5.3	Rectificación con tiempo de espera de 5ms . . . . .	39
8.5.4	Rectificación con tiempo de espera de 7ms . . . . .	39
8.5.5	Simulación de un rectificador de onda completa semicontrolado . . . . .	40
8.5.6	Rectificación con tiempo de espera de 3ms y 13ms . . . . .	41
8.5.7	Rectificación con tiempo de espera de 5ms y 15ms . . . . .	41
8.5.8	Rectificación con tiempo de espera de 7ms y 17ms . . . . .	42
8.5.9	Sistema de conmutación . . . . .	43
11.1.1	Transformadores del laboratorio . . . . .	52
11.1.2	Montaje de la alimentación secundaria en Protoboard . . . . .	52

11.1.3	Montaje de la alimentación en placa multiperforada (1)	53
11.1.4	Montaje de la alimentación en placa multiperforada (2)	53
11.1.5	Montaje de la alimentación en PCB	54
11.1.6	Alimentación secundaria	54
11.2.1	Montaje del circuito de detección de cero en placa de prototipado	55
11.2.2	[Montaje del circuito de detección de cero en placa de multiperforadas	56
11.2.3	[Montaje del circuito de detección de cero en placa de multiperforadas	56
11.2.4	Respuesta del circuito de detección de cero	57
11.2.5	Restraso en el flanco de bajada	58
11.3.1	Montaje del potenciómetro en placa de prototipado	59
11.3.2	Montaje del potenciómetro en placa multiperforada	60
11.3.3	Montaje del potenciómetro en PCB	61
11.3.4	Potenciómetro a 0V	61
11.3.5	Potenciómetro a 3V	62
11.3.6	Potenciómetro a 5V	62
11.4.1	Tren de pulsos en el pin 10 a 2ms	63
11.4.2	Tren de pulsos en el pin 10 a 7ms	63
11.4.3	Tren de pulsos en el pin 11 a 2ms	64
11.4.4	Tren de pulsos en el pin 11 a 7ms	64
11.5.1	Montaje del convertidor de media onda en placa placa de prototipado	65
11.5.2	Montaje del convertidor de onda completa en placa placa de prototipado	65
11.5.3	Montaje del circuito de potencia en placa multiperforada	66
11.5.4	Montaje del circuito de potencia en PCB	66
11.5.5	Comportamiento con carga resistiva	67
11.5.6	Comportamiento con el motor	68
11.5.7	Comportamiento con carga resistiva	69
11.5.8	Comportamiento con el motor	70



TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

---

# **MEMORIA**

---

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N**

**15405 - FERROL**

FECHA: **FEBRERO DE 2016**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**

## Índice del documento MEMORIA

<b>1</b>	<b>Objeto</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Alcance</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Antecedentes</b>	<b>13</b>
3.1	Motores eléctricos . . . . .	13
3.2	Convertidor ac/dc . . . . .	14
3.2.1	Rectificador de media onda . . . . .	14
3.2.2	Rectificador de onda completa . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Normas y referencias</b>	<b>17</b>
4.1	Bibliografía . . . . .	17
4.2	Programas de cálculo . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Definiciones y abreviaturas</b>	<b>18</b>
5.1	Abreviaturas . . . . .	18
5.2	Definiciones . . . . .	18
<b>6</b>	<b>Requisitos de diseño</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Análisis de las soluciones</b>	<b>20</b>
7.1	Entrada analógica . . . . .	20
7.2	Separación de circuitos . . . . .	22
<b>8</b>	<b>Resultados finales</b>	<b>24</b>
8.1	Bloque de alimentación . . . . .	24
8.1.1	Alimentación principal . . . . .	24
8.1.2	Alimentación secundaria . . . . .	26
8.1.3	Alimentación de las puertas . . . . .	27
8.2	Bloque de instrumentación . . . . .	27
8.2.1	Detección de paso por cero . . . . .	27
8.2.2	Optoacopladores . . . . .	28
8.3	Bloque de control . . . . .	30
8.3.1	Alimentación . . . . .	30
8.3.2	Entrada digital . . . . .	31
8.3.3	Entrada analógica . . . . .	31
8.3.4	Salida digital . . . . .	31
8.3.5	Tiempos de respuesta . . . . .	33
8.3.6	Programa de control . . . . .	34
8.4	Motor DC . . . . .	36
8.5	Bloque de potencia . . . . .	37
8.5.1	Convertidor de media onda controlado . . . . .	37

8.5.2	Convertidor de onda completa semicontrolado . . . . .	40
8.5.3	Sistema de conmutación . . . . .	42
<b>9</b>	<b>Orden de prioridad entre los documentos básicos</b>	<b>44</b>

# Capítulo 1

## Objeto

El presente Trabajo Final de Grado tiene como objetivo controlar un motor de corriente continua alimentado con corriente alterna, mediante el uso de dos convertidores de potencia monofásicos que se especializan en el control de máquinas de corriente continua.

Para ello se estudiarán, diseñarán e implementarán un convertidor de media onda controlado y otro convertidor de onda completa semicontrolado con un circuito de control común.

## Capítulo 2

# Alcance

Este trabajo fin de grado consistirá en el estudio de los convertidores monofásicos de media onda controlado y onda completa semicontrolado, en su diseño y en su implementación posterior en el laboratorio. Estos dispositivos estarán compuestos por:

- Fuente de alimentación alterna.
- Un sistema de conmutación para seleccionar el convertidor deseado.
- Dos tiristores y dos diodos que compondrán el convertidor.
- Un circuito para controlar el ángulo de disparo de los tiristores, utilizando un microcontrolador que calculará los tiempos de inicio a partir de un circuito de detección de paso por cero.

También consistirá en la familiarización de elementos de control, como la placa ARDUINO UNO y de elementos de protección de la misma, adquisición de las tensiones de alimentación del convertidor y del motor. Cálculo de los tiempos de retraso antes del disparo derivados de los tiempos de lectura y/o actuación de los distintos componentes (detección de cero, optoacopladores, microcontrolador y tiristores).

## Capítulo 3

# Antecedentes

En este trabajo final de grado se controlará un motor de corriente continua, para ello se emplean sistemas basados en la electrónica de potencia.

### 3.1. Motores eléctricos

Son dispositivos que transforman la energía eléctrica en mecánica por medio de campos magnéticos generados por sus bobinas [5].

Estas máquinas eléctricas rotatorias se pueden dividir en dos partes: una parte fija denominada estátor y una parte móvil respecto a la anterior denominada rotor. Cada parte tiene unas ranuras donde van depositadas hilos conductores, el conjunto de estos conductores se denomina devanado. Por lo tanto, el devanado alojado en el estátor será fijo y el que está en el rotor, móvil. Siendo el espacio de aire situado entre ellos el denominado entrehierro. La conexión eléctrica del rotor se hace por medio de unas escobillas o por unas delgas dentro de lo que se denomina conmutador o colector [1].

Se pueden clasificar según el tipo de energía que utilizada, pudiendo ser motores de corriente alterna o motores de corriente continua, siendo estos últimos los utilizados en este trabajo final de grado [1].

En los motores de corriente continua, el devanado de armadura o inducido se encuentra en el rotor que es alimentado por medio de un conmutador siendo esta parte principal del motor. El estátor es donde se encuentra el circuito magnético de la máquina y su forma denomina el tipo de motor DC del que se trata. Estos motores se caracterizan por su versatilidad y por su variedad de características. Son empleados con frecuencia en aplicaciones que requieren un gran rango de velocidades y su control preciso por la facilidad con la que son controlados [2].

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA	Autoexcitado	Conexión serie Conexión paralelo Conexión compuesta
	Excitación independiente	Imán permanente Electromagnético

**Tabla 3.1.1** – Tipos de motores DC

En la tabla 3.1.1 se muestran los tipos de motores de corriente continua según su excitación. En este trabajo final de grado se utilizará un motor de excitación independiente de imán permanente.

Estas máquinas se usan en una amplia variedad de aplicaciones que se necesite una baja potencia y momentos de inercia muy bajos [1][2].

Presentan las siguientes ventajas frente a otras máquinas de corriente directa [1][2]:

- Construcción más simple, ya que no serán necesarios los conductores del estátor.
- No requiere excitación externa ni disipación de potencia usada para crear los campos magnéticos.
- Tamaño más reducido.
- Están caracterizados por una excelente aceleración en arranque, una parada casi instantánea y una muy buena regulación de velocidad con alta estabilidad y margen de valores.
- Cuentan con un imán permanente en el extremo del rotor que constituye el campo de un tacómetro por si se necesitara un control preciso de la velocidad.

Mientras que presentan las siguientes limitaciones derivadas de los imanes permanentes [1][2]:

- Bajas potencias de trabajo.
- Riesgo de desmagnetización debido a corrientes elevadas o sobrecalentamiento del imán.

## **3.2. Convertidor ac/dc**

Estos convertidores o rectificadores son circuitos electrónicos de potencia, su función es la de transformar una tensión de entrada alterna con una determinada frecuencia en una salida de tensión continua en el tiempo. Estos circuitos son mucho más económicos que otros sistemas más modernos [2]. Los rectificadores controlados obtienen una tensión continua variable, su elemento podría ser algún tipo de transistor (igbt, mosfet, bipolares,...), tiristores u otros elementos controlables y el control se efectúa retardando su tiempo de disparo, denominado ángulo de disparo [3].

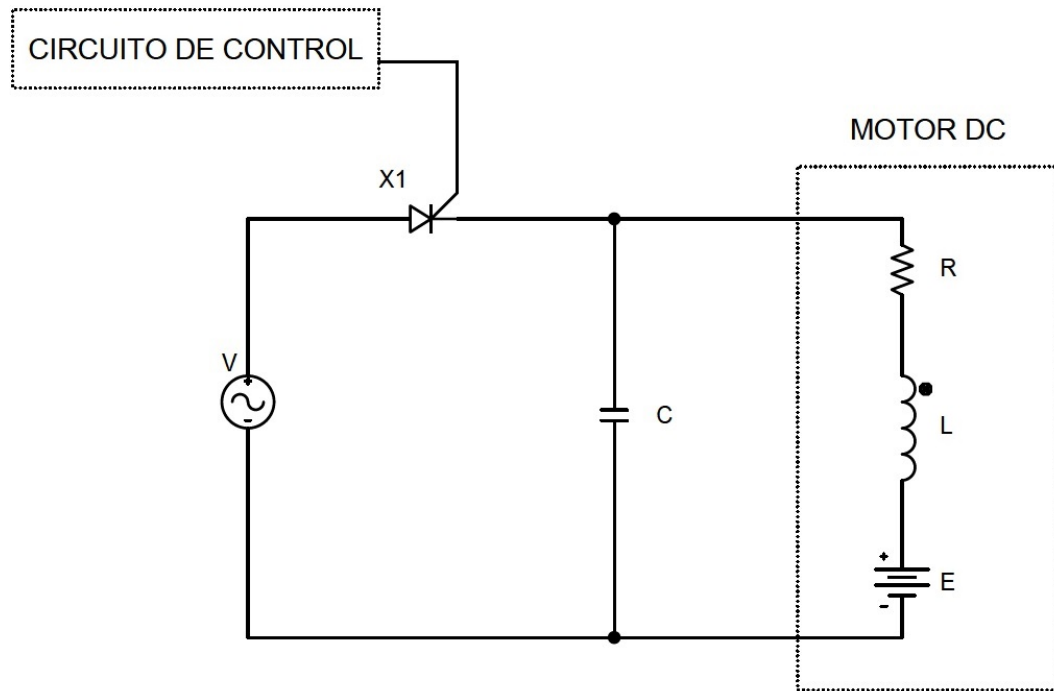
### **3.2.1. Rectificador de media onda**

Los elementos de este convertidor no permiten la conducción en el semiciclo negativo, ya que la tensión en el cátodo es mayor que en el ánodo, según sea el elemento que recorta, estos rectificadores se pueden clasificar en dos tipos [4]:

- Si el elemento que recorta la onda es un diodo, se le denominará convertidor ac/dc de media onda no controlado, ya que los diodos no se pueden controlar en si.

- Si el componente que recorta la onda fuera un elemento controlable, se le denominará convertidor ac/dc de media onda controlado, ya que se podrá variar el ángulo de disparo a través de un circuito de control.

En este trabajo final de grado se utilizará un rectificador de media onda controlado por tiristor como el siguiente:



**Figura 3.2.1** – Convertidor de media onda controlado por tiristor

La figura 3.2.1 está compuesta por un tiristor «X1» que recorta la onda según establezca el circuito de control. Este circuito de control está preparado para proteger la puerta del tiristor de posibles sobretensiones. El condensador «C» sirve para mejorar la estabilidad de la alimentación del motor.

En el supuesto que se empleara un diodo en vez de un tiristor, se consideraría un rectificador ac/dc de media onda no controlado [4].

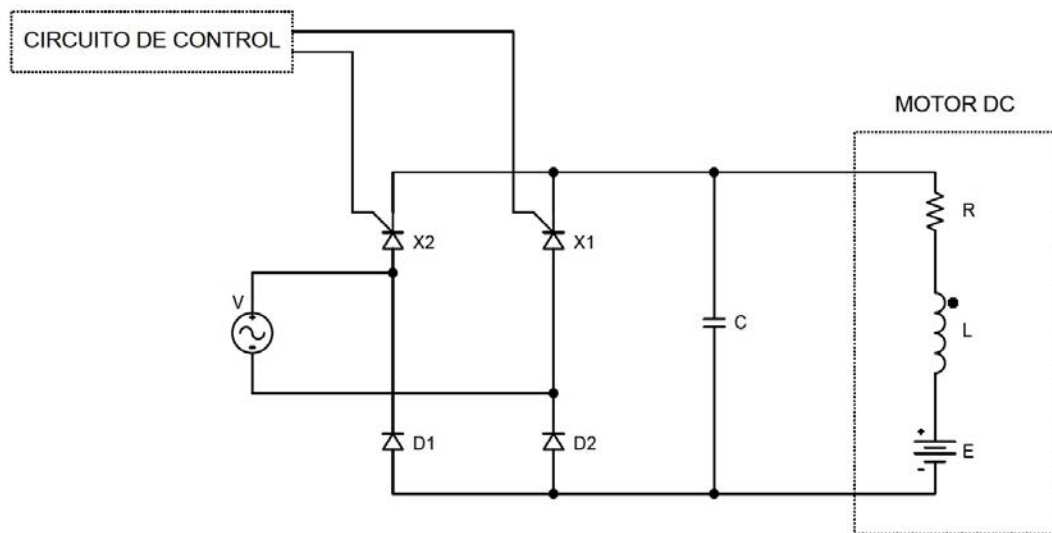
### 3.2.2. Rectificador de onda completa

Estos rectificadores son mucho más comunes. En este caso, el circuito de potencia se diferencia del anterior en que está compuesto por cuatro elementos en vez de uno y en función de estos elementos, se define qué tipo de convertidor es [4]:

- En el caso de que el circuito contenga cuatro diodos, el convertidor se considerará no controlado, ya que los diodos recortarán la onda de una forma continua y constante mientras que el resto del circuito no varíe. Este rectificador también se conoce como puente de Graetz.



- Suponiendo que el circuito contara con cuatro tiristores, se consideraría un convertidor controlado, ya que se podrá controlar todos los aspectos de la onda.
- Si contará con un sistema combinado de los anteriores, es decir, dos diodos y dos tiristores, se considerará un convertidor semicontrolado, ya que solo se podrá controlar la mitad de los componentes. En este trabajo final de grado se estudiará, diseñará e implementará este rectificador.



**Figura 3.2.2** – Convertidor de onda completa semicontrolado

En la figura 3.2.2 se muestra un ejemplo de un convertidor ac/dc de onda completa semi-controlado, en el que el tiristor «X2» y el diodo «D2» conducirán durante el semiciclo positivo de la entrada mientras que el tiristor «X1» y el diodo «D1» conducirán durante el semiciclo negativo. Esto quiere decir que los tiristores dispararán de forma independiente el uno del otro con un ángulo de retardo definido por el circuito de control [3].

## Capítulo 4

# Normas y referencias

### 4.1. Bibliografía

- [1] **Rafael Sanjurjo Navarro**, (2011), *Máquinas eléctricas*. ISBN 9788415214144, GARCIA MAROTO EDITORES.
- [2] **A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr., Stephen D. Umans.**, (2004), *Electric machinery*. ISBN 970104052X, McGraw Hill Interamericana.
- [3] **Salvador Martínez García, Juan Andrés Gualda Gil**, (2006), *Electrónica de potencia. Componentes, topologías y equipos*. ISBN 8497323971, International Thomson Editores Spain.
- [4] **Daniel W. Hart**, (2001), *Electrónica de potencia*. ISBN 8420531790, Pearson Educación.
- [5] **Wikipedia**, (2015), *Electric motor [online]*. Wikipedia, the free encyclopedia 2015 [fecha de consulta el 12 de Junio del 2015].
- [6] **Wikipedia**, (2015), *Instrumentación industrial [online]*. Wikipedia, la enciclopedia libre [fecha de consulta el 15 de Junio del 2015].
- [7] **Banzi, M.**, (2012), *Introducción a Arduino*. ISBN 9878441531772, ANAYA MULTIMEDIA.
- [8] **Etxebarria Isuskiza, M.**, (2012), *Arduino: la tecnología al alcance de todos*. ISBN 9788415270263, CREACIONES COPYRIGHT.

### 4.2. Programas de cálculo

En la realización de este trabajo final de grado fueron necesarios los siguientes programas:

- **TeXnicCenter**: como procesador de textos LaTeX.
- **Orcad-PSpice 16.3**: para el diseño y simulación de los distintos circuitos.
- **Arduino 1.6.5**: utilizado para la programación del microcontrolador Arduino.
- **Eagle 7.3.0**: para la realización de los esquemas y las placas.

## Capítulo 5

# Definiciones y abreviaturas

En este capítulo se recogen todas las definiciones y abreviaturas con su significado.

### 5.1. Abreviaturas

- **Vdc:** tensión de corriente continua o directa.
- **Vac:** tensión de corriente alterna.
- **AlNiCu:** material aluminio - níquel - cobre.
- **PCB:** Printed Circuit Board (placa de circuito impreso).

### 5.2. Definiciones

- **Rectificador o convertidor ac/dc:** circuito que permite transformar una corriente alterna en continua.
- **Microcontrolador:** elemento programable capaz de ejecutar ordenes grabadas en su memoria.
- **Offset:** es la diferencia de tensión entre las entradas de un amplificador operacional.
- **Mapeo:** función del microcontrolador ARDUINO que convierte de un rango de valores a otros.

## Capítulo 6

# Requisitos de diseño

En este capítulo se describen los requisitos de este trabajo final de grado. Los primeros son los establecidos por el tutor:

- Se diseñarán e implementarán dos convertidor ac/dc:
  - De media onda controlado.
  - De onda completa semicontrolado.
- Se utilizará un motor DC de imán permanente del fabricante MAXON.
- La gestión del circuito de control de los tiristores la realizará un microcontrolador ARDUINO UNO.
- Se buscará garantizar la protección del microcontrolador en la medida de lo posible.

Con el objetivo de reducir costes y simplificar el sistema se establecen otros requisitos:

- Se emplea un sistema para conmutar entre los sistemas de rectificación que consiste en la activación o desactivación de un tiristor.
- El motor elegido es de 12V, por lo que se elegirá un transformador que pueda suministrar este valor.

## Capítulo 7

# Análisis de las soluciones

Este capítulo de la memoria se presentan las distintas alternativas estudiadas, sus ventajas e inconvenientes y la justificación de la solución elegida.

### 7.1. Entrada analógica

En lo referente a la entrada analógica del ARDUINO, donde se toman valores de tensión de entrada definida por el potenciómetro PC165H de 100K $\Omega$ , mediante de un seguidor de tensión, utilizando el amplificador operacional LM741:

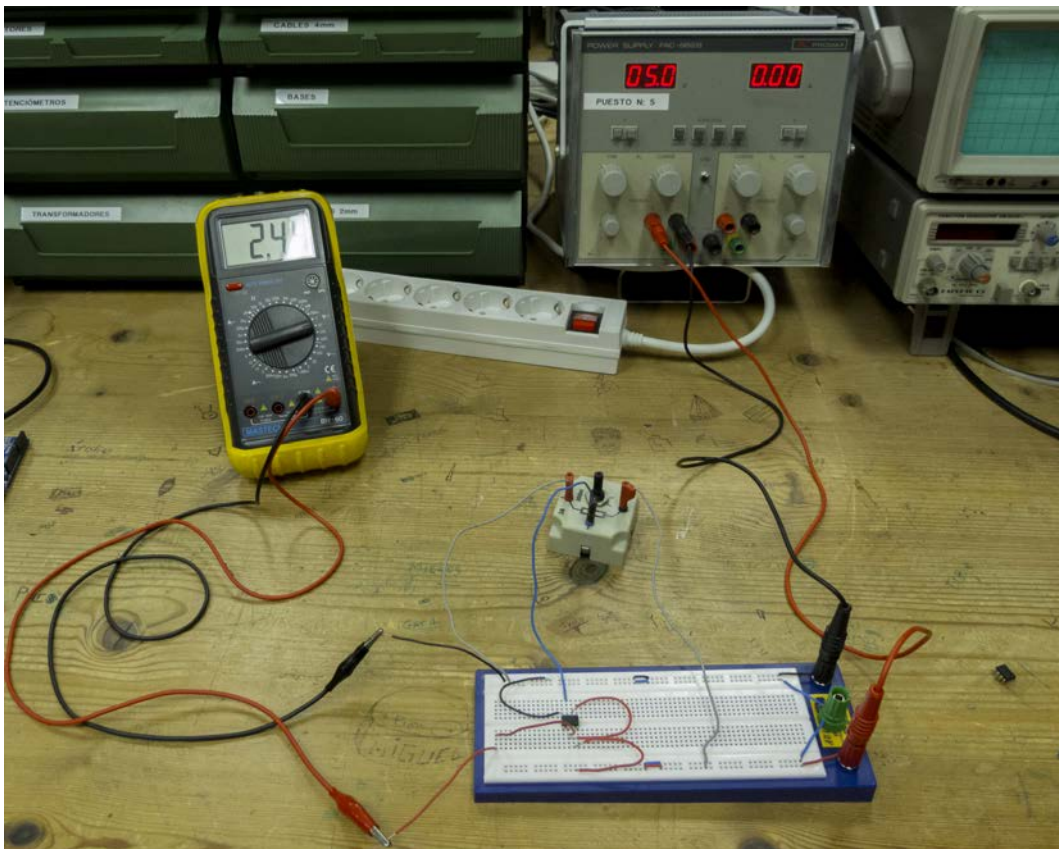
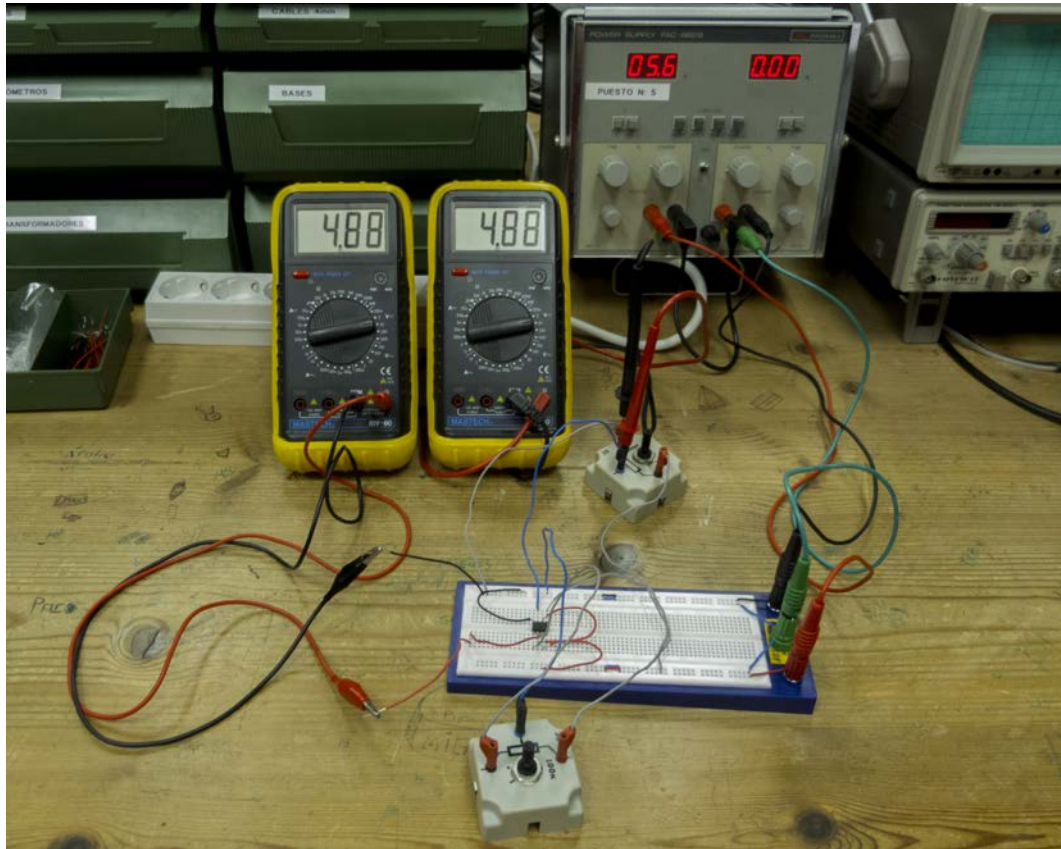


Figura 7.1.1 – Conexión de LM741 emulando alimentación de ARDUINO

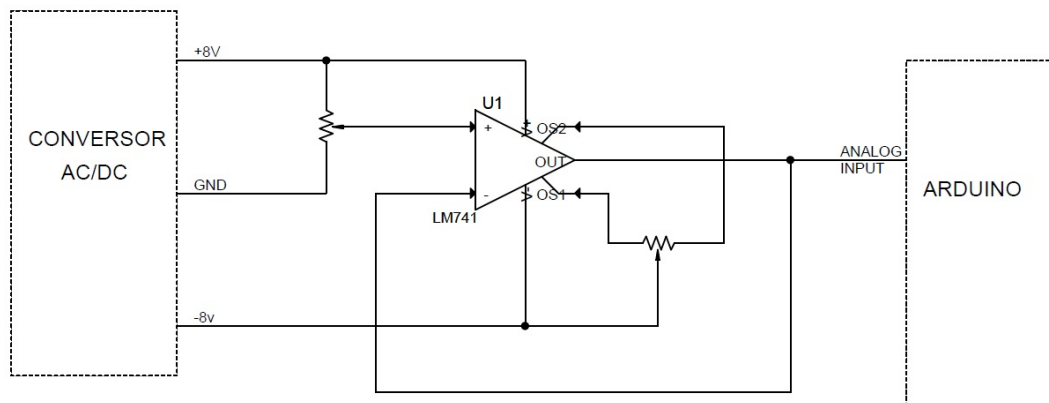
En la imagen 7.1.1 se toma una fuente de continua variable, a 5V para simular la alimentación del ARDUINO y se mide la tensión en el output del LM741. Se aprecia una gran tensión de offset, lo que limita la regulación entre 1,92V y 4,9V.

Siendo la regulación buscada entre 0 y 5V, así que se crea el siguiente circuito para compensarlo:



**Figura 7.1.2** – Tensión de offset corregida

En la imagen 7.1.2 se utiliza el circuito Offset Nulling del LM741 definido por el fabricante, aplicando el siguiente esquema:



**Figura 7.1.3** – Entrada analógica del ARDUINO con alimentación externa

En la figura 7.1.3 se utilizó una fuente de tensión continua simétrica de 5,6V y se posicionó el potenciómetro «R1» de forma que la tensión quedara ajustada correctamente.

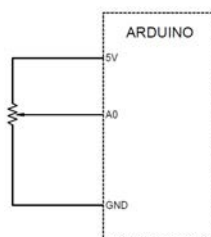
Esta solución es perfectamente valida, pero demasiado costosa, ya que para utilizar el LM741 como un seguidor de tensión preciso sería necesario:

- El circuito para corregir la tensión de offset.
- Un transformador para reducir la tensión de la red.
- Un puente rectificador para convertirla a continua.
- Un regulador adecuado.
- Los filtros correspondientes.

Por lo tanto se optó por utilizar el amplificador operacional rail to rail TLC2272AC [página 80], ya que a pesar de ser mas costoso, se puede utilizar con la alimentación del ARDUINO porque su offset es mínimo. Si se utilizara el amplificador LM741 sería necesario una alimentación con un transformador de tensiones simétricas, además de un optoacoplador para separar la tensión exterior del ARDUINO. Por lo tanto el amplificador rail to rail finalmente resulta más económico.

Otra posible variante se encuentra en el circuito del alimentación, más concretamente en el circuito que convierte los 12V en alterna en 5V de corriente continua. Para el funcionamiento de este circuito es necesario un rectificador de onda completa no controlado, por lo que existe la posibilidad de utilizar cuatro diodos o un puente rectificador prediseñado. En este trabajo final de grado se utilizarán los puentes de diodos prediseñados.

Por último, también existe la posibilidad de conectar directamente el potenciómetro como en la figura 7.1.4, en un instante inicial se construyo como seguidor de tensión para proteger el ARDUINO, ya que se estimaba corrientes superiores. Actualmente se ha llegado a la conclusión de que las corrientes no son tan elevadas como se preveían, siendo una alternativa perfectamente valida.



**Figura 7.1.4** – Regulación sin seguidor de tensión

## 7.2. Separación de circuitos

Las pruebas de funcionamiento de los distintos circuitos fueron realizadas independientemente unas de otras, por lo tanto, al ir acoplándolos se busca una separación de masas, se plantea una instalación con cuatro masas inicialmente diferenciadas:

- En el circuito de alimentación secundaria.
- En el circuito de detección de cero.
- En la placa ARDUINO.
- En el circuito de potencia.

Se obtienen estas masas diferenciadas por medio de los un transformador con dos secundarios, otro estándar y por medio de los optoacopladores.

Después de la implementación se hace otro estudio más exhaustivo sobre este tema y se llega a las siguientes conclusiones:

- El circuito de alimentación secundaria 8.1.2, que alimenta la placa ARDUINO con 9V comparten la misma masa, por lo tanto no existe una separación de tensión.
- La masa del circuito de alimentación secundaria 8.1.2 está físicamente unida a la masa del circuito de detección de cero 8.2.1, por lo tanto, y teniendo en cuenta el criterio anterior, sería innecesario el uso del optoacoplador del circuito 8.2.3.
- Por otro lado, en el circuito de potencia 8.5.5 es necesaria una referencia a masa en los ánodos de los diodos, esa masa se toma directamente de la placa ARDUINO, lo que unifica sus masas, por lo tanto no serían necesarios los dos optoacopladores restantes de la imagen 8.2.4.

En conclusión, debido a que la masa del ARDUINO está unida a las anteriores se llega a la conclusión de que los optoacopladores son prescindibles. Esta conclusión se alcanza una vez finalizado el dispositivo, por lo tanto este trabajo final de grado se incluyen los optoacopladores.



## Capítulo 8

# Resultados finales

Este Trabajo Final de Grado se podrá dividir en diferentes bloques, cada uno con unas funciones determinadas definidos en el siguiente diagrama:

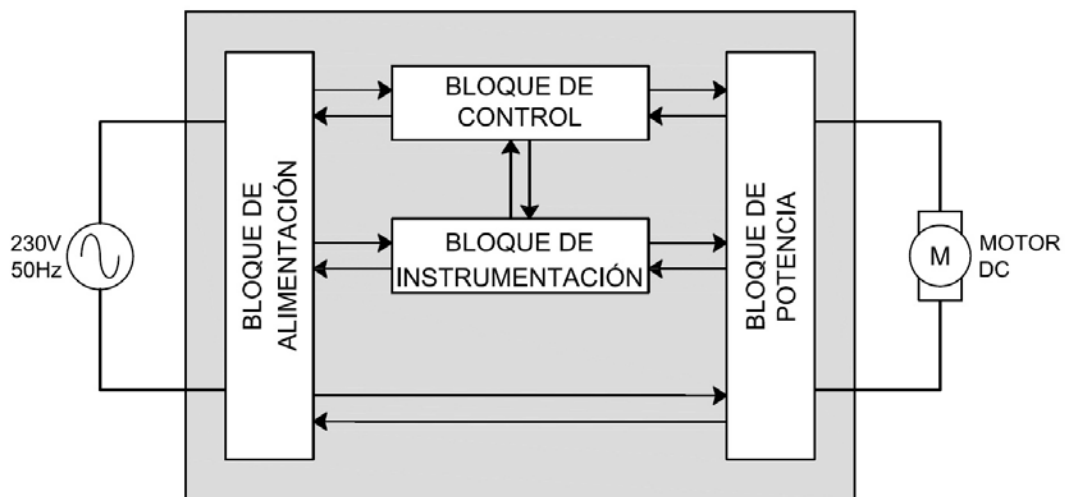


Figura 8.0.1 – Diagrama de bloques

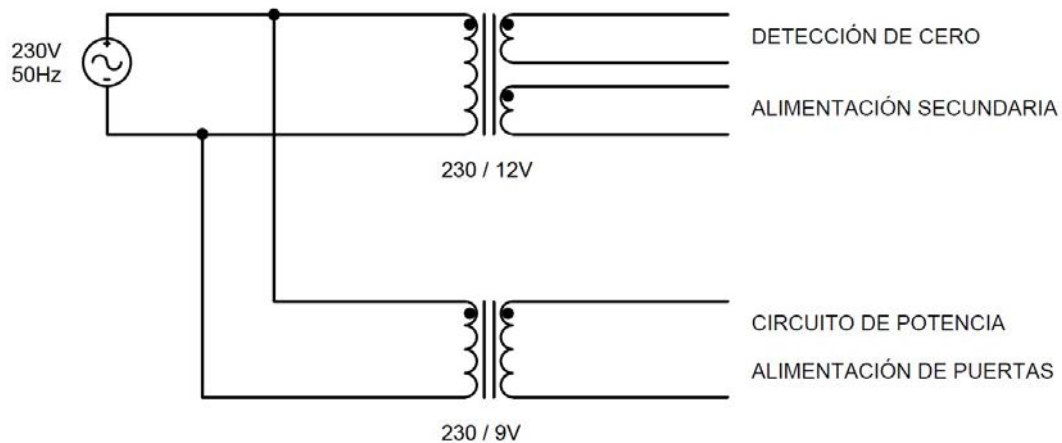
Cada uno de los bloques de la figura 8.0.1 cumple una función específica, a continuación se explicará detalladamente el diseño y la función que aportará cada bloque:

### 8.1. Bloque de alimentación

La finalidad de este bloque es tomar una entrada de directamente de la red de 230V a 50Hz y transformarla en una tensión útil para el correcto funcionamiento de cada bloque del sistema.

#### 8.1.1. Alimentación principal

En primer lugar es necesario el uso de dos transformadores, el primero reducirá la tensión de 230Vac a 9Vac y el otro, con dos secundarios que aportarán 12Vac cada uno:



**Figura 8.1.1** – Conexión general del transformador

En la figura 8.1.1 se puede apreciar que el primer secundario del transformador de 12Vac alimenta el circuito de detección de cero (bloque de instrumentación), mientras que el segundo secundario alimenta dos reguladores que convertirán los 12V de alterna en 5Vdc como alimentación secundaria y en 9Vdc para la alimentación del microcontrolador.

El transformador de 9Vac alimentará el motor a través del bloque de potencia, además de las puertas de los tiristores. Se toma este transformador porque su tensión máxima ( $9V_{rms} \cdot \sqrt{2} \approx 12V_{max}$ ) es aproximadamente igual a la tensión de funcionamiento del motor, siendo de 12Vdc.

El objetivo de la utilización de un transformador típico y otro con dos secundarios es disponer de tres alimentaciones aisladas entre ellas. Esto es fundamental debido a la complejidad de las masas de esta instalación, dado que:

- El circuito de detección de cero 8.2.1 toma como masa el neutro de su alimentación.
- El circuito de alimentación secundaria 8.1.2 necesita una masa aproximadamente cero para la correcta comparación del amplificador operación del circuito de detección de cero y para la masa de alimentación del ARDUINO.
- El bloque de potencia para no realizar un cortocircuito en los diodos de rectificación y tomar los cátodos de los tiristores como masa interna del ARDUINO.

### 8.1.2. Alimentación secundaria

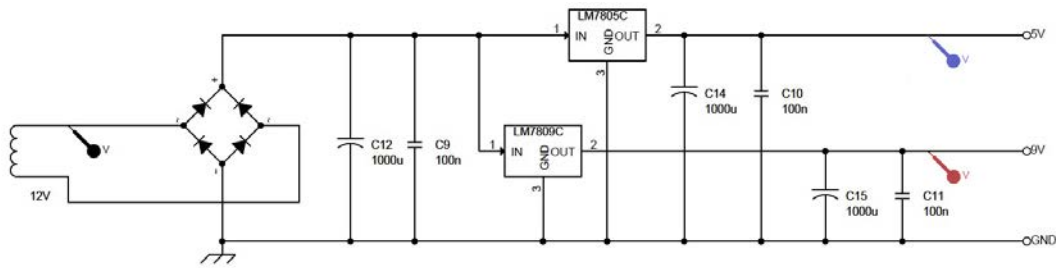


Figura 8.1.2 – Circuito de alimentación secundaria

Los reguladores empleados son:

- Un LM7805C convierte los 12Vac rectificadas en 5Vdc que alimentan al circuito de paso por cero.
- Un LM7809C que los convierte en 9Vdc que alimenta el ARDUINO.

Para ello se utiliza el circuito de la figura 8.1.2, obteniendo la siguiente respuesta:

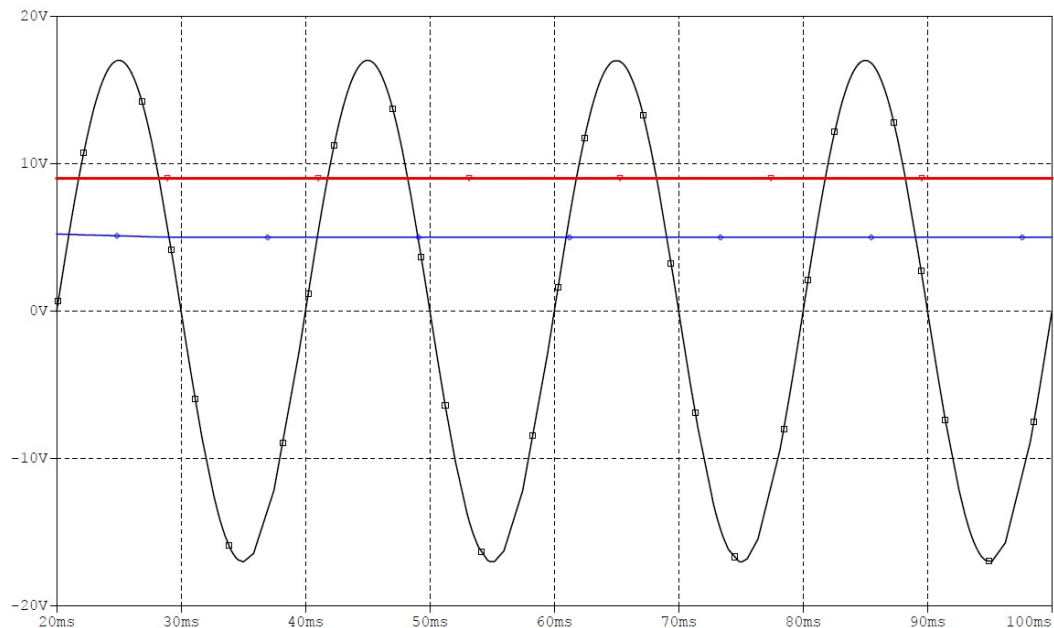


Figura 8.1.3 – Respuesta de la alimentación secundaria

En la grafica 8.1.3 se toma como referencia 12Vac (aproximadamente 16,97Vmax) procedentes del transformador (onda negra) y se compara con la tensión generada por el LM7805C de 5Vdc (onda roja) y con la tensión de 9Vdc del LM7809C (onda azul), observándose una correcta rectificación.

### 8.1.3. Alimentación de las puertas

Este circuito tiene como única finalidad aportar una tensión rectificadada de 12V a las puertas de los tiristores.

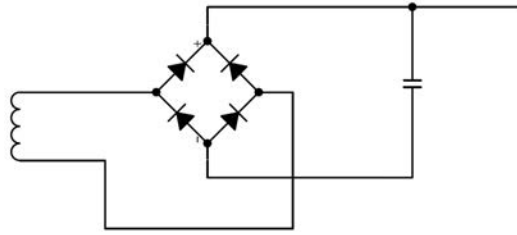


Figura 8.1.4 – Alimentación de las puertas de los tiristores

En la imagen 8.1.4 se muestra el esquema empleado que consiste en un puente rectificador de onda completa junto con un condensador.

## 8.2. Bloque de instrumentación

Este bloque tiene como finalidad convertir, controlar, medir y transmitir tensiones del proceso para un correcto funcionamiento del sistema.

### 8.2.1. Detección de paso por cero

Este circuito está alimentado con una tensión alterna senoidal de valor 12V procedentes del circuito de alimentación. Se encarga de leer esta señal y aportar un flanco cuando cada vez que pasa por cero.

Para su simulación se toma como elemento de alimentación una fuente de tensión alterna senoidal de 16,97Vmax (12Vrms) y 50Hz, ya que aportará valores similares a los reales. Se aplicará el siguiente circuito:

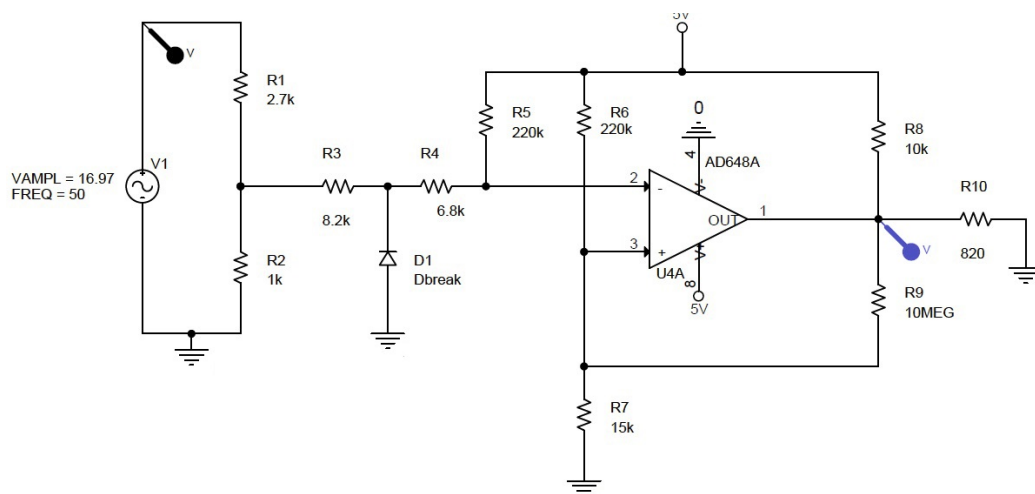
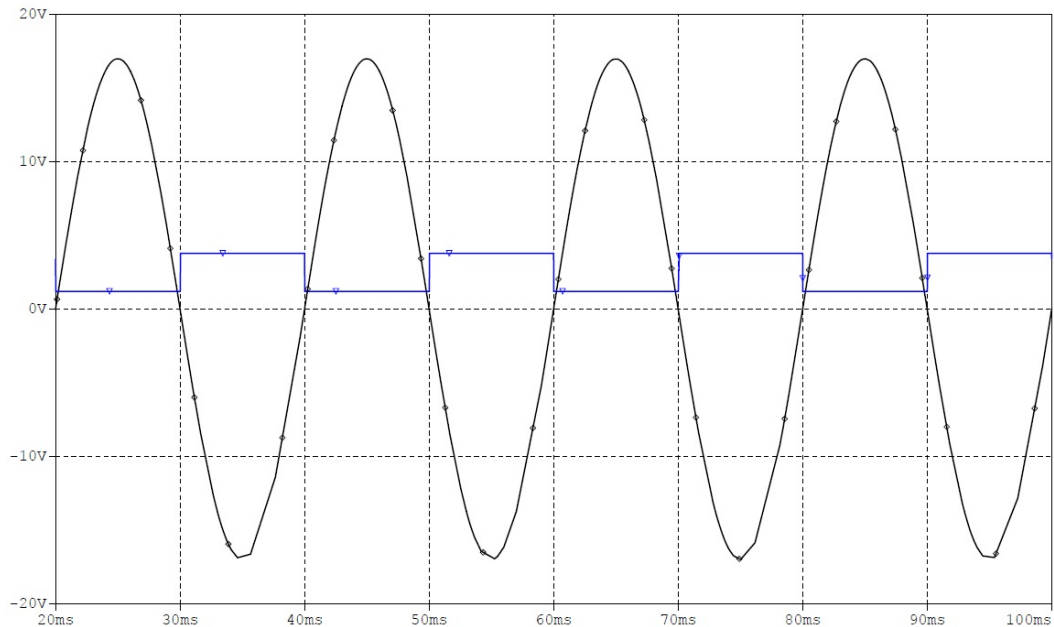


Figura 8.2.1 – Circuito de detección de paso por cero

En la figura 8.2.1, se coloca un medidor de tensión para la alimentación alterna senoidal de 12V y el otro en la salida del circuito. Simulando en Orcad - Pspice se observa que la respuesta es una onda cuadrada, de periodo igual que la alimentación como se muestra en la figura 8.2.2



**Figura 8.2.2** – Respuesta del circuito de detección de paso por cero

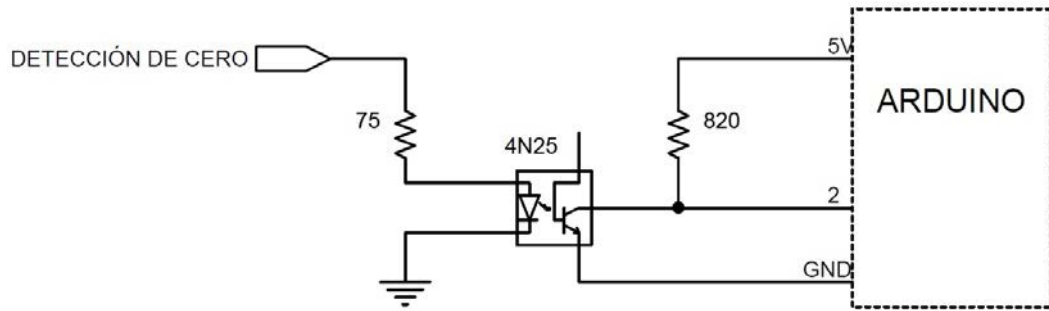
La función de este bloque es la información que aporta a la entrada del microcontrolador a través del bloque de instrumentación, que en este caso es un flanco de bajada cada vez que la entrada pasa por cero, siendo:

- Un flanco positivo cuando la tensión de entrada empieza a valer negativo.
- Un flanco negativo cuando la tensión de entrada deja de ser negativa.

### 8.2.2. Optoacopladores

Estos dispositivos se emplean para proteger el microcontrolador. Esta protección consiste en el aislamiento eléctrico mediante el acoplamiento óptico que se establece en los circuitos de entrada y salida.

En este trabajo final de grado se emplean tres optoacopladores 4N25 [página 98], uno situado entre el circuito de detección de cero y la entrada digital del microcontrolador y los otros dos entre las salidas digitales del microcontrolador y sus respectivas puertas de los tiristores



**Figura 8.2.3** – Protección de la entrada digital del ARDUINO

En la figura 8.2.3 se muestra el esquema de conexión del optoacoplador que protege el pin 2 del microcontrolador aislándolo eléctricamente del circuito de detección de paso por cero.

Teniendo en cuenta las características eléctricas del 4N25 [página 98], para proteger su input se añade una resistencia en serie con el mismo.

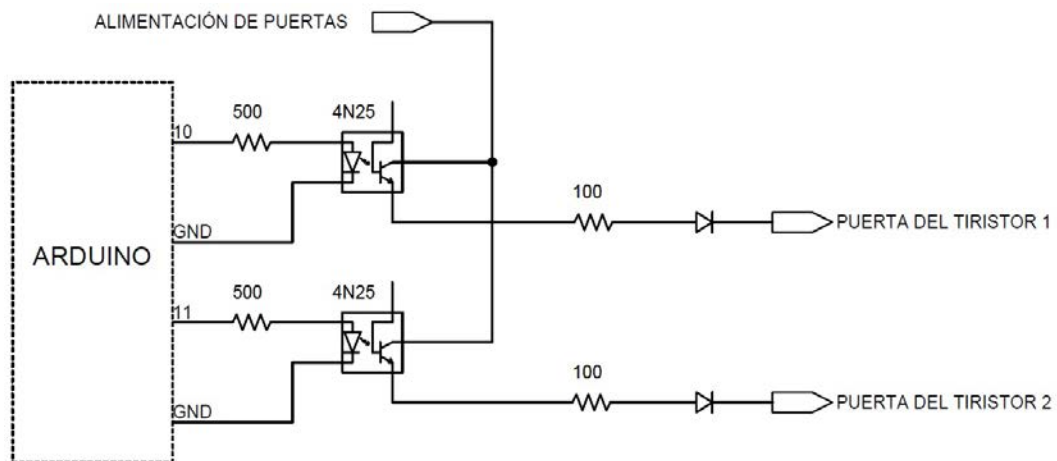
La onda generada por el circuito de detección de cero oscila entre los valores de 1,92V en el semiciclo positivo y 4,9V en el negativo. Estas tensiones no son útiles, ya que las entradas digitales del ARDUINO trabajan con las siguientes tensiones:

$$LOW = 0,3 \cdot V_{cc} = 0,3 \cdot 5V = 1,5V \quad (8.2.1)$$

$$HIGH = 0,6 \cdot V_{cc} = 0,6 \cdot 5V = 3V \quad (8.2.2)$$

De la ecuación 8.2.1 se deduce que el microcontrolador detecta un cero lógico si en sus entradas se aplica una tensión  $\leq 1,5V$  y en la ecuación 8.2.2 que un uno lógico es  $\geq 3V$ . La conexión del output del optoacoplador de la figura 8.2.3 consigue que en el ARDUINO entren unos valores 0 y 3,3V, lo que entra en los márgenes de correcto funcionamiento.

La salida del optoacoplador está invertida con respecto a su entrada, por lo tanto al inicio de cada ciclo habrá un flanco positivo que se tomará de referencia para el posterior programa de ARDUINO de la sección 8.3.6.



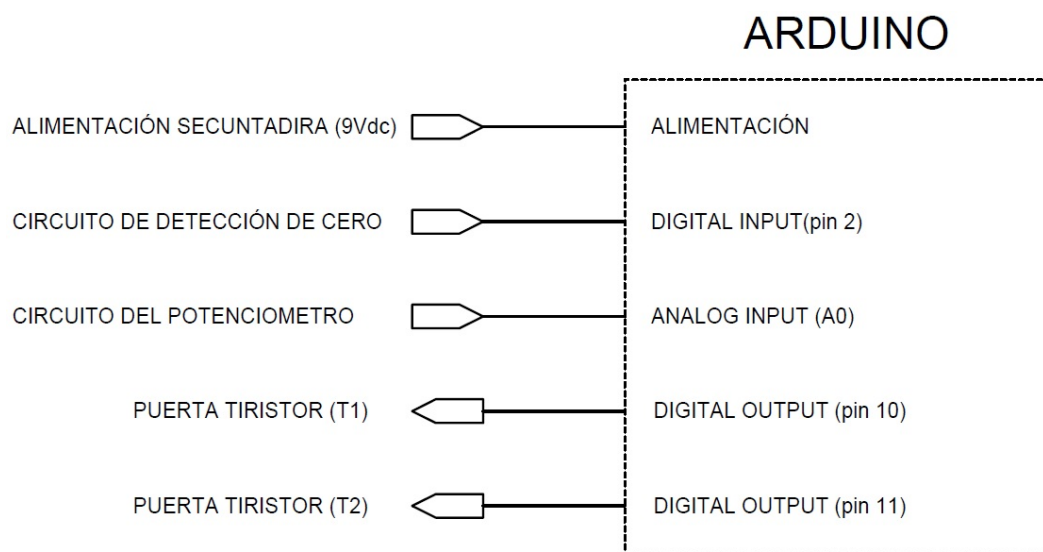
**Figura 8.2.4** – Aislamiento ARDUINO - tiristor

Los optoacopladores de la figura 8.2.4 están situados entre dos de las salidas de la placa del microcontrolador y las puertas de los tiristores, para evitar su conexión eléctrica. Igual que en el caso anterior, se colocan una resistencia de  $500\Omega$  en serie con cada input para protegerlos, como en el laboratorio no se disponía de ellas, se colocaron dos resistencias en paralelo de  $1k\Omega$  cada una.

En cuanto a los output, para el correcto funcionamiento de los tiristores, se coloca una resistencia de  $100\Omega$  y un diodo en serie como en la figura 8.2.4 para proteger cada puerta.

### 8.3. Bloque de control

El bloque de control está compuesto por un microcontrolador ARDUINO UNO R3 MEGA328P que tendrá las siguientes conexiones:



**Figura 8.3.1** – Esquema general de ARDUINO

La figura 8.3.1 representa las conexiones relacionadas con el microcontrolador:

- Una alimentación de 9Vdc suministrada por el circuito de alimentación secundaria.
- Una entrada digital que lee el valor del bloque de lectura.
- Una entrada que lee el valor analógico definido por un potenciómetro.
- Una salida digital para controlar el ángulo de disparo del tiristor.

#### 8.3.1. Alimentación

Para el correcto funcionamiento de este dispositivo es necesario 9Vdc, por lo tanto, estará alimentado con el circuito de alimentación secundaria 8.1.2 a través de un conector jack de alimentación.

### 8.3.2. Entrada digital

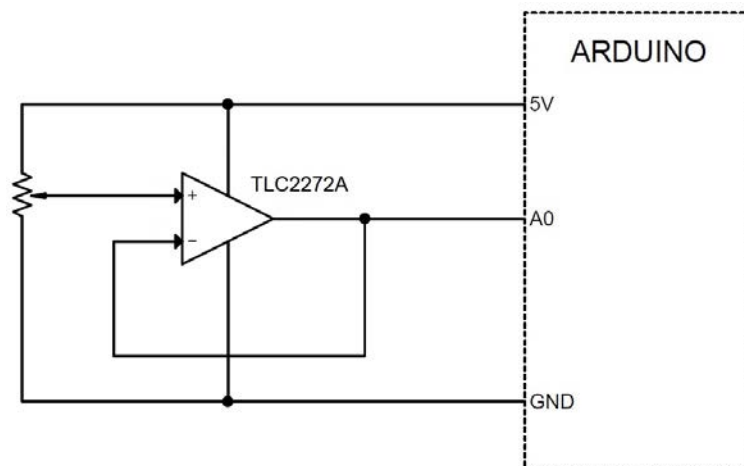
Esta entrada lee la señal de salida de un circuito que detecta el paso por cero explicado en 8.2.1 que define en que instante empieza cada ciclo. Este circuito es imprescindible para una correcta sincronización.

### 8.3.3. Entrada analógica

Esta entrada lee el valor de un potenciómetro que define un tiempo entre 0 y 10ms que dura un semiciclo para establecer el ángulo de disparo del primero de los tiristores utilizado en el bloque de potencia. El disparo del segundo tiristor se efectuará 10ms después del primero.

Este potenciómetro está alimentado a una tensión de 5V proporcionada por el ARDUINO y se conecta al pin 2 de entrada a través de un seguidor de tensión para aislar las impedancias ya que la de entrada es mayor que la de salida, además de consumir una intensidad mínima. No necesitará estar conectado a un optoacoplador, ya que, no esta conectado directamente a ninguna fuente externa.

La conexión sería la siguiente:



**Figura 8.3.2** – Entrada analógica del ARDUINO

En la figura 8.3.2 se conecta el potenciómetro multivuelta entre la salida de 5V del ARDUINO y la puerta del amplificador operacional rail to rail TLC2272AC [página 80], llevando la otra patilla a la masa del ARDUINO (GND).

El amplificador está conectado como seguidor de tensión, es decir, se le aporta una tensión en su entrada positiva ( $V_i$ ), mientras que su entrada inversa realimenta la salida ( $V_o$ ). De esta forma,  $V_i$  y  $V_o$  están prácticamente al mismo potencial. De esta manera se protege la entrada del ARDUINO.

Como se menciona anteriormente en el apartado 7, se utiliza un amplificador operacional rail to rail por la simplicidad del circuito y porque resulta más económico.

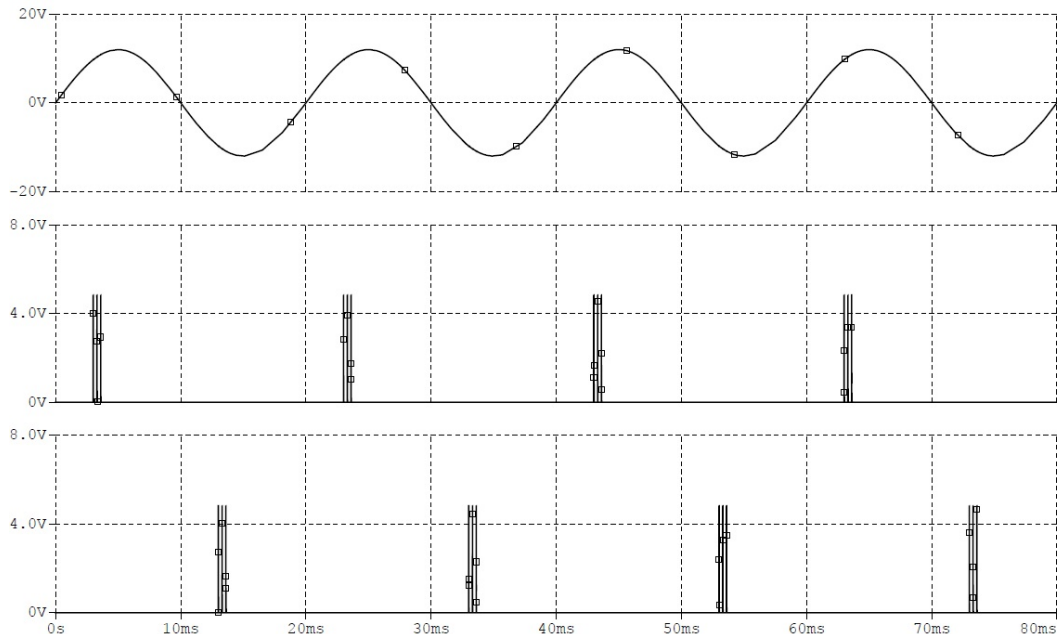
### 8.3.4. Salida digital

Utilizando los datos anteriores:



- La señal de paso por cero 8.2.1 como momento inicial del ciclo.
- La posición del potenciómetro como tiempo de retraso.

Se obtiene la siguiente gráfica:



**Figura 8.3.3 – Comportamiento del ARDUINO**

La figura 8.3.3, se toma como ejemplo un disparo con un retraso de 3ms y se representa las siguientes señales:

- En la primera gráfica se toma como referencia una tensión alterna de 9Vac.
- La segunda representa un tren de tres pulsos que suministra el microcontrolador para disparar el tiristor 1 a través del pin 10.
- La tercera onda muestra un segundo tren para activar el tiristor 2 a través del pin 11.

Los tren de pulsos de la figura 8.3.3 están interconectadas a las puertas de los tiristores por medio de optoacopladores.

En función de la posición del potenciómetro, el pulso utiliza un tiempo de actuación u otro, en la representación anterior se toma como ejemplo un retardo de 3ms, pero este valor puede variar entre 0 y 10ms. En el caso del convertidor de media onda aprovechará únicamente el pulso proporcionado en los semiciclos positivos (pin 10), mientras que con el convertidor de onda completa utilizarán todos los pulsos emitidos.

Se emplea un tren de pulsos para asegurarse de que los tiristores disparan, ya que la sucesión de flancos favorece esto.

La figura 8.3.3 es obtenida por medio de simulación, por lo tanto son valores ideales que no tiene en cuenta los tiempos de retraso de los distintos componentes.

### 8.3.5. Tiempos de respuesta

Para realizar una correcta programación del microcontrolador hay que tener en cuenta que las pérdidas en el tiempo derivadas de los distintos elementos que componen este trabajo final de grado.

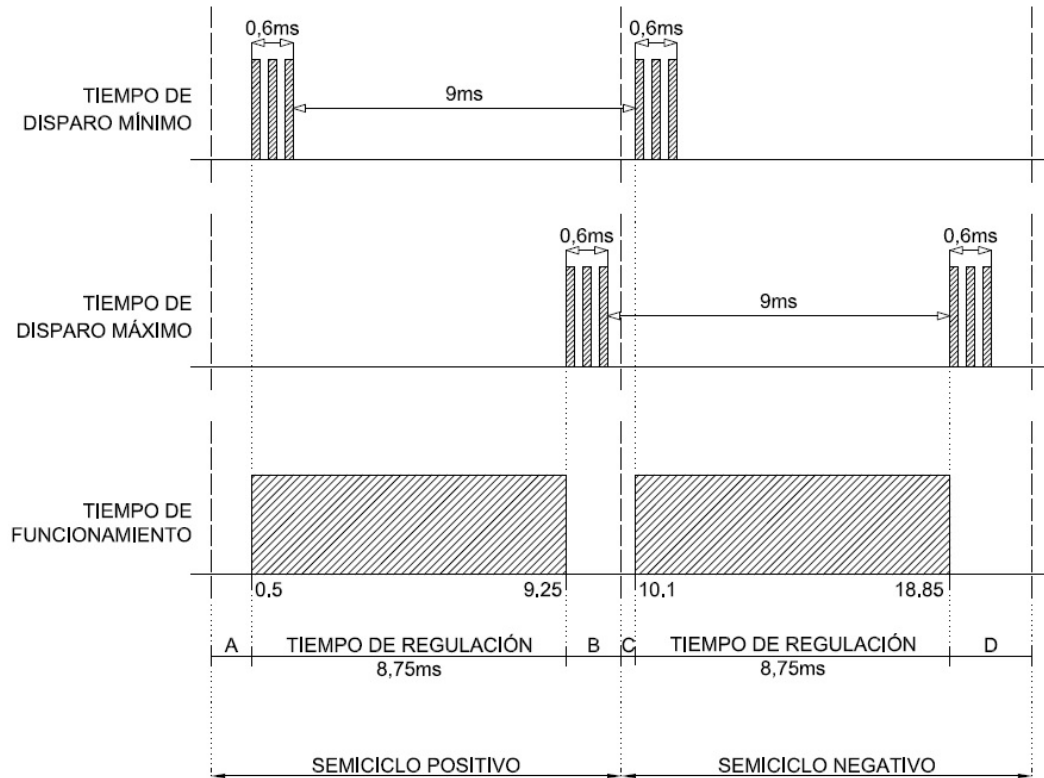


Figura 8.3.4 – Tiempos de retraso (fuera de escala)

En la gráfica 8.3.4 se analiza un ciclo completo, considerando los siguientes factores:

- **A:** El tiempo de respuesta de los aparatos instalados, además de cierto margen para que no solape el tren de pulsos del semiciclo negativo con el positivo. Su valor se considera de  $500\mu\text{s}$ .
- **B:** El tiempo de respuesta de los aparatos instalados, un margen para que el tren de pulsos no solape el semiciclo negativo y el ancho del propio tren ( $600\mu\text{s}$ ). Se toma un valor de  $750\mu\text{s}$ .
- **C:** Un tiempo para evitar solapamientos de  $100\mu\text{s}$ .
- **D:** Otro margen de tiempo más el ancho del tren ( $600\mu\text{s}$ ), se toma en total  $1,15\text{ms}$ .

En resumen, realmente no se conseguirá una regulación exacta entre 0-10ms y 10-20ms, sino que será entre 0,5-9,25ms y 10,1-18,85ms.

### 8.3.6. Programa de control

Para controlar las funciones de las entradas y salidas del ARDUINO se utiliza el siguiente programa, teniendo en cuenta que las entradas y las salidas son las de la figura 8.3.1:

```

%\label{codigouno}
int cero = 2;
int sal = 11;
int sal2 = 10;
int i = 0;
int j = 0;
float A;
float B;

void interrupcionP()
{
    A = analogRead(A0); //lee valor analogico de A0 (0-1023) en A
    B = map(A, 0, 1024, 500, 9250); //mapeo (0 - 1024bits) a (0.5 - 9.25ms)
    delayMicroseconds(B); //tiempo de espera para el pulso
    for (i = 0; i < 3; i++) //bucle de tres pulsos (tren de pulsos)
    {
        digitalWrite(sal, HIGH); //inicio del pulso (pin 11)
        delayMicroseconds(100); //pulso de 100us
        digitalWrite(sal, LOW); //fin del pulso (pin 11)
        delayMicroseconds(100); //espera de 100us
    }
    delayMicroseconds(9000); //tiempo para segundo semiciclo (9ms)
    for (j = 0; j < 3; j++) //bucle de tres pulsos (tren de pulsos)
    {
        digitalWrite(sal2, HIGH); //inicio del pulso (pin 10)
        delayMicroseconds(100); //pulso de 100us
        digitalWrite(sal2, LOW); //fin del pulso (pin 10)
        delayMicroseconds(100); //espera de 100us
    }
}

void setup()
{
    pinMode(sal, OUTPUT); //declara "sal" como salida
    pinMode(sal2, OUTPUT); //declara "sal2" como salida
    attachInterrupt(0, interrupcionP, RISING); //interrupción 0 (pin 2) por
} //flanco de subida

```

```
void loop() //escritura en el monitor serie:
{
  Serial.print("potenciometro: "); //potenciometro:
  Serial.print((100*A)/1024); //valor de la variable A (0-1023)
  Serial.print("%\t"); //tabulación
  Serial.print("tiempo: "); //tiempo:
  Serial.print(B/1000); //valor de la variable C (0-10)
  Serial.print("ms\n"); //ms
}
```

Este programa incluye instrucciones para visualizar el estado porcentual del potenciometro en relación con la temporización para la puerta del tiristor (entre 0 y 10ms) en el monitor serie del PC, esta parte del programa carece de sentido una vez comprobado su correcto funcionamiento.

Un ejemplo realizado en el laboratorio, consiste en un giro rápido en el potenciometro, obteniendo la siguiente visualización en el monitor serie.

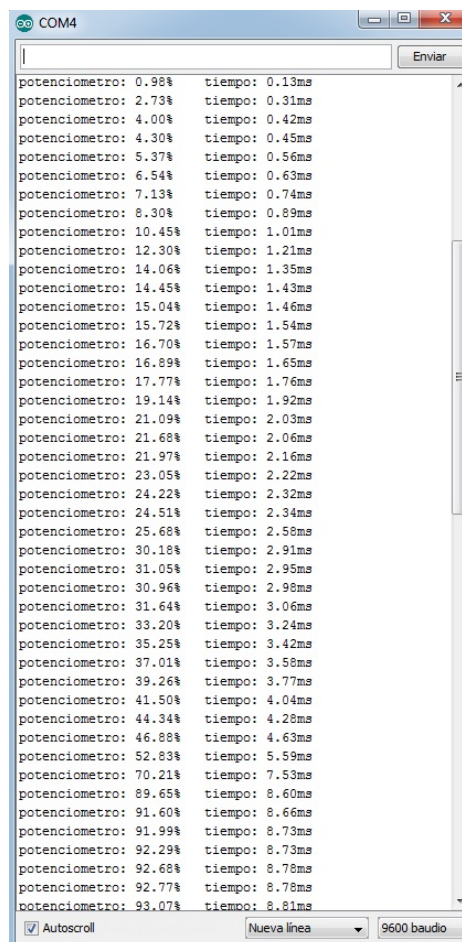


Figura 8.3.5 – Monitor Serie

En la figura 8.3.5 se puede apreciar el incremento de tiempo de retraso con respecto a la posición del potenciometro.

## 8.4. Motor DC

Este bloque está formado por un motor de corriente continua de imanes permanentes Al-NiCu sin hierro en el rotor. Este motor MAXON de la gama A-max presume de disponer de amplias posibilidades de combinación con reductores, sensores y electrónicas de control.



**Figura 8.4.1** – Motor maxon, gama A-max

Todos los valores tomados a continuación provienen del catálogo del fabricante que se encuentran en la página 73. El motor elegido tiene una referencia de N°110045, siendo las siguientes sus principales características de funcionamiento:

NOMINAL	Tensión	12	V
	Velocidad	6660	rpm
	Corriente	0.243	A
	Par	2.17	mNm
VACÍO	Velocidad	12300	rpm
	Corriente	9.57	mA
ARRANQUE	Corriente	0.52	A
	Par	4.77	mNm
Rendimiento		76	%

**Tabla 8.4.1** – Características del motor empleado

Desde el punto de vista de la simulación, se tendrá en cuenta que su resistencia eléctrica será de  $23,1\Omega$  y su reactancia inductiva de  $0,83\text{mH}$  definidas por el fabricante [página 73].

Sus constantes de par y velocidad son:

- $K_m = 9,17 \text{ mNm/A}$
- $K_n = 1040 \text{ rpm/V}$

Por lo tanto, para realizar la simulación se utilizará la fuerza electromotriz (E) en condiciones nominales:

$$E = \frac{\text{velocidad nominal}}{\text{cte de velocidad}} = \frac{n}{K_n} = \frac{6660}{1040} = 6,4V \quad (8.4.1)$$

Siendo la fuerza electromotriz  $E$ , quedan calculados todos los parámetros para una simulación aproximada.

## 8.5. Bloque de potencia

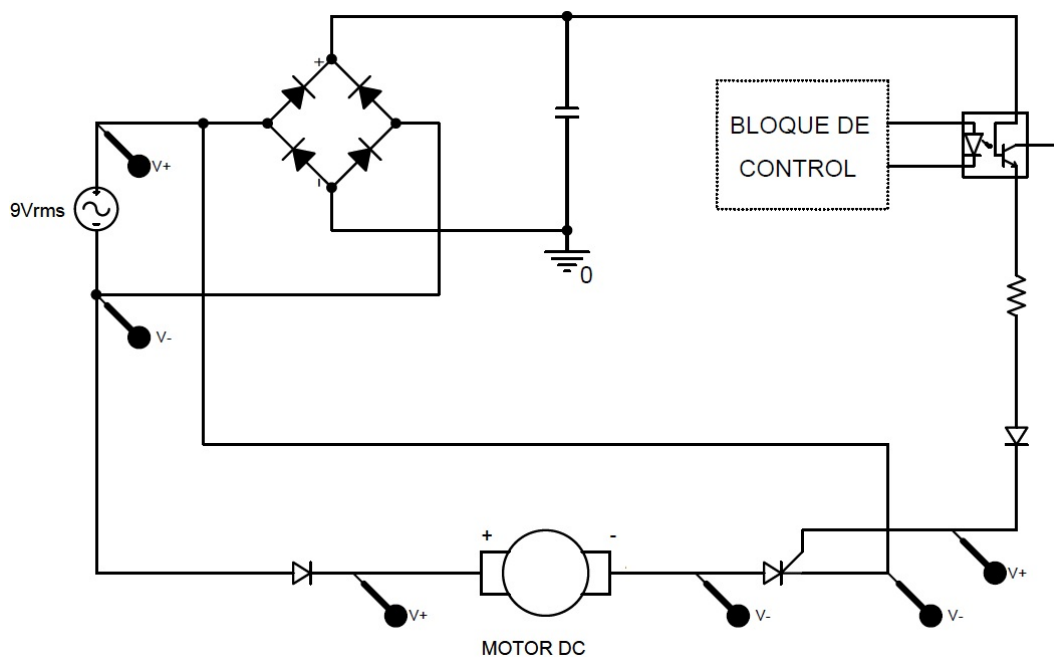
Este bloque se encarga de rectificar y acondicionar la tensión de entrada que proviene del bloque de alimentación transformándola en continua para la alimentación del motor. Siendo la tensión máxima de funcionamiento del motor de 12Vdc, se utiliza un transformador de 9Vac, ya que su tensión máxima será de 12Vmax.

Este bloque se diseñará y construirá de manera que sea posible realizar una conmutación que permita utilizar un convertidor de media onda controlado o un convertidor de onda completa semicontrolado mediante el uso de un interruptor.

En este capítulo se analizarán por separado para mayor simplicidad.

### 8.5.1. Convertidor de media onda controlado

Este rectificador de potencia consta de un tiristor cuyo ángulo de disparo es definido por el bloque de control, para su simulación en Orcad - Pspice se supone el siguiente circuito:



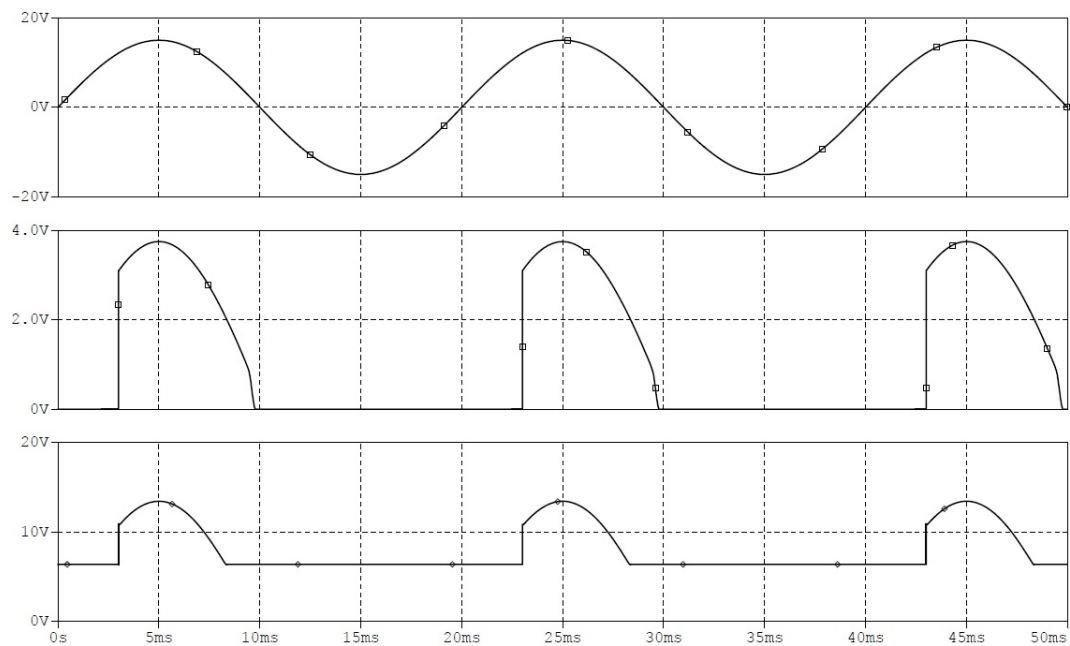
**Figura 8.5.1** – Simulación del rectificador de media onda controlado

En el circuito 8.5.1 se coloca el tiristor y un diodo en serie con el motor. El motor simulado [página 73] tiene un circuito equivalente que consta de una resistencia de  $23,1\Omega$ , una bobina de  $0,83\text{mH}$  y una fuerza contraelectromotriz variable con la velocidad. Para esta simulación se supone un funcionamiento nominal del motor, por lo tanto se toma la fuerza contraelectromotriz

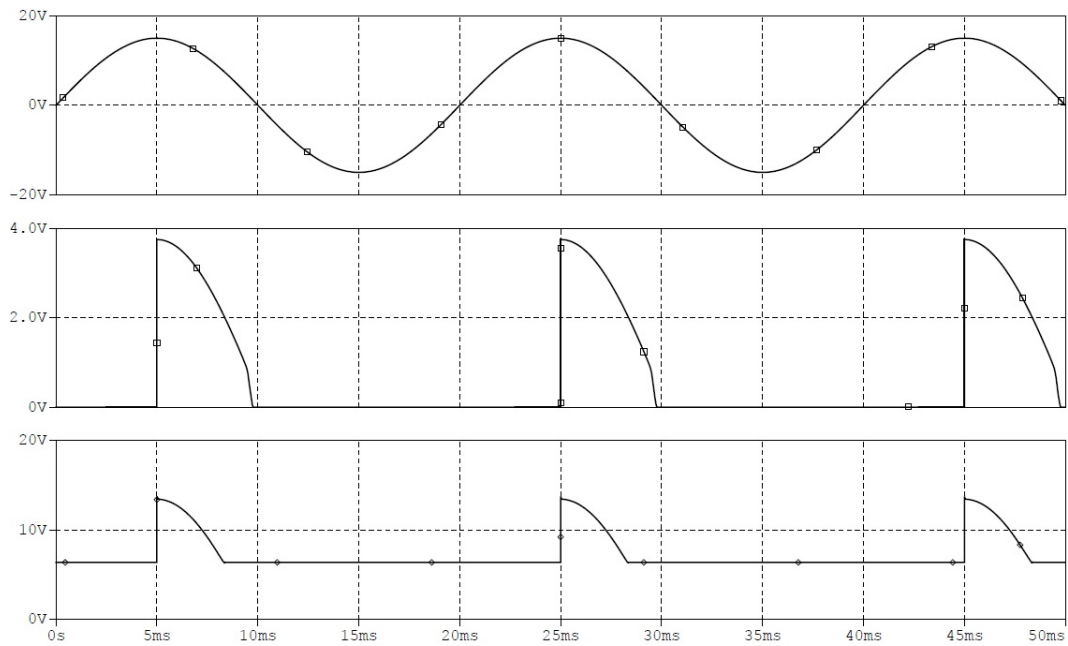
nominal de 6,4V calculados en la ecuación 8.4.1, esta suposición no es real, ya que esta tensión varía con la velocidad.

En este convertidor, el diodo incluido en el esquema 8.5.1 no es funcional, y produce una caída de tensión asumible, pero se incluye de todas formas porque, como será explicado en el apartado 8.5.3, ese diodo es una consecuencia del sistema de conmutación.

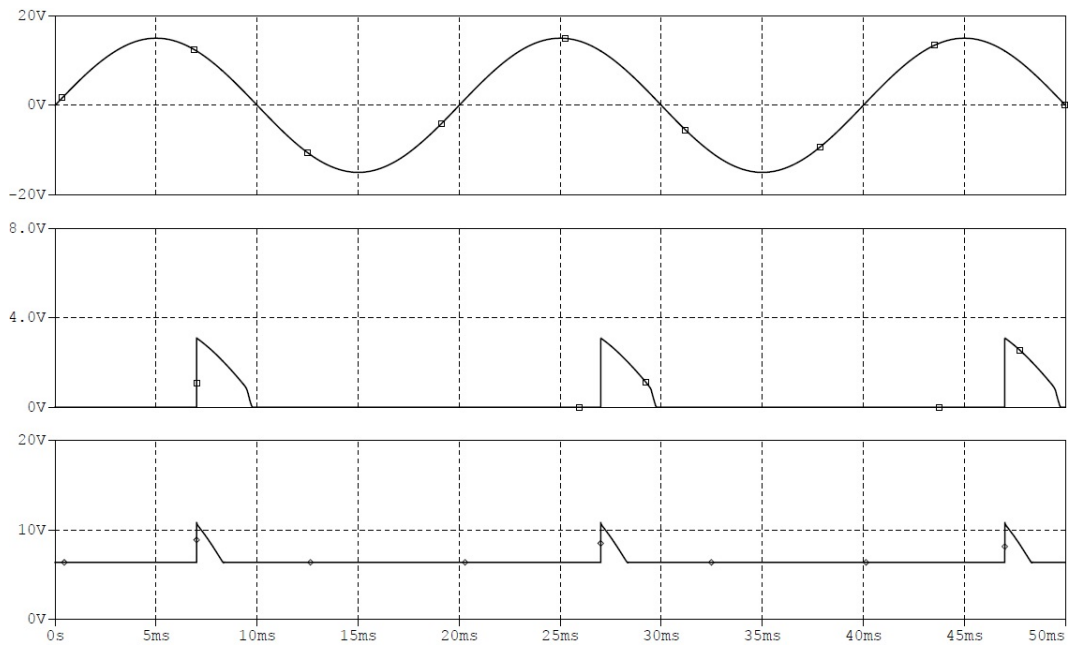
Para simular el pulso del bloque de control se utiliza una fuente generadora de pulsos de 50Hz a la que se le modifica el tiempo de paso de cero a 5V. Se puede variar entre 0 y 10ms el tiempo en el que se realiza el pulso, probando con distintos tiempos de pulso se obtuvieron los siguientes resultados:



**Figura 8.5.2 – Rectificación con tiempo de espera de 3ms**



**Figura 8.5.3 – Rectificación con tiempo de espera de 5ms**



**Figura 8.5.4 – Rectificación con tiempo de espera de 7ms**

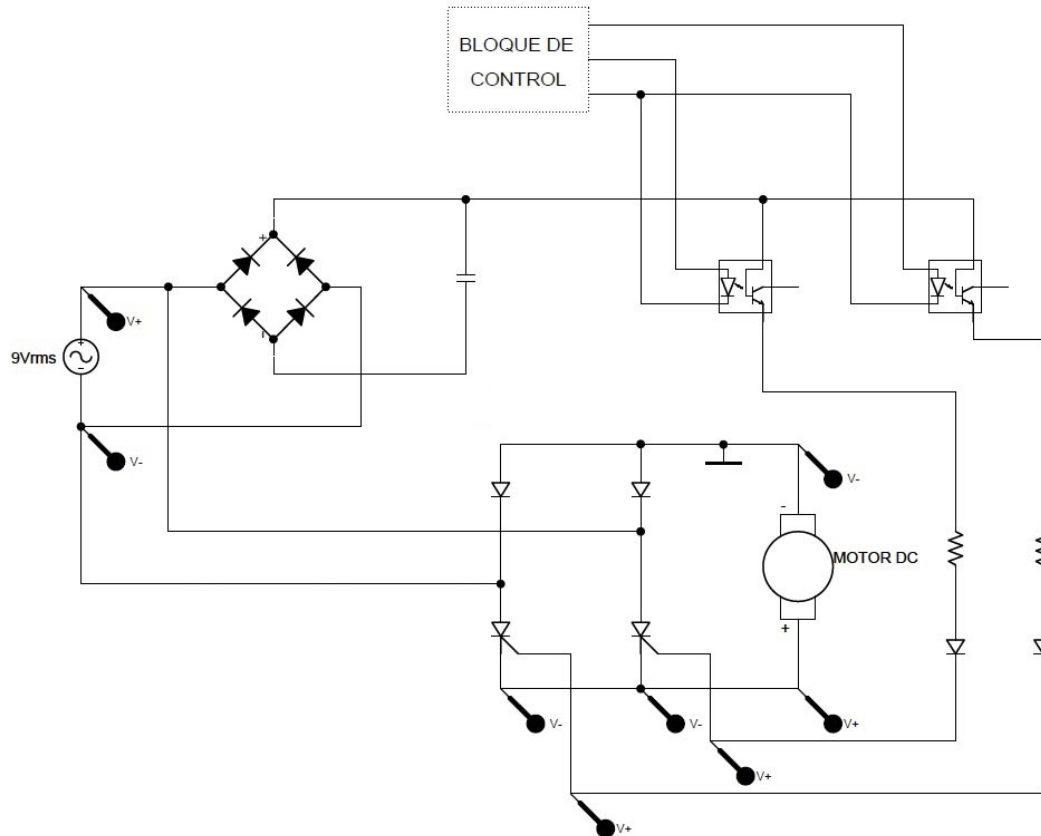
En las imágenes 8.5.2, 8.5.3 y 8.5.4 se simulan unos tiempos de espera de 3, 5 y 7ms respectivamente, siendo:

- Las gráficas superiores la onda alterna senoidal de 9Vrms de alimentación.
- Las gráficas centrales la diferencia de potencial entre la puerta y el cátodo del tiristor.
- Las gráficas inferiores la tensión en bornes del motor.



### 8.5.2. Convertidor de onda completa semicontrolado

Este rectificador de potencia consta de dos tiristores controlados por el mismo bloque de control que el convertidor de media onda controlado 8.5.1. Este convertidor utiliza el siguiente circuito:

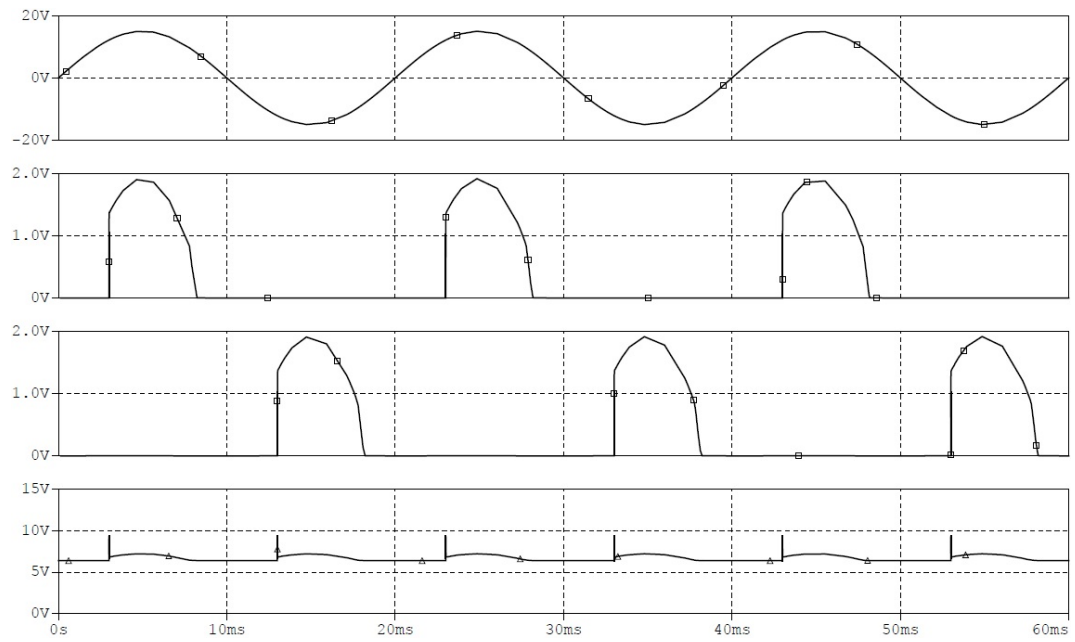


**Figura 8.5.5** – Simulación de un rectificador de onda completa semicontrolado

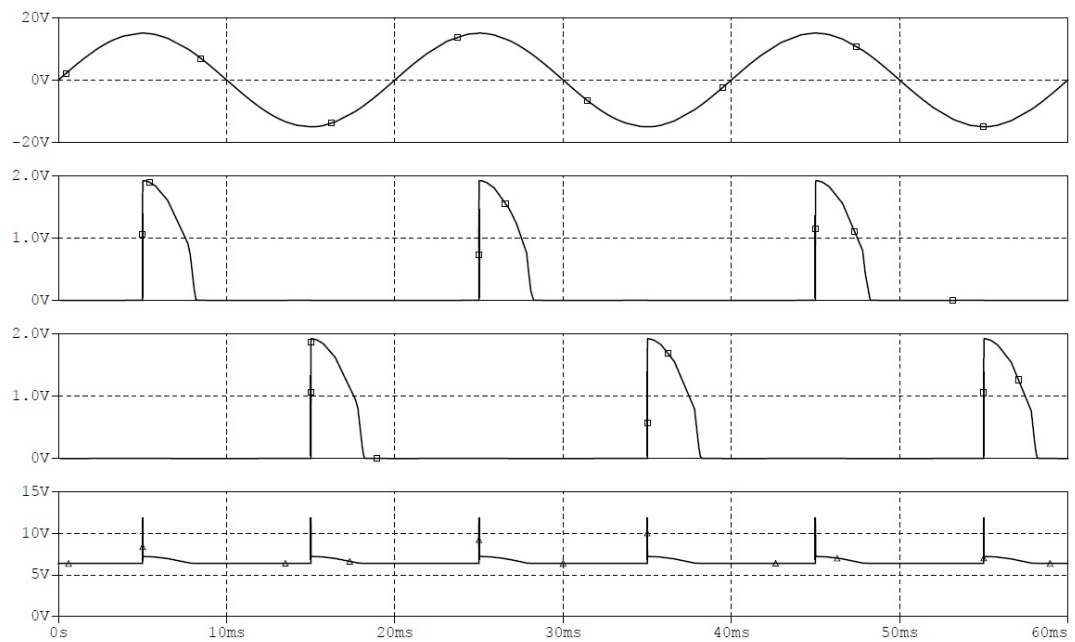
El circuito de la figura 8.5.5 es simulado con el mismo motor que el convertidor de media onda 8.5.1, se vuelve considerar en condiciones nominales de funcionamiento, así que se utilizan las mismas consideraciones para sus componentes:

- Resistencia equivalente del motor de  $23,1\Omega$
- Bobina equivalente del motor de  $0,83\text{mH}$
- Fuerza contraelectromotriz nominal del motor de  $6.4\text{V}$

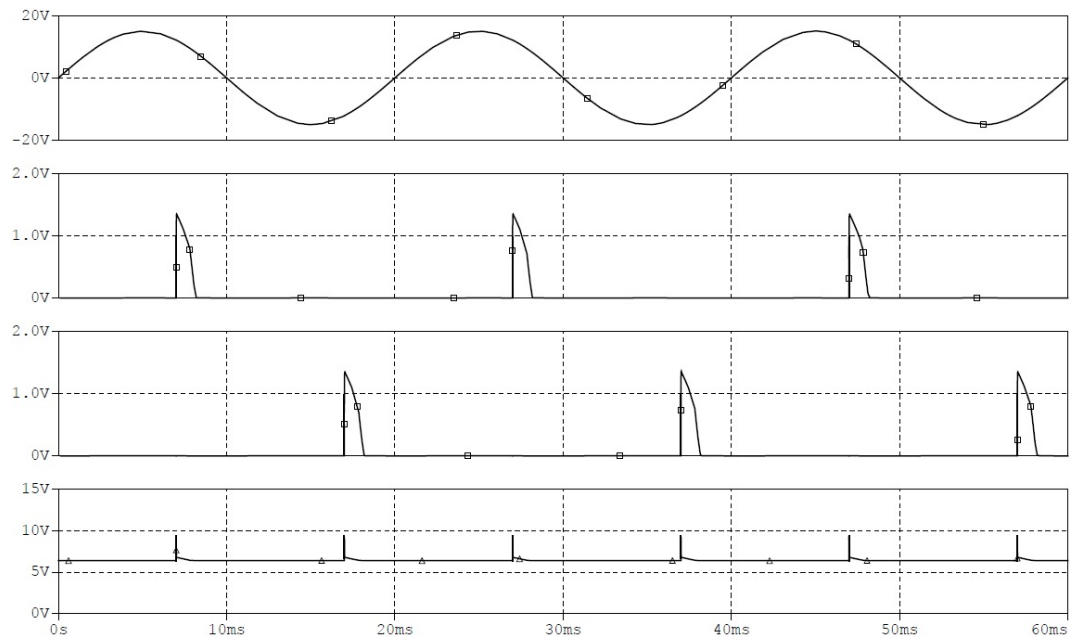
Para simular el bloque de control se utilizan dos fuentes de pulsos de  $5\text{V}$  y  $50\text{Hz}$ . La primera proporciona un pulso en la puerta de un tiristor en el semiciclo positivo y la segunda proporciona un al otro tiristor en el semiciclo negativo. Después de simular el circuito 8.5.5 en Orcad - PSpice se obtuvieron los siguientes resultados:



**Figura 8.5.6 – Rectificación con tiempo de espera de 3ms y 13ms**



**Figura 8.5.7 – Rectificación con tiempo de espera de 5ms y 15ms**



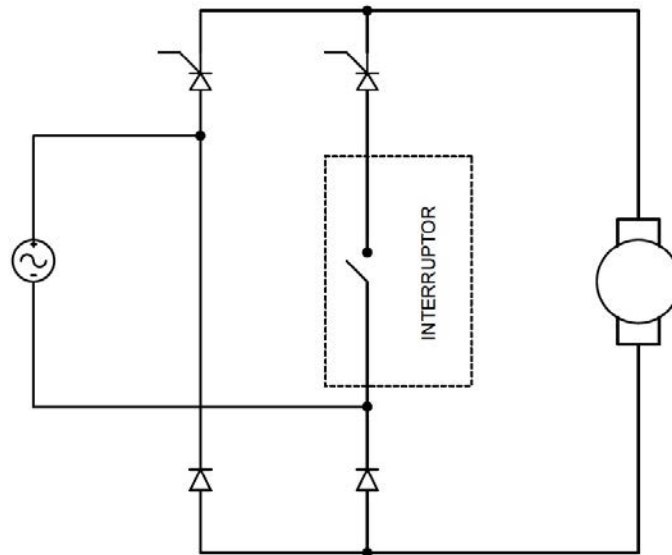
**Figura 8.5.8 – Rectificación con tiempo de espera de 7ms y 17ms**

En la simulación 8.5.6 se dispara un tiristor en 3ms (semiciclo positivo) y el segundo en 13ms (semiciclo negativo), mientras que en la imagen 8.5.7 se disparan en 5 y 15ms y en la 8.5.8 a los 7 y 17ms. Siendo:

- Las gráficas superiores la onda alterna senoidal de 9Vrms de alimentación.
- Las segundas gráficas la tensión entre la puerta y el cátodo del tiristor positivo.
- Las terceras gráficas la tensión entre la puerta y el cátodo del tiristor negativo.
- La gráfica inferior la tensión en bornes del motor.

### 8.5.3. Sistema de conmutación

Uno de los requisitos de este trabajo final de grado es que la regulación de velocidad por un rectificador de onda completa o media onda. Para evitar la creación de dos rectificadores separados se diseña un sistema para conmutar entre ambos, aprovechando los mismos componentes. El circuito diseñado es el siguiente:



**Figura 8.5.9** – Sistema de conmutación

En la figura 8.5.9 se intercala un interruptor para evitar la rectificación del semiciclo negativo, con este sistema se consigue cambiar entre un sistema de rectificación y otro.

## Capítulo 9

# Orden de prioridad entre los documentos básicos

En este trabajo final de grado el orden de prioridad de los documentos básicos incluidos será el siguiente:

1. Planos
2. Pliego de condiciones
3. Presupuesto
4. Memoria

TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

---

# **ANEXOS**

---

PETICIONARIO: **ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N**

**15405 - FERROL**

FECHA: **FEBRERO DE 2016**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**

## Índice del documento ANEXOS

<b>10 Documentación de partida</b>	<b>47</b>
10.1 Anteproyecto . . . . .	47
10.2 Asignación de trabajo fin de grado . . . . .	48
<b>11 Montaje y pruebas</b>	<b>51</b>
11.1 Alimentación primaria y secundaria . . . . .	51
11.1.1 Placa de prototipado . . . . .	51
11.1.2 Placas multiperforadas . . . . .	52
11.1.3 Placa de circuito impreso . . . . .	54
11.1.4 Análisis . . . . .	54
11.2 Detección de paso por cero . . . . .	55
11.2.1 Placa de prototipado . . . . .	55
11.2.2 Placa multiperforada . . . . .	55
11.2.3 Placa de circuito impreso . . . . .	56
11.2.4 Análisis . . . . .	57
11.3 Circuito del regulación . . . . .	58
11.3.1 Placa de prototipado . . . . .	58
11.3.2 Placa multiperforada . . . . .	59
11.3.3 Placa de circuito impreso . . . . .	60
11.3.4 Análisis . . . . .	61
11.4 Salidas ARDUINO . . . . .	62
11.5 Circuito de potencia . . . . .	65
11.5.1 Placa de prototipado . . . . .	65
11.5.2 Placa multiperforada . . . . .	66
11.5.3 Placa de circuito impreso . . . . .	66
11.5.4 Análisis convertidor de media onda controlado . . . . .	67
11.5.5 Análisis convertidor de onda completa semicontrolado . . . . .	68
<b>12 Hojas de características</b>	<b>71</b>
A-max 16 . . . . .	72
C106D1 . . . . .	74
TLC2272AC . . . . .	79
TL061CN . . . . .	90
4N25 . . . . .	97
1N4007 . . . . .	102

## Capítulo 10

# Documentación de partida

### 10.1. Anteproyecto

El documento de partida de este trabajo final de grado es su anteproyecto, contenido que se expone a continuación:

**Título:**

Estudio e implementación de un convertidor AC/DC para el control de un motor de continua del laboratorio.

**Objeto:**

En este Trabajo Final de Grado se realizará un estudio de los convertidores de potencia de corriente alterna a corriente continua, particularizado a los convertidores controlados, especialmente orientados al control de máquinas de corriente continua.

Se realizará el diseño de un convertidor de media onda y de un convertidor de onda completa, ambos controlados.

**Alcance:**

- Estudio de los convertidores de potencia, prestando especial atención en las diferentes topologías de convertidores de media onda y onda completa controlados.
- Adquisición de las tensiones de alimentación del convertidor, de los tiempos de disparo de los dispositivos de conmutación y la tensión de salida al motor, etc.
- Obtener conclusiones sobre los convertidores empleados.

**Directores:**

- Jose Luís Calvo Rolle
- Luís Alfonso Fernández Serantes



## **10.2. Asignación de trabajo fin de grado**

A continuación de adjunta el documento acreditativo de la asignación del trabajo final de grado.



# ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

## ASIGNACIÓN DE TRABAJO FIN DE GRADO

**En virtud de la solicitud efectuada por:**

*En virtud da solicitude efectuada por:*

**APELLIDOS, NOMBRE:** Álvarez Acevedo, Francisco

*APELIDOS E NOME:*

**DNI:** [REDACTED] **Fecha de Solicitud:** FEB2015

*DNI: Fecha de Solicitude:*

**Alumno de esta escuela en la titulación de Grado en Ingeniería Eléctrica, se le comunica que la Comisión de Proyectos ha decidido asignarle el siguiente Trabajo Fin de Grado:**

*O alumno de esta escola na titulación de Grado en Enxeñería Eléctrica, comunícaselle que a Comisión de Proxectos ha decidido asignarlle o seguinte Traballo Fin de Grado:*

**Título T.F.G:** Estudio e implementación de un convertidor AC/DC para el control de un motor de continua del laboratorio

**Número TFG:** 770G02A95

**TUTOR:** (Titor) Calvo Rolle, Jose Luis

**COTUTOR/CODIRECTOR:** Luis Alfonso Fernández Serantes

**La descripción y objetivos del Trabajo son los que figuran en el reverso de este documento:**

*A descrición e obxectivos do proxecto son os que figuran no reverso deste documento.*

*Ferrol a Martes, 3 de Febrero del 2015*

Retirei o meu Traballo Fin de Grado o día \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ do ano \_\_\_\_\_

*Fdo: Álvarez Acevedo, Francisco*

**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO:**Objeto

En este Trabajo Final de Grado se realizará un estudio de los convertidores de potencia de corriente alterna a corriente continua, particularizado a los convertidores controlados, especialmente orientados al control de máquinas de corriente continua. Se realizará el diseño de un convertidor de media onda y de un convertidor de onda completa, ambos convertidores controlados. Se procederá al análisis del comportamiento del motor y convertidor en función del ángulo de disparo de los dispositivos de conmutación, obteniéndose un modelo de los motores.

## Alcance

- Estudio de los convertidores de potencia, prestando especial atención en las diferentes topologías de convertidores de media onda y onda completa controlados.
- Adquisición de las tensiones de alimentación del convertidor, de los tiempos de disparo de los dispositivos de conmutación y la tensión de salida al motor, etc.
- Deducción de la fuerza electromotriz que presenta el motor y análisis de las variables de éste.
- Creación de un modelo particularizado para el motor empleado (Motores MAXON), obteniendo valores de los diferentes parámetros (corriente, tensión, rpm?), creando una base de datos de dichos parámetros lo más exhaustiva posible dentro del rango de operación del motor.
- Obtener conclusiones sobre los convertidores empleados y el modelo obtenido.

# Capítulo 11

## Montaje y pruebas

Este trabajo final de grado se implementó al completo en el laboratorio de electrónica de la Escuela Universitaria Politécnica de Ferrol.

Para ello se realizó en gran parte con materiales del laboratorio, utilizando el siguiente orden:

- El montaje inicial, el en que se comprueba que los circuitos están correctamente diseñados se realiza en placas de prototipado (ProtoBoard).
- A continuación se monta en placas multiperforadas, ya que las placas de prototipado presentan problemas de ruido y conexiones con grandes pérdidas.
- Finalmente se utilizan placas de circuito impreso diseñadas con anterioridad (PCB).

### 11.1. Alimentación primaria y secundaria

Este montaje tiene como fin la alimentación total de los circuitos. Para ello se implementa el circuito de alimentación principal explicada anteriormente en la figura 8.1.1, que consta de dos transformadores, uno de 9Vrms y otro con dos secundarios de 12Vrms.

Además se incluir la alimentación secundaria definida anteriormente en la figura 8.1.2 que sirve para alimentar el circuito de detección de cero con 5V en corriente continua y la placa ARDUINO con 9Vdc. Para ello se utiliza un regulador LM7805 para la alimentación a 5V y un regulador LM7809 para la de 9V [página ??]. Ambos son alimentados por un puente rectificador KBP204G [página ??].

#### 11.1.1. Placa de prototipado

En el montaje inicial de este circuito se utilizan los transformadores del laboratorio:



Figura 11.1.1 – Transformadores del laboratorio

Los transformadores de la figura 11.1.1 no son los indicados para este circuito, ya que tienen una potencia excesiva, pero como prueba inicial son perfectamente válidos.

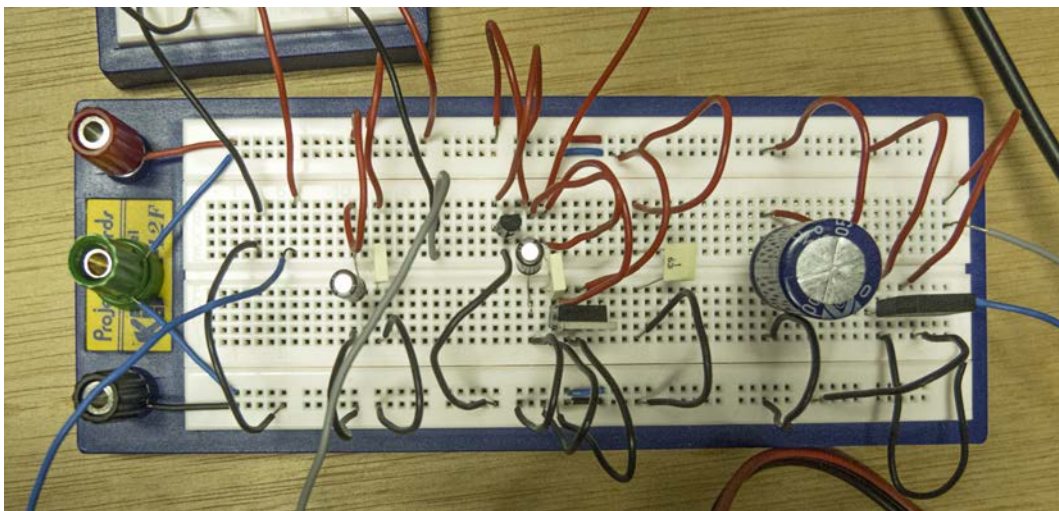
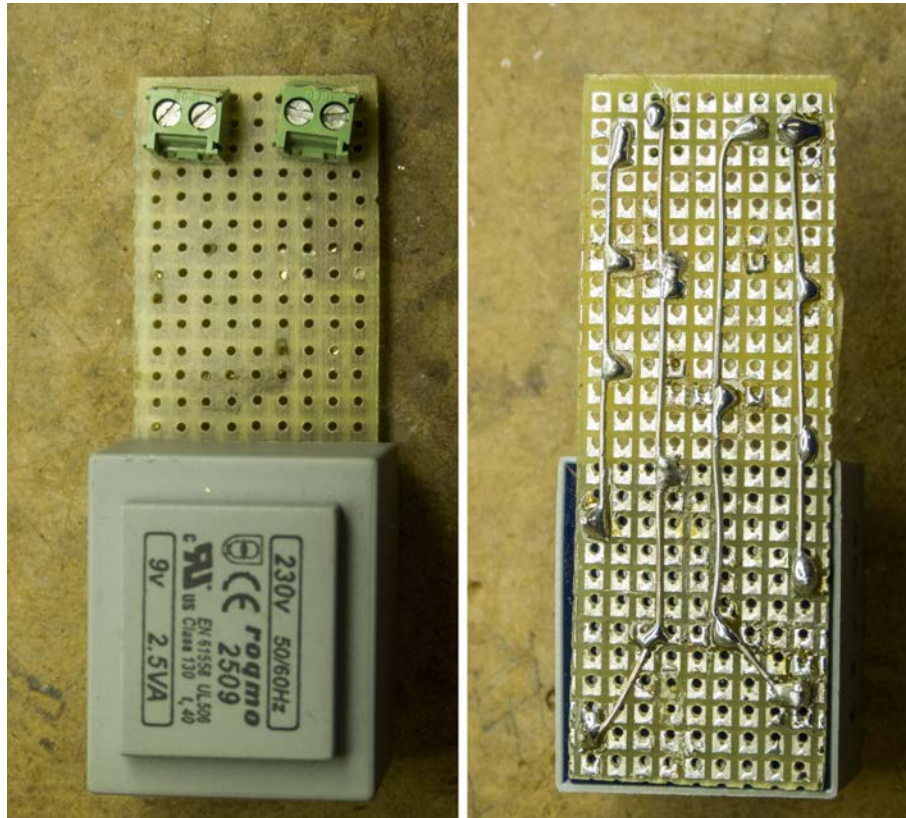


Figura 11.1.2 – Montaje de la alimentación secundaria en Protoboard

En la figura 11.1.2 se aprecia la conexión de la alimentación secundaria correspondiente al esquema 8.1.2. Para comprobar su correcto funcionamiento se mide las tensiones de salida en la posterior sección 11.1.4.

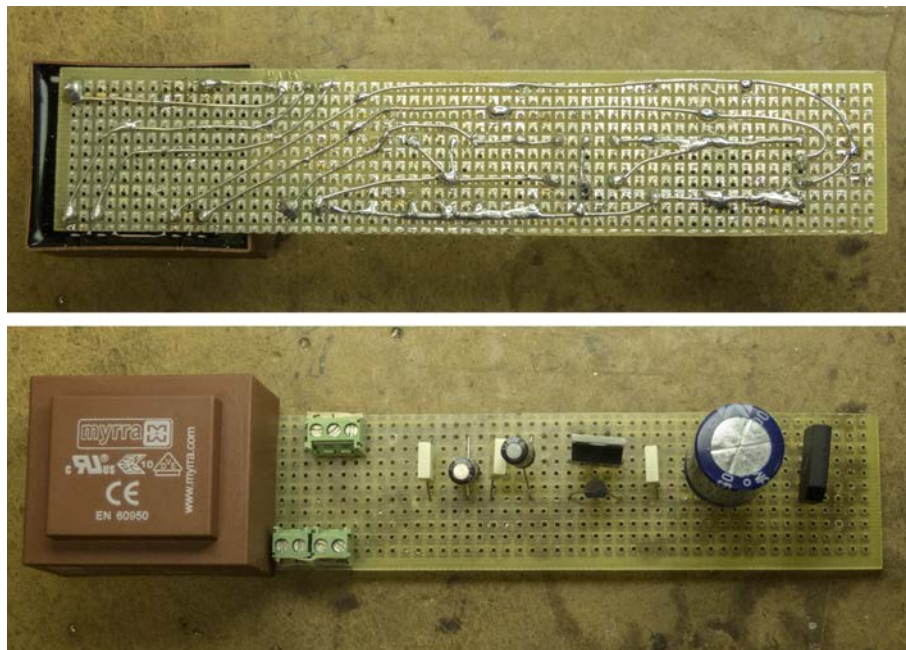
### 11.1.2. Placas multiperforadas

Este montaje que realiza una vez completado el anterior. Aprovechando el material del laboratorio se montan dos placas distintas:



**Figura 11.1.3** – Montaje de la alimentación en placa multiperforada (1)

En la placa 11.1.3 se monta únicamente el transformador de 9Vrms perteneciente a la alimentación principal.



**Figura 11.1.4** – Montaje de la alimentación en placa multiperforada(2)

En la placa 11.1.4 se instala el transformador de 12Vrms con dos secundarios (pertene-

ciente a la alimentación principal), además de la alimentación secundaria.

### 11.1.3. Placa de circuito impreso

Finalmente se diseña e implementa este circuito en placa de circuito impreso (PCB) como el de la figura 11.1.5 :

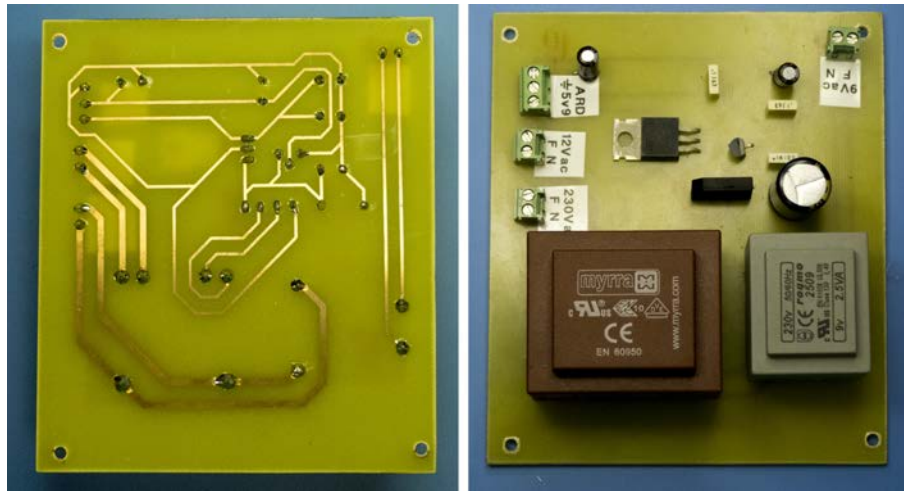


Figura 11.1.5 – Montaje de la alimentación en PCB

### 11.1.4. Análisis

Después del montar cada placa se comprueba su correcto funcionamiento en los pines de salida:

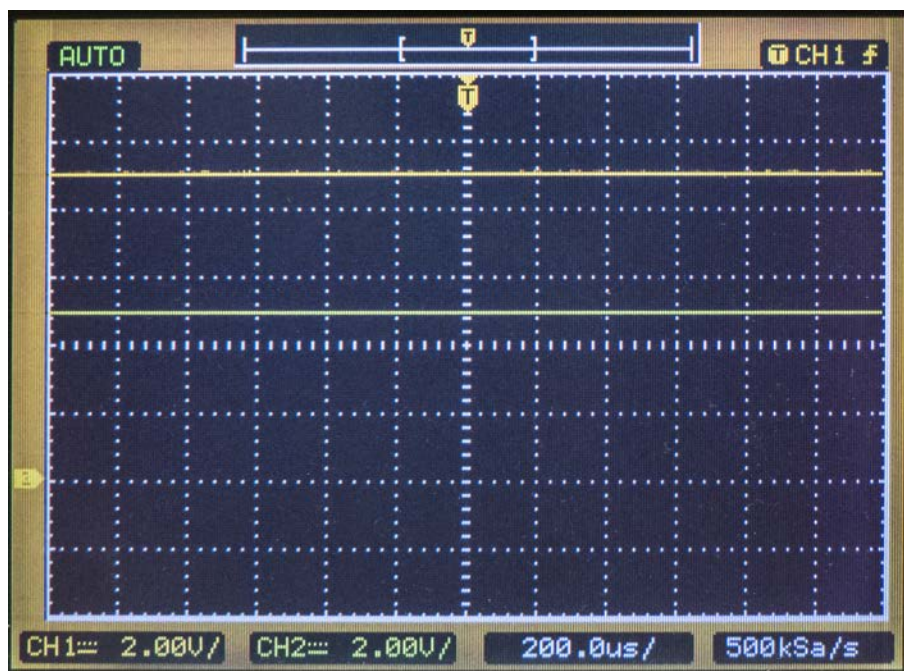


Figura 11.1.6 – Alimentación secundaria

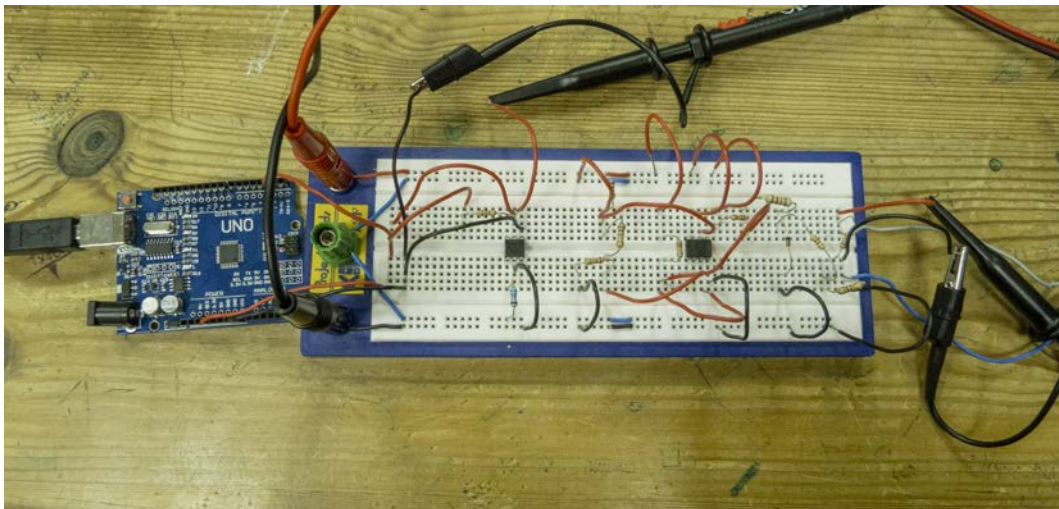
En la figura 11.1.6 se puede observar que las ondas de 5 y 9Vdc son muy estables.

## 11.2. Detección de paso por cero

El montaje de este circuito corresponde al esquema 8.2.1, en el que se emplea un amplificador operacional TL061CN [página 91]. Se conecta con la placa ARDUINO a través de un optoacoplador 4N25 [98] que aísla electricamente e invertirá la señal.

### 11.2.1. Placa de prototipado

El montaje inicial es en la placa de prototipado:



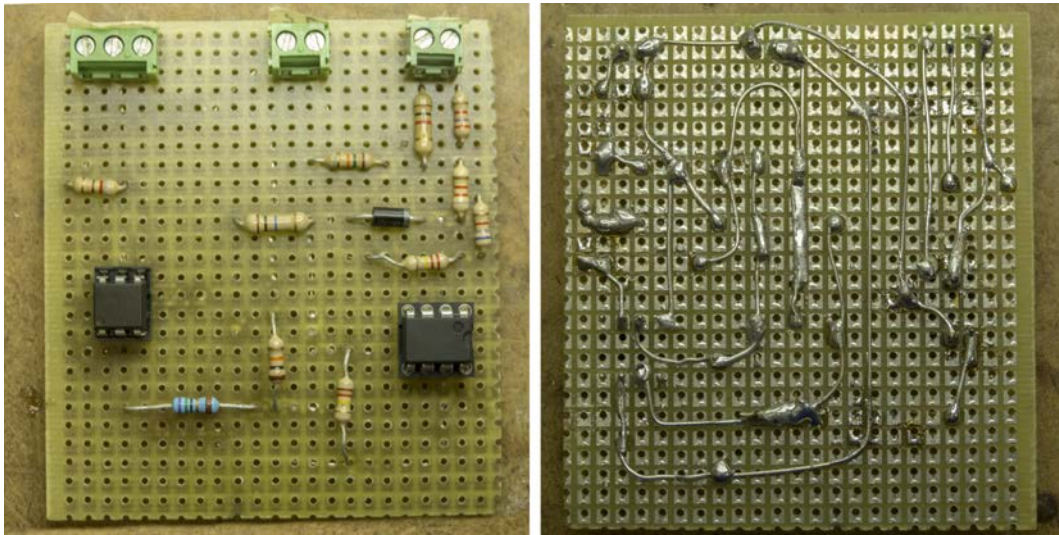
**Figura 11.2.1** – Montaje del circuito de detección de cero en placa de prototipado

En la imagen 11.2.1 se conectó el circuito de detección de cero a un transformador de 12V y a una tensión previamente acondicionada de 5V, mientras que el output del optoacoplador a la tensión de 5V del ARDUINO.

### 11.2.2. Placa multiperforada

A continuación monta el circuito equivalente en la placa 11.2.2:

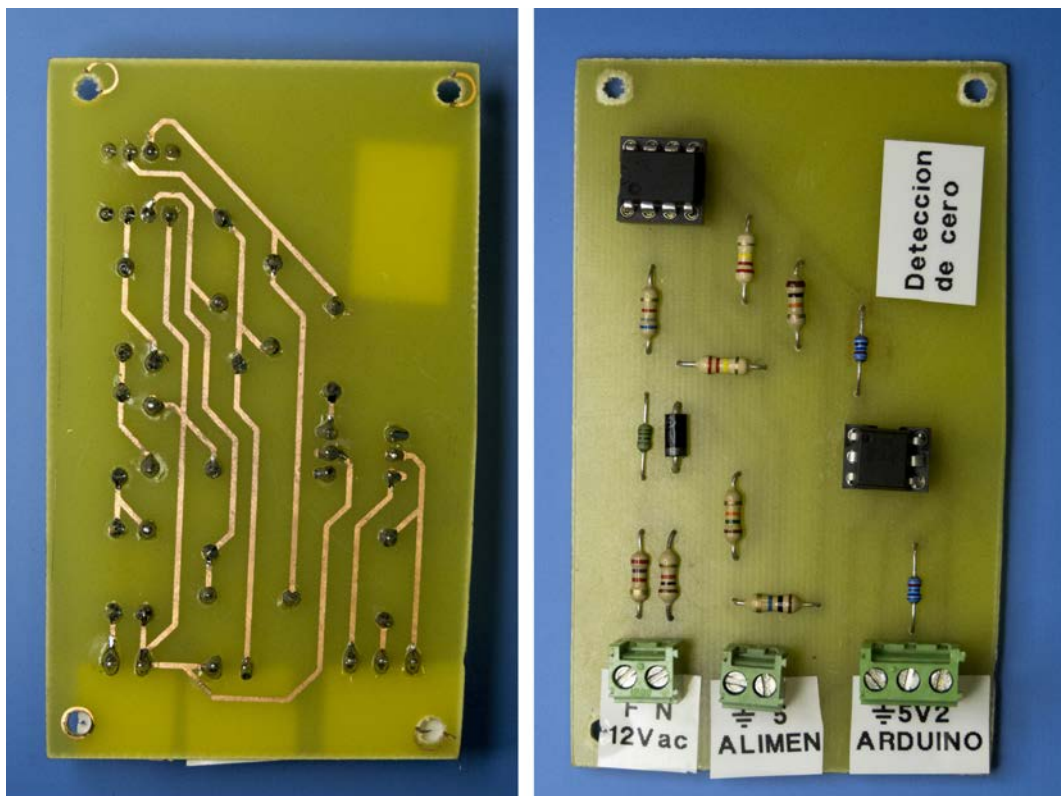




**Figura 11.2.2** – Montaje del circuito de detección de cero en placa de multiperforadas

### 11.2.3. Placa de circuito impreso

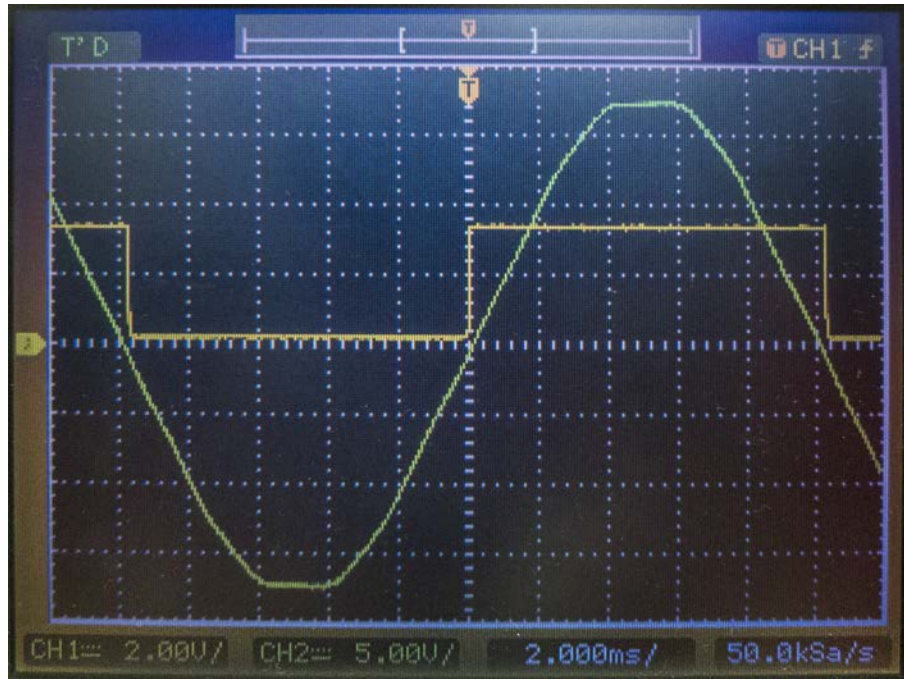
El montaje final de este circuito en en PCB como en la figura 11.2.3 :



**Figura 11.2.3** – Montaje del circuito de detección de cero en placa de multiperforadas

#### 11.2.4. Análisis

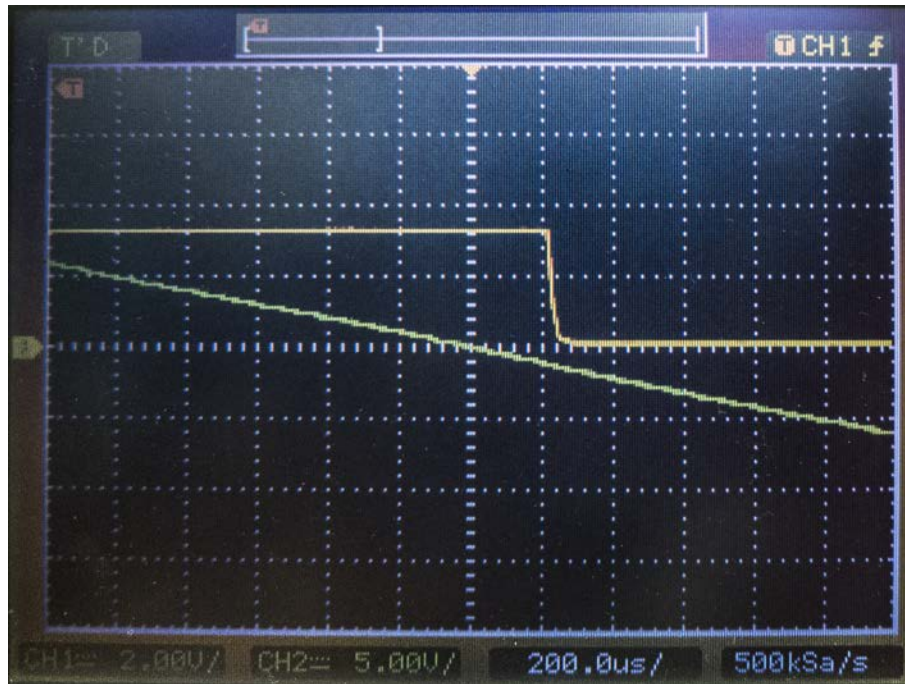
Para comprobar su correcto funcionamiento, haciendo uso de un osciloscopio se miden los valores de respuesta del circuito (canal 1), tomando como referencia la entrada de 12V (canal 2), obteniéndose el siguiente resultado:



**Figura 11.2.4** – Respuesta del circuito de detección de cero

En la figura 11.2.4 se observa como la respuesta es una onda cuadrada que en el primer semiciclo vale 3.3V y en la segunda aproximadamente cero. El ARDUINO UNO, interpreta un cero lógico en valores  $\leq 1.5V$  y un uno lógico en valores  $\geq 3V$ , es decir, se encuentra dentro de los márgenes de funcionamiento correctos.

También cabe destacar un error que afecta al programa diseñado en el ARDUINO, ya que, entre el primer semiciclo y el segundo existe un tiempo de retraso a tener en cuenta:



**Figura 11.2.5** – Retraso en el flanco de bajada

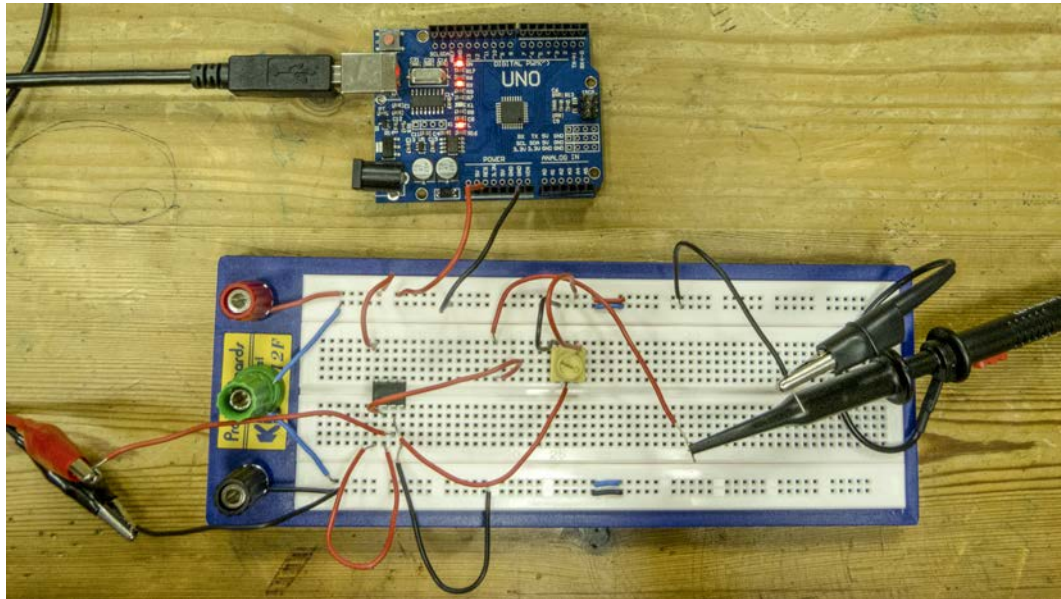
En la figura 11.2.5 se aprecia un tiempo de retraso de aproximadamente  $200\mu\text{s}$  que se tubo en cuenta en el diseño del programa.

### 11.3. Circuito del regulación

Este montaje consiste en la conexión de un potenciómetro a través de un seguidor de tensión, utilizando el amplificador operacional rail-to-rail TLC2272AC [80].

#### 11.3.1. Placa de prototipado

Para la construcción inicial se utiliza el potenciómetro 0828 63M:

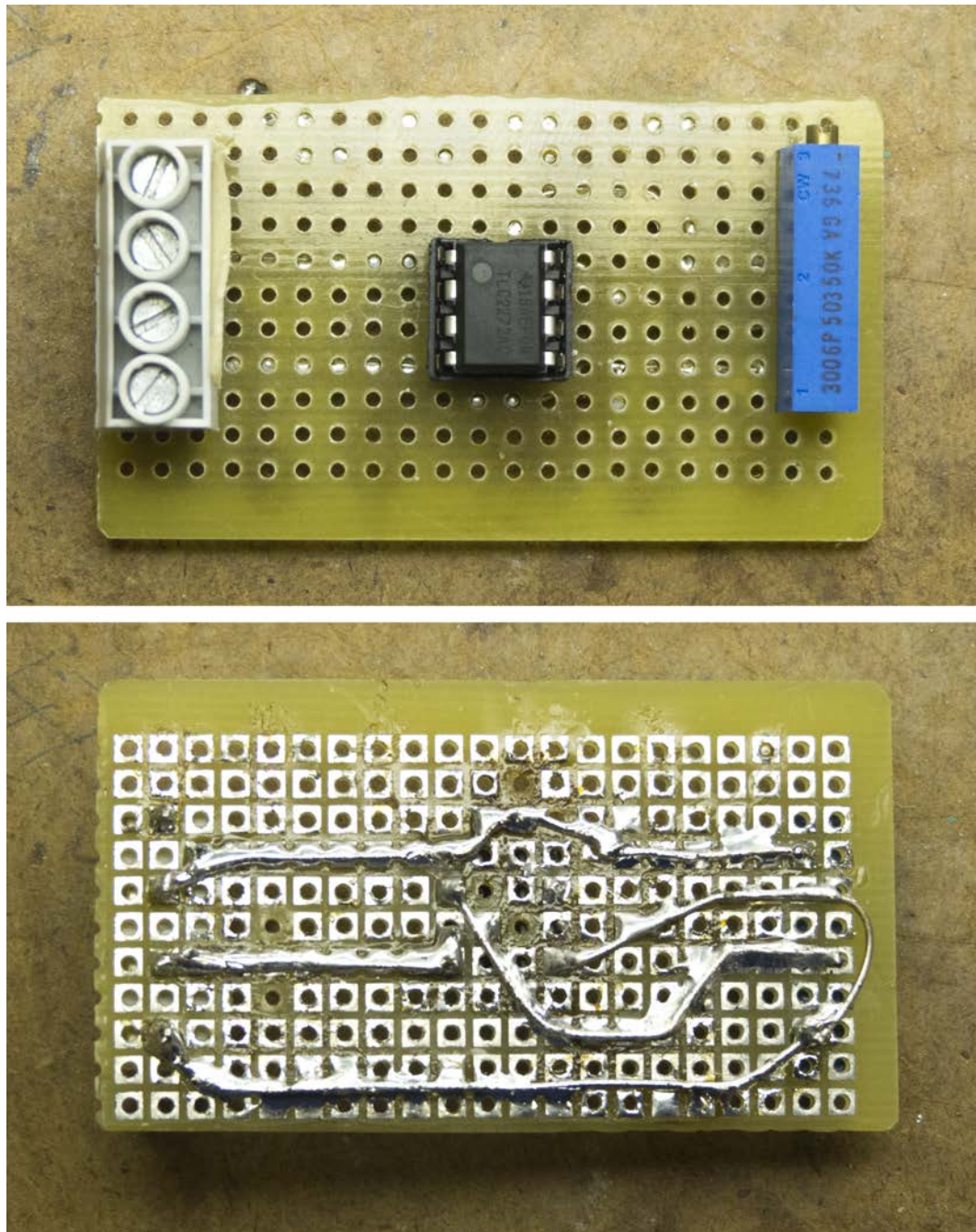


**Figura 11.3.1** – Montaje del potenciómetro en placa de prototipado

En la figura 11.3.1 se comprueba la precisión del circuito comparando con un polímetro la tensión que aporta la resistencia variable al amplificador con entrada de tensión que recibe la entrada A0 del ARDUINO. Los resultados se presentan en la sección 11.3.4.

### **11.3.2. Placa multiperforada**

En este paso intermedio, para una mayor regulación de velocidad se utiliza un potenciómetro multivuelta 736GA:



**Figura 11.3.2** – Montaje del potenciómetro en placa multiperforada

### 11.3.3. Placa de circuito impreso

Finalmente se diseña e implementa en PCB:

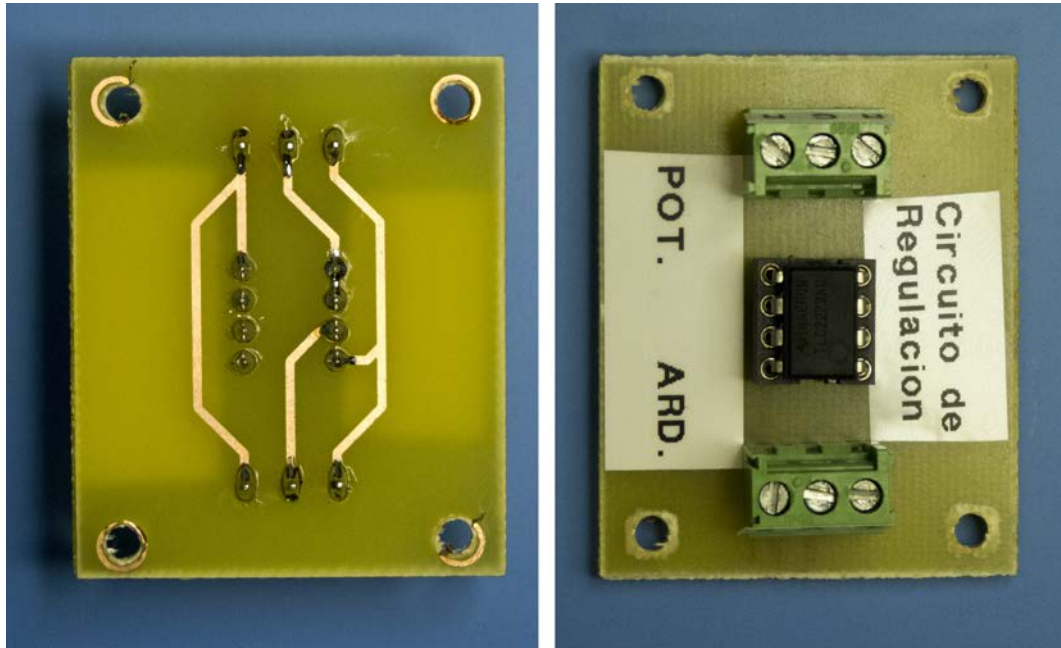


Figura 11.3.3 – Montaje del potenciómetro en PCB

#### 11.3.4. Análisis

Para comprobar su correcto funcionamiento se toma la medida de la tensión antes del seguidor de tensión con un polímetro y después con un osciloscopio, girando el potenciómetro se obtuvieron los siguientes valores:



Figura 11.3.4 – Potenciómetro a 0V



Figura 11.3.5 – Potenciómetro a 3V



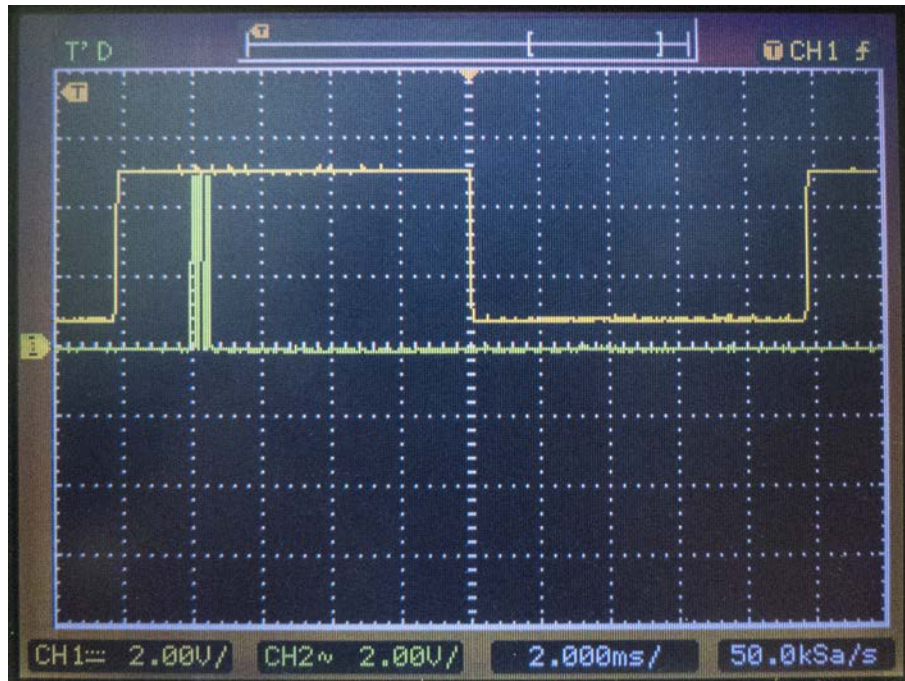
Figura 11.3.6 – Potenciómetro a 5V

En las imágenes 11.3.4, 11.3.5 y 11.3.6 se puede comprobar como al ir girando el potenciómetro, las tensiones van aumentando de forma similar, lo que se considera un funcionamiento correcto.

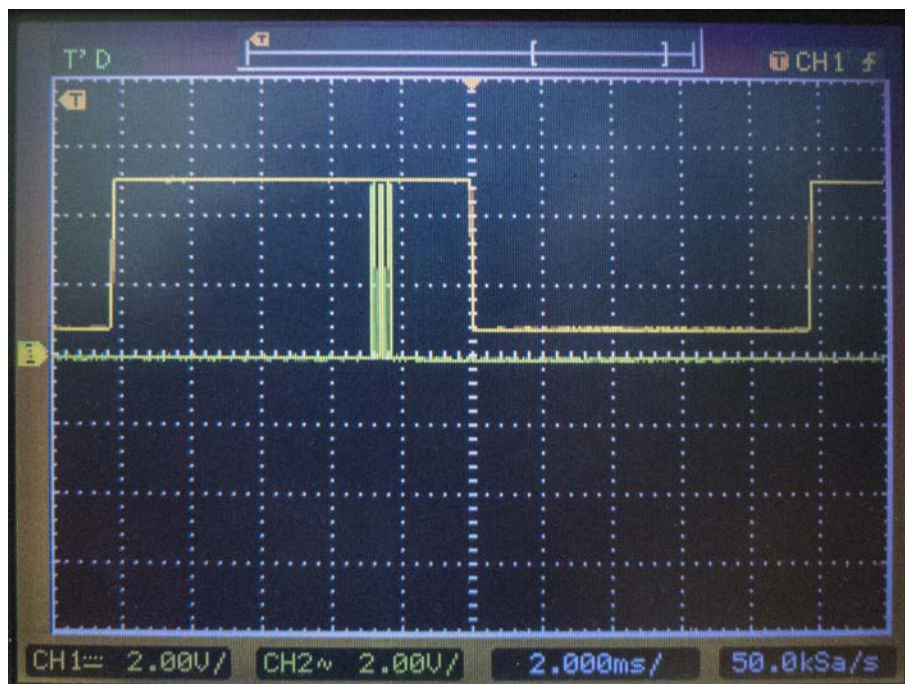
## 11.4. Salidas ARDUINO

Una vez montados los circuitos anteriores y después de introducir el programa al ARDUINO, se obtiene un tren de tres pulsos en los pines 10 y 11 del microcontrolador. Estos pulsos están sincronizados con la alimentación por medio de la información que aporta el circuito de paso por cero. El tiempo de espera para su ejecución es determinado por la posición del potenciómetro.

Para su funcionamiento es necesario que estén conectados previamente los circuitos 11.2.1 y 11.3.1. Para comprobar su correcto sincronismo del sistema, se comparan las respuestas (onda verde) con la entrada del circuito de detección de cero en el pin 2 (onda amarilla), obteniendo los siguientes resultados:



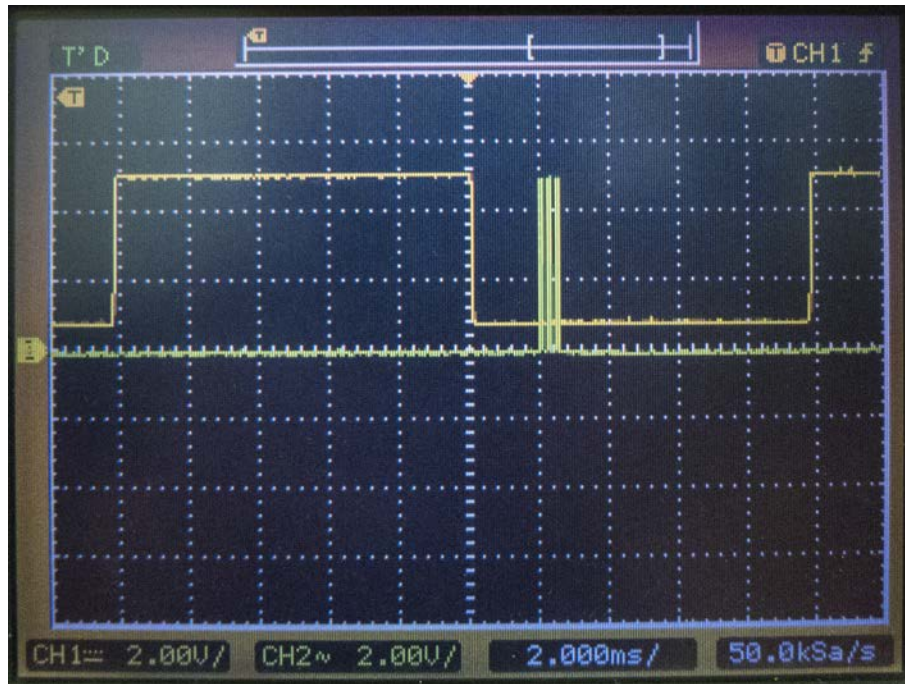
**Figura 11.4.1** – Tren de pulsos en el pin 10 a 2ms



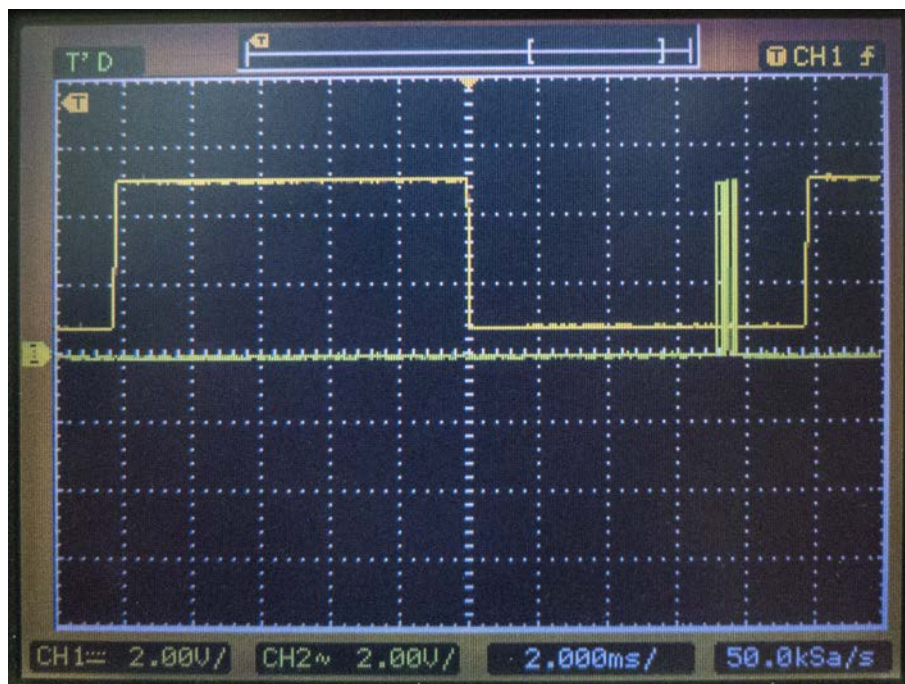
**Figura 11.4.2** – Tren de pulsos en el pin 10 a 7ms

En las imágenes 11.4.1 y 11.4.2 se aprecia el comportamiento de la salida digital 10 del ARDUINO, esta salida genera un tren de pulsos que varía en el tiempo, en la imagen 11.4.1 se toma como ejemplo un tiempo de 2ms, mientras que en la imagen 11.4.2 se toma 7ms.





**Figura 11.4.3** – Tren de pulsos en el pin 11 a 2ms



**Figura 11.4.4** – Tren de pulsos en el pin 11 a 7ms

A su vez, en las imágenes 11.4.3 y 11.4.4 se observa el comportamiento de la salida digital 11, entre los mismos tiempos que el caso anterior, 2 y 7ms.

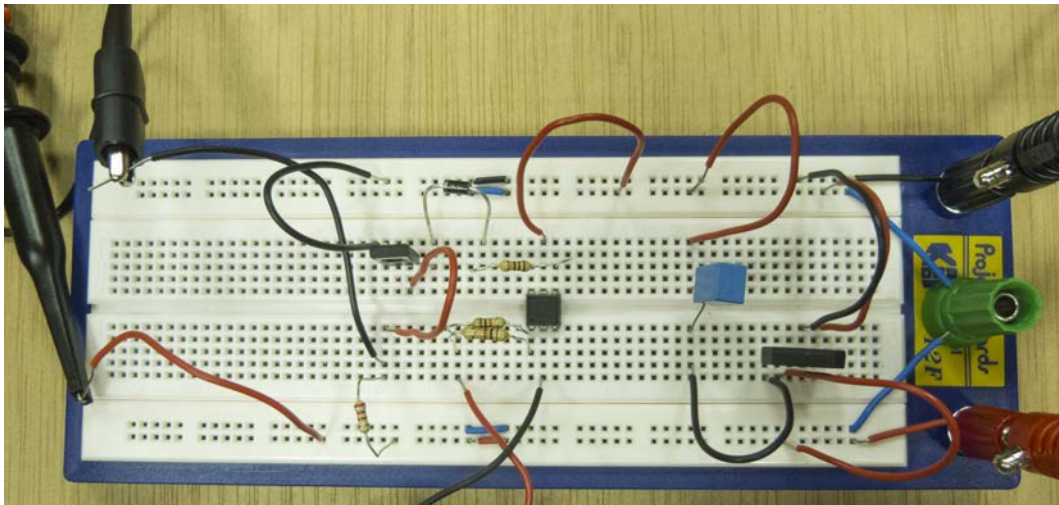
Por lo tanto se queda comprobado el correcto funcionamiento del bloque de control.

## 11.5. Circuito de potencia

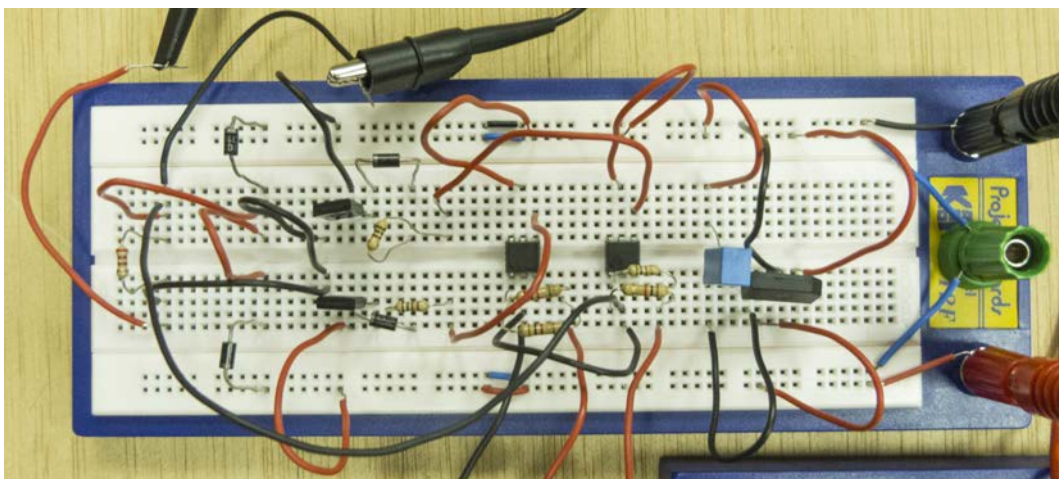
Este montaje incluye tanto el convertidor de media onda controlado como el de onda completa semicontrolado antes mencionados. La función de rectificación viene dada por los tiristores C106D1 [página 75], y aislados electricamente del circuito de control por los optoacopladores 4N25 [página 98].

### 11.5.1. Placa de prototipado

En este montaje inicial no se usa ningún sistema de conmutación, simplemente se montan los circuitos independientes:



**Figura 11.5.1** – Montaje del convertidor de media onda en placa de prototipado



**Figura 11.5.2** – Montaje del convertidor de onda completa en placa de prototipado

En la imagen 11.5.1 se aprecia el convertidor de media onda controlado, diferenciándose de la imagen 11.5.2 en la que si puede visualizar el convertidor de onda completa semicontrolado.

### 11.5.2. Placa multiperforada

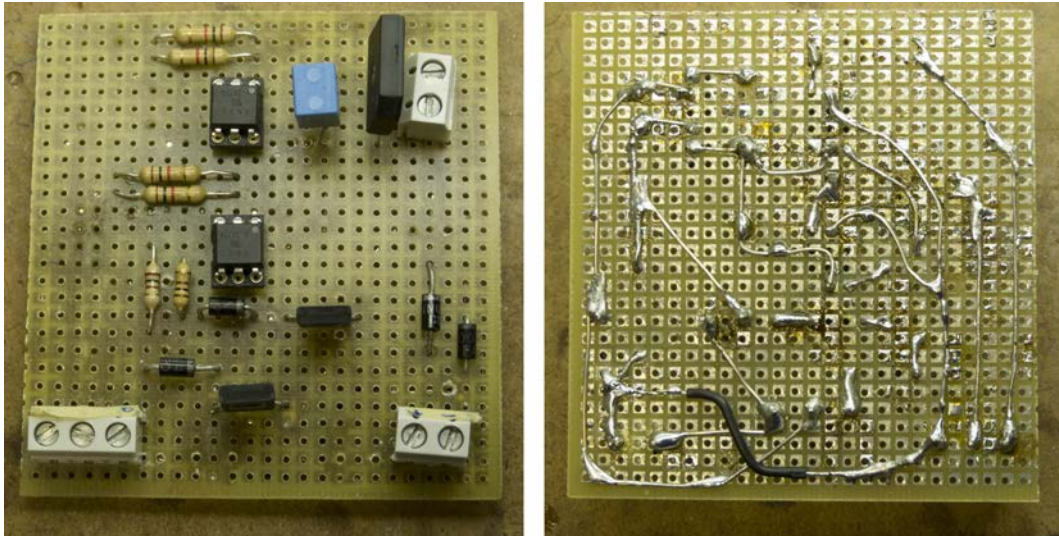


Figura 11.5.3 – Montaje del circuito de potencia en placa multiperforada

En el imagen 11.5.3 se fusionan los dos circuitos en placa multiperforada.

### 11.5.3. Placa de circuito impreso

Finalmente se diseña e implementa en PCB:

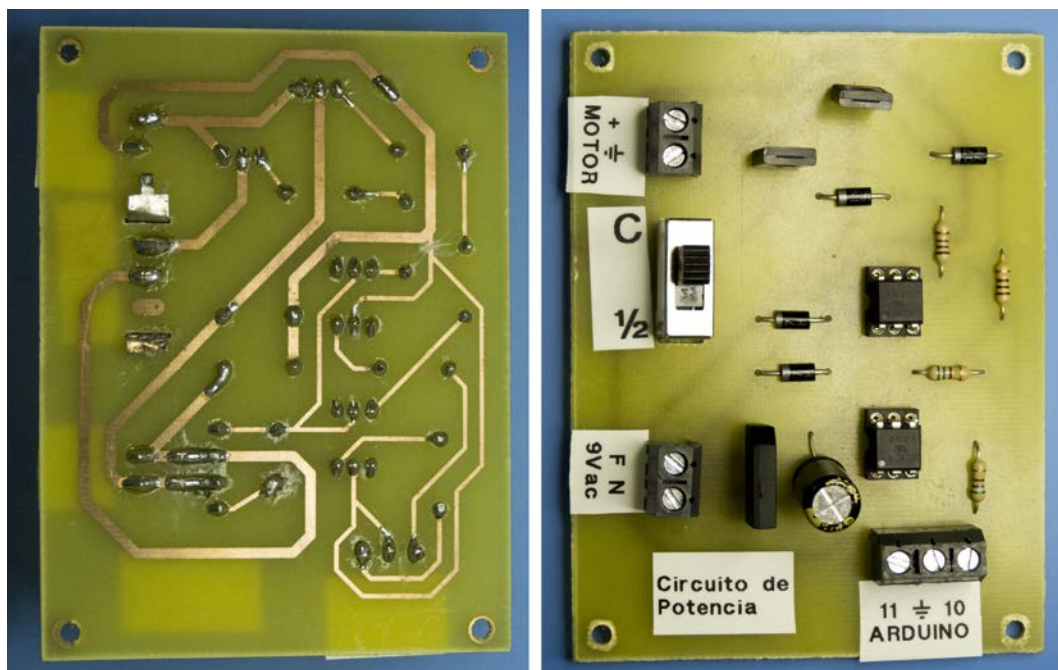
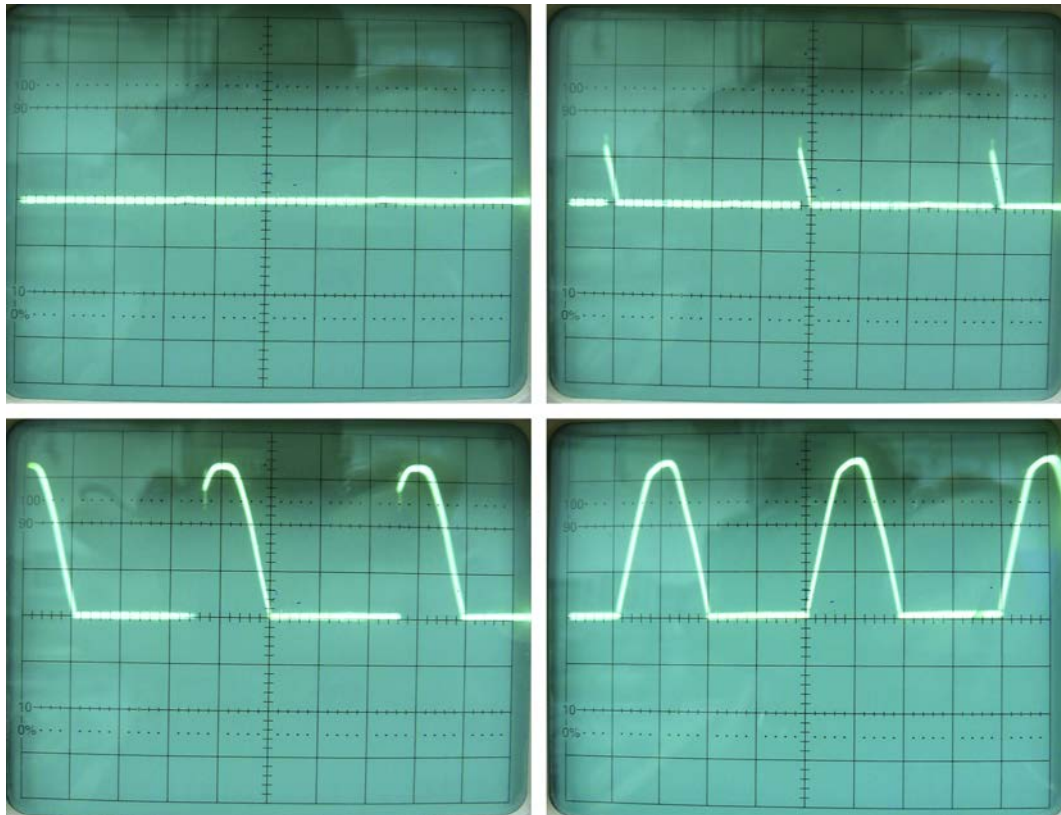


Figura 11.5.4 – Montaje del circuito de potencia en PCB

#### 11.5.4. Análisis convertidor de media onda controlado

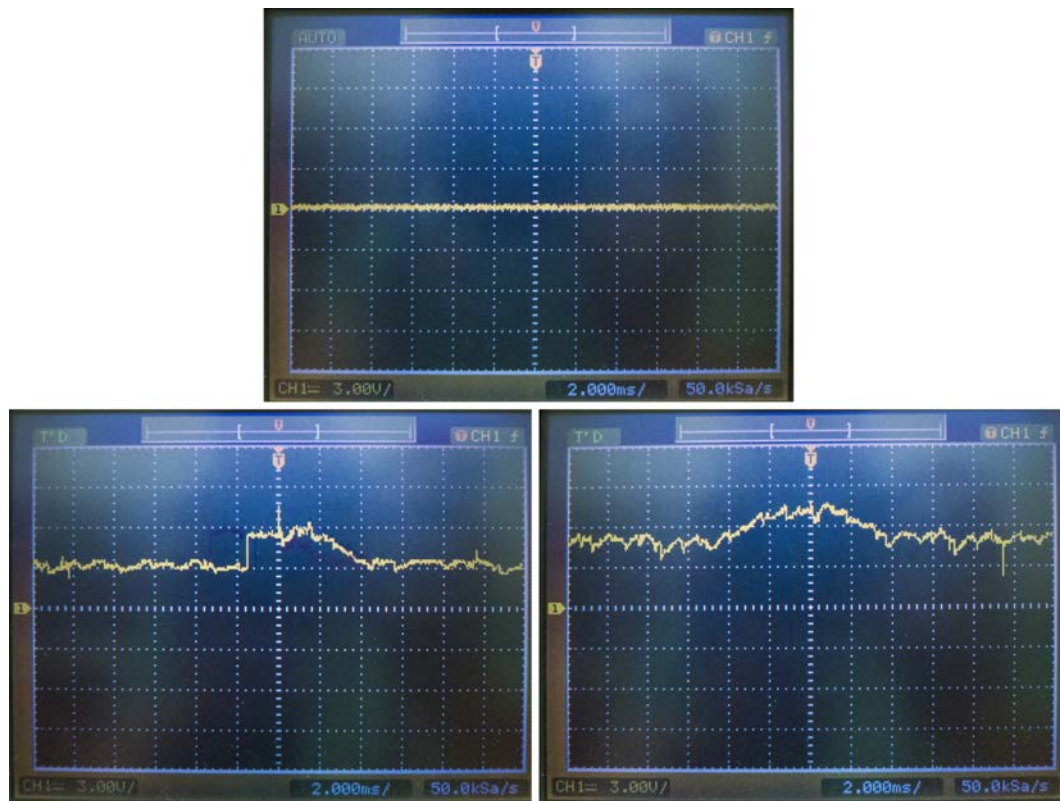
Debido a que en este trabajo final de grado se utilizan dos formas de rectificado distintas, se analizan por separado, siendo la primera el convertidor de media onda controlado:



**Figura 11.5.5** – Comportamiento con carga resistiva

En el primer análisis (figura 11.5.5) se comprueba la correcta rectificación conectando una carga puramente resistiva y variando el tiempo al que se dispara el tiristor, utilizando el potenciómetro.

Se puede observar como el tiristor dispara a distintos tiempos, oscilando la onda de 0 a 10ms.



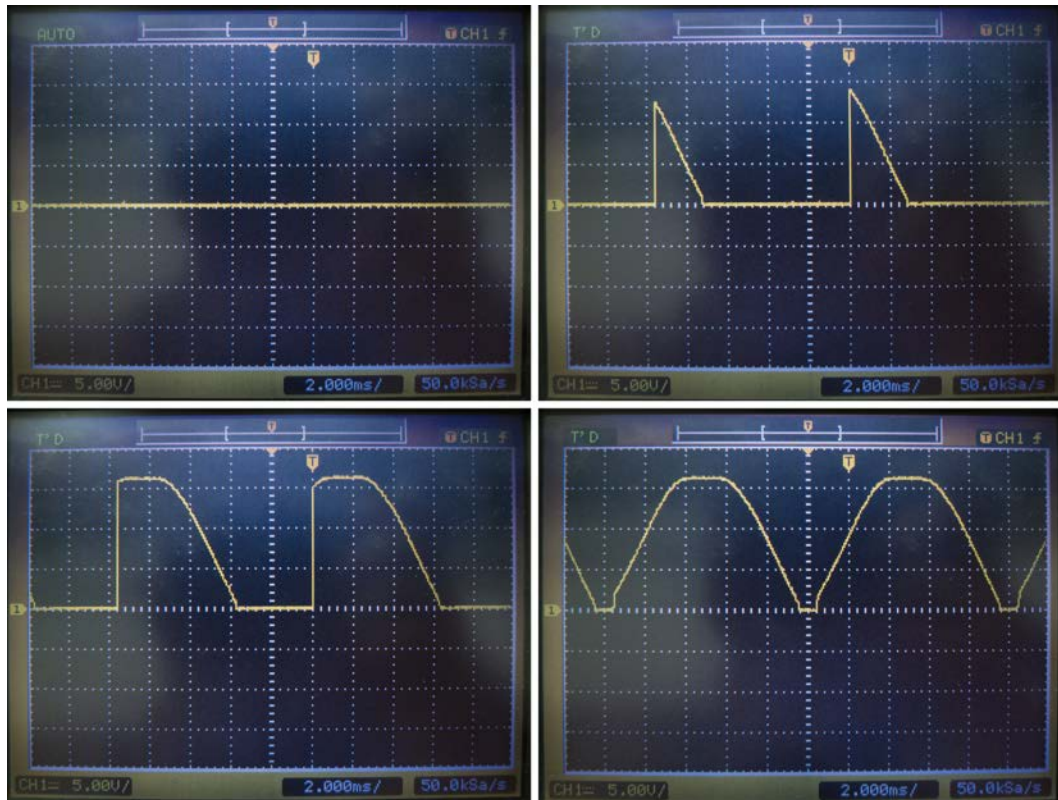
**Figura 11.5.6** – Comportamiento con el motor

En la imagen 11.5.6 se utiliza el mismo circuito, pero esta vez se utiliza como carga el motor descrito en el capítulo 8.4, se puede observar la variación en la forma de onda, además del aumento de la fuerza contraelectromotriz que es la parte continua de la onda.

### 11.5.5. Análisis convertidor de onda completa semicontrolado

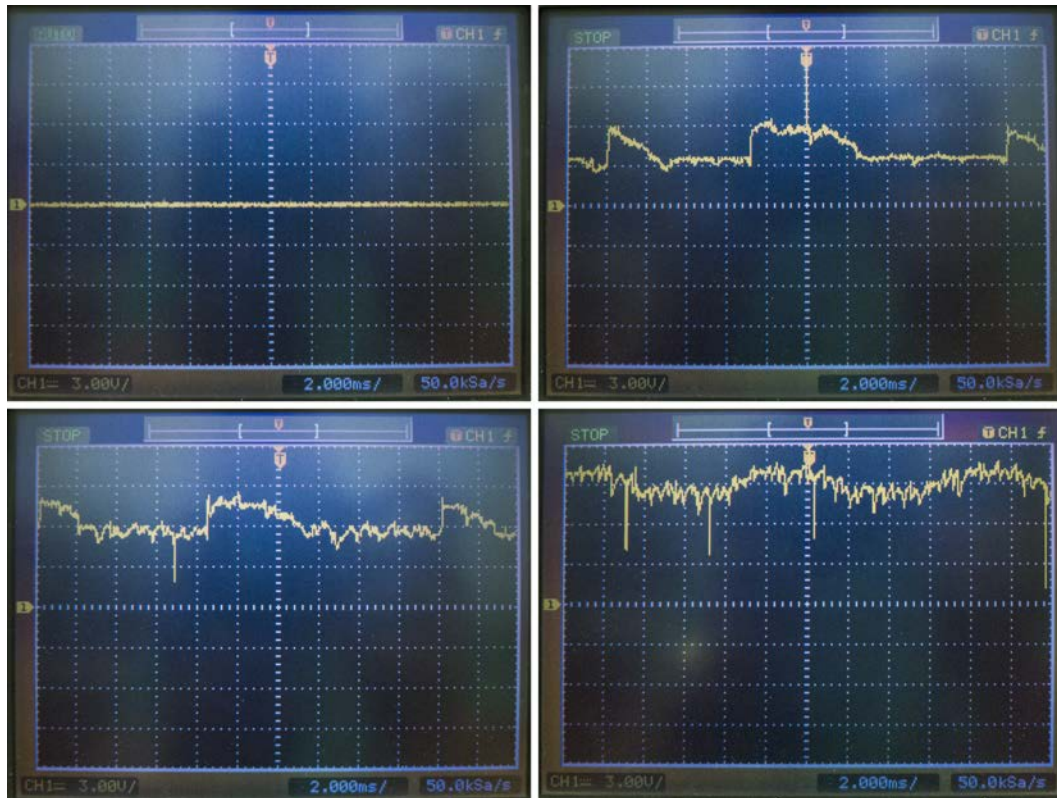
Por medio del dispositivo de conmutación, se toma nuevamente el circuito de potencia y se utiliza como un rectificador de onda completa controlado.

Nuevamente, para ver la forma de onda mas limpia, se hace una análisis inicial utilizando como única carga una resistencia, como en la imagen siguiente imagen 11.5.7:



**Figura 11.5.7** – Comportamiento con carga resistiva

En la figura 11.5.7 se aprecia la variación del ángulo de disparo de los tiristores, para ello nuevamente se utiliza el potenciómetro mencionado en anteriores capítulos.



**Figura 11.5.8** – Comportamiento con el motor

Mientras que en la imagen 11.5.8 se conecta nuevamente como carga el motor, se observa la variación en la forma de onda a la vez que varía la fuerza contraelectromotriz con la velocidad.

## Capítulo 12

# Hojas de características

Este capítulo incluye las hojas de características de los fabricantes de los siguientes componentes:

- Motor MAXON gama A-max 16 [página 73]
- Tiristor C106D1 [página 75]
- Amplificador operacional rail to rail TLC2272AC [página 80]
- Amplificador operacional TL061CN [página 91]
- Optoacoplador 4N25 [página 98]
- Diodo rectificador 1N4007 [página 103]



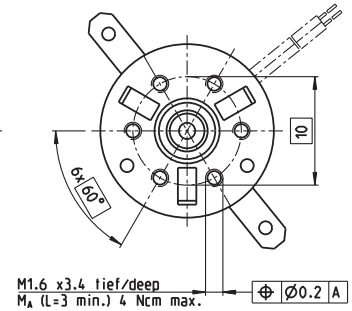
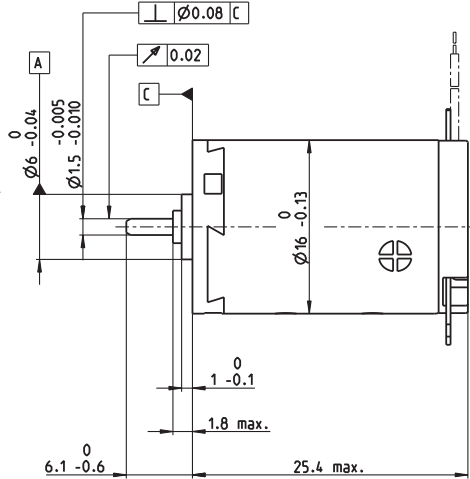
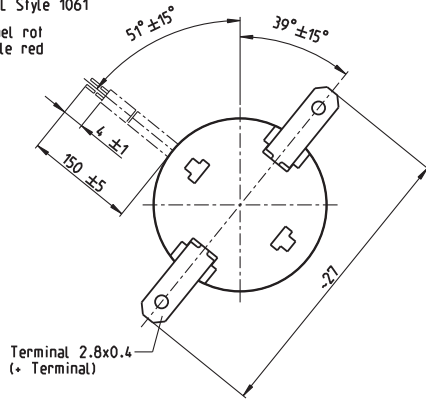
# **MOTOR MAXON**

## **Catálogo de gama A-max 16**

# A-max 16 Ø16 mm, Precious Metal Brushes CLL, 2 Watt

Kabel AWG 26/7  
cable UL Style 1061

⊕ Kabel rot  
cable red



M 3:2

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

## Part Numbers

with terminals	110041	110042	110043	110044	110045	110046	110047	110048	110049	110050
with cables	139820	352815	134844	231379	220514	304672	352823	352816	260678	352817

## Motor Data

Values at nominal voltage											
1 Nominal voltage	V	1.5	3	6	9	12	15	18	21	24	30
2 No load speed	rpm	10800	12300	10100	12300	12300	13200	14100	13700	13800	11400
3 No load current	mA	61.4	38.1	13.9	12.7	9.54	8.57	7.99	6.53	5.83	3.37
4 Nominal speed	rpm	9360	8810	4530	6700	6660	7590	8480	8040	8120	5480
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	0.712	1.3	2.22	2.19	2.17	2.17	2.15	2.14	2.11	2.08
6 Nominal current (max. continuous current)	A	0.6	0.6	0.408	0.327	0.243	0.209	0.185	0.153	0.134	0.0864
7 Stall torque	mNm	4.79	4.51	4.03	4.82	4.77	5.16	5.44	5.22	5.12	4.04
8 Stall current	A	3.66	1.97	0.723	0.702	0.52	0.482	0.453	0.362	0.315	0.164
9 Max. efficiency	%	77	75	75	76	76	76	76	76	76	74
Characteristics											
10 Terminal resistance	Ω	0.41	1.52	8.3	12.8	23.1	31.1	39.7	57.9	76.2	183
11 Terminal inductance	mH	0.017	0.0519	0.306	0.467	0.831	1.13	1.42	2.05	2.61	6.01
12 Torque constant	mNm/A	1.31	2.29	5.57	6.88	9.17	10.7	12	14.4	16.3	24.7
13 Speed constant	rpm/V	7290	4170	1720	1390	1040	893	795	663	587	387
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	2280	2770	2560	2590	2620	2600	2630	2670	2750	2880
15 Mechanical time constant	ms	25.3	23.8	23.3	23.3	23.3	23.4	23.5	23.4	23.5	23.9
16 Rotor inertia	gcm <sup>2</sup>	1.06	0.82	0.868	0.859	0.849	0.859	0.852	0.838	0.816	0.793

## Specifications

Thermal data	
17 Thermal resistance housing-ambient	29.8 K/W
18 Thermal resistance winding-housing	5.5 K/W
19 Thermal time constant winding	3.55 s
20 Thermal time constant motor	165 s
21 Ambient temperature	-30...+65°C
22 Max. winding temperature	+85°C

Mechanical data (sleeve bearings)	
23 Max. speed	19000 rpm
24 Axial play	0.05 - 0.15 mm
25 Radial play	0.012 mm
26 Max. axial load (dynamic)	0.8 N
27 Max. force for press fits (static)	35 N
28 Max. radial load, 5 mm from flange	1.4 N

Mechanical data (ball bearings)	
23 Max. speed	19000 rpm
24 Axial play	0.05 - 0.15 mm
25 Radial play	0.025 mm
26 Max. axial load (dynamic)	2.2 N
27 Max. force for press fits (static)	30 N
28 Max. radial load, 5 mm from flange	7.8 N

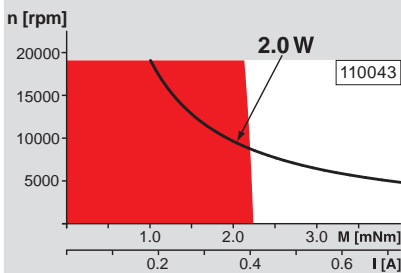
Other specifications	
29 Number of pole pairs	1
30 Number of commutator segments	7
31 Weight of motor	21 g
CLL = Capacitor Long Life	

Values listed in the table are nominal.  
Explanation of the figures on page 107.

### Option

Ball bearings in place of sleeve bearings  
Without CLL

## Operating Range



## Comments

**Continuous operation**  
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.  
= Thermal limit.

**Short term operation**  
The motor may be briefly overloaded (recurring).

— **Assigned power rating**

## maxon Modular System

Overview on page 20–25

### Spur Gearhead

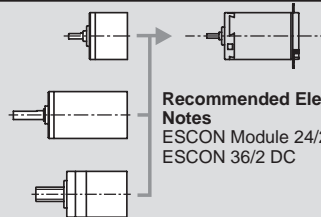
Ø16 mm  
0.01 - 0.1 Nm  
Page 281–284

### Planetary Gearhead

Ø16 mm  
0.1 - 0.6 Nm  
Page 285/286

### Spindle Drive

Ø16 mm  
Page 329–331



**Recommended Electronics:**  
Notes Page 22  
ESCON Module 24/2 378  
ESCON 36/2 DC 378

# **TIRISTOR**

## **Catálogo de serie C106D1**

# C106 Series

Preferred Devices

## Sensitive Gate Silicon Controlled Rectifiers

### Reverse Blocking Thyristors

Glassivated PNP devices designed for high volume consumer applications such as temperature, light, and speed control; process and remote control, and warning systems where reliability of operation is important.

#### Features

- Glassivated Surface for Reliability and Uniformity
- Power Rated at Economical Prices
- Practical Level Triggering and Holding Characteristics
- Flat, Rugged, Thermopad Construction for Low Thermal Resistance, High Heat Dissipation and Durability
- Sensitive Gate Triggering
- Pb-Free Packages are Available\*

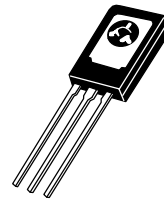


**ON Semiconductor®**

<http://onsemi.com>

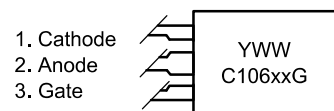
#### SCRs

**4 A RMS, 200 – 600 Volts**



TO-225AA  
CASE 077  
STYLE 2

#### MARKING DIAGRAM & PIN ASSIGNMENT



Y = Year  
WW = Work Week  
C106xx = Device Code  
xx = B, D, D1, M, M1  
G = Pb-Free Package

#### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

\*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

## C106 Series

### MAXIMUM RATINGS (T<sub>J</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Peak Repetitive Off-State Voltage (Note 1) (Sine Wave, 50–60 Hz, R <sub>GK</sub> = 1 kΩ, T <sub>C</sub> = –40° to 110°C)	V <sub>DRM</sub> , V <sub>RRM</sub>	200 400 600	V
On-State RMS Current (180° Conduction Angles, T <sub>C</sub> = 80°C)	I <sub>T(RMS)</sub>	4.0	A
Average On-State Current (180° Conduction Angles, T <sub>C</sub> = 80°C)	I <sub>T(AV)</sub>	2.55	A
Peak Non-Repetitive Surge Current (1/2 Cycle, Sine Wave, 60 Hz, T <sub>J</sub> = +110°C)	I <sub>TSM</sub>	20	A
Circuit Fusing Considerations (t = 8.3 ms)	I <sup>2</sup> t	1.65	A <sup>2</sup> s
Forward Peak Gate Power (Pulse Width ≤ 1.0 μsec, T <sub>C</sub> = 80°C)	P <sub>GM</sub>	0.5	W
Forward Average Gate Power (Pulse Width ≤ 1.0 μsec, T <sub>C</sub> = 80°C)	P <sub>G(AV)</sub>	0.1	W
Forward Peak Gate Current (Pulse Width ≤ 1.0 μsec, T <sub>C</sub> = 80°C)	I <sub>GM</sub>	0.2	A
Operating Junction Temperature Range	T <sub>J</sub>	–40 to +110	°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	–40 to +150	°C
Mounting Torque (Note 2)	–	6.0	in. lb.

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

- V<sub>DRM</sub> and V<sub>RRM</sub> for all types can be applied on a continuous basis. Ratings apply for zero or negative gate voltage; however, positive gate voltage shall not be applied concurrent with negative potential on the anode. Blocking voltages shall not be tested with a constant current source such that the voltage ratings of the devices are exceeded.
- Torque rating applies with use of compression washer (B52200F006). Mounting torque in excess of 6 in. lb. does not appreciably lower case-to-sink thermal resistance. Anode lead and heatsink contact pad are common.

### THERMAL CHARACTERISTICS (T<sub>C</sub> = 25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	R <sub>θJC</sub>	3.0	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R <sub>θJA</sub>	75	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes 1/8 in. from Case for 10 Seconds	T <sub>L</sub>	260	°C

### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping <sup>†</sup>
C106B	TO–225AA	500 Units / Box
C106BG	TO–225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
C106D	TO–225AA	500 Units / Box
C106DG	TO–225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
C106D1*	TO–225AA	500 Units / Box
C106D1G*	TO–225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
C106M	TO–225AA	500 Units / Box
C106MG	TO–225AA (Pb-Free)	500 Units / Box
C106M1*	TO–225AA	500 Units / Box
C106M1G*	TO–225AA (Pb-Free)	500 Units / Box

<sup>†</sup>For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

\*D1 signifies European equivalent for D suffix and M1 signifies European equivalent for M suffix.

## C106 Series

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>C</sub> = 25°C unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

#### OFF CHARACTERISTICS

Peak Repetitive Forward or Reverse Blocking Current (V <sub>AK</sub> = Rated V <sub>DRM</sub> or V <sub>RPM</sub> , R <sub>GK</sub> = 1000 Ohms)	T <sub>J</sub> = 25°C T <sub>J</sub> = 110°C	I <sub>DRM</sub> , I <sub>RPM</sub>	-	-	10 100	μA μA
---	---	-------------------------------------	---	---	-----------	----------

#### ON CHARACTERISTICS

Peak Forward On-State Voltage (Note 3) (I <sub>TM</sub> = 4 A)		V <sub>TM</sub>	-	-	2.2	V
Gate Trigger Current (Continuous dc) (Note 4) (V <sub>AK</sub> = 6 Vdc, R <sub>L</sub> = 100 Ohms)	T <sub>J</sub> = 25°C T <sub>J</sub> = -40°C	I <sub>GT</sub>	-	15 35	200 500	μA
Peak Reverse Gate Voltage (I <sub>GR</sub> = 10 μA)		V <sub>GRM</sub>	-	-	6.0	V
Gate Trigger Voltage (Continuous dc) (Note 4) (V <sub>AK</sub> = 6 Vdc, R <sub>L</sub> = 100 Ohms)	T <sub>J</sub> = 25°C T <sub>J</sub> = -40°C	V <sub>GT</sub>	0.4 0.5	0.60 0.75	0.8 1.0	V
Gate Non-Trigger Voltage (Continuous dc) (Note 4) (V <sub>AK</sub> = 12 V, R <sub>L</sub> = 100 Ohms, T <sub>J</sub> = 110°C)		V <sub>GD</sub>	0.2	-	-	V
Latching Current (V <sub>AK</sub> = 12 V, I <sub>G</sub> = 20 mA)	T <sub>J</sub> = 25°C T <sub>J</sub> = -40°C	I <sub>L</sub>	-	0.20 0.35	5.0 7.0	mA
Holding Current (V <sub>D</sub> = 12 Vdc) (Initiating Current = 20 mA, Gate Open)	T <sub>J</sub> = 25°C T <sub>J</sub> = -40°C T <sub>J</sub> = +110°C	I <sub>H</sub>	-	0.19 0.33 0.07	3.0 6.0 2.0	mA

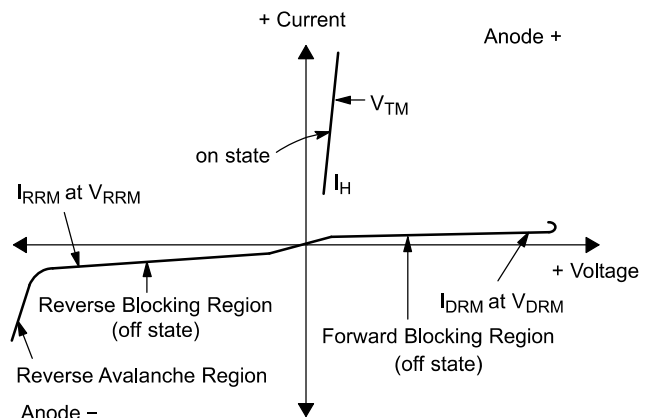
#### DYNAMIC CHARACTERISTICS

Critical Rate-of-Rise of Off-State Voltage (V <sub>AK</sub> = Rated V <sub>DRM</sub> , Exponential Waveform, R <sub>GK</sub> = 1000 Ohms, T <sub>J</sub> = 110°C)	dv/dt	-	8.0	-	V/μs
---	-------	---	-----	---	------

3. Pulse Test: Pulse Width ≤ 2.0 ms, Duty Cycle ≤ 2%.
4. R<sub>GK</sub> is not included in measurement.

### Voltage Current Characteristic of SCR

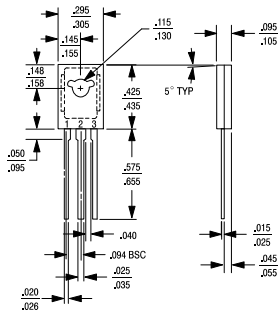
Symbol	Parameter
V <sub>DRM</sub>	Peak Repetitive Off State Forward Voltage
I <sub>DRM</sub>	Peak Forward Blocking Current
V <sub>RPM</sub>	Peak Repetitive Off State Reverse Voltage
I <sub>RPM</sub>	Peak Reverse Blocking Current
V <sub>TM</sub>	Peak On State Voltage
I <sub>H</sub>	Holding Current



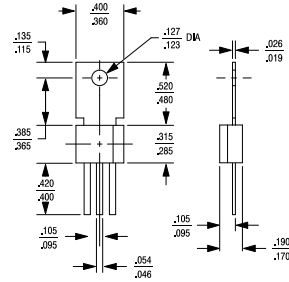
# C106 Series

## PACKAGE INTERCHANGEABILITY

The dimensional diagrams below compare the critical dimensions of the ON Semiconductor C-106 package with competitive devices. It has been demonstrated that the smaller dimensions of the ON Semiconductor package make it compatible in most lead-mount and chassis-mount applications. The user is advised to compare all critical dimensions for mounting compatibility.



ON Semiconductor C-106 Package



Competitive C-106 Package

# **AMPLIFICADOR OPERACIONAL RAIL TO RAIL**

**Catálogo de TLC2272AC**



# TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1 Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

- Qualification in Accordance With AEC-Q100†
- Qualified for Automotive Applications
- Customer-Specific Configuration Control Can Be Supported Along With Major-Change Approval
- ESD Protection Exceeds 2000 V Per MIL-STD-883, Method 3015; Exceeds 100 V Machine Model (C = 200 pF, R = 0); Exceeds 1500 V Charged Device Model
- Output Swing Includes Both Supply Rails
- Low Noise . . . 9 nV/√Hz Typ at f = 1 kHz
- Low Input Bias Current . . . 1 pA Typ
- Fully Specified for Both Single-Supply and Split-Supply Operation
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Negative Rail
- High-Gain Bandwidth . . . 2.2 MHz Typ
- High Slew Rate . . . 3.6 V/μs Typ
- Low Input Offset Voltage 950 μV Max at T<sub>A</sub> = 25°C
- Macromodel Included
- Performance Upgrades for the TS272, TS274, TLC272, and TLC274

† Contact factory for details. Q100 qualification data available on request.

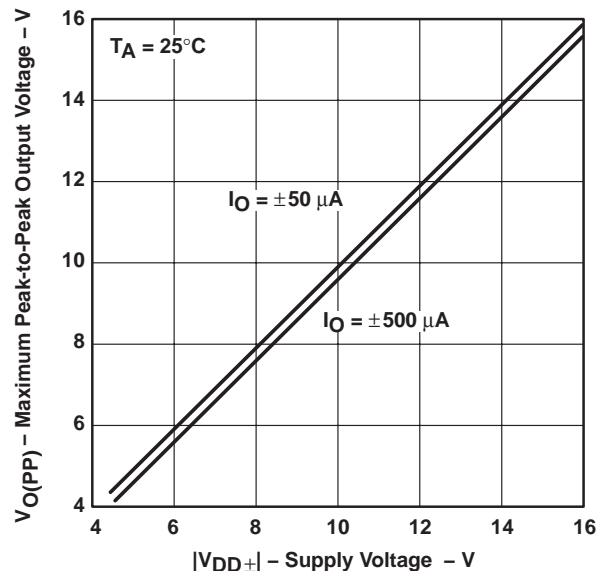
## description

The TLC2272 and TLC2274 are dual and quadruple operational amplifiers from Texas Instruments. Both devices exhibit rail-to-rail output performance for increased dynamic range in single- or split-supply applications. The TLC227x family offers 2 MHz of bandwidth and 3 V/μs of slew rate for higher speed applications. These devices offer comparable ac performance while having better noise, input offset voltage, and power dissipation than existing CMOS operational amplifiers. The TLC227x has a noise voltage of 9 nV/√Hz, two times lower than competitive solutions.

The TLC227x, exhibiting high input impedance and low noise, is excellent for small-signal conditioning for high-impedance sources, such as piezoelectric transducers. Because of the micro-power dissipation levels, these devices work well in hand-held monitoring and remote-sensing applications. In addition, the rail-to-rail output feature, with single- or split-supplies, makes this family a great choice when interfacing with analog-to-digital converters (ADCs). For precision applications, the TLC227xA family is available with a maximum input offset voltage of 950 μV. This family is fully characterized at 5 V and ±5 V.

The TLC2272/4 also makes great upgrades to the TLC272/4 or TS272/4 in standard designs. They offer increased output dynamic range, lower noise voltage, and lower input offset voltage. This enhanced feature set allows them to be used in a wider range of applications. For applications that require higher output drive and wider input voltage range, see the TLV2432 and TLV2442 devices.

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE  
vs  
SUPPLY VOLTAGE



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

Advanced LinCMOS is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

# TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1

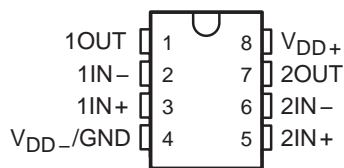
## Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL OPERATIONAL AMPLIFIERS

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

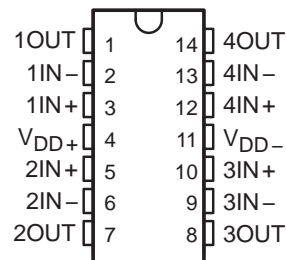
### AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	V <sub>IO</sub> max At 25°C	PACKAGED DEVICES	
		SMALL OUTLINE (D)	TSSOP (PW)
-40°C to 125°C	950 μV 2.5 mV	TLC2272AQDRQ1 TLC2272QDRQ1	TLC2272AQPWRQ1 TLC2272QPWRQ1
-40°C to 125°C	950 μV 2.5 mV	TLC2274AQDRQ1 TLC2274QDRQ1	TLC2274AQPWRQ1 TLC2274QPWRQ1

**TLC2272**  
D OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



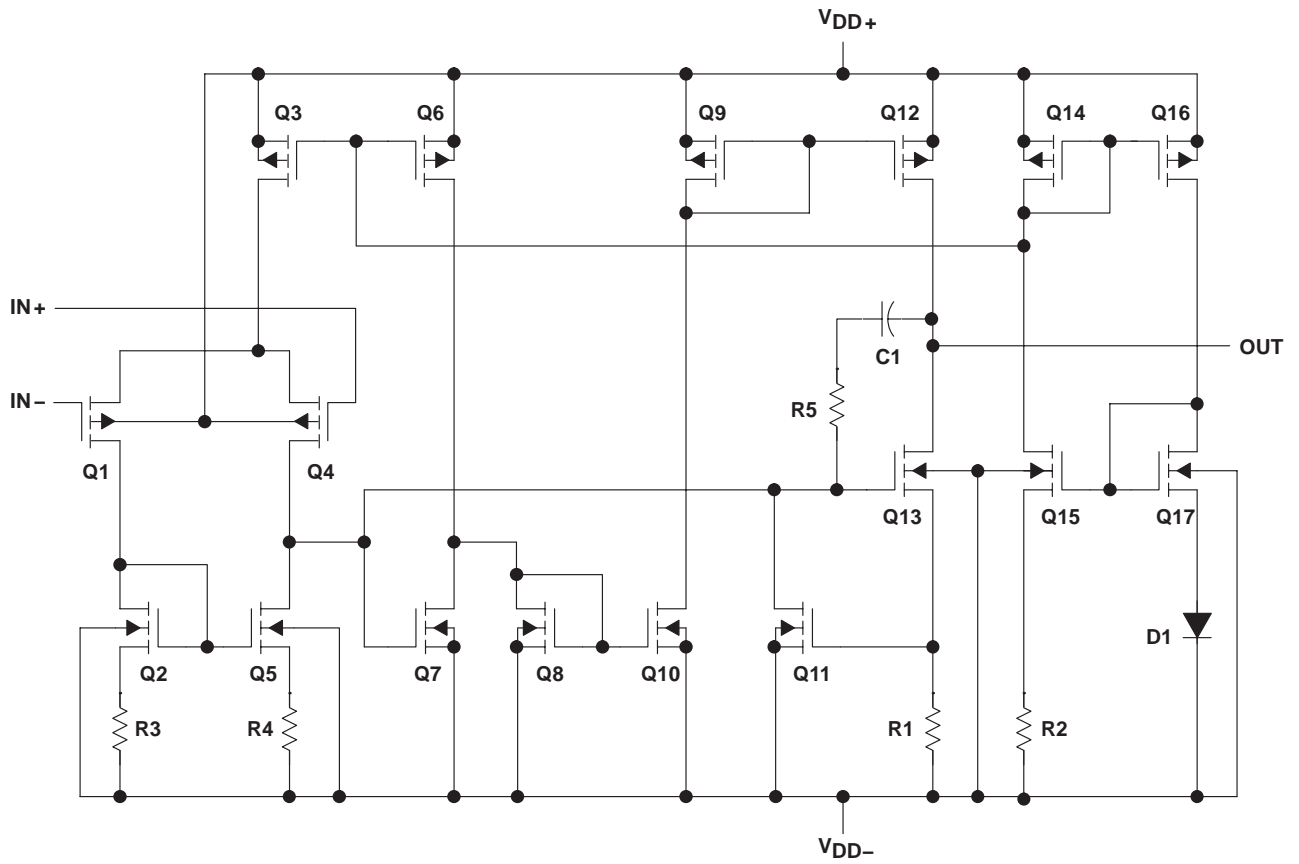
**TLC2274**  
D OR PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1  
 Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL  
 OPERATIONAL AMPLIFIERS

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

equivalent schematic (each amplifier)



ACTUAL DEVICE COMPONENT COUNT†		
COMPONENT	TLC2272	TLC2274
Transistors	38	76
Resistors	26	52
Diodes	9	18
Capacitors	3	6

† Includes both amplifiers and all ESD, bias, and trim circuitry

**TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1**  
**Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL**  
**OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†**

Supply voltage, $V_{DD+}$ (see Note 1)	8 V
Supply voltage, $V_{DD-}$ (see Note 1)	-8 V
Differential input voltage, $V_{ID}$ (see Note 2)	$\pm 16$ V
Input voltage range, $V_I$ (any input, see Note 1)	$V_{DD-} - 0.3$ V to $V_{DD+}$
Input current, $I_I$ (any input)	$\pm 5$ mA
Output current, $I_O$	$\pm 50$ mA
Total current into $V_{DD+}$	$\pm 50$ mA
Total current out of $V_{DD-}$	$\pm 50$ mA
Duration of short-circuit current at (or below) 25°C (see Note 3)	unlimited
Continuous total dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature range, $T_A$	-40°C to 125°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D or PW package	260°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between  $V_{DD+}$  and  $V_{DD-}$ .  
 2. Differential voltages are at  $IN+$  with respect to  $IN-$ . Excessive current will flow if input is brought below  $V_{DD-} - 0.3$  V.  
 3. The output may be shorted to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the maximum dissipation rating is not exceeded.

**DISSIPATION RATING TABLE**

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
D-8	725 mW	5.8 mW/°C	464 mW	337 mW	145 mW
D-14	950 mW	7.6 mW/°C	608 mW	494 mW	190 mW
PW-8	525 mW	4.2 mW/°C	336 mW	273 mW	105 mW
PW-14	700 mW	5.6 mW/°C	448 mW	364 mW	—

**recommended operating conditions**

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, $V_{DD\pm}$	$\pm 2.2$	$\pm 8$	V
Input voltage, $V_I$	$V_{DD-}$	$V_{DD+} - 1.5$	V
Common-mode input voltage, $V_{IC}$	$V_{DD-}$	$V_{DD+} - 1.5$	V
Operating free-air temperature, $T_A$	-40	125	°C



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1**  
**Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL**  
**OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

**TLC2272Q electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{DD} = 5\text{ V}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A$ †	TLC2272Q			TLC2272AQ			UNIT	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$V_{IO}$ Input offset voltage		25°C		300	2500		300	950	$\mu\text{V}$	
		Full range			3000			1500		
$\alpha_{VIO}$ Temperature coefficient of input offset voltage		25°C to 125°C		2			2	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
Input offset voltage long-term drift (see Note 4)	$V_{IC} = 0\text{ V}$ , $V_O = 0\text{ V}$ , $V_{DD\pm} = \pm 2.5\text{ V}$ , $R_S = 50\ \Omega$	25°C		0.002			0.002	$\mu\text{V}/\text{mo}$		
$I_{IO}$ Input offset current		25°C		0.5	60		0.5	60	$\text{pA}$	
		Full range			800			800		
$I_{IB}$ Input bias current		25°C		1	60		1	60	$\text{pA}$	
		Full range			800			800		
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage	$R_S = 50\ \Omega$ , $ V_{IO}  \leq 5\text{ mV}$	25°C	0 to 4	-0.3 to 4.2		0 to 4	-0.3 to 4.2	$\text{V}$		
		Full range	0 to 3.5			0 to 3.5				
$V_{OH}$ High-level output voltage	$I_{OH} = -20\ \mu\text{A}$	25°C		4.99			4.99	$\text{V}$		
	$I_{OH} = -200\ \mu\text{A}$	25°C		4.85	4.93		4.85		4.93	
		Full range			4.85				4.85	
	$I_{OH} = -1\text{ mA}$	25°C		4.25	4.65		4.25		4.65	
Full range				4.25			4.25			
$V_{OL}$ Low-level output voltage	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$ , $I_{OL} = 50\ \mu\text{A}$	25°C		0.01			0.01	$\text{V}$		
	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$ , $I_{OL} = 500\ \mu\text{A}$	25°C		0.09	0.15		0.09		0.15	
		Full range			0.15				0.15	
	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$ , $I_{OL} = 5\text{ mA}$	25°C		0.9	1.5		0.9		1.5	
Full range				1.5			1.5			
$A_{VD}$ Large-signal differential voltage amplification	$V_{IC} = 2.5\text{ V}$ , $V_O = 1\text{ V to }4\text{ V}$	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ ‡	25°C	10	35		10	35	$\text{V}/\text{mV}$	
			Full range		10			10		
			25°C		175			175		
$r_{id}$ Differential input resistance		25°C		$10^{12}$			$10^{12}$	$\Omega$		
$r_i$ Common-mode input resistance		25°C		$10^{12}$			$10^{12}$	$\Omega$		
$c_i$ Common-mode input capacitance	$f = 10\text{ kHz}$ , P package	25°C		8			8	$\text{pF}$		
$z_o$ Closed-loop output impedance	$f = 1\text{ MHz}$ , $A_V = 10$	25°C		140			140	$\Omega$		
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = 0\text{ V to }2.7\text{ V}$ , $V_O = 2.5\text{ V}$ , $R_S = 50\ \Omega$	25°C		70	75		70	75	dB	
		Full range			70			70		
$k_{SVR}$ Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$ )	$V_{DD} = 4.4\text{ V to }16\text{ V}$ , $V_{IC} = V_{DD}/2$ , No load	25°C		80	95		80	95	dB	
		Full range			80			80		
$I_{DD}$ Supply current	$V_O = 2.5\text{ V}$ , No load	25°C		2.2	3		2.2	3	mA	
		Full range			3			3		

† Full range is  $-40^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$  for Q level part.

‡ Referenced to 2.5 V

NOTE 4: Typical values are based on the input offset voltage shift observed through 168 hours of operating life test at  $T_A = 150^\circ\text{C}$  extrapolated to  $T_A = 25^\circ\text{C}$  using the Arrhenius equation and assuming an activation energy of 0.96 eV.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1**  
**Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL**  
**OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

**TLC2272Q operating characteristics at specified free-air temperature,  $V_{DD} = 5\text{ V}$**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A$ †	TLC2272Q			TLC2272AQ			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR	Slew rate at unity gain $V_O = 1.25\text{ V to }2.75\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ‡, $C_L = 100\text{ pF}$ ‡	25°C	2.3	3.6		2.3	3.6		V/ $\mu\text{s}$
		Full range	1.7			1.7			
$V_n$	Equivalent input noise voltage	f = 10 Hz		50			50		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
		f = 1 kHz	25°C		9		9		
$V_{NPP}$	Peak-to-peak equivalent input noise voltage	f = 0.1 Hz to 1 Hz	25°C		1		1		$\mu\text{V}$
		f = 0.1 Hz to 10 Hz	25°C		1.4		1.4		
$I_n$	Equivalent input noise current	25°C		0.6			0.6	fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	
THD + N	Total harmonic distortion plus noise $V_O = 0.5\text{ V to }2.5\text{ V}$ , f = 20 kHz, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ‡	$A_V = 1$	25°C		0.0013%		0.0013%		
		$A_V = 10$			0.004%		0.004%		
		$A_V = 100$			0.03%		0.03%		
	Gain-bandwidth product	f = 10 kHz, $C_L = 100\text{ pF}$ ‡, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ‡	25°C		2.18		2.18		MHz
$B_{OM}$	Maximum output-swing bandwidth	$V_{O(PP)} = 2\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ‡, $A_V = 1$ , $C_L = 100\text{ pF}$ ‡	25°C		1		1		MHz
$t_s$	Settling time	$A_V = -1$ , Step = 0.5 V to 2.5 V, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ‡, $C_L = 100\text{ pF}$ ‡	To 0.1%	25°C		1.5		1.5	$\mu\text{s}$
			To 0.01%			2.6		2.6	
$\phi_m$	Phase margin at unity gain	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ ‡, $C_L = 100\text{ pF}$ ‡	25°C		50°		50°		
	Gain margin		25°C		10		10		dB

† Full range is  $-40^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$  for Q level part.

‡ Referenced to 2.5 V



**TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1**  
**Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL**  
**OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

**TLC2272Q electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{DD\pm} = \pm 5\text{ V}$  (unless otherwise noted)**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A$ †	TLC2272Q			TLC2272AQ			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{IO}$ Input offset voltage	$V_{IC} = 0\text{ V},$ $R_S = 50\ \Omega$ $V_O = 0\text{ V},$	25°C		300	2500		300	950	$\mu\text{V}$
		Full range			3000			1500	
$\alpha_{VIO}$ Temperature coefficient of input offset voltage		25°C to 125°C		2			2		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input offset voltage long-term drift (see Note 4)		25°C		0.002			0.002		$\mu\text{V}/\text{mo}$
$I_{IO}$ Input offset current		25°C		0.5	60		0.5	60	$\text{pA}$
		Full range			800			800	
$I_{IB}$ Input bias current	25°C		1	60		1	60	$\text{pA}$	
	Full range			800			800		
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage	$R_S = 50\ \Omega,$ $ V_{IO}  \leq 5\text{ mV}$	25°C	-5 to 4	-5.3 to 4.2		-5 to 4	-5.3 to 4.2	$\text{V}$	
		Full range		-5 to 3.5			-5 to 3.5		
$V_{OM+}$ Maximum positive peak output voltage	$I_O = -20\ \mu\text{A}$ $I_O = -200\ \mu\text{A}$ $I_O = -1\text{ mA}$	25°C		4.99			4.99	$\text{V}$	
		25°C		4.85	4.93		4.85		4.93
		Full range		4.85			4.85		
		25°C		4.25	4.65		4.25		4.65
$V_{OM-}$ Maximum negative peak output voltage	$V_{IC} = 0\text{ V},$ $I_O = 50\ \mu\text{A}$ $V_{IC} = 0\text{ V},$ $I_O = 500\ \mu\text{A}$ $V_{IC} = 0\text{ V},$ $I_O = 5\text{ mA}$	25°C		-4.99			-4.99	$\text{V}$	
		25°C		-4.85	-4.91		-4.85		-4.91
		Full range		-4.85			-4.85		
		25°C		-3.5	-4.1		-3.5		-4.1
$A_{VD}$ Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 4\text{ V}$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$ $R_L = 1\text{ m}\Omega$	25°C		20	50		20	50	$\text{V}/\text{mV}$
		Full range		20			20		
		25°C		300			300		
$r_{id}$ Differential input resistance		25°C		$10^{12}$			$10^{12}$	$\Omega$	
$r_i$ Common-mode input resistance		25°C		$10^{12}$			$10^{12}$	$\Omega$	
$c_i$ Common-mode input capacitance	$f = 10\text{ kHz},$ P package	25°C		8			8	$\text{pF}$	
$z_o$ Closed-loop output impedance	$f = 1\text{ MHz},$ $A_V = 10$	25°C		130			130	$\Omega$	
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = -5\text{ V to } 2.7\text{ V},$ $V_O = 0\text{ V},$ $R_S = 50\ \Omega$	25°C		75	80		75	80	dB
		Full range		75			75		
$k_{SVR}$ Supply-voltage rejection ratio ( $\Delta V_{DD\pm}/\Delta V_{IO}$ )	$V_{DD} = \pm 2.2\text{ V to } \pm 8\text{ V},$ $V_{IC} = 0\text{ V},$ No load	25°C		80	95		80	95	dB
		Full range		80			80		
$I_{DD}$ Supply current	$V_O = 2.5\text{ V},$ No load	25°C		2.4	3		2.4	3	mA
		Full range			3			3	

† Full range is -40°C to 125°C for Q level part.

NOTE 4: Typical values are based on the input offset voltage shift observed through 168 hours of operating life test at  $T_A = 150^\circ\text{C}$  extrapolated to  $T_A = 25^\circ\text{C}$  using the Arrhenius equation and assuming an activation energy of 0.96 eV.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

**TLC227x-Q1, TLC227xA-Q1**  
**Advanced LinCMOS™ RAIL-TO-RAIL**  
**OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SGLS007B – FEBRUARY 2003 – REVISED OCTOBER 2003

**TLC2272Q operating characteristics at specified free-air temperature,  $V_{DD\pm} = \pm 5\text{ V}$**

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$T_A$ †	TLC2272Q			TLC2272AQ			UNIT		
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
SR	Slew rate at unity gain $V_O = \pm 1\text{ V}$ , $C_L = 100\text{ pF}$	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	25°C	2.3	3.6		2.3	3.6	$\text{V}/\mu\text{s}$		
			Full range	1.7			1.7				
$V_n$	Equivalent input noise voltage		25°C	50			50			$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
			$f = 10\text{ Hz}$	9			9				
$V_{NPP}$	Peak-to-peak equivalent input noise voltage		25°C	1			1			$\mu\text{V}$	
			$f = 0.1\text{ Hz to }10\text{ Hz}$	1.4			1.4				
$I_n$	Equivalent input noise current		25°C	0.6			0.6			$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$	
THD + N	Total harmonic distortion plus noise $V_O = \pm 2.3\text{ V}$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$ , $f = 20\text{ kHz}$	$A_V = 1$	25°C	0.0011%			0.0011%				
				$A_V = 10$	0.004%			0.004%			
				$A_V = 100$	0.03%			0.03%			
	Gain-bandwidth product	$f = 10\text{ kHz}$ , $C_L = 100\text{ pF}$	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	25°C	2.25			2.25			MHz
BOM	Maximum output-swing bandwidth	$V_{O(PP)} = 4.6\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$	$A_V = 1$ , $C_L = 100\text{ pF}$	25°C	0.54			0.54			MHz
$t_s$	Settling time	$A_V = -1$ , Step = $-2.3\text{ V}$ to $2.3\text{ V}$ , $R_L = 10\text{ k}\Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$	25°C	To 0.1%	1.5			1.5			$\mu\text{s}$
				To 0.01%	3.2			3.2			
$\phi_m$	Phase margin at unity gain	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	$C_L = 100\text{ pF}$	25°C	52°			52°			
	Gain margin			25°C	10			10			dB

† Full range is  $-40^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$  for Q level part.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265



## TYPICAL CHARACTERISTICS

**Table of Graphs**

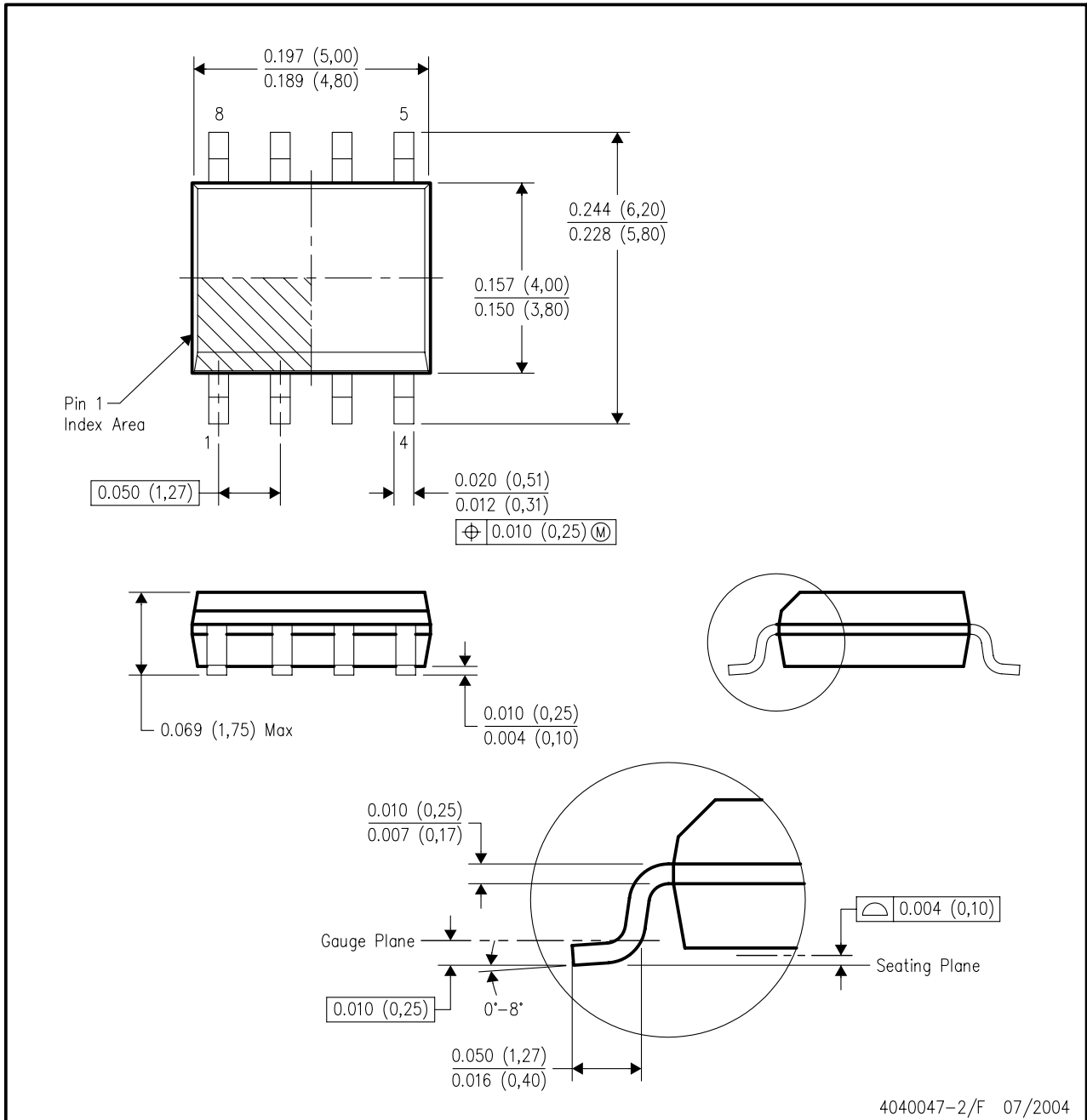
			FIGURE
$V_{IO}$	Input offset voltage	Distribution vs Common-mode voltage	1 – 4 5, 6
$\alpha V_{IO}$	Input offset voltage temperature coefficient	Distribution	7 – 10
$I_{IB}/I_{IO}$	Input bias and input offset current	vs Free-air temperature	11
$V_I$	Input voltage	vs Supply voltage vs Free-air temperature	12 13
$V_{OH}$	High-level output voltage	vs High-level output current	14
$V_{OL}$	Low-level output voltage	vs Low-level output current	15, 16
$V_{OM+}$	Maximum positive peak output voltage	vs Output current	17
$V_{OM-}$	Maximum negative peak output voltage	vs Output current	18
$V_{O(PP)}$	Maximum peak-to-peak output voltage	vs Frequency	19
$I_{OS}$	Short-circuit output current	vs Supply voltage vs Free-air temperature	20 21
$V_O$	Output voltage	vs Differential input voltage	22, 23
$A_{VD}$	Large-signal differential voltage amplification	vs Load resistance	24
	Large-signal differential voltage amplification and phase margin	vs Frequency	25, 26
	Large-signal differential voltage amplification	vs Free-air temperature	27, 28
$z_o$	Output impedance	vs Frequency	29, 30
CMRR	Common-mode rejection ratio	vs Frequency	31
		vs Free-air temperature	32
kSVR	Supply-voltage rejection ratio	vs Frequency	33, 34
		vs Free-air temperature	35
$I_{DD}$	Supply current	vs Supply voltage	36, 37
		vs Free-air temperature	38, 39
SR	Slew rate	vs Load capacitance	40
		vs Free-air temperature	41
$V_O$	Inverting large-signal pulse response		42, 43
	Voltage-follower large-signal pulse response		44, 45
	Inverting small-signal pulse response		46, 47
	Voltage-follower small-signal pulse response		48, 49
$V_n$	Equivalent input noise voltage	vs Frequency	50, 51
	Noise voltage over a 10-second period		52
	Integrated noise voltage	vs Frequency	53
THD + N	Total harmonic distortion plus noise	vs Frequency	54
			55
	Gain-bandwidth product	vs Supply voltage	55
		vs Free-air temperature	56
$\phi_m$	Phase margin	vs Load capacitance	57
	Gain margin	vs Load capacitance	58

NOTE: For all graphs where  $V_{DD} = 5\text{ V}$ , all loads are referenced to 2.5 V.

# MECHANICAL DATA

## D (R-PDSO-G8)

## PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
  - Falls within JEDEC MS-012 variation AA.

# **AMPLIFICADOR OPERACIONAL**

**Catálogo de TL061CN**

## Low power JFET single operational amplifiers

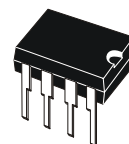
### Features

- Very low power consumption: 200  $\mu$ A
- Wide common-mode (up to  $V_{CC}^+$ ) and differential voltage ranges
- Low input bias and offset currents
- Output short-circuit protection
- High input impedance JFET input stage
- Internal frequency compensation
- Latch-up free operation
- High slew rate: 3.5 V/ $\mu$ s

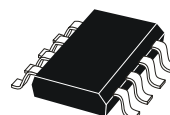
### Description

The TL061 is a high-speed JFET input single operational amplifier, that incorporates well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The device features high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

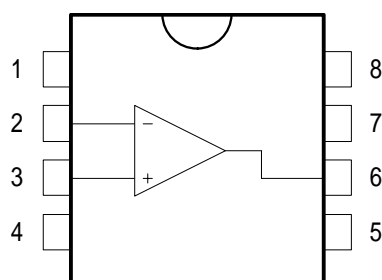


**N**  
**DIP8**  
(Plastic package)



**D**  
**SO-8**  
(Plastic micropackage)

#### Pin connections (top view)



- 1 - Offset null 1
- 2 - Inverting input
- 3 - Non-inverting input
- 4 -  $V_{CC}^-$
- 5 - Offset null 2
- 6 - Output
- 7 -  $V_{CC}^+$
- 8 - N.C.

# 1 Schematic diagram

Figure 1. Schematic diagram

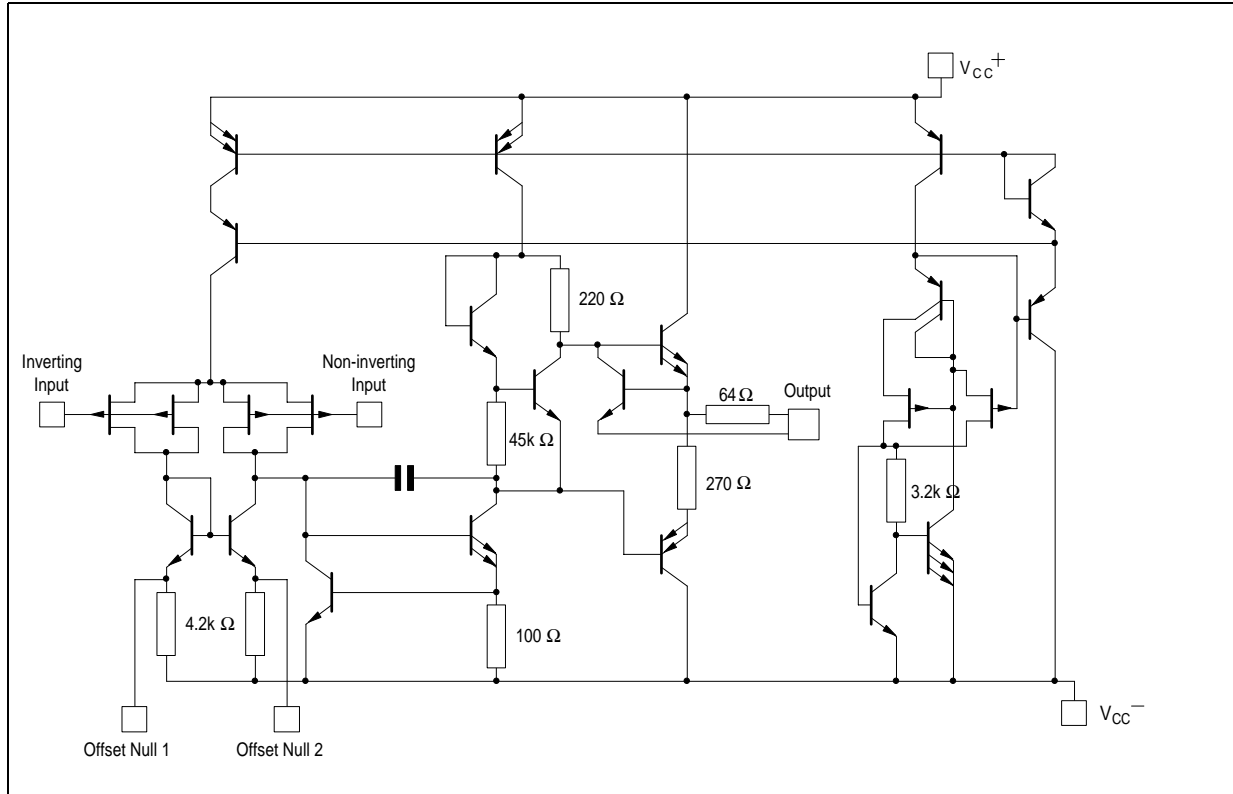
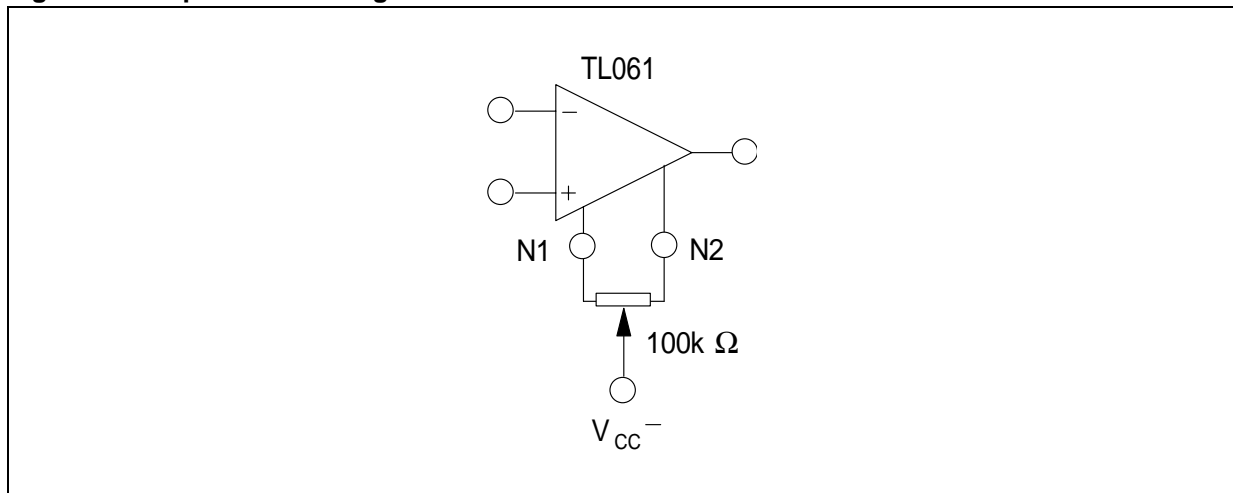


Figure 2. Input offset voltage null circuit



## 2 Absolute maximum ratings and operating conditions

**Table 1. Absolute maximum ratings**

Symbol	Parameter	Value			Unit
		TL061M, AM, BM	TL061I, AI, BI	TL061C, AC, BC	
$V_{CC}$	Supply voltage <sup>(1)</sup>	±18			V
$V_i$	Input voltage <sup>(2)</sup>	±15			V
$V_{id}$	Differential input voltage <sup>(3)</sup>	±30			V
$P_{tot}$	Power dissipation	680			mW
	Output short-circuit duration <sup>(4)</sup>	Infinite			
$T_{stg}$	Storage temperature range	-65 to +150	-65 to +150	-65 to +150	°C
$R_{thja}$	Thermal resistance junction to ambient <sup>(5) (6)</sup>				°C/W
	SO-8 DIP8	125 85			
$R_{thjc}$	Thermal resistance junction to case <sup>(5) (6)</sup>				°C/W
	SO-8 DIP8	40 41			
ESD	HBM: human body model <sup>(7)</sup>	800			V
	MM: machine model <sup>(8)</sup>	200			V
	CDM: charged device model <sup>(9)</sup>	1.5			kV

- All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between  $V_{CC}^+$  and  $V_{CC}^-$ .
- The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
- Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
- The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.
- Short-circuits can cause excessive heating and destructive dissipation.
- $R_{th}$  are typical values.
- Human body model: 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor between two pins of the device, done for all couples of pin combinations with other pins floating.
- Machine model: a 200 pF cap is charged to the specified voltage, then discharged directly between two pins of the device with no external series resistor (internal resistor < 5 Ω), done for all couples of pin combinations with other pins floating.
- Charged device model: all pins plus package are charged together to the specified voltage and then discharged directly to the ground.

**Table 2. Operating conditions**

Symbol	Parameter	TL061M, AM, BM	TL061I, AI, BI	TL061C, AC, BC	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage range	6 to 36			V
$T_{oper}$	Operating free-air temperature range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C

### 3 Electrical characteristics

Table 3.  $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_{amb} = +25^\circ\text{ C}$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL061M			TL061I			TL061C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input offset voltage ( $R_S = 50\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3	6 9		3	6 9		3	15 20	mV
$DV_{io}$	Temperature coefficient of input offset voltage ( $R_S = 50\Omega$ )		10			10			10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$I_{io}$	Input offset current <sup>(1)</sup> $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 20		5	100 10		5	200 5	pA nA
$I_{ib}$	Input bias current <sup>(1)</sup> $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		30	200 20		30	200 20		30	400 10	pA nA
$V_{icm}$	Input common mode voltage range	$\pm 11.5$	+15 -12		$\pm 11.5$	+15 -12		$\pm 11$	+15 -12		V
$V_{opp}$	Output voltage swing ( $R_L = 10\text{k}\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	20 20	27		20 20	27		20 20	27		V
$A_{vd}$	Large signal voltage gain $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $V_o = \pm 10\text{V}$ , $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	4 4	6		4 4	6		3 3	6		V/mV
GBP	Gain bandwidth product $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $C_L = 100\text{pF}$		1			1			1		MHz
$R_i$	Input resistance		$10^{12}$			$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
CMR	Common mode rejection ratio $R_S = 50\Omega$	80	86		80	86		70	76		dB
SVR	Supply voltage rejection ratio $R_S = 50\Omega$	80	95		80	95		70	95		dB
$I_{CC}$	Supply current, no load $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ , no load, no signal		200	250		200	250		200	250	$\mu\text{A}$
$P_D$	Total power consumption $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ , no load, no signal		6	7.5		6	7.5		6	7.5	mW
SR	Slew rate $V_i = 10\text{V}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $C_L = 100\text{pF}$ , $A_v = 1$	1.5	3.5		1.5	3.5		1.5	3.5		$\text{V}/\mu\text{s}$
$t_r$	Rise time $V_i = 20\text{mV}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $C_L = 100\text{pF}$ , $A_v = 1$		0.2			0.2			0.2		$\mu\text{s}$

**Table 3.  $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_{amb} = +25^\circ\text{ C}$  (unless otherwise specified) (continued)**

Symbol	Parameter	TL061M			TL061I			TL061C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$K_{ov}$	Overshoot factor (see <a href="#">Figure 16</a> ) $V_i = 20\text{mV}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $C_L = 100\text{pF}$ , $A_v = 1$		10			10			10		%
$e_n$	Equivalent input noise voltage $R_S = 100\Omega$ , $f = 1\text{kHz}$		42			42			42		$\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$

1. The input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

**Table 4.  $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_{amb} = +25^\circ\text{ C}$  (unless otherwise specified)**

Symbol	Parameter	TL061AC, AI, AM			TL061BC, BI, BM			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input offset voltage ( $R_S = 50\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3	6 7.5		2	3 5	mV
$DV_{io}$	Temperature coefficient of input offset voltage ( $R_S = 50\Omega$ )		10			10		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$I_{io}$	Input offset current <sup>(1)</sup> $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 3		5	100 3	pA nA
$I_{ib}$	Input bias current <sup>(1)</sup> $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		30	200 7		30	200 7	pA nA
$V_{icm}$	Input common mode voltage range	$\pm 11.5$	+15 -12		$\pm 11$	+15 -12		V
$V_{opp}$	Output voltage swing ( $R_L = 10\text{k}\Omega$ ) $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	20 20	27		20 20	27		V
$A_{vd}$	Large signal voltage gain ( $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $V_o = \pm 10\text{V}$ ) $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	4 4	6		4 4	6		V/mV
GBP	Gain bandwidth product $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ , $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $C_L = 100\text{pF}$		1			1		MHz
$R_i$	Input resistance		$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
CMR	Common mode rejection ratio ( $R_S = 50\Omega$ )	80	86		80	86		dB
SVR	Supply voltage rejection ratio ( $R_S = 50\Omega$ )	80	95		80	95		dB
$I_{CC}$	Supply current, no load $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ , no load, no signal		200	250		200	250	$\mu\text{A}$
$P_D$	Total power consumption $T_{amb} = +25^\circ\text{C}$ , no load, no signal		6	7.5		6	7.5	mW



### 5.1 DIP8 package information

Figure 20. DIP8 package mechanical drawing

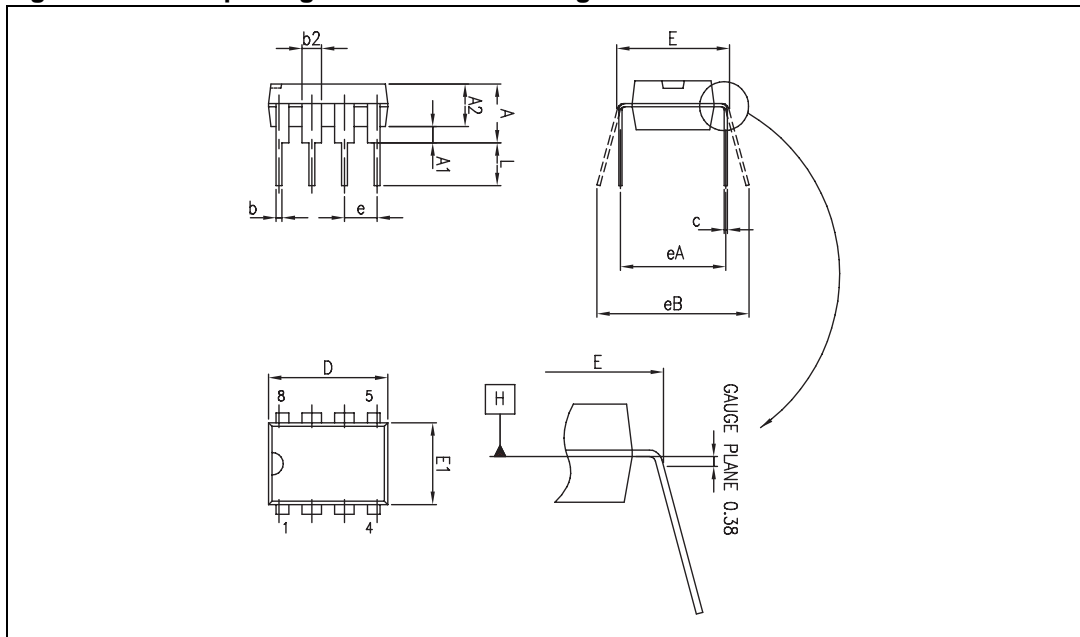


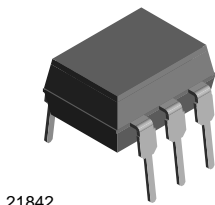
Table 5. DIP8 package mechanical data

Ref.	Dimensions					
	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			5.33			0.210
A1	0.38			0.015		
A2	2.92	3.30	4.95	0.115	0.130	0.195
b	0.36	0.46	0.56	0.014	0.018	0.022
b2	1.14	1.52	1.78	0.045	0.060	0.070
c	0.20	0.25	0.36	0.008	0.010	0.014
D	9.02	9.27	10.16	0.355	0.365	0.400
E	7.62	7.87	8.26	0.300	0.310	0.325
E1	6.10	6.35	7.11	0.240	0.250	0.280
e		2.54			0.100	
eA		7.62			0.300	
eB			10.92			0.430
L	2.92	3.30	3.81	0.115	0.130	0.150

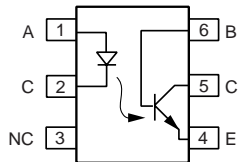
# **OPTOACOPLADOR**

## **Catálogo del 4N25**

## Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



1179004-5

### DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

### FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V<sub>RMS</sub>
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



### APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

### AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT</b>				
Reverse voltage		V <sub>R</sub>	5	V
Forward current		I <sub>F</sub>	60	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I <sub>FSM</sub>	3	A
Power dissipation		P <sub>diss</sub>	100	mW
<b>OUTPUT</b>				
Collector emitter breakdown voltage		V <sub>CEO</sub>	70	V
Emitter base breakdown voltage		V <sub>EBO</sub>	7	V
Collector current		I <sub>C</sub>	50	mA
	t ≤ 1 ms	I <sub>C</sub>	100	mA
Power dissipation		P <sub>diss</sub>	150	mW



# 4N25, 4N26, 4N27, 4N28

## Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors with Base Connection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>COUPLER</b>				
Isolation test voltage		$V_{ISO}$	5000	$V_{RMS}$
Creepage distance			$\geq 7$	mm
Clearance distance			$\geq 7$	mm
Isolation thickness between emitter and detector			$\geq 0.4$	mm
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$R_{IO}$	$10^{12}$	$\Omega$
	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	$R_{IO}$	$10^{11}$	$\Omega$
Storage temperature		$T_{stg}$	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Operating temperature		$T_{amb}$	- 55 to + 100	$^\circ\text{C}$
Junction temperature		$T_j$	125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature <sup>(2)</sup>	max. 10 s dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5 \text{ mm}$	$T_{sld}$	260	$^\circ\text{C}$

### Notes

<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

<sup>(2)</sup> Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS <sup>(1)</sup>							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT</b>							
Forward voltage <sup>(2)</sup>	$I_F = 50 \text{ mA}$		$V_F$		1.3	1.5	V
Reverse current <sup>(2)</sup>	$V_R = 3 \text{ V}$		$I_R$		0.1	100	$\mu\text{A}$
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}$		$C_O$		25		pF
<b>OUTPUT</b>							
Collector base breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_C = 100 \text{ } \mu\text{A}$		$BV_{CBO}$	70			V
Collector emitter breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_C = 1 \text{ mA}$		$BV_{CEO}$	30			V
Emitter collector breakdown voltage <sup>(2)</sup>	$I_E = 100 \text{ } \mu\text{A}$		$BV_{ECO}$	7			V
$I_{CEO}(\text{dark})$ <sup>(2)</sup>	$V_{CE} = 10 \text{ V}, (\text{base open})$	4N25			5	50	nA
		4N26			5	50	nA
		4N27			5	50	nA
		4N28			10	100	nA
$I_{CBO}(\text{dark})$ <sup>(2)</sup>	$V_{CB} = 10 \text{ V}, (\text{emitter open})$				2	20	nA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		$C_{CE}$		6		pF
<b>COUPLER</b>							
Isolation test voltage <sup>(2)</sup>	Peak, 60 Hz		$V_{IO}$	5000			V
Saturation voltage, collector emitter	$I_{CE} = 2 \text{ mA}, I_F = 50 \text{ mA}$		$V_{CE(\text{sat})}$			0.5	V
Resistance, input output <sup>(2)</sup>	$V_{IO} = 500 \text{ V}$		$R_{IO}$	100			G $\Omega$
Capacitance, input output	$f = 1 \text{ MHz}$		$C_{IO}$		0.6		pF

### Notes

<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

<sup>(2)</sup> JEDEC registered values are 2500 V, 1500 V, 1500 V, and 500 V for the 4N25, 4N26, 4N27, and 4N28 respectively.

# 4N25, 4N26, 4N27, 4N28



Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,  
with Base Connection

CURRENT TRANSFER RATIO (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	$V_{CE} = 10\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$	4N25	$CTR_{DC}$	20	50		%
		4N26	$CTR_{DC}$	20	50		%
		4N27	$CTR_{DC}$	10	30		%
		4N28	$CTR_{DC}$	10	30		%

**Note**

(1) Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Rise and fall times	$V_{CE} = 10\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ , $R_L = 100\ \Omega$	$t_r$ , $t_f$		2		$\mu\text{s}$	

**TYPICAL CHARACTERISTICS**

$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

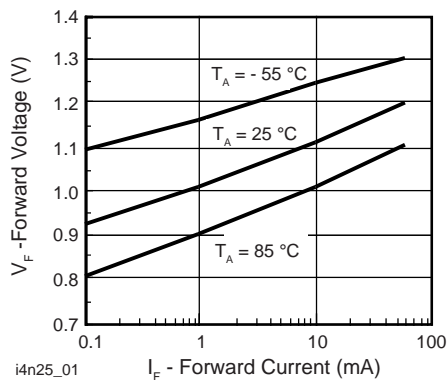


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

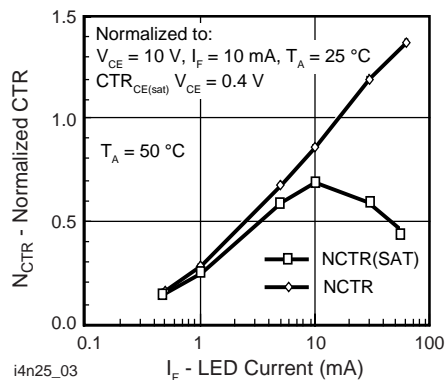


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

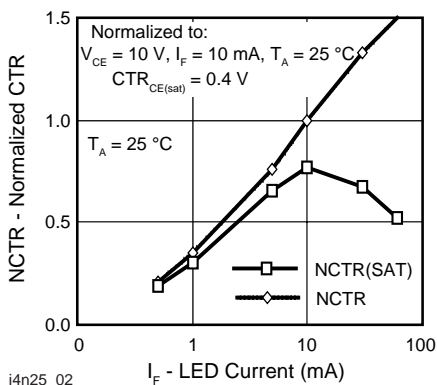


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

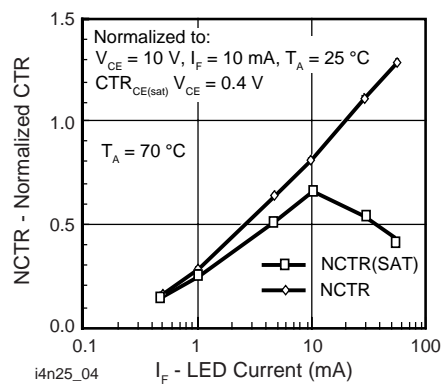


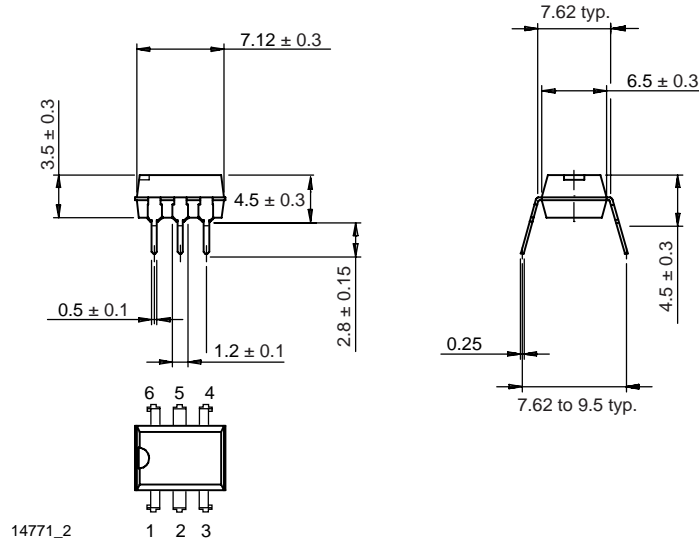
Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current



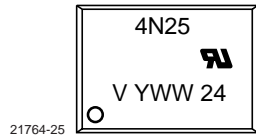
# 4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors  
with Base Connection

## PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



## PACKAGE MARKING



# **DIODO RECTIFICADOR**

## **Catálogo del 1N4007**

# 1N4001 - 1N4007, BY133

1.0 AMP. Silicon Rectifiers

**DO-41**

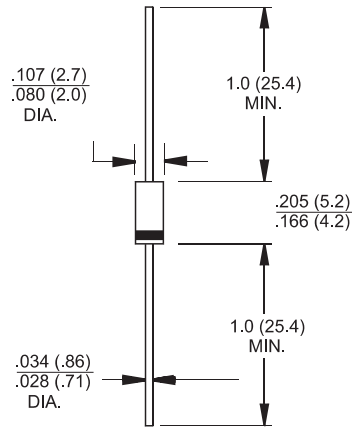


## Features

- ✧ High efficiency, Low VF
- ✧ High current capability
- ✧ High reliability
- ✧ High surge current capability
- ✧ Low power loss

## Mechanical Data

- ✧ Cases: Molded plastic
- ✧ Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- ✧ Lead: Pure tin plated, lead free., solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed
- ✧ Polarity: Color band denotes cathode end
- ✧ High temperature soldering guaranteed: 260 °C /10 seconds/.375", (9.5mm) lead lengths at 5 lbs., (2.3kg) tension
- ✧ Weight: 0.35 gram



Dimensions in inches and (millimeters)

## Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.

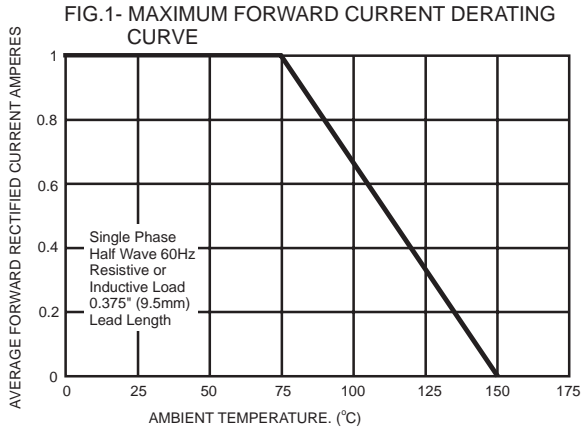
For capacitive load, derate current by 20%

Type Number	Symbol	1N 4001	1N 4002	1N 4003	1N 4004	1N 4005	1N 4006	1N 4007	BY 133	Units
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	$V_{RRM}$	50	100	200	400	600	800	1000	1300	V
Maximum RMS Voltage	$V_{RMS}$	35	70	140	280	420	560	700	910	V
Maximum DC Blocking Voltage	$V_{DC}$	50	100	200	400	600	800	1000	1300	V
Maximum Average Forward Rectified Current .375" (9.5mm) Lead Length @ $T_A = 75^\circ C$	$I_{(AV)}$	1.0								A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method )	$I_{FSM}$	30								A
Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 1.0A	$V_F$	1.0								V
Maximum DC Reverse Current @ $T_A = 25^\circ C$ at Rated DC Blocking Voltage @ $T_A = 125^\circ C$	$I_R$	5.0 50								$\mu A$ $\mu A$
Maximum Full Load Reverse Current ,Full Cycle Average .375" (9.5mm) Lead Length @ $T_A = 75^\circ C$	$HT_{IR}$	30								$\mu A$
Typical Junction Capacitance ( Note 1 )	$C_j$	10								pF
Typical Thermal Resistance ( Note 2 )	$R_{\theta JA}$	65								$^\circ C/W$
Operating and Storage Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	-65 to +150								$^\circ C$

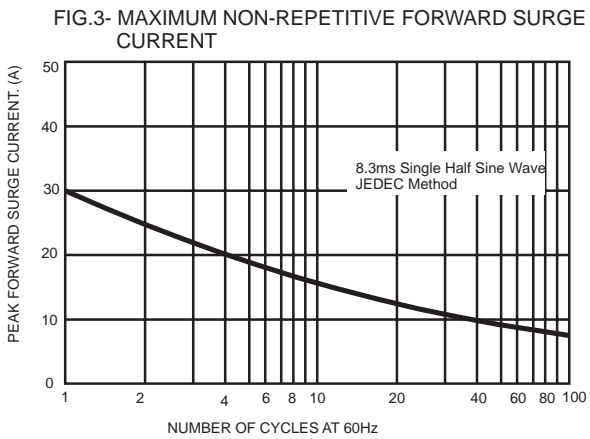
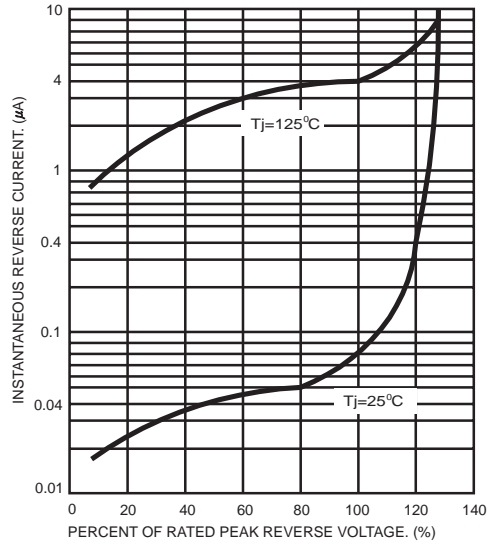
- Notes: 1. Measured at 1 MHz and Applied Reverse Voltage of 4.0 Volts D.C.  
2. Mount on Cu-Pad Size 5mm x 5mm on P.C.B.



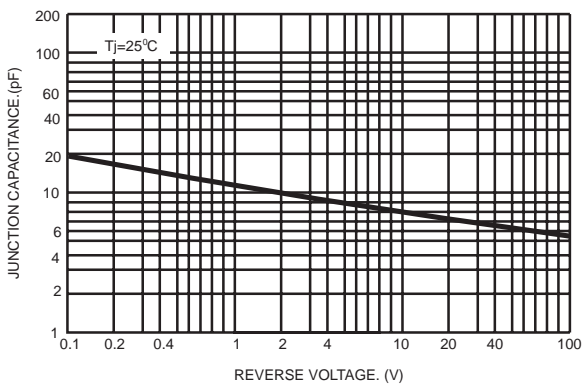
## RATINGS AND CHARACTERISTIC CURVES (1N4001 THRU 1N4007/BY133)



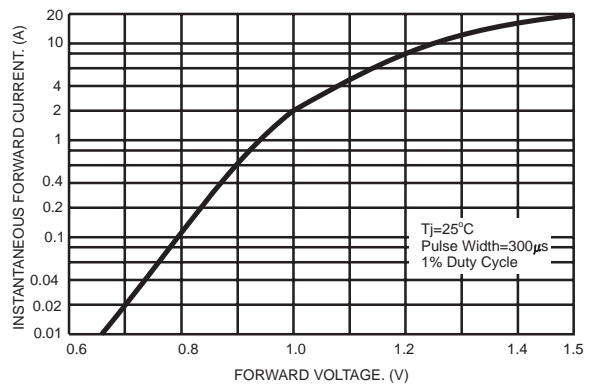
**FIG.2- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS**



**FIG.4- TYPICAL JUNCTION CAPACITANCE**



**FIG.5- TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS**



TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

---

# **PLANOS**

---

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N**

**15405 - FERROL**

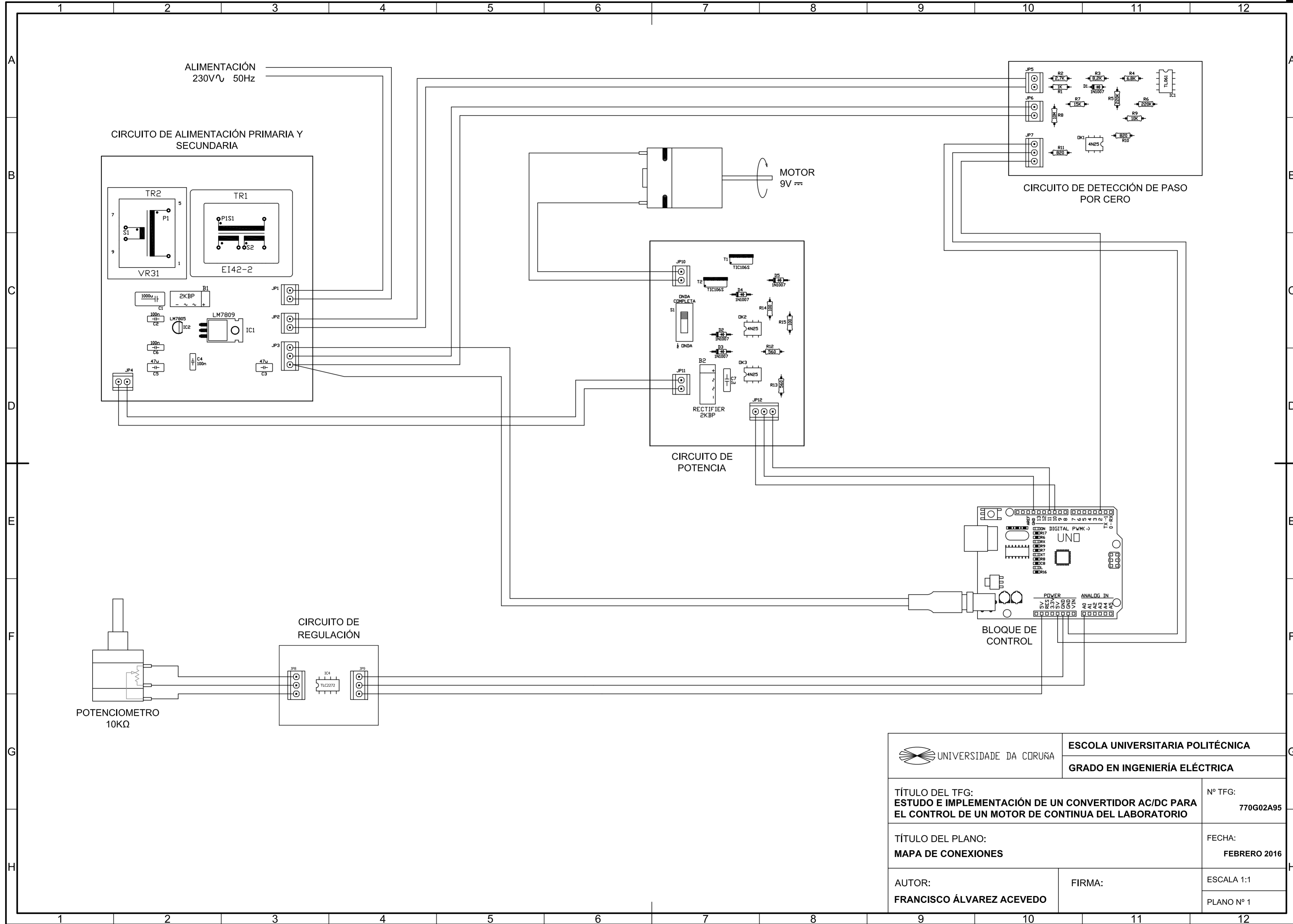
FECHA: **FEBRERO DE 2016**

AUTOR: **EL ALUMNO**

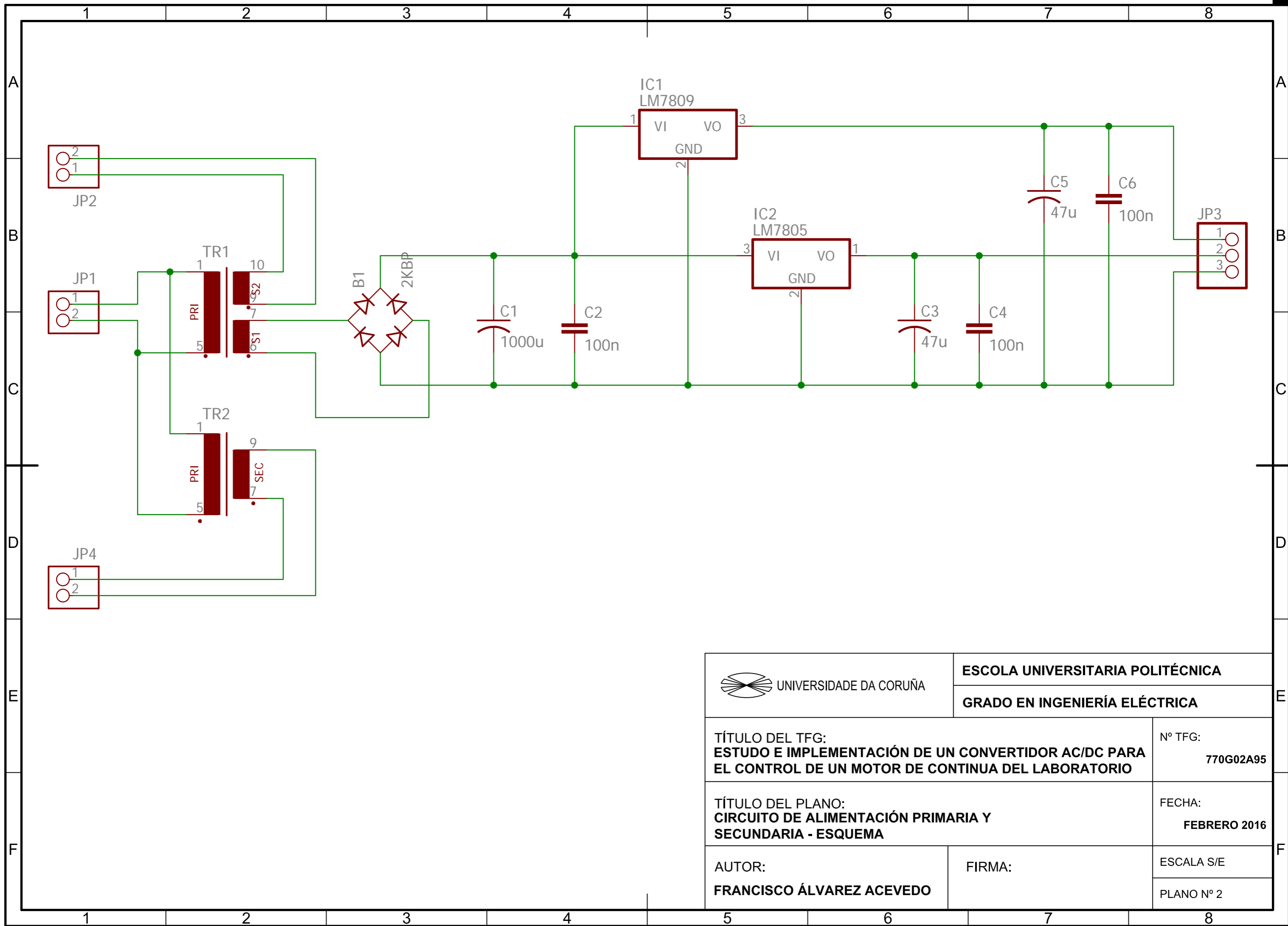
Fdo.: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**

# Índice de planos

1	Mapa de conexiones . . . . .	107
2	Circuito de alimentación primaria y secundaria - esquema . . . . .	108
3	Circuito de alimentación primaria y secundaria - pistas (bottom) . . . . .	109
4	Circuito de alimentación primaria y secundaria - taladros . . . . .	110
5	Circuito de alimentación primaria y secundaria - encapsulados . . . . .	111
6	Circuito de regulación - esquema, pistas (bottom), taladros y encapsulados . . . . .	112
7	Circuito de detección de cero - esquema . . . . .	113
8	Circuito de detección de cero - pistas (bottom) . . . . .	114
9	Circuito de detección de cero - taladros . . . . .	115
10	Circuito de detección de cero - encapsulados . . . . .	116
11	Circuito de potencia - esquema . . . . .	117
12	Circuito de potencia - pistas (bottom) . . . . .	118
13	Circuito de potencia - taladros . . . . .	119
14	Circuito de potencia - encapsulados . . . . .	120



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA	<b>ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA</b>	
	<b>GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>TÍTULO DEL TFG:</b> ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO	Nº TFG: 770G02A95	
<b>TÍTULO DEL PLANO:</b> MAPA DE CONEXIONES	FECHA: FEBRERO 2016	
AUTOR: <b>FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO</b>	FIRMA:	ESCALA 1:1 PLANO Nº 1



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA	<b>ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA</b>	
	<b>GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>TÍTULO DEL TFG: ESTUDO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO</b>		Nº TFG: 770G02A95
<b>TÍTULO DEL PLANO: CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA - ESQUEMA</b>		FECHA: FEBRERO 2016
AUTOR: FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO	FIRMA:	ESCALA S/E PLANO Nº 2

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

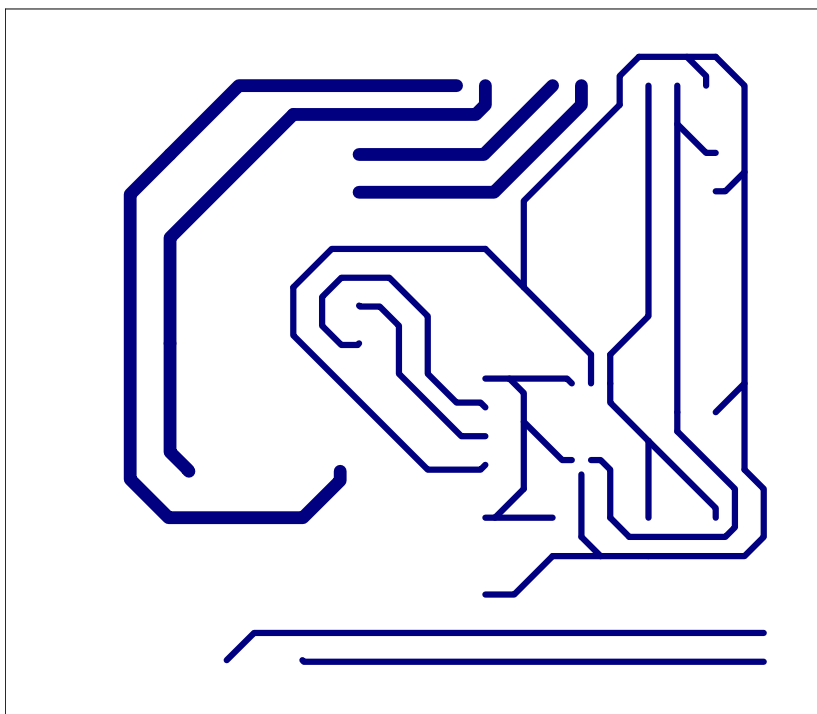
D

E

E

F

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA  
 EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:

770G02A95

TÍTULO DEL PLANO:  
**CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA -  
 PISTAS (BOTTOM)**

FECHA:

FEBRERO 2016

AUTOR:

FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO

FIRMA:

ESCALA 1:1

PLANO Nº 3

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

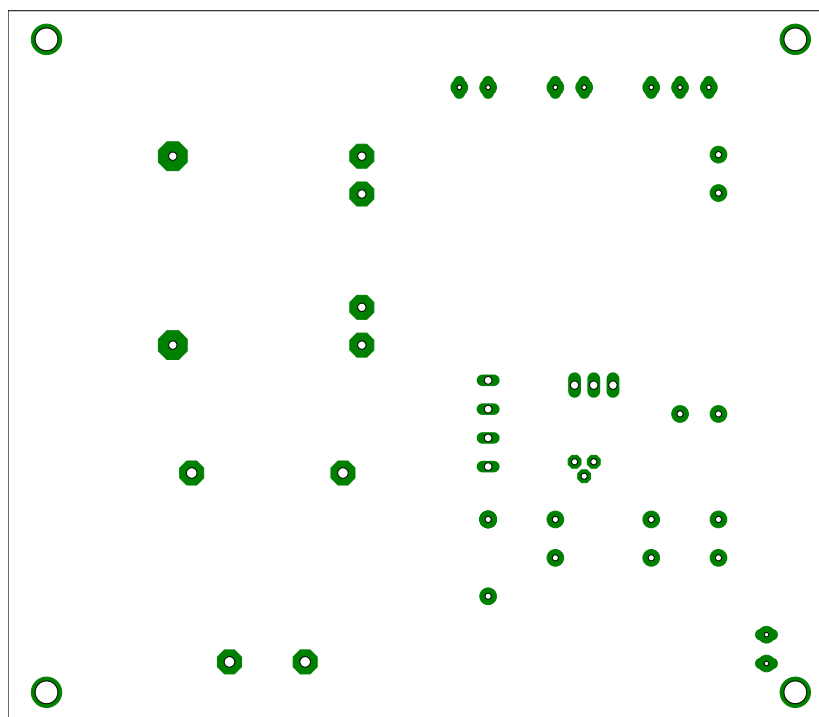
D

E

E

F

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA  
 EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:

770G02A95

TÍTULO DEL PLANO:  
**CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA -  
 TALADROS**

FECHA:

FEBRERO 2016

AUTOR:

FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO

FIRMA:

ESCALA 1:1

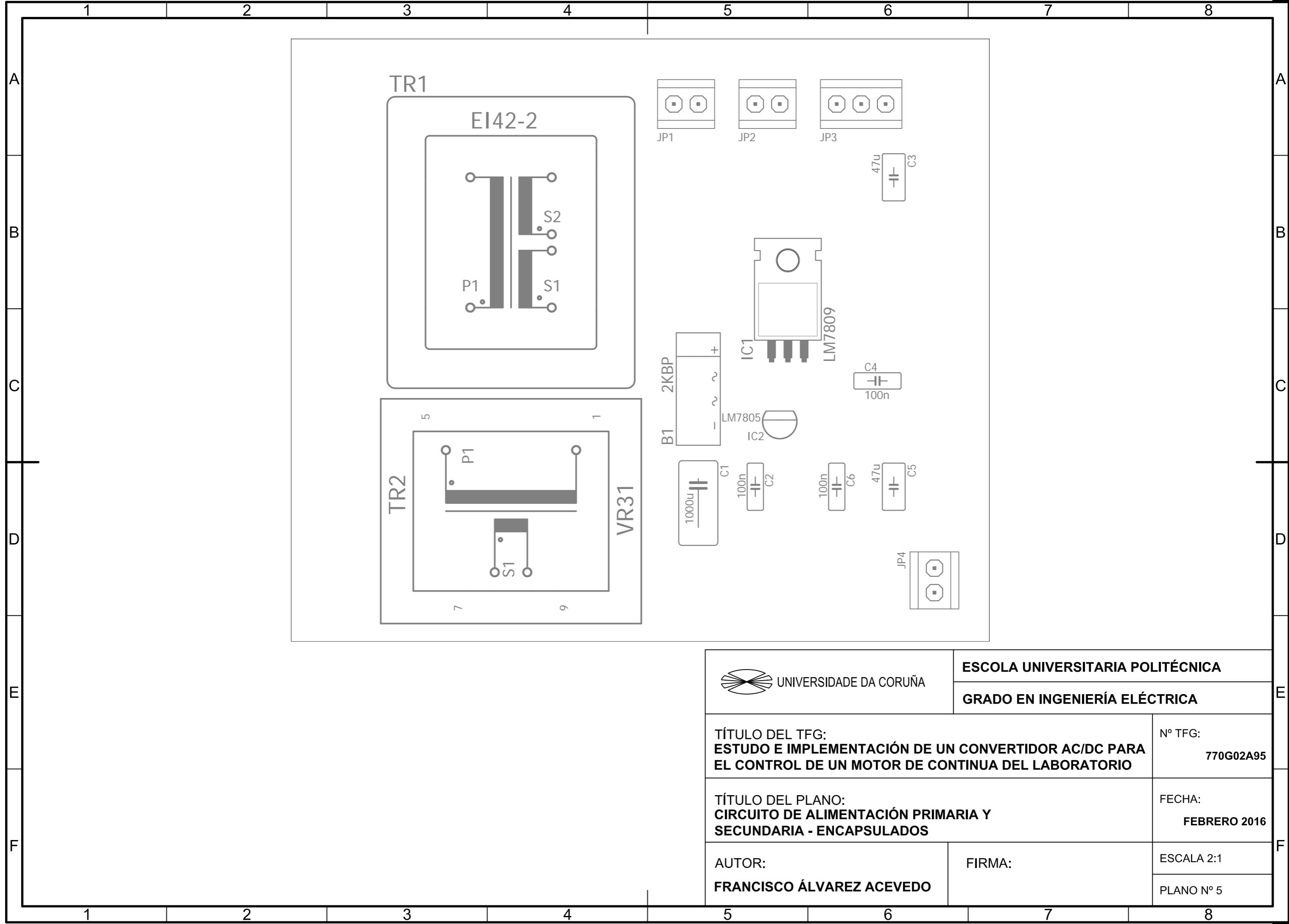
PLANO Nº 4

1

2

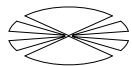
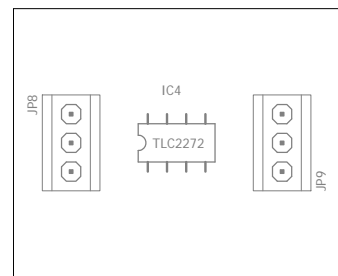
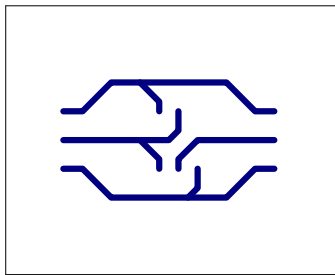
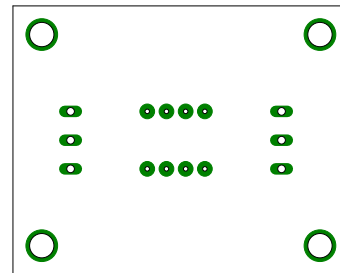
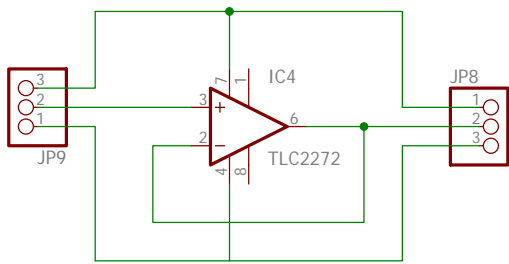
3

4



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA	<b>ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA</b>	
	<b>GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>TÍTULO DEL TFG:</b> <b>ESTUDO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO</b>		<b>Nº TFG:</b> 770G02A95
<b>TÍTULO DEL PLANO:</b> <b>CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA - ENCAPSULADOS</b>		<b>FECHA:</b> FEBRERO 2016
<b>AUTOR:</b> <b>FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO</b>	<b>FIRMA:</b>	<b>ESCALA 2:1</b>
		<b>PLANO Nº 5</b>





UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:  
**770G02A95**

TÍTULO DEL PLANO:  
**CIRCUITO DE REGULACIÓN - ESQUEMA, PISTAS (BOTTOM), TALADROS Y ENCAPSULADOS**

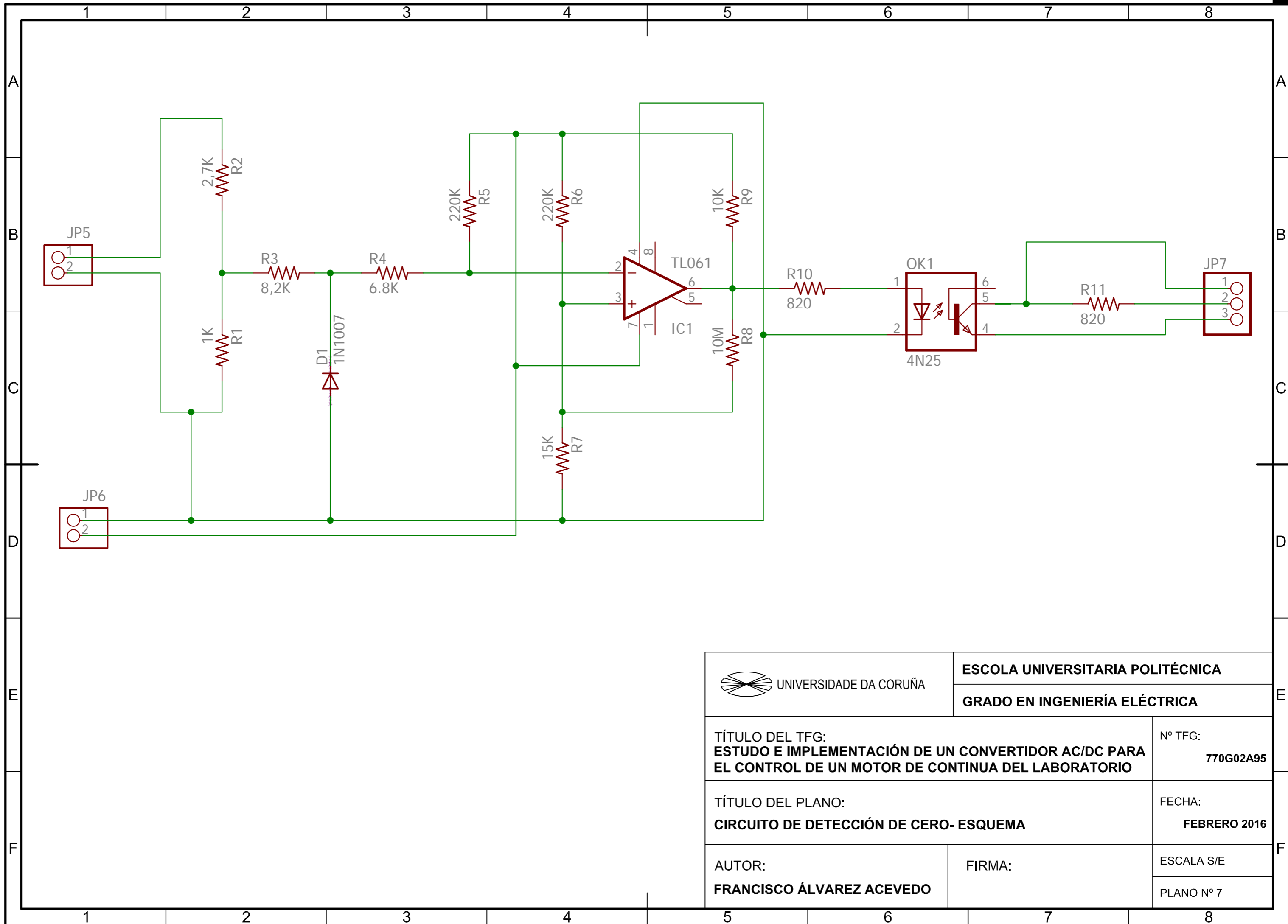
FECHA:  
**FEBRERO 2016**

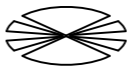
AUTOR:  
**FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO**

FIRMA:

ESCALA 1:1

PLANO Nº 6



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA	<b>ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA</b>	
	<b>GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>TÍTULO DEL TFG:</b> <b>ESTUDO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO</b>		<b>Nº TFG:</b> 770G02A95
<b>TÍTULO DEL PLANO:</b> <b>CIRCUITO DE DETECCIÓN DE CERO- ESQUEMA</b>		<b>FECHA:</b> FEBRERO 2016
<b>AUTOR:</b> <b>FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO</b>	<b>FIRMA:</b>	<b>ESCALA S/E</b>
		<b>PLANO Nº 7</b>

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

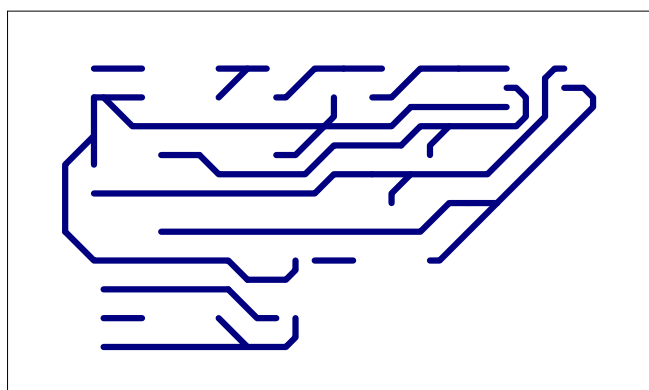
D

E

E

F

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA  
 EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:  
**770G02A95**

TÍTULO DEL PLANO:  
**CIRCUITO DE DETECCIÓN DE CERO - PISTAS (BOTTOM)**

FECHA:  
**FEBRERO 2016**

AUTOR:  
**FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO**

FIRMA:

ESCALA 1:1

PLANO Nº 8

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

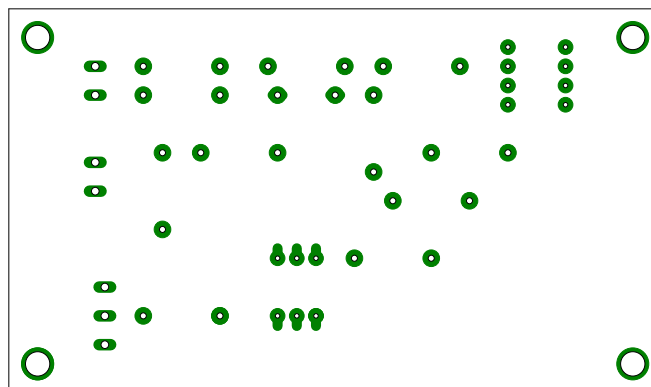
D

E

E

F

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA  
 EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:

770G02A95

TÍTULO DEL PLANO:

**CIRCUITO DE DE DETECCIÓN DE CERO - TALADROS**

FECHA:

FEBRERO 2016

AUTOR:

**FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO**

FIRMA:

ESCALA 1:1

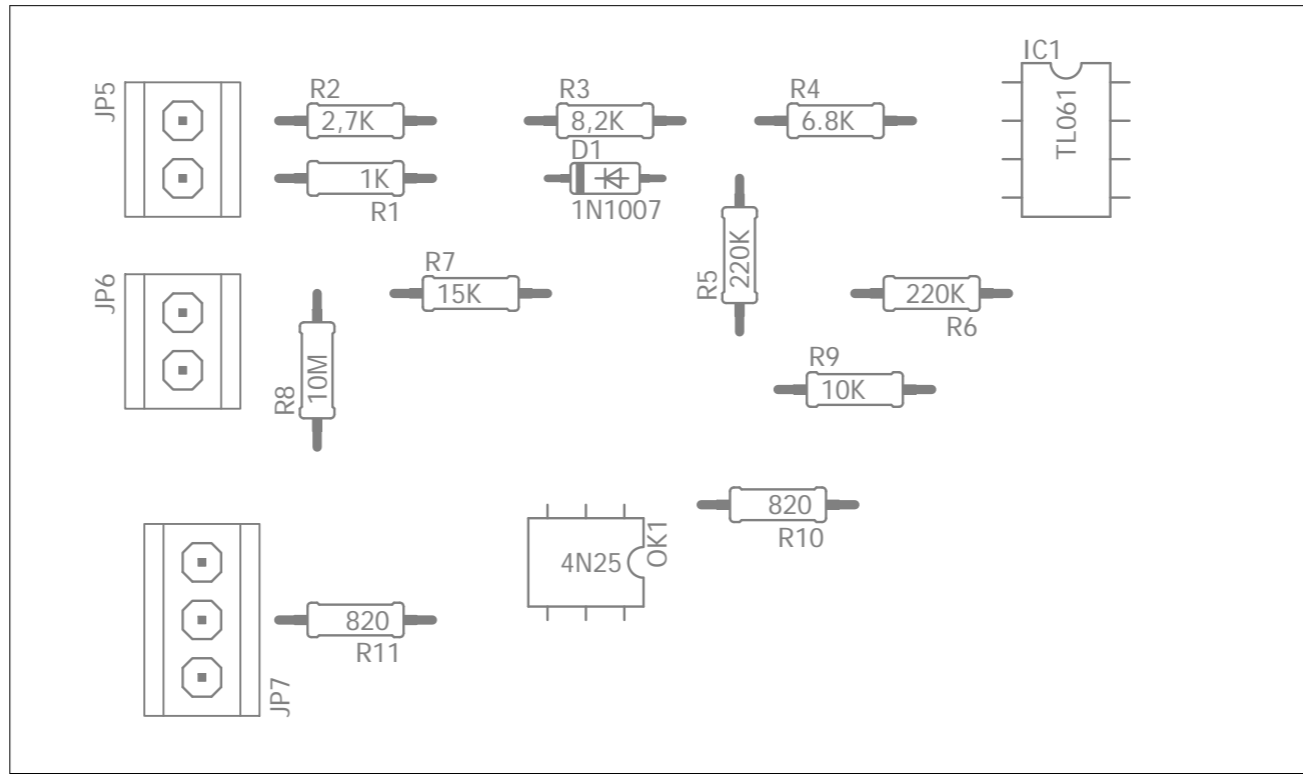
PLANO Nº 9

1

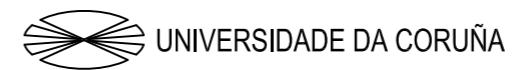
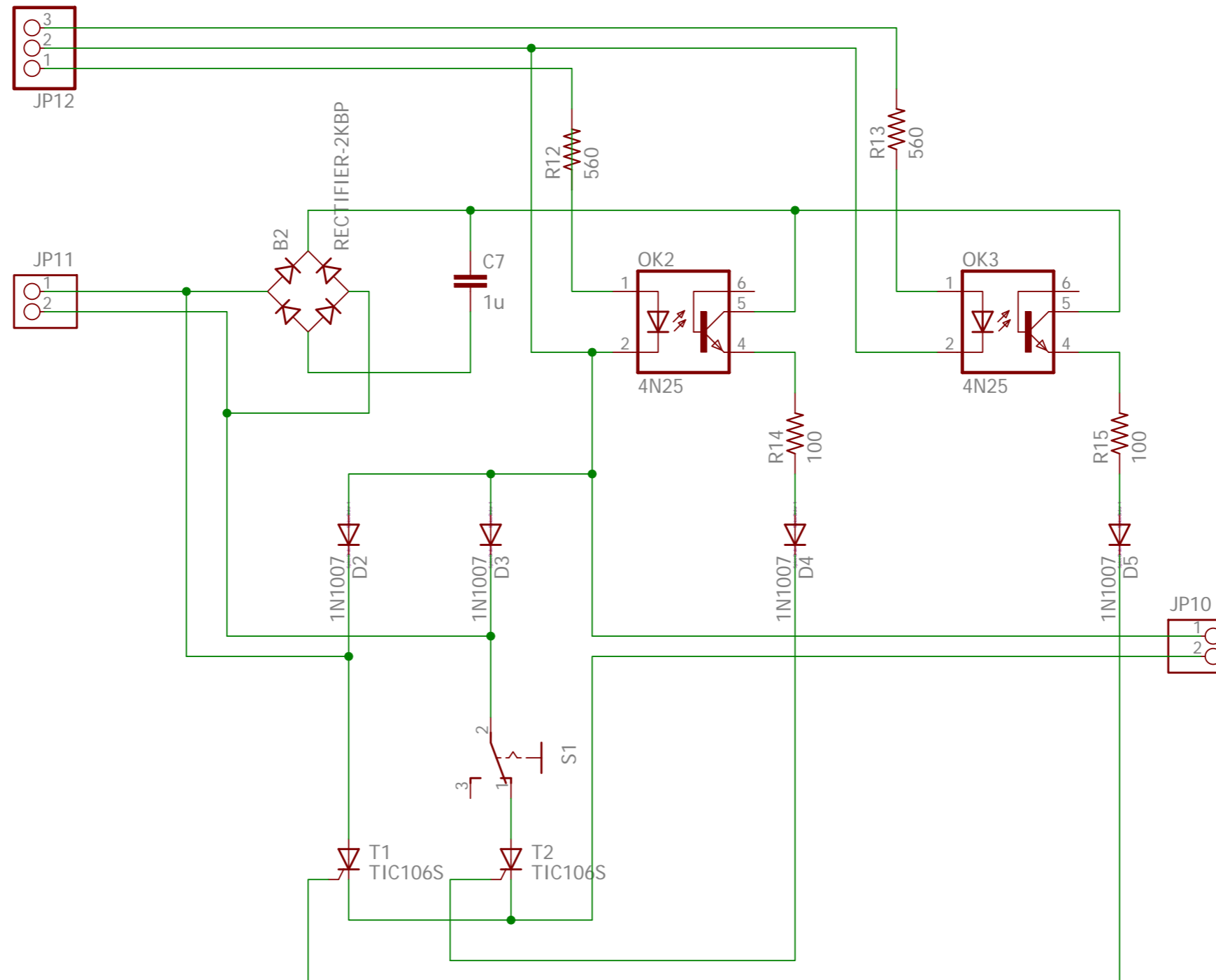
2

3

4



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA	<b>ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA</b>	
	<b>GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>TÍTULO DEL TFG:</b> <b>ESTUDO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO</b>		<b>Nº TFG:</b> <b>770G02A95</b>
<b>TÍTULO DEL PLANO:</b> <b>CIRCUITO DE DE DETECCIÓN DE CERO - ENCAPSULADOS</b>		<b>FECHA:</b> <b>FEBRERO 2016</b>
<b>AUTOR:</b> <b>FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO</b>		<b>FIRMA:</b>  <b>ESCALA 2:1</b> <b>PLANO Nº 10</b>



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA  
 EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:  
**770G02A95**

TÍTULO DEL PLANO:  
**CIRCUITO DE POTENCIA - ESQUEMA**

FECHA:  
**FEBRERO 2016**

AUTOR:  
**FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO**

FIRMA:

ESCALA S/E  
 PLANO Nº 11

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

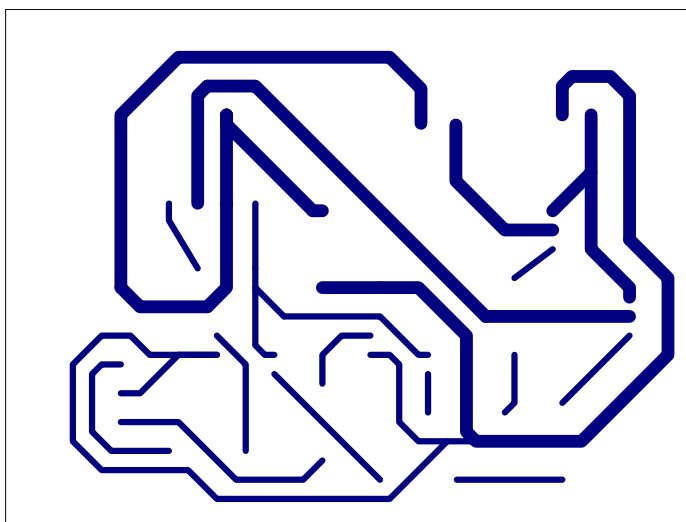
D

E

E

F

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA  
 EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:  
**770G02A95**

TÍTULO DEL PLANO:  
**CIRCUITO DE POTENCIA - PISTAS (BOTTOM)**

FECHA:  
**FEBRERO 2016**

AUTOR:  
**FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO**

FIRMA:

ESCALA 1:1  
 PLANO Nº 12

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

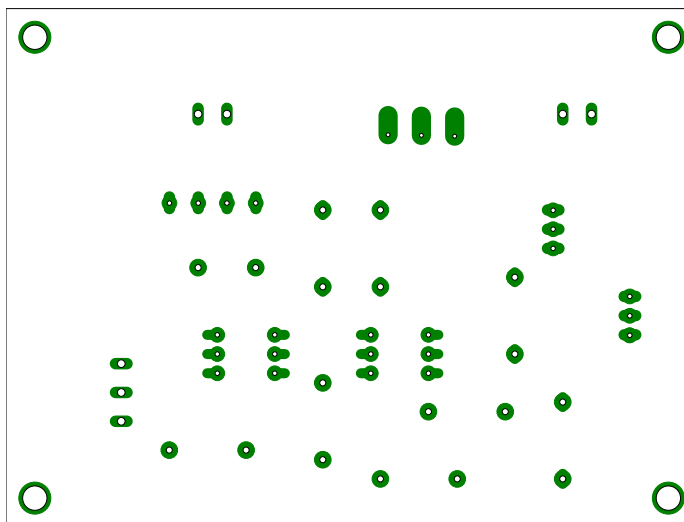
D

E

E

F

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

TÍTULO DEL TFG:  
**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA  
 EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

Nº TFG:  
**770G02A95**

TÍTULO DEL PLANO:  
**CIRCUITO DE POTENCIA - TALADROS**

FECHA:  
**FEBRERO 2016**

AUTOR:  
**FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO**

FIRMA:

ESCALA 1:1  
 PLANO Nº 13

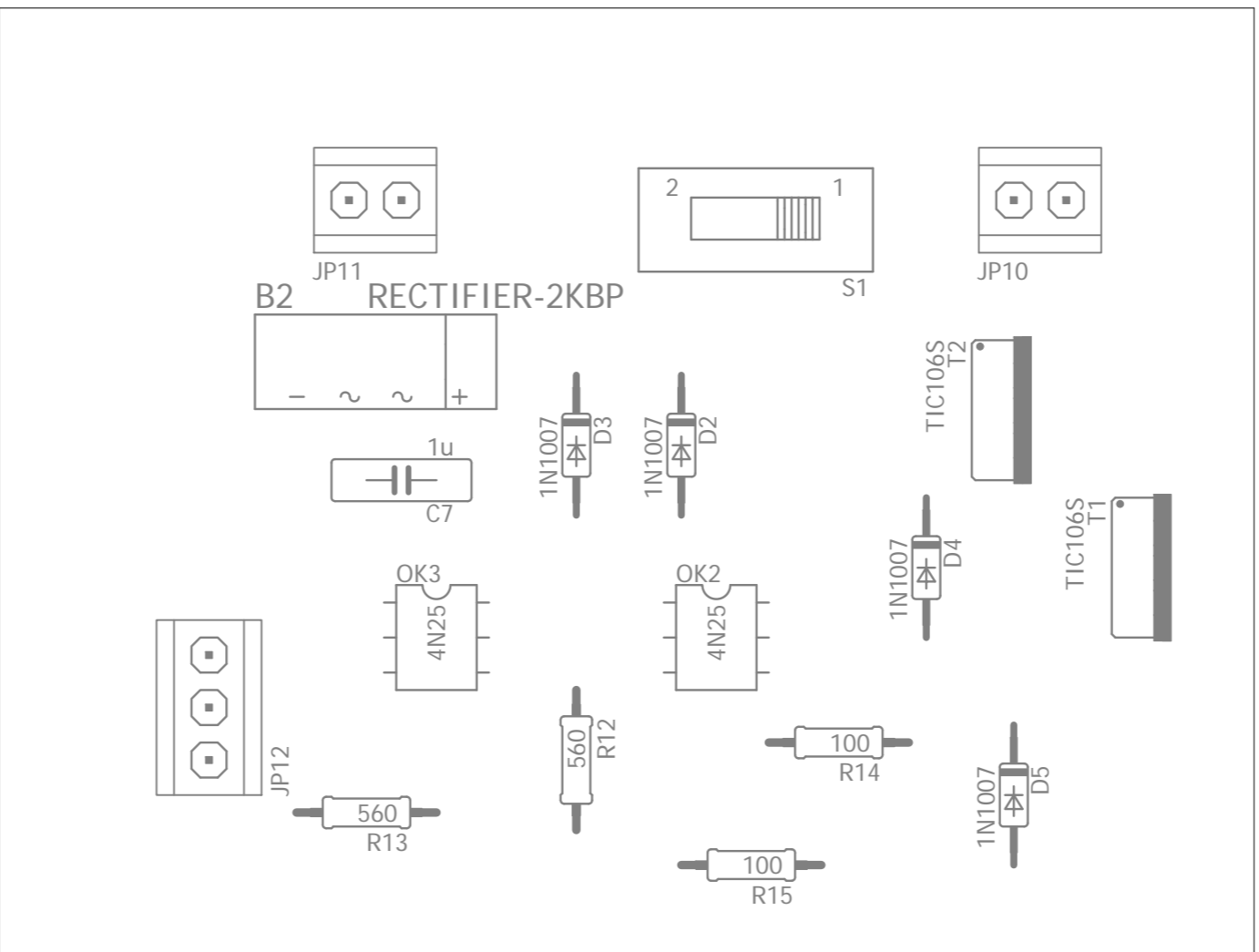
1

2

3

4





 UNIVERSIDADE DA CORUÑA	<b>ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA</b>	
	<b>GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>TÍTULO DEL TFG:</b> <b>ESTUDO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO</b>		<b>Nº TFG:</b> <b>770G02A95</b>
<b>TÍTULO DEL PLANO:</b> <b>CIRCUITO DE POTENCIA - ENCAPSULADOS</b>		<b>FECHA:</b> <b>FEBRERO 2016</b>
<b>AUTOR:</b> <b>FRANCISCO ÁLVAREZ ACEVEDO</b>	<b>FIRMA:</b>	<b>ESCALA 2:1</b>
		<b>PLANO Nº 14</b>

TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

---

# **PLIEGO DE CONDICIONES**

---

PETICIONARIO: **ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N**

**15405 - FERROL**

FECHA: **FEBRERO DE 2016**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**

## Índice del documento PLIEGO DE CONDICIONES

<b>13 Pliego de condiciones</b>	<b>123</b>
13.1 Especificaciones de los materiales . . . . .	123
13.1.1 Selección de los componentes . . . . .	123
13.1.2 Selección de los componentes sustitutos . . . . .	123
13.2 Pruebas de verificación . . . . .	123
13.2.1 Circuito de alimentación . . . . .	124
13.2.2 Circuito de detección de paso por cero . . . . .	124
13.2.3 Circuito del potenciómetro . . . . .	124
13.2.4 Optoacopladores . . . . .	124
13.2.5 ARDUINO UNO . . . . .	124
13.2.6 Rectificador me media onda controlado y onda completa semicontrolado	125
13.3 Montaje . . . . .	125
13.4 Especificaciones de software . . . . .	125
13.5 Condiciones de almacenaje . . . . .	126

## Capítulo 13

# Pliego de condiciones

### 13.1. Especificaciones de los materiales

Los materiales utilizados los rectificadores de este trabajo final de grado se adaptan a las condiciones de utilización del mismo.

#### 13.1.1. Selección de los componentes

Se emplearon unos componentes que realizaran un correcto funcionamiento de los rectificadores. En el momento de su elección, se comprueba en su hoja de características que encaja con los requisitos de la instalación.

El suministrador debe garantizar que los componentes funcionan tal y como está definido previamente en su hoja de características, el proveedor debe garantizar que los componentes lleguen en perfecto estado, evitando cualquier tipo de alteración que influya en el resultado final.

También se deben especificar las pruebas realizadas a cada uno de los dispositivos antes de instalarlos para detectar cualquier variación en sus especificaciones preestablecidas.

#### 13.1.2. Selección de los componentes sustitutos

La selección de materiales incluidos en este trabajo final de grado se realizó en agosto del 2015, dado que algunos de estos componentes pueden llegar a estar descatalogados en el futuro, será necesario la utilización de unos componentes sustitutos con características similares, que trabajen en las mismas condiciones definidas aquí.

### 13.2. Pruebas de verificación

En esta sección se incluyen las distintas comprobaciones realizadas para comprobar el correcto funcionamiento de este trabajo final de grado.

### 13.2.1. Circuito de alimentación

Para comprobar el correcto funcionamiento de alimentación se miden los siguientes niveles de tensión:

- Se comprueban las tensiones en el transformador con dos secundarios, en su entrada debe disponer de 230Vac y se comprueban cada una de sus dos salidas por separado, su voltaje individual será de 12Vac con una frecuencia de 50Hz.
- Después se verifica que el otro transformador está alimentado por 230Vac y que dispone de 9Vac en su salida
- A continuación se debe comprobar que en las entradas de los reguladores llega la señal de 12Vac rectificada por el puente de diodos.
- Por último se mide la tensión continua y estable en las salidas de los reguladores, los valores de cada una deben ser de 5 y 9V.

### 13.2.2. Circuito de detección de paso por cero

Para verificar el correcto funcionamiento de este circuito, en primer lugar se comprueba la correcta alimentación del amplificador operacional empleado, a continuación se compara en el osciloscopio la correcta sincronización entre la entrada y la salida. La salida debe efectuar un flanco cada vez que al entrada pasa por cero.

### 13.2.3. Circuito del potenciómetro

Este circuito incluye un amplificador operacional rail-to-rail y un potenciómetro, primero se comprueba el correcto funcionamiento y conexión de estos elementos. A continuación se compara la tensión continua en la puerta positiva del amplificador con la salida, resultando ser la misma.

### 13.2.4. Optoacopladores

A estos componentes se les aplica en sus entradas una tensión continua variable, comprobando que empieza a conducir a la misma tensión que en su hoja de características. También se comprueba su velocidad, ya que debe ser casi instantánea.

### 13.2.5. ARDUINO UNO

Para comprobar el correcto funcionamiento de las entradas, salidas y/o programa de control se aplican los siguientes procedimientos:

Se comprueba la correcta conexión del circuito de detección de cero con la entrada digital y el circuito del potenciómetro con la entrada analógica.

Para comprobar la correcta lectura del circuito del potenciómetro a través de la entrada digital del ARDUINO se transfiere el siguiente código al microcontrolador:

```
float A;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  A=analogRead(A0);
  Serial.print("El valor del potenciómetro es: ");
  Serial.print(A);
}
```

A continuación, sin desconectar el ARDUINO, se abre el monitor serie que incluye su software y se observa que aparece «El valor del potenciómetro es: » acompañado de un valor numérico comprendido entre el 0 y 1023 que es el rango de valores que interpreta el microcontrolador en sus entradas analógicas.

Por último, para verificar el correcto funcionamiento del programa, compara con un osciloscopio la salida del microcontrolador con la entrada digital, al variar la posición del potenciómetro se observa como varía el tiempo de pulso sin sobrepasar en ningún caso un semiciclo.

### **13.2.6. Rectificador de media onda controlado y onda completa semicontrolado**

Para verificar este circuito se conectan todos los anteriores y se coloca una carga puramente resistiva para evitar deformaciones en la forma de onda. Midiendo con un osciloscopio, si estuviera conectado correctamente debería apreciarse perfectamente la rectificación.

## **13.3. Montaje**

Durante el montaje se comprueba el correcto funcionamiento de cada componente, además de que la placa esté limpia y en perfecto estado. A continuación se comprueba la correcta conexión de los componentes extraíbles, en este caso los dos optoacopladores.

## **13.4. Especificaciones de software**

Para este trabajo se utilizó el software de Arduino en su versión 1.6.5 para la comunicación y programación del microcontrolador ARDUINO UNO.

### **13.5. Condiciones de almacenaje**

Los elementos utilizados en este trabajo se almacenarán según las condiciones descritas por el fabricante.

No se recomienda el almacenaje en sitios con polvo, húmedos, a más de 30°C y con luz solar directa.

TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

---

## **ESTADO DE MEDICIONES**

---

PETICIONARIO: **ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N**

**15405 - FERROL**

FECHA: **FEBRERO DE 2016**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**



## Índice del documento ESTADO DE MEDICIONES

<b>14 Estado de mediciones</b>	<b>129</b>
14.1 Bloque de alimentación . . . . .	129
14.2 Bloque de instrumentación . . . . .	130
14.3 Bloque de control . . . . .	130
14.4 Bloque de potencia y motor . . . . .	131

## Capítulo 14



# Estado de mediciones














### 14.1. Bloque de alimentación

ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
TR1		Transformador de aislamiento, 5VA 230/2x12V	44237	1
TR2		Transformador de aislamiento, 2,5VA 230/9V	44266	1
B1		Puente rectificador, 400V, 2A	KBP204G	1
IC2		Regulador de tensión lineal, 5V, 100mA	L78L05ACZ TO-92	1
IC1		Regulador de tensión lineal, 9V, 1A	LM7809CT TO-220	1
C1, C3		Condensador electrolítico aluminio panasonic, 1000 $\mu$ F, 35V	EEUFC1V102	2

ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
C5		Condensador electrolítico aluminio multi-comp, 47 $\mu$ F, 100V	MCRH100V476M10X16	1
C2, C4, C6		Condensador de película kemet, 100nF, 63V	R82DC3100DQ50	3
JP1, JP2, JP3		Terminal cable-placa de 2 vias TE Connectivity	282836-2	3
JP3		Terminal cable-placa de 3 vias TE Connectivity	282837-3	1
JP12		Conector jack de alimentación	-	1

## 14.2. Bloque de instrumentación

ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
OK1		Optoacoplador transistor o/p vishay, 5KV	4N25	1
J1		Conector de zócalo de 6 pines	2-1571551-1	1


ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
IC1		Amplificador operacional 1MHz	TL061CN	1
D1		Diodo rectificador multicom, 1KV, 1A	1N4007	1
R1		Resistencia de película metálica vishay dale, $1K\Omega$ , 1 %, 1W	CCF601K00FKE36	1
R2		Resistencia de película de carbono, $2,7K\Omega$ , 5 %, 0,33W	CFR25J2K7	1
R3		Resistencia de película metálica welwyn, $8,2K\Omega$ , 1 %, 400mW	MFR3-8K2FC	1
R4		Resistencia de película metálica, $6,8K\Omega$ , 5 %, 1W	ROX1SJ6K8	1
R5, R6		Resistencia de película de carbono RS, $220K\Omega$ , 5 %, 0,25W	707-7858	2
R7		Resistencia de película metálica, $15K\Omega$ , 5 %, 1W	ROX1SJ15K	1
R8		Resistencia de película de carbono, $10M\Omega$ , 5 %, 0,33W	CFR25J10M	1
R9		Resistencia de película metálica multi-comp, $10K\Omega$ , 1 %, 250mW	MF25-10K	1
R10, R11		Resistencia de película metálica multi-comp, $820\Omega$ , 1 %, 125mW	MF12-820R	1
JP5, JP6		Terminal cable-placa de 2 vias TE Connectivity	282836-2	2
JP7		Terminal cable-placa de 3 vias TE Connectivity	282837-3	1







ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
----	--------	-------------	------------	----

### 14.3. Bloque de control

ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
AR		Clon de ARDUINO UNO	R3 MEGA 328P	1
IC4		Amplificador operacional rail-to-rail texas instruments, 2,18MHz	TLC2272ACP	1
J4		Conector de zócalo de 8 pines	7-1437529-5	1
POT		Potenciometro con bobinado Bourns, 10KΩ, 5%, 2W	3590S-2-103L	1
JP8, JP9		Terminal cable-placa de 5 vias TE Connectivity	282836-5	2

### 14.4. Bloque de potencia y motor

ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
M1		Motor MAXON, 12Vdc, 2W	110045	1

ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
T1, T2		Tiristor on semiconductor, 400V	C106D1G	2
B2		Puente rectificador, 400V, 2A	KBP204G	1
D2, D3, D4, D5		Diodo rectificador multicomp, 1KV, 1A	1N4007	3
C7		Condensador daewoo RMU 220 $\mu$ F, 16V	714709378	1
R14, R15		Resistencia de película metálica vishay bc components, 100 $\Omega$ , 2 %, 400mW	SFR2500001000FA500	2
R12, R13		Resistencia de película metálica multi-comp, 560 $\Omega$ , 1 %, 125mW	MF12-560R	2
OK2, OK3		Optoacoplador transistor o/p vishay, 5KV	4N25	2
J2, J3		Conector de zócalo de 6 pines	2-1571551-1	2
S1		Switch jean renaud de 2 posiciones	ITDES21CIJE	1
JP10, JP11		Terminal cable-placa de 2 vias TE Connectivity	282836-2	2
JP12		Terminal cable-placa de 3 vias TE Connectivity	282837-3	1

---

ID	Imagen	Descripción	Referencia	Ud
----	--------	-------------	------------	----

---

---

TÍTULO: **ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR AC/DC  
PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO**

---

# **PRESUPUESTO**

---

PETICIONARIO: **ESCOLA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA**

**AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N**

**15405 - FERROL**

FECHA: **FEBRERO DE 2016**

AUTOR: **EL ALUMNO**

Fdo.: **FRANCISCO ALVAREZ ACEVEDO**



## Índice del documento PRESUPUESTO

<b>15 Presupuesto</b>	<b>135</b>
15.1 Bloque de alimentación . . . . .	135
15.2 Bloque de instrumentación . . . . .	136
15.3 Bloque de control . . . . .	137
15.4 Bloque de potencia y motor . . . . .	138
15.5 Gastos varios . . . . .	139
15.6 Total . . . . .	140

## Capítulo 15

# Presupuesto

### 15.1. Bloque de alimentación

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
TR1	Transformador de aislamiento 44237, 5VA 230/2x12V	7,680	1	7,68
TR2	Transformador de aislamiento 44266, 2,5VA 230/9V	6,040	1	6,04
B1	Puente rectificador KBP204G, 400V, 2A	1,010	1	1,01
IC2	Regulador de tensión lineal L78L05ACZ TO-92, 5V, 100mA	0,200	1	0,20
IC1	Regulador de tensión lineal LM7809CT TO-220, 9V, 1A	0,590	1	0,59
C1 C3	Condensador electrolítico aluminio panasonic EEUFC1V102, 1000 $\mu$ F, 35V	1,490	2	2,98
C5	Condensador electrolítico aluminio multicom MCRH100V476M10X16, 47 $\mu$ F, 35V	0,221	1	0,22
C2 C4, C6	Condensador de película kemet R82DC3100DQ50, 100nF, 63V	0,090	3	0,21

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
JP1 JP2 JP3	Terminal cable-placa de 2 vias TE Connectivity 282836-2	0,460	3	1,38
JP3	Terminal cable-placa de 3 vias TE Connectivity 282837-2	0,536	1	0,54
JP12	Conector jack de alimentación	1,000	1	1,00

## 15.2. Bloque de instrumentación

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
OK1	Optoacoplador transistor o/p vishay 4N25, 5KV	0,458	1	0,46
J1	Conector de zócalo de 6 pines 2-1571551-1	0,949	1	0,95
IC1	Amplificador operacional TL061CN 1MHz	0,370	1	0,37
D1	Diodo rectificador multicomp 1N4007, 1KV, 1A	0,047	1	0,05
R1	Resistencia de película metálica vishay dale CCF601K00FKE36, 1K $\Omega$ , 1 %, 1W	0,033	1	0,03
R2	Resistencia de película de carbono CFR25J2K7,2,7K $\Omega$ , 5 %, 0,33W	0,042	1	0,04
R3	Resistencia de película metálica welwyn MFR3-8K2FC, 8,2K $\Omega$ , 1 %, 400mW	0,033	1	0,03

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
R4	Resistencia de película metálica ROX1SJ6K8, 6,8KΩ, 5 %, 1W	0,029	1	0,03
R5, R6	Resistencia de película de carbono RS 707-7858, 220KΩ, 5 %, 0,25W	0,021	2	0,04
R7	Resistencia de película metálica ROX1SJ15K, 15KΩ, 5 %, 1W	0,029	1	0,03
R8	Resistencia de película de carbono CFR25J10M, 10MΩ, 5 %, 0,33W	0,042	1	0,04
R9	Resistencia de película metálica multi-comp MF25-10K, 10KΩ, 1 %, 250mW	0,044	1	0,04
R10, R11	Resistencia de película metálica multi-comp MF12-820R, 820Ω, 1 %, 125mW	0,051	1	0,05
JP5, JP6	Terminal cable-placa de 2 vias TE Connectivity 282836-2	0,460	2	0,92
JP7	Terminal cable-placa de 3 vias TE Connectivity 282837-2	0,536	1	0,54

### 15.3. Bloque de control

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
AR	ARDUINO UNO R3 MEGA 328P	2,910	1	2,91
IC4	Amplificador operacional rail-to-rail texas instruments TLC2272ACP, 2,18MHz	2,530	1	2,53
J4	Conector de zócalo de 8 pines 7-1437529-5	2,770	1	2,77

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
POT	Potenciometro con bobinado Bourns 3590S-2-103L, 10K $\Omega$ , 5%, 2W	14,410	1	14,41
JP8, JP9	Terminal cable-placa de 5 vias TE Connectivity 282836-5	1,190	2	2,38

#### 15.4. Bloque de potencia y motor

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
M1	Motor MAXON 110045, 12Vdc, 2W	39,180	1	39,180
T1, T2	Tiristor on semiconductor C106D1G, 400V	0,651	2	1,30
B2	Puente rectificador KBP204G, 400V, 2A	1,010	1	1,01
D2, D3, D4, D5	Diodo rectificador multicom 1N4007, 1KV, 1A	0,047	4	0,19
C7	Condensador daewoo RMU 714709378, 220 $\mu$ F, 16V	4,070	1	4,07
R14, R15	Resistencia de película metálica vishay bc components SFR2500001000FA500, 100 $\Omega$ , 1%, 400mW	0,031	2	0,06
R12, R13	Resistencia de película metálica multi-comp MF12-560R, 560 $\Omega$ , 1%, 125mW	0,051	2	0,10

ID	Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
OK2, OK3	Optoacoplador transistor o/p vishay 4N25, 5KV	0,458	2	0,92
J2, J3	Conector de zócalo de 6 pines 2- 1571551-1	0,949	2	1,90
S1	Switch jean renaud ITDES21CIJE de 2 posiciones	1,820	1	1,82
JP10, JP11	Terminal cable-placa de 2 vias TE Con- nectivity 282836-2	0,460	2	0,92
JP12	Terminal cable-placa de 3 vias TE Con- nectivity 282837-2	0,536	1	0,54

## 15.5. Gastos varios

Descripción	Precio unitario (€)	Ud	Precio total (€)
Gastos de envío + IVA (página Farnell)	18,60	1	18,60
Gastos de envío + IVA (página RS)	18,81	1	18,81
Gastos de envío + IVA (página MAXON)	50,00	1	50,00

## 15.6. Total

<u>Subconjunto</u>	<u>Precio total (€)</u>
Bloque de alimentación	21,85
Bloque de instrumentación	3,62
Bloque de control	25,00
Bloque de potencia y motor	52,01
Gastos varios	87,40
Mano de obra (8 horas a 40€)	320,00
<hr/>	
Total sin IVA	509,88
IVA	107,07
<hr/>	
Total	616,95
<hr/>	

El presupuesto total de este trabajo fin de grado asciende a:

**#seiscientos dieciséis con noventa y cinco (616,95€)#**