



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

REGULADOR AC GOBERNADO POR ARDUINO

Alumno: Carlos Serrano Valverde

Tutor: Prof. D. Rafael José Gutiérrez Moya
Dpto: Ingeniería Electrónica y Automática

Mayo, 2023



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don RAFAEL JOSÉ GUTIERREZ MOYA, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: **Regulador AC gobernado por Arduino**, que presenta CARLOS SERRANO VALVERDE, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, MAYO de 2023

El alumno:

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser la de Carlos Serrano Valverde, escrita sobre un fondo blanco.

CARLOS SERRANO VALVERDE

Los tutores:

Firmado por iMac-de-
Rafael.local el día
08/05/2023 con un certificado
emitido por iMac-de-
Rafael.local

RAFAEL JOSÉ GUTIÉRREZ MOYA

TABLA DE CONTENIDOS

MEMORIA	6
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Objetivos	8
1.2. Plan de Trabajo	9
1.3. Estructura	9
2. ESTADO DEL ARTE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	11
2.1. Reguladores de AC	11
2.2. Arduino UNO	14
2.3. Shields de Arduino	16
2.4. Reguladores comerciales controlados	20
2.5. Herramientas utilizadas	21
2.5.1. Software de programación de Arduino	22
2.5.1.1. Módulo HC-06 de Arduino	23
2.5.1.2. Módulo LCD controlado por Arduino	24
2.5.2. Software de simulación y diseño de circuitos electrónicos	25
2.5.2.1. Proteus	25
2.5.2.2. OrCAD	27
2.5.3. Software de creación y programación de aplicación móvil	29
3. IMPLEMENTACIÓN	32
3.1. Estructura general del hardware	32
3.2. Circuitos de alimentación	33
3.3. Circuito de control	35
3.3.1. Circuito paso por cero	35
3.4. Circuito de potencia	37
3.4.1. Carga puramente resistiva	37
3.4.2. Carga inductiva	39
3.4.3. Cálculo de los disipadores de calor	42
3.4.3.1. Disipador térmico para el regulador LM7805	43
3.4.3.2. Disipador térmico para el tiristor TRIAC	44
3.4.3.3. Disipador térmico para el regulador LM317	44
3.5. Circuitos de mando y visualización	45
3.5.1. Circuito controlador tiempo de disparo	45
3.5.2. Circuito visualización por LCD	46

3.6.	Conexiones de las entradas y salidas de Arduino con los circuitos	48
3.7.	Programación	48
3.7.1.	Bloque Arduino	49
3.7.2.	Bloque visualización LCD en Arduino	52
3.7.3.	Bloque conexión Bluetooth	52
3.8.	Placa de circuito impreso	56
4.	ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO	59
4.1.	Ensayos con carga puramente resistiva.	60
4.2.	Ensayos con carga inductiva.	63
4.3.	Simulación parte digital	66
4.3.1.	Simulación OrCAD	66
4.3.2.	Simulación Proteus	70
4.3.3.	Simulación pantalla LCD y teclado matricial	72
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	76
6.	BIBLIOGRAFÍA	77
	PLIEGO DE CONDICIONES	79
1.	ESPECIFICACIONES	80
2.	MANUAL DE USUARIO	83
2.1.	Programación de Arduino	83
2.2.	Guía de funcionamiento	87
3.	HOJAS DE CARACTERÍSTICAS	90
4.	PROGRAMAS	133
	PLANOS	139
	PRESUPUESTO	149
1.	DISPOSICIONES LEGALES	150
2.	PRESUPUESTO DE MATERIALES	150
3.	PRESUPUESTO DE PERSONAL	151
4.	RESUMEN DEL PRESUPUESTO	152

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo fin de grado aborda el diseño y simulación de un regulador de tensión de corriente alterna (AC), el cual es un circuito que permite controlar el flujo de potencia que le llega a una carga variando el valor de la tensión eficaz que le llega a la misma. Para ello se emplean tiristores conectados entre la carga y la fuente.

En el mundo de la industria este circuito tiene muchas aplicaciones, algunas son, por ejemplo:

- Estabilizadores de tensión
- Control de iluminación
- Calefacción industrial
- Hornos industriales

En la siguiente página web se puede ver un amplio abanico de aplicaciones en distintos ámbitos, [9] (Aplicaciones de reguladores de voltaje, s.f.).

En este trabajo, todo el sistema de control estará gobernado mediante Arduino, Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Arduino Uno es una placa basada en el microcontrolador ATmega328. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, solo hay que conectarlo a la corriente eléctrica.

En la Figura 1, se puede observar un esquema básico de un circuito regulador de voltaje.

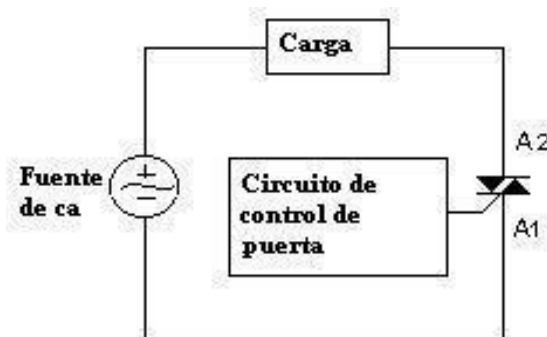


Figura 1. Esquema básico regulador de potencia.

1.1. Objetivos

Diseño de una PCB (tarjeta de circuito impreso) basado en un regulador AC gobernado por Arduino UNO, la cual tendrá los siguientes márgenes de funcionamiento:

- Circuito de potencia
 - Controlar la tensión en la carga
- Circuitos de alimentación
 - Una señal de 10V DC estables para alimentar la placa Arduino
 - Una señal de 5V DC estables para alimentar el comparador de tensión LM311, teclado matricial y la pantalla LCD.
 - Una señal alterna de 17V AC, 50Hz de frecuencia, proveniente de un transformador externo, el cual sirve con fuente de alimentación del trabajo completo.
- Circuito paso por cero
 - Enviar una señal cuadrada de 5Vpp con un desplazamiento de +2.5V DC, que coincidan los cambios de flancos, tanto de subida como de bajada, con los pasos por cero de la señal de alimentación principal.
- Arduino
 - Activar el Triac del circuito de potencia según el ángulo de disparo, a través de un pin digital, que mandará pulsos de 5V.
 - Traducir la información que recibe del teclado matricial para determinar el ángulo de disparo introducido.
 - Mandar a la pantalla LCD el ángulo de disparo y mostrarlo.
- Diseño de una tarjeta de circuito impreso que contenga todo el circuito, excepto el Arduino.

Una vez diseñado el circuito, se analizarán los resultados mediante los simuladores Orcad y Proteus.

1.2. Plan de Trabajo

El plan de trabajo a realizar en este proyecto será el siguiente:

- Estudio matemático del regulador monofásico.
- Elección del tipo de driver para el sistema de control.
- Elección del tipo de regulador lineal para alimentar a Arduino y al driver de control si fuera necesario.
- Se establecerán los límites de tensión de entrada del regulador.
- Cálculo de los componentes necesarios para el regulador y todo lo necesario para su funcionamiento.
- Cálculo de los valores teóricos del regulador.
- Simulación del regulador en Orcad y de la parte digital en Proteus.
- Análisis de los resultados obtenidos simulados y comparación con los resultados en laboratorio.
- Se realizará el programa de control de Arduino para controlar al regulador.
- Se realizará el diseño completo de la placa de circuito impreso (PCB).

1.3. Estructura

La estructura general de este proyecto se va a describir a continuación.

En primer lugar, está la memoria del proyecto con sus distintos capítulos:

- En el capítulo 1 de la memoria se muestra una introducción del proyecto.
- En el capítulo 2 de la memoria se expondrán los distintos circuitos para el regulador AC, se describirán los shields de Arduino, se explicará que son los shields, y se realizará un resumen de las herramientas que van a ser utilizadas en este proyecto
- El capítulo 3 de la memoria es el correspondiente a la implementación, en el cual se observará la estructura general del circuito con un pequeño análisis, para luego separar el circuito en cada una de sus partes, es decir, circuito de

potencia, circuito de control y circuitos de mando y visualización, obteniendo en este capítulo los componentes necesarios para el montaje del circuito.

- En el capítulo 4 de la memoria se estudiará el funcionamiento del regulador, comparando los resultados teóricos con los obtenidos a través de simulaciones.
- El capítulo 5 de la memoria está dedicado a las conclusiones obtenidas después de analizar todos los resultados, y se darán unas ideas de trabajos futuros que se podrían obtener de este proyecto.

Posteriormente se muestra la bibliografía utilizada en este proyecto.

A continuación, está el pliego de condiciones con sus diferentes partes:

- En la primera parte del pliego de condiciones se mostrarán las especificaciones del circuito.
- En la segunda parte del pliego de condiciones muestra el manual de usuario, en el que se dan ciertas pautas de cómo se debe usar el circuito, y que procedimientos seguir para el buen funcionamiento del mismo.
- En la tercera parte del pliego de condiciones se muestran las hojas de características de todos los componentes utilizados en el diseño del convertidor, y de todos los dispositivos auxiliares.

Después del pliego de condiciones se encuentra el apartado en el cual se muestra el programa de control usado en Arduino con algunas anotaciones.

Posteriormente, está el apartado destinado a los planos, en el cual se muestra el esquema completo del sistema, el diagrama de ensamblaje del circuito impreso, el plano de las pistas de ambas caras de la placa de circuito impreso, el plano de los taladros de la placa de circuito impreso, y el diagrama con la información del diámetro de los taladros a realizar.

Finalmente se observa el presupuesto del proyecto, en el que en primer lugar se muestran las disposiciones legales de este proyecto, en la segunda parte se muestra el presupuesto de los materiales, en la tercera parte se muestra el presupuesto del personal, y por último se muestra el resumen del presupuesto, en el cual se muestra el valor de este proyecto.

2. ESTADO DEL ARTE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

2.1. Reguladores de AC

Los reguladores AC son muy utilizados a nivel doméstico e industrial en sistemas de calefacción e iluminación; así como en controladores de motores de inducción polifásicos, transformadores con derivaciones, solenoides, etc.

Los reguladores AC, son circuitos basados en tiristores que se utilizan para controlar el flujo de potencia desde una fuente AC hasta una carga, mediante la variación del valor rms del voltaje aplicado a la misma. Su uso es muy común en aplicaciones industriales y no industriales, incluyendo sistemas de calefacción, controles de iluminación, estabilizadores de voltaje, controles de velocidad de motores AC, etc.

Un tipo de controlador es el monofásico bidireccional, el cual puede tener carga resistiva o inductiva, pudiéndose controlar con tiristores SRC o Triac. En un controlador monofásico bidireccional con carga resistiva, controlador por Triac, como se puede ver en la Figura 2, durante el medio ciclo positivo del voltaje de entrada, se controla el flujo de la potencia haciendo variar el ángulo de retardo del Triac, de la misma manera con medio ciclo negativo. Los pulsos de disparo se mantienen a 180° de distancia, con el fin de tener el mismo ángulo de retardo en ambos semiciclos. El voltaje en la carga se puede cambiar haciendo variar el ángulo de disparo. La activación del Triac puede ser controlada por un Diac o, como en este caso, mediante Arduino.

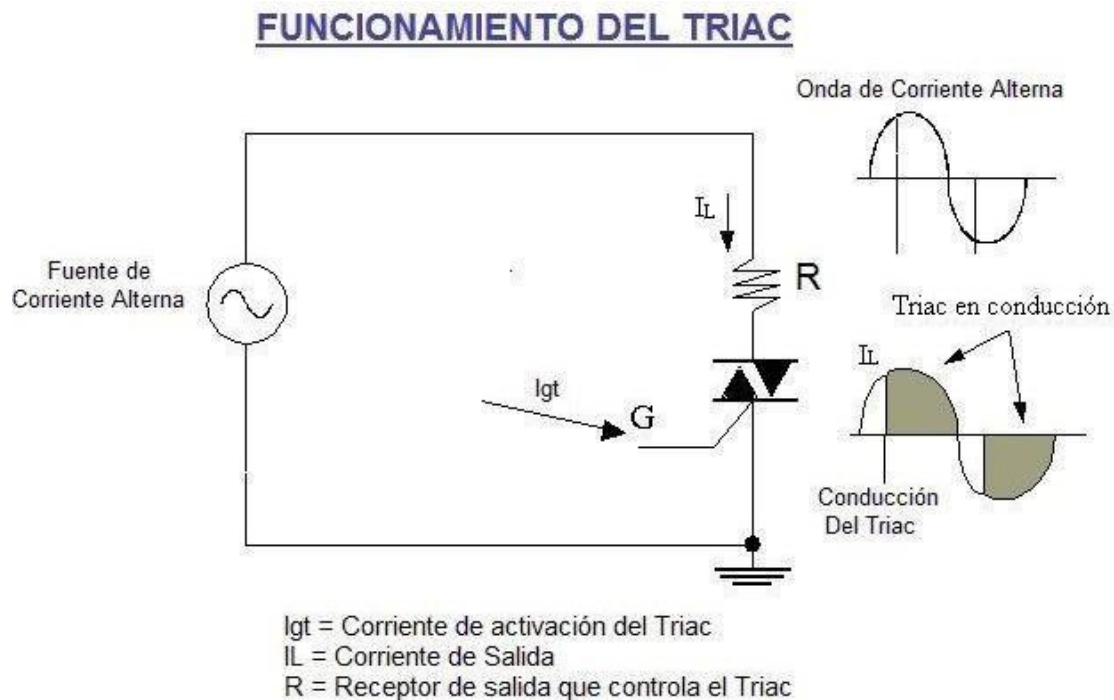


Figura 2. Circuito regulador AC monofásico

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ve un controlador de onda completa con una carga RL, en este caso, controlador por dos tiristores. Supongamos que el tiristor T1 dispara durante el medio ciclo positivo y conduce la corriente de la carga. Debido a la inductancia en el circuito, la corriente del tiristor T1 no baja a cero cuando $\omega t = \pi$, que es cuando el voltaje de entrada comienza a ser negativo. El tiristor T1 continúa conduciendo hasta que su corriente i_1 baja a cero cuando $\omega t = \beta$. El ángulo de conducción del tiristor T1 es $\delta = \beta - \alpha$, y depende del ángulo de retardo α y del ángulo θ del FP de la carga.

Esto hace que este caso sea más complejo que el anterior, puesto que, al introducir una carga con capacidad inductiva, la intensidad y la tensión no están en fase, ya que el efecto de la bobina es inducir una fuerza electromotriz que se opone al paso de la corriente a través de ella, esta se puede ver como una caída de tensión que viene dada por:

$$\Delta V = L \frac{dI}{dt}$$

Ecuación 1. Caída de tensión en una bobina.

El problema que supone, como se puede observar en la Figura 3, es que, el pulso que activa el circuito de potencia en el medio ciclo negativo, pueda activarse antes de que la corriente no haya bajado a cero, haciendo que se pierda la mitad de la potencia. Una solución para este hecho es, mantener el pulso activo hasta el final del semiciclo.

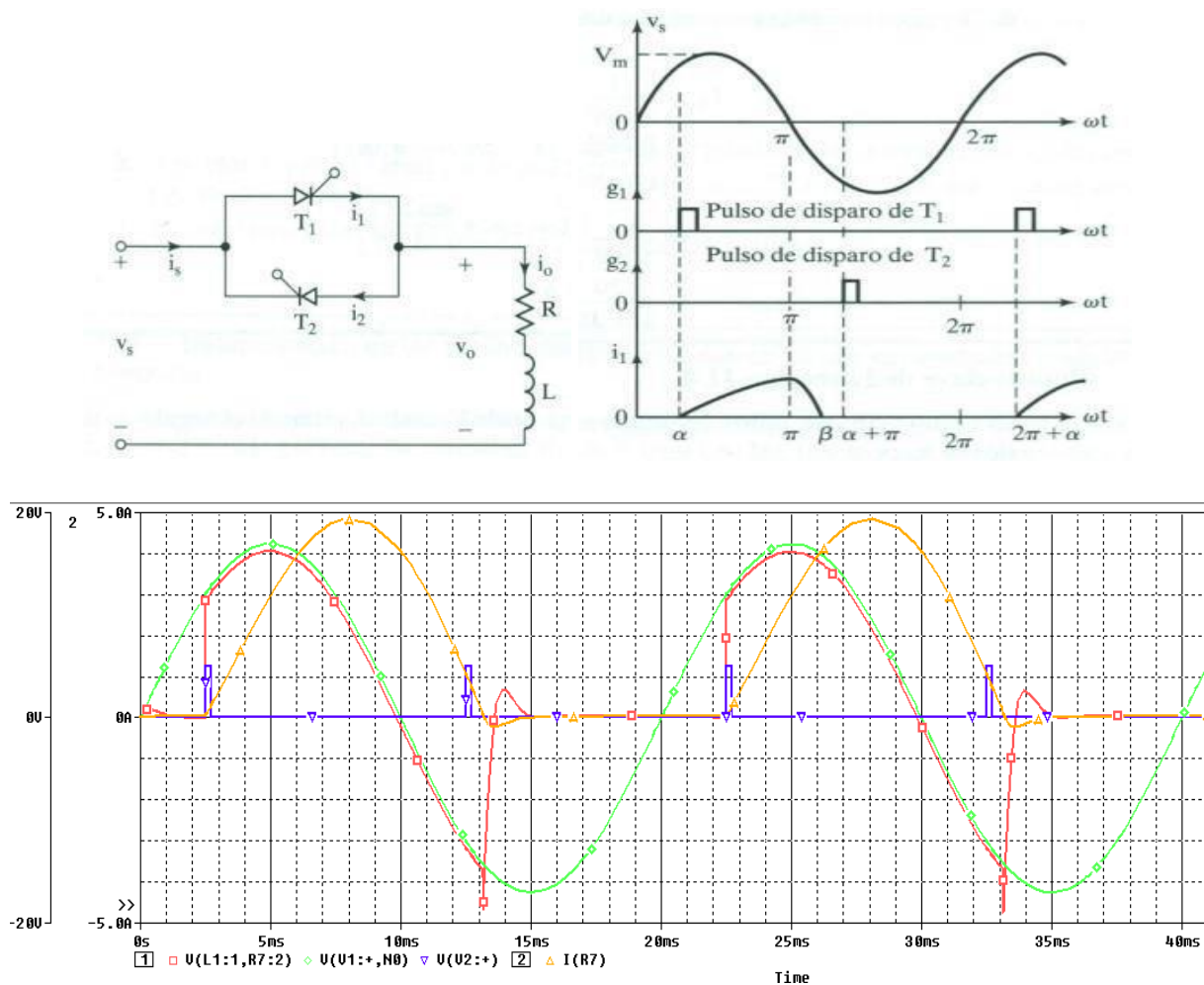


Figura 3. Circuito con carga RL y problema de autoinducción

Para que la carga RL sea controlable, el pulso que activa el circuito de potencia a través del Triac, se mantiene activo hasta el final del semiciclo, así se garantiza que, cuando la corriente en la bobina se descargue, el pulso esté alto, y el circuito de potencia pueda activarse. En la Figura 4, puede observarse como la corriente se

descarga después de que el pulso se haya activado, pero no se produce la pérdida porque se mantiene activo.

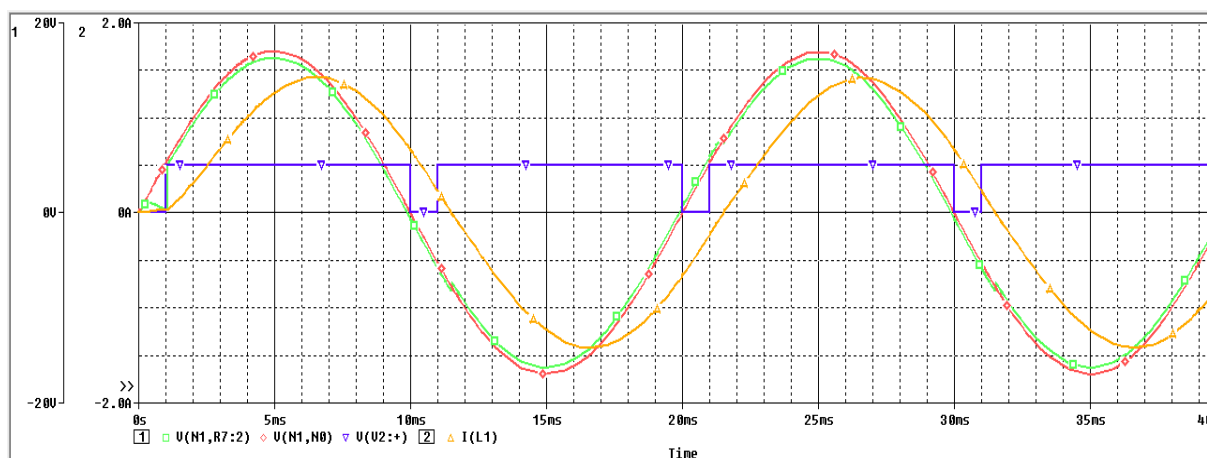


Figura 4. Solución para controlar las cargas RL

2.2. Arduino UNO

La versión de Arduino UNO es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P, tiene 14 pines de entrada/salida digital (seis de las mismas se pueden usar como salidas de PWM), 6 entradas analógicas, un oscilador de 16 MHz, una conexión USB (para la programación y alimentación de la placa si no se dispone de otra fuente), y un conector específico para la alimentación, aparte de una serie de pines con funciones especiales.

Las especificaciones técnicas de esta plataforma están en la siguiente Tabla 1:

Características	Arduino Uno
Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12 V
Voltaje de entrada (limite)	6 – 20 V
Pines de E / S digitales	14 (6 de ellos proporcionan salida PWM)
Pines de E / S digitales PWM	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente CC por pin de E / S	20 mA

Corriente CC para pin de 3.3 V	50 mA
Memoria flash	32 KB de los cuales 0.5 KB son utilizados por el gestor de arranque
Velocidad del reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

Tabla 1. Características Arduino UNO.

Aunque el fabricante proporciona la forma de conexión para la alimentación de la placa que es: a través de la conexión USB, mediante el conector colocado expofeso, o mediante el pin Vin. Existe otra forma de conectarle alimentación exterior a través de la patilla de 5V (en el caso de que la alimentación se le proporcione según nos dice el fabricante este pin es de salida de 5V estables), pero en este caso hay que tener un especial cuidado ya que, al dar alimentación por dicho pin, la tensión no pasa por el regulador que Arduino lleva incorporado, y, por lo tanto, se debe asegurar que la tensión sea de 5V y totalmente estable, es decir, con el menor rizado posible. En la Figura 5 se pueden ver las entradas, salidas y conexiones de la placa Arduino UNO.

En su página web, [11] (Arduino), se puede obtener más información sobre Arduino, cómo programarlos, las diferentes librerías y su correspondiente uso, etc.

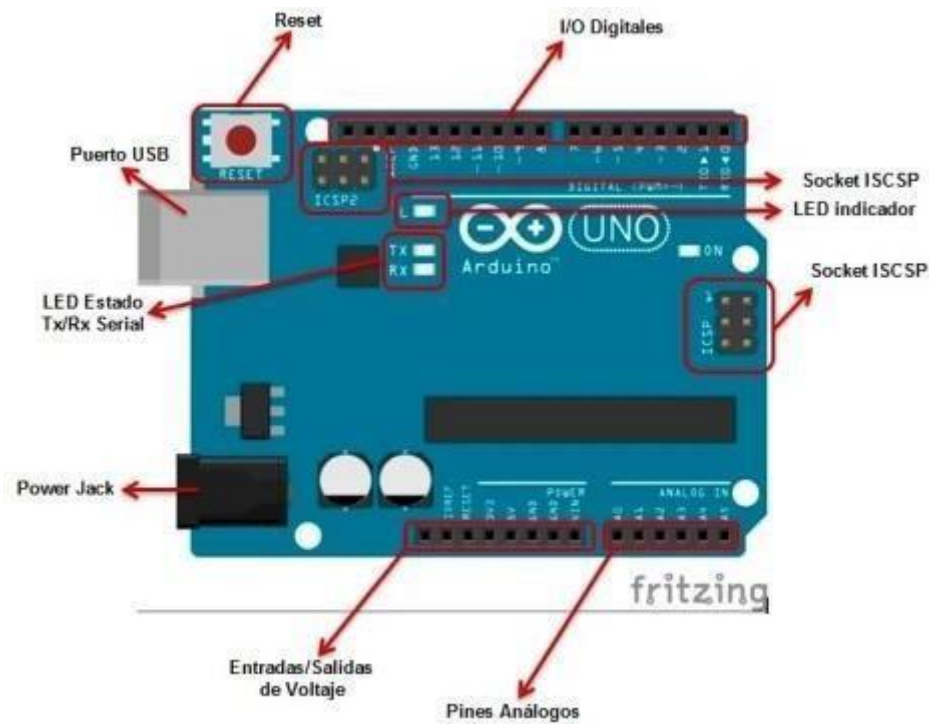


Figura 5. Entradas y salidas Arduino UNO.

2.3. Shields de Arduino

Una shield es una placa de circuito impreso diseñada de tal forma que se coloca sobre la placa Arduino y se conecta a ella mediante el acoplamiento de sus pines sin necesidad de ninguna otra conexión externa. El tamaño de la shield no tiene importancia, es decir, se denomina shield a cualquier placa a la que se conecte Arduino sin necesidad de conexiones auxiliares. Estas shield se utilizan para dar funcionalidades que la placa original de Arduino no es capaz de proporcionar, como, por ejemplo, conexión a internet mediante WiFi, controlar motores paso a paso, etc. Algunas shield son apilables, es decir, se pueden colocar unas conectadas sobre las otras y a su vez colocadas sobre Arduino, siempre y cuando no se usen los mismos pines para las funcionalidades de las distintas shield, es decir, si una shield ocupa el pin 13 de Arduino como señal de datos, las demás shield que estén acopladas en ese momento no pueden usar ese pin.

En el mercado existen infinidad de shields para Arduino con diversas funciones, pero en este caso nos centraremos en las shields de potencia. A continuación, se presentan algunos modelos.

- Power shield DFRobot (Figura 6):

Se trata de un regulador reductor basado en el chip LM2596 que es un regulador Buck integrado, cuyas características de la shield son las siguientes:

- Tensión de entrada de 4.5 – 35V
- Tensión de salida de 1.25 – 12V
- Corriente de salida 2A (pico de 3A)
- Potencia máxima de salida: 15W, 3A @ 5V
- La tensión de salida se regula mediante un potenciómetro.

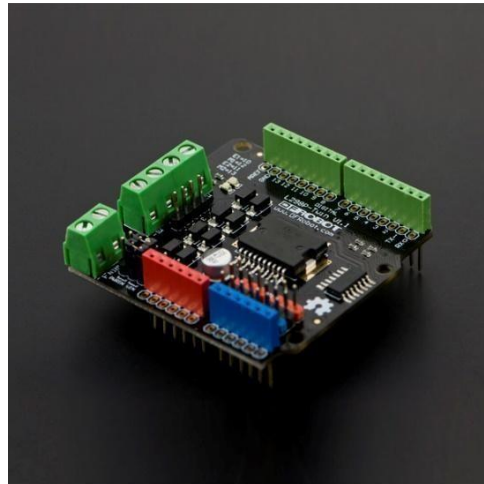


Figura 6. DFRobot.

- Arduino MKR motor Carrier (Figura 7):

Es una shield diseñada para controlar motores de servo, motores DC y motores paso a paso. Sus características son las siguientes.

- Cuenta con dos reguladores de motor MC33926 para el control de motores de CC.
- Tiene dos controladores DRV8871 que se controlan desde un microcontrolador incorporado que se comunica con Arduino.

- Tensión nominal de 6.5 – 11.1V.
- Corriente máxima (MC33926) de 5A de pico.
- Corriente máxima (DRV8871) de 3A de pico.
- Protección de corriente inversa.

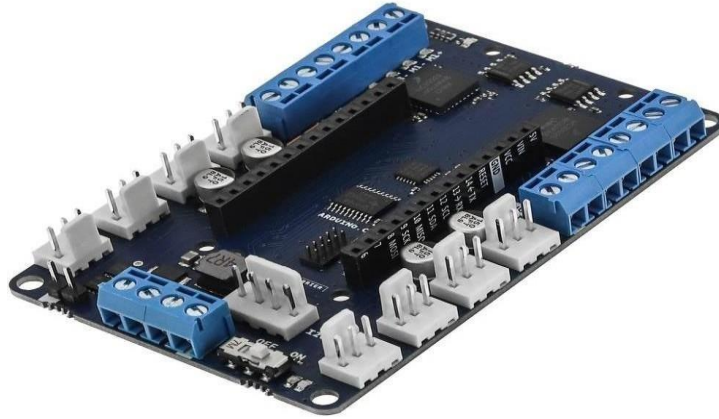


Figura 7. MKR motor carrier.

- Solar charger Shield V2.2 (Figura 8):

Es una shield diseñada para que Arduino sea autónomo proporcionando la energía necesaria a través de una placa solar a una batería que se carga con dicha placa. Sus características son las siguientes.

- Tensión de entrada de la batería de 3 – 4.5V.
- Tensión de entrada del panel solar de 4.8 – 6V.
- Potencia de salida máxima (con batería) de 3W (600mA a 5V).
- Corriente de carga continua de hasta 900mA.
- Protección contra cortocircuitos.
- Conector micro-USB.

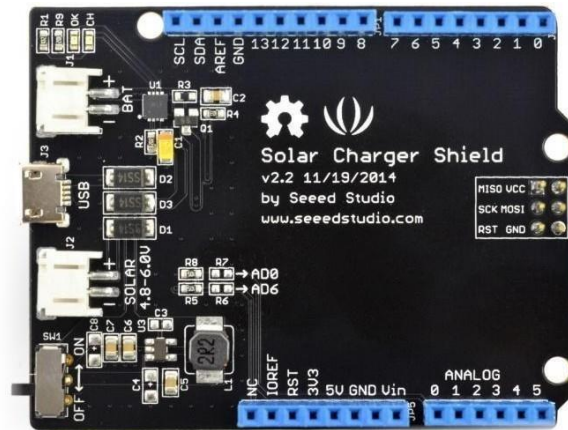


Figura 8. Solar charger shield.

- Synthetos gShield V5 (Figura 9):

Es una shield para controlar una máquina CNC de 3 ejes con motores paso a paso. Sus características son las siguientes.

- Corriente de salida de 2.5A por motor.
- Tensión de entrada de 12 – 30V.
- Cuenta con 3 controladores DRV8818.

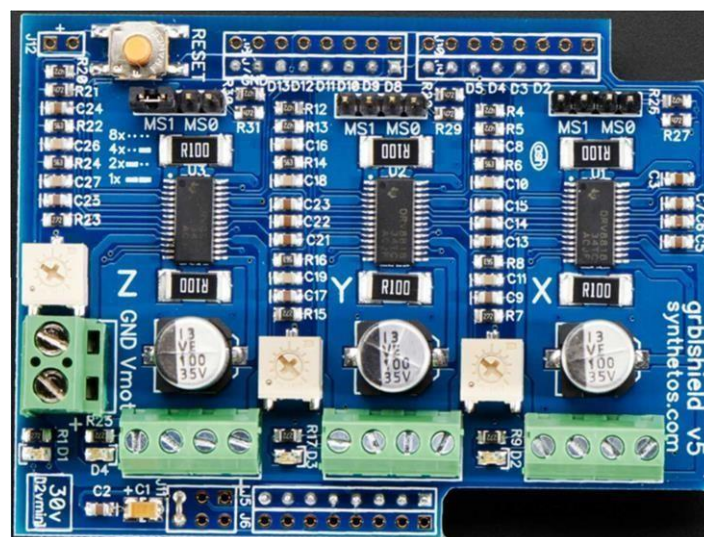


Figura 9. Synthetos gShield.

2.4. Reguladores comerciales controlados

Existen algunos reguladores de AC en el mercado que no se controlan mediante Arduino, aquí algunos modelos:

- MOD0160, DIMMER AC (Figura 10):

Regulador basado en un potenciómetro, con las siguientes características:

- Voltaje de entrada: 110 V ~ 220 V CA.
- Voltaje de salida: 50 V-220 V.
- Potencia máxima de salida: 2000 W; corriente máxima de salida: 25 A.
- Temperatura ambiente de funcionamiento: -20°C a 40°C; alta eficiencia, alta torsión, baja generación de calor.

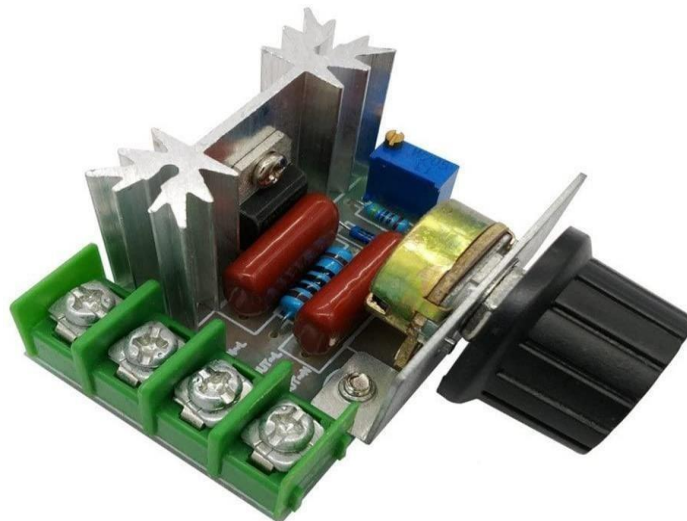


Figura 10. MOD0160.

- ARICELI Regulador AC (Figura 11):

La mayoría de reguladores AC comerciales son controlados por un potenciómetro, ese modelo es más sofisticado y seguro que el anterior, a continuación, las especificaciones técnicas:

- Voltaje de funcionamiento: AC 220V
- Potencia máxima: 4000W

- Regulación de voltaje: inicio de 10V, 10V-220V
- Dimensiones: 85 X 58 X 35 mm
- Protección: Anti-Spike, Surge, RC Absorption.



Figura 11. ARICELI regulador AC.

2.5. Herramientas utilizadas

Las herramientas y programas que se van a utilizar en este proyecto serán:

- Arduino Uno para el control del regulador.
- Software de programación de Arduino.
- Placa Bluetooth para Arduino.
- Software de simulación y diseño de circuitos electrónicos, que en este caso será Professional Proteus y Orcad Pspice.
- Bibliotecas auxiliares para el programa de Arduino.

Todas las herramientas y programas serán descritos a continuación.

2.5.1. Software de programación de Arduino

El entorno de desarrollo integrado (IDE), como se puede ver en la Figura 12, es una aplicación multiplataforma que hace que sea muy fácil escribir el código y luego subirlo a la placa sin ningún tipo de hardware adicional. El entorno está escrito en java y se basa en Processing (lenguaje de programación y entorno de código abierto) y otros softwares de código abierto.

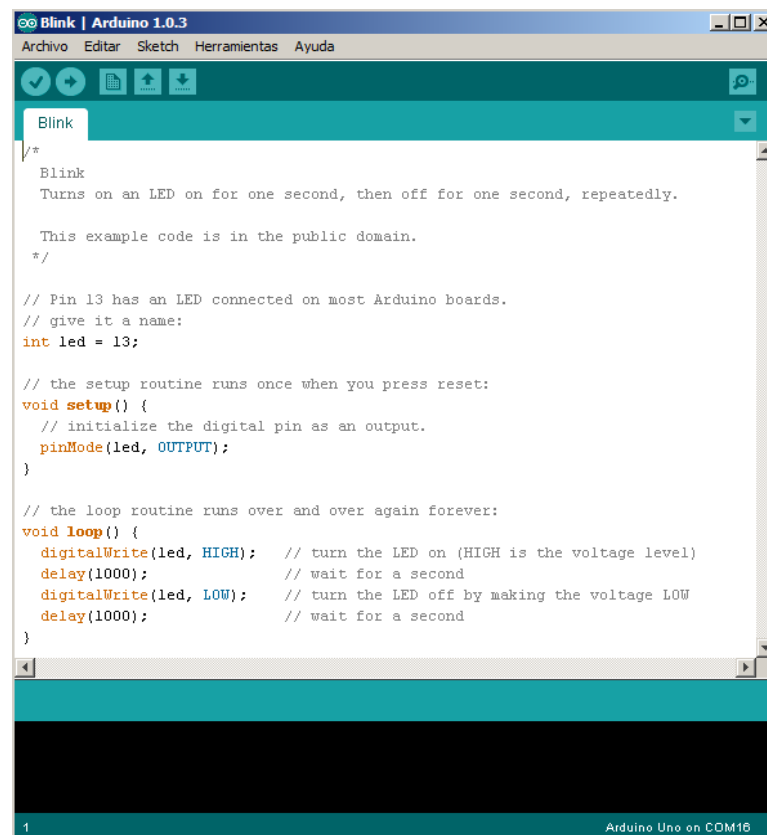


Figura 12. Entorno programación Arduino.

La configuración inicial para establecer la comunicación entre Arduino y el PC es tan fácil como conectar Arduino mediante USB, el PC lo detecta automáticamente, y solo se tiene que seleccionar en el software de Arduino el modelo de Arduino que se va a utilizar y el puerto en el que está conectado. Esto se realiza desde la pestaña de herramientas.

Una vez realizado el programa solo hay que compilarlo y subirlo a Arduino solo pulsando el tick presente en el software (para compilarlo).

2.5.1.1. Módulo HC-06 de Arduino

El Módulo Bluetooth HC-06, visto en la Figura 13, es un dispositivo que soporta conexiones inalámbricas a través del protocolo “Bluetooth”.

Se pueden comportar como esclavo o maestro, lo que sirve para escuchar peticiones de conexión y para generar peticiones de conexión. Si algún dispositivo se conecta, el módulo transmite a este todos los datos que recibe desde un microcontrolador y viceversa.

El módulo Bluetooth HC-06 dispone de 4 pines, solo puede actuar como esclavo, dispone de un juego reducido de instrucciones a las que atiende, permite:

- Una conexión sencilla y sin problemas mediante comandos AT a través de una puerta serie.
- La comunicación de voz y datos a través de una red inalámbrica llamada WPAN

Los módulos HC-06 están montados sobre una interfaz en la que se incluye cuatro pines para su conexión, Vcc, Gnd, Txd y Rxd, además cuentan con un LED para indicar el estado de conexión del Bluetooth; si el LED parpadea es que no está emparejado, si este está activado de forma continua el Bluetooth esta emparejado.

El módulo HC-06 cumple con las especificaciones del estándar Bluetooth 2.0 a 2.4 GHz que es perfectamente compatible con Arduino y PIC, celulares o Smartphone Android, más no con los iPhone.

Una información de interés es la siguiente: [15] (Uso del módulo HC06 con Arduino). Dónde se explica la conexión del módulo con el aparato electrónico al que se desea conectar y el código necesario para establecer la comunicación deseada.

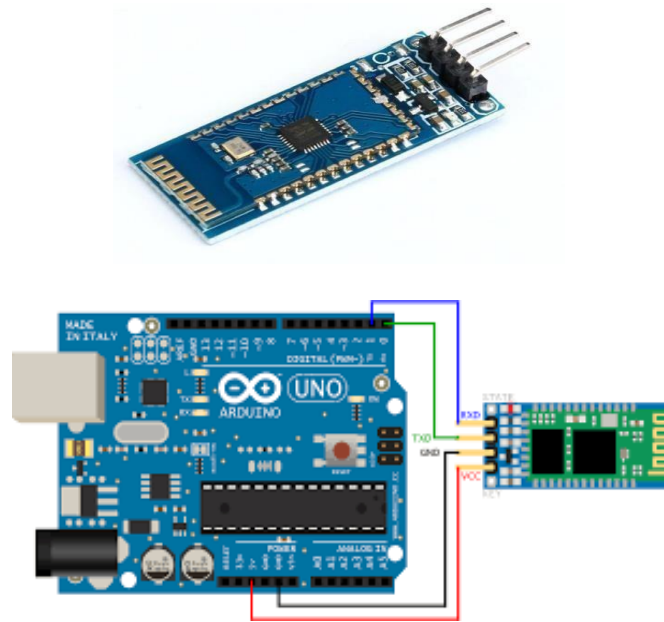


Figura 13. Modulo HC-06.

2.5.1.2. Módulo LCD controlado por Arduino

El módulo LCD es una pantalla, llamada, en inglés, Liquid Crystal Displays, conectada a Arduino, a partir de la cual se puede mostrar lo que queramos, en este caso se utiliza un display LCD de 16 pines y 2 líneas, la configuración de los pines se muestra en la Figura 14:

- El pin “RS” controla en que parte de la memoria LCD se están escribiendo los datos.
- El pin de “lectura/escritura” (R/W) selecciona el modo de lectura o de escritura. Si el pin es conectado a +5V el modo de lectura es activado, así que el pin es conectado a GND el modo de lectura es activado.
- EL pin para habilitar *enable*, este habilita los registros.
- 8 pines de datos “D00-D07” donde se envían bits para escribir en un registro, también pueden ser usados para leer un registro.
- Pin V0 “de contraste” del display LCD Arduino.
- Pin A y Pin K “de retro-iluminación” (Bklt+ y Bklt-) que le permiten controlar la retroiluminación.
- Pin de alimentación (+5V y GND).

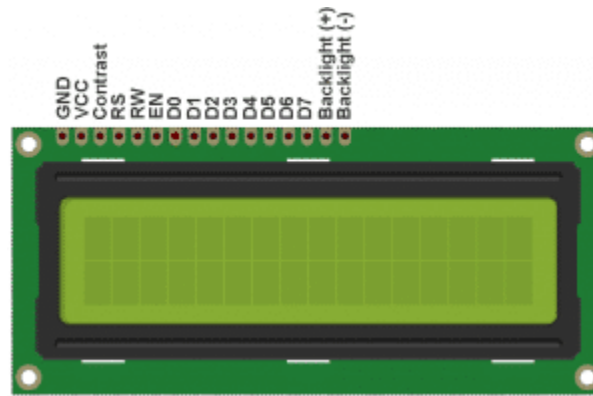


Figura 14. Pines y estructura módulo LCD.

2.5.2. Software de simulación y diseño de circuitos electrónicos

2.5.2.1. Proteus

El primer software de simulación que se utilizará en este proyecto será Proteus, Proteus VSM es un sistema de diseño electrónico basado en la simulación analógica, digital o mixta de circuitos, que brinda la posibilidad de interacción con muchos de los elementos que integran el circuito. Incluye componentes animados para la visualización de su comportamiento en tiempo real, además de un completo sistema de generación y análisis de señales. También cuenta con un módulo para el diseño de circuitos impresos. Las siglas VSM significan Virtual System Modelling, que en español podemos traducir como sistema de modelado virtual, ya que Proteus VSM permite modelar de forma virtual en la computadora prácticamente cualquier circuito. La característica principal que hace de Proteus VSM uno de los simuladores preferidos por muchos aficionados y profesionales de la electrónica es la posibilidad de simular circuitos que incluyen microprocesadores o microcontroladores.

El programa cuenta con dos partes o componentes principales. Uno de ellos es el módulo ISIS, Figura 15, que es donde vamos a dibujar los diagramas de los circuitos electrónicos y, también, desde donde efectuaremos las simulaciones. Si es la primera vez que abrimos el módulo ISIS, después de instalar Proteus en el sistema, es posible que aparezca una ventana llamada View Sample Designs, que

nos preguntará si queremos ver los diseños de ejemplo que se instalan junto con el programa.

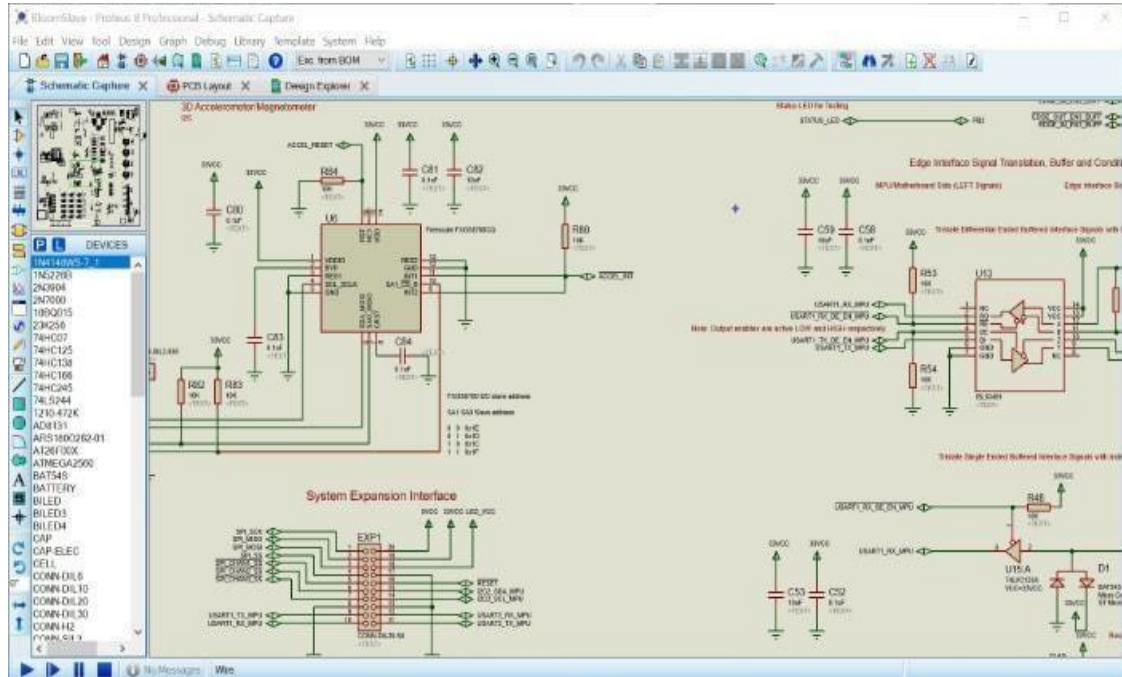


Figura 15. Interfaz ISIS Proteus.

Además del módulo ISIS, Proteus cuenta con otro módulo, denominado ARES, Figura 16, que es donde se diseñan las placas de circuito impreso (PCB) utilizadas para el posterior armado de los circuitos. En relación a este tema, otra característica muy interesante de este programa es la posibilidad de importar un circuito dibujado en ISIS directamente al módulo ARES. De esta manera, podremos diseñar fácil y rápidamente un circuito impreso para él.

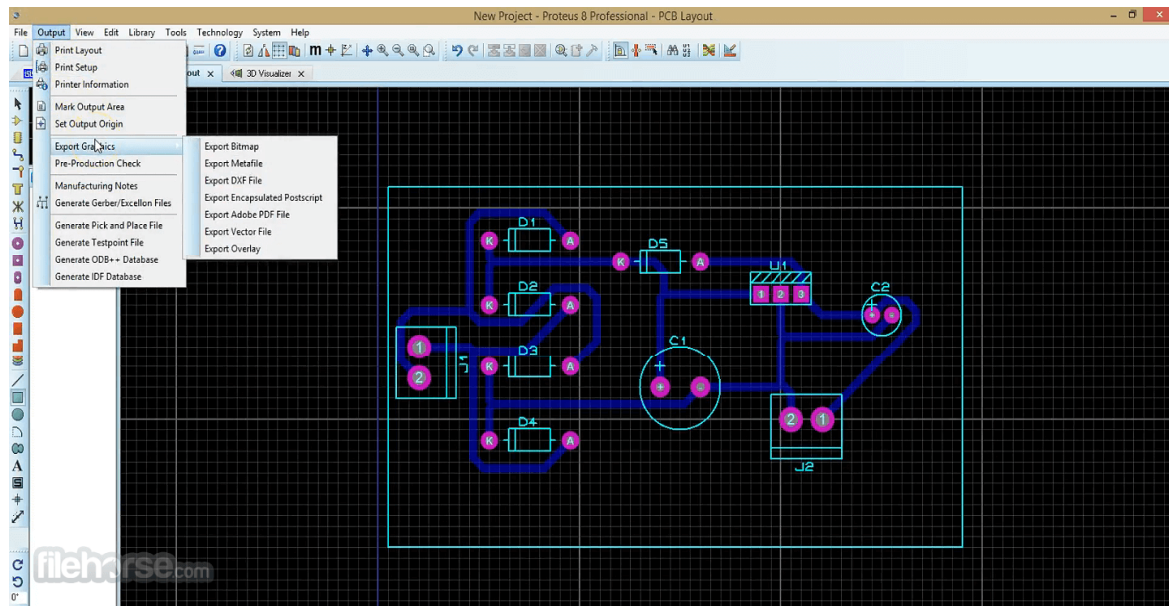


Figura 16. Interfaz ARES Proteus.

Proteus es un software de pago LabCenter, pero se puede solicitar una prueba gratuita de 14 días a través de su página web, [13] (LabCenter). En la página también se puede obtener información de cómo usar Proteus.

2.5.2.2. OrCAD

OrCAD es un software propietario utilizado para automatización de diseño electrónico. El software es usado por técnicos e ingenieros de diseño fundamentalmente para simulación electrónica, crear esquemas electrónicos y elaborar esquemas de circuito impreso para manufacturar placas de circuito impreso.

Este proyecto utilizará principalmente tres programas de OrCAD que serán:

- OrCAD Capture (Figura 17. Interfaz OrCAD Capture.Figura 17): Es el software de diseño de esquemas electrónicos que permite elegir todos los componentes necesarios y seleccionando los valores adecuados de cada uno de ellos.

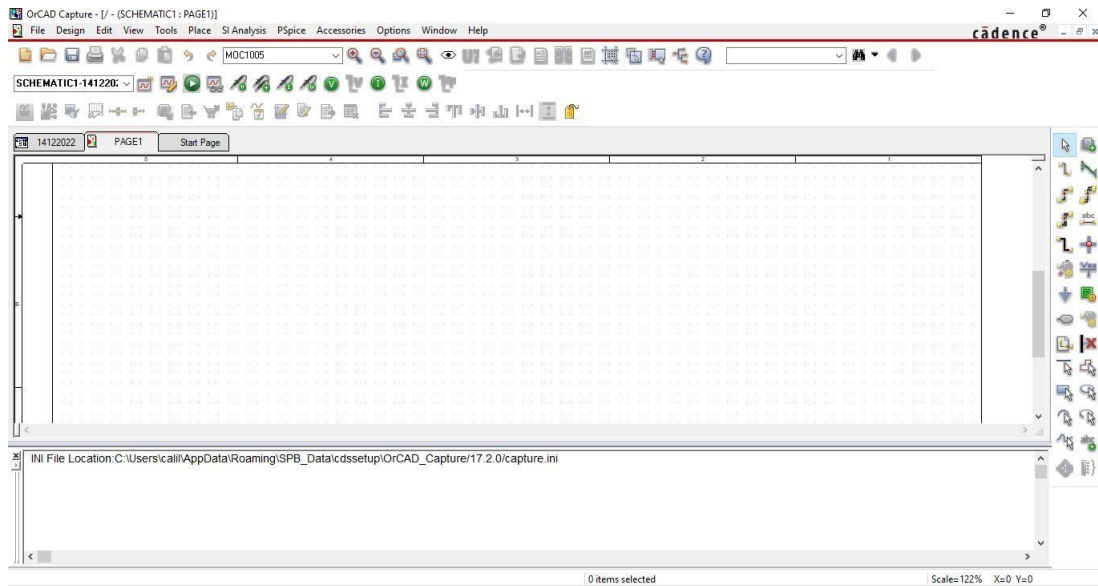


Figura 17. Interfaz OrCAD Capture.

- OrCAD PSpice (Figura 18): Es el software encargado de la simulación y análisis del circuito electrónico, en el cual se pueden realizar simulaciones teniendo en cuenta distintos parámetros de funcionamiento del circuito, realizar análisis paramétricos de los componentes, tiempos de simulación, etc.

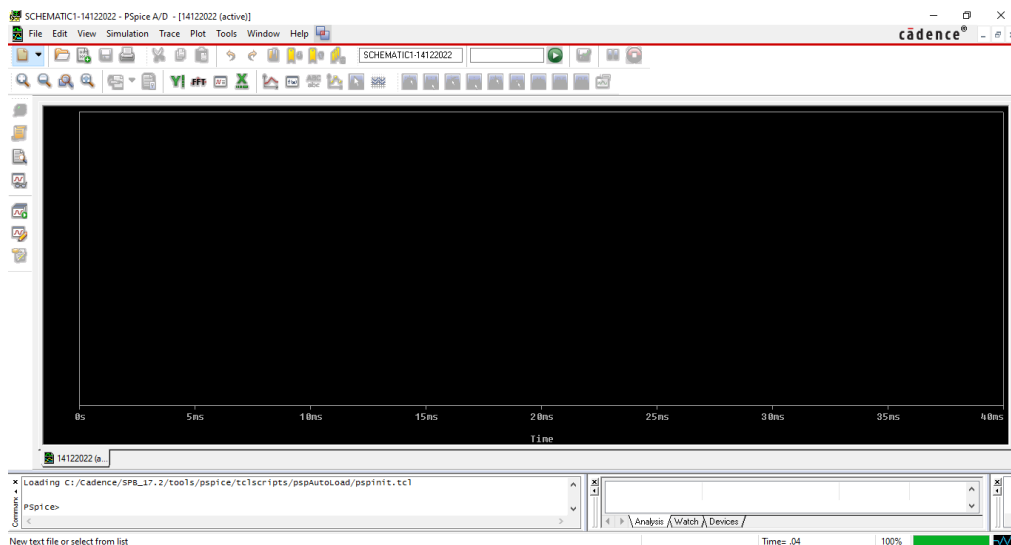


Figura 18. Interfaz OrCAD PSpice.

- OrCAD PCB Designer (Figura 19): Es el software de diseño de la placa de circuito impreso del cual se obtienen los diagramas necesarios para poder

montar el circuito. Este software permite crear restricciones para que las pistas del circuito no se crucen entre sí, e incluso es capaz de realizar el diseño de las pistas de manera automática.

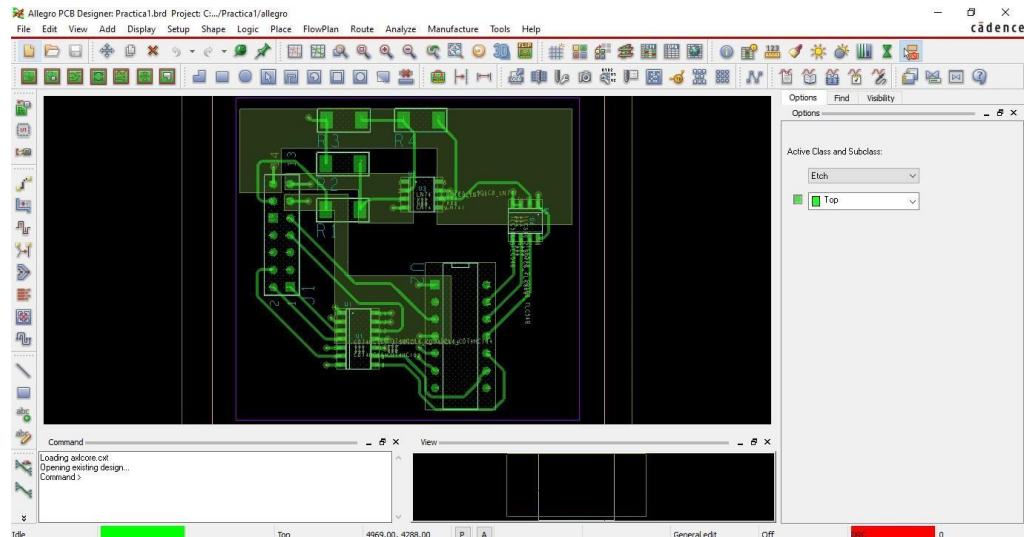


Figura 19. Interfaz OrCAD PCB Designer.

De la misma manera que con Proteus, OrCAD también tiene una prueba gratuita, en el caso de ser estudiante, de un año, se puede conseguir a través de su página web, donde también se puede obtener información interesante del uso del software, [14] (OrCAD).

2.5.3. Software de creación y programación de aplicación móvil

El software de creación y programación de una aplicación móvil será *MIT App Inventor*, es un entorno de desarrollo de software mantenido por el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Está formado por dos partes: la interfaz de la aplicación que se verá en la pantalla del teléfono móvil y el conjunto de bloques que se utilizan para programar el funcionamiento de la aplicación. Una vez acabada la aplicación se construye una *apk*, que es un paquete para el sistema operativo Android y se usa para distribuir e instalar componentes empaquetados para dicho sistema operativo.

App Inventor tiene un interfaz sencilla y visual para que cualquier usuario pueda usarlo, el bloque de diseño de la aplicación consta de muchas herramientas para usar, como, por ejemplo: botones, barra deslizadora, interruptor, etc. Aunque también permite diseñar la colocación de dichas herramientas en la pantalla, conectarse vía Bluetooth, hacer gráficas, entre otras. En la Figura 20 se puede observar un ejemplo.

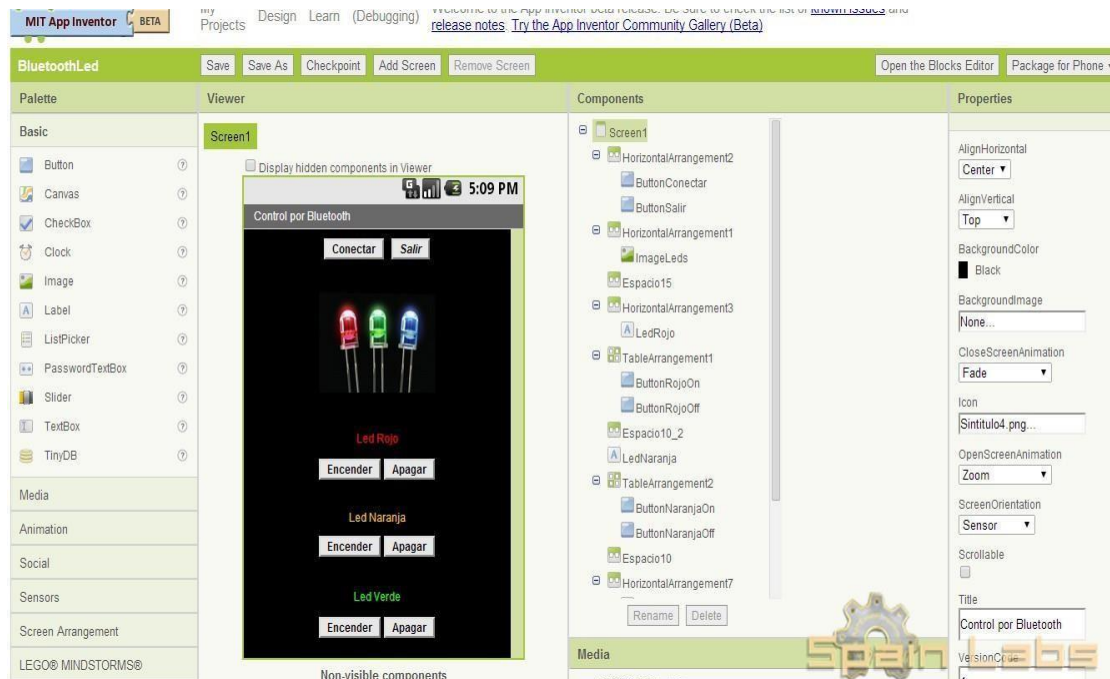


Figura 20. Interfaz bloque diseño.

En la parte de programación se encuentran todas las funciones que se pueden utilizar para programar el interfaz que se ha diseñado en el bloque de diseño, estas funciones aparecen ya construidas, y solo hay que unirlos como un puzzle, como se puede observar en el ejemplo de la Figura 21.

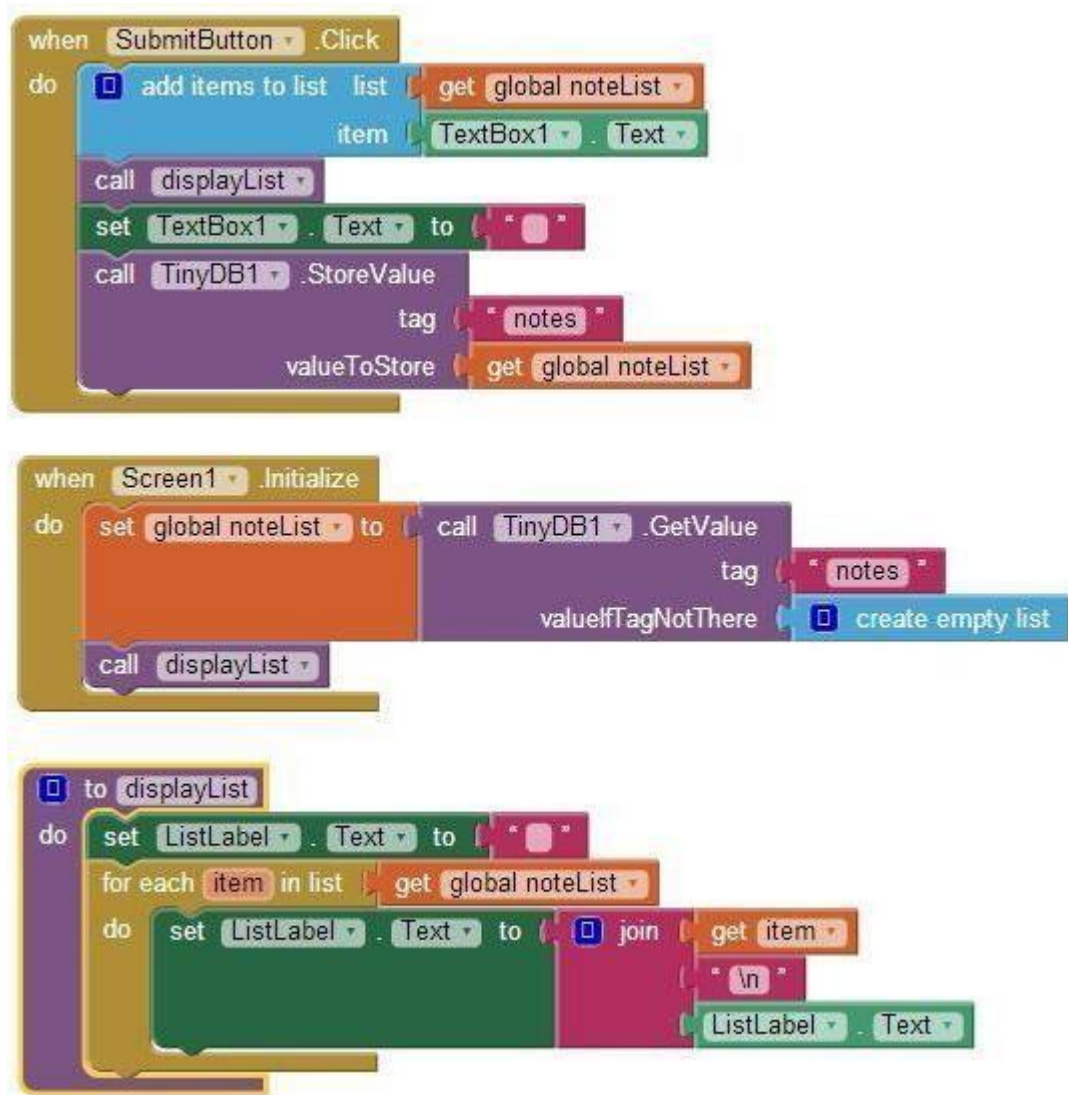


Figura 21. Interfaz bloque programación.

App Inventor es un entorno de programación gratis y online, muy sencillo de entender, en su página web es donde se programa, habiendo tutoriales para principiantes que no sepan usarla. La aplicación se descarga y, si no la has terminado y quieres continuar otro día se puede guardar en tu perfil. Enlace a su página web: [10] (App Inventor).

3. IMPLEMENTACIÓN

El tipo de regulador que voy a utilizar en este proyecto se basa en controlar pulsos proporcionados por Arduino hacia un Triac, con el fin de regular la potencia que le llega a la carga, pudiendo ser un motor, lámpara, etc.

En los siguientes apartados se analizará de manera detallada el comportamiento del controlador incluyendo un análisis simulado y se profundizará en el modo en el que se controlará la señal de puerta del Triac y demás circuitos.

3.1. Estructura general del hardware

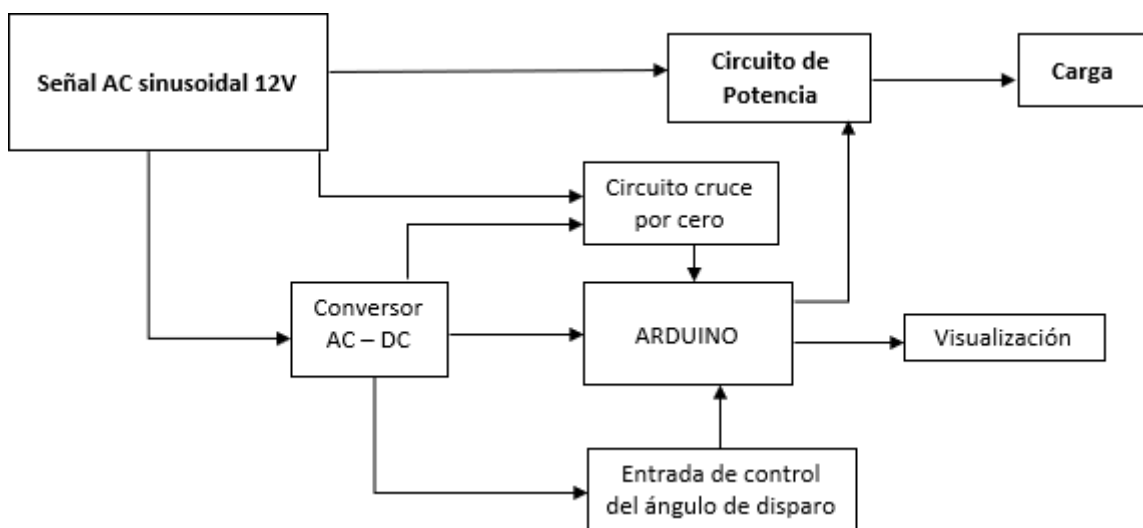


Figura 22. Estructura del controlador AC.

En la Figura 22 se puede observar que la señal de entrada es una señal AC sinusoidal de 12 V eficaces, dicha señal viene previamente de un transformador conectado a la red eléctrica doméstica. Esta señal alimenta todos los circuitos del circuito y Arduino, a través de un conversor AC-DC.

3.2. Circuitos de alimentación

El trabajo tiene dos circuitos de alimentación. El primero, señal alterna sinusoidal de amplitud 17V, alimenta directamente a los circuitos de potencia, cruce por cero y el circuito convertidor AC-DC. El segundo, el circuito convertidor AC-DC, convierte la primera señal alterna en una señal continua, la cual, alimenta Arduino, el comparador del circuito de cruce por cero, el circuito del teclado matricial que controla el ángulo de disparo y la pantalla LCD.

Como se ha comentado anteriormente, la fuente de alimentación es una señal AC sinusoidal de amplitud 17 V y frecuencia 50 Hz, proveniente de un transformador. Para poder tener una señal continua se usa un regulador de tensión lineal, el LM317, con el cual se obtiene una salida en continua de 12V DC, contiguo a este, se coloca el regulador lineal 7805, que proporciona una tensión de salida de 5V DC. Por recomendación del fabricante, se usa un rectificador de onda completa con un puente de diodos, para la señal de entrada del LM317. Para la señal de entrada del LM7805 se usará la salida del LM317.

El LM317 es un regulador de tensión lineal ajustable capaz de suministrar a su salida en condiciones normales un rango que va desde 1,2V hasta 37V y una intensidad de 1,5 A. Sus terminales son tres: el primero es la entrada (IN), el segundo el de ajuste (ADJ) y el tercero el de salida (OUT). Para este trabajo no hace falta atenuar la señal de entrada ya que el rango establecido por el fabricante está dentro de la señal de entrada del proceso.

Los reguladores lineales son circuitos integrados de tres terminales que proporcionan tensiones de salida positivas o negativas que pueden ser fijas o variables. De estos tres terminales, uno de ellos es para la tensión de entrada no regulada, el segundo de ellos es para la masa, y el tercer terminal es para la salida regulada.

El fabricante en la hoja de características nos indica que la potencia máxima que puede suministrar este regulador es de 15 W y 1 A, por lo que la tensión máxima que se puede suministrar a la entrada es:

$$P_{regulador} = (V_{in\ max} - 5\ V) \cdot I$$

$$V_{in\ max} = \frac{P_{regulador}}{I} + 5\ V = \frac{15\ W}{1\ A} + 5\ V = 20\ V$$

Ecuación 2. Tensión máxima entrada del regulador.

Al elegir este regulador lineal se tiene definida la tensión mínima que vamos a poder suministrar al convertidor, ya que el fabricante indica que la tensión de entrada tiene que ser de al menos 8 V, y la máxima la vamos a fijar a conveniencia, pero sin llegar al máximo permisible por el regulador lineal. En este caso ya podemos definir el rango de tensión que se va a suministrar y va a ser desde 8 V hasta 20 V.

En la Figura 23, se muestra el circuito de alimentación, para que la salida sea la adecuada, el fabricante aconseja añadir algunos elementos, como condensadores, cuya finalidad es rizar la señal, tanto, de entrada, como de salida.

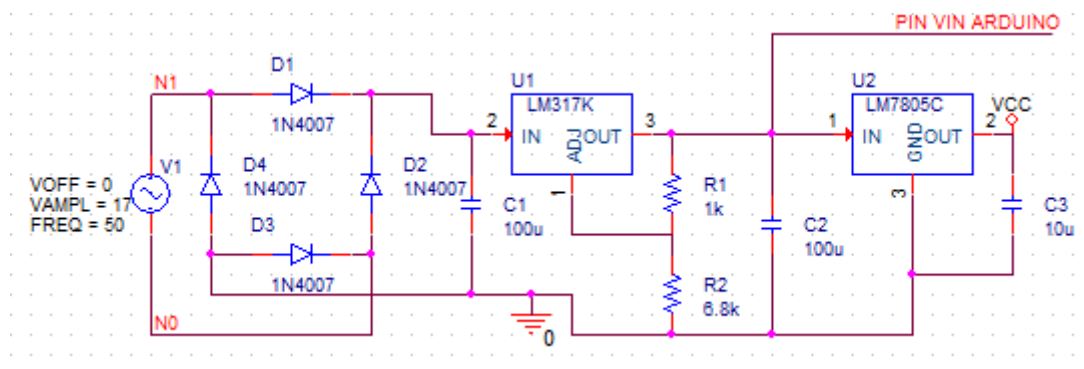


Figura 23. Circuito convertidor AC-DC.

En la Figura 24, se puede observar la señal de entrada alterna sinusoidal, de color verde, la señal de salida del LM317 en azul y la señal de salida del LM7805 en rojo.

El valor de la señal de salida del LM317 se obtiene gracias al divisor de tensión en la salida del mismo siguiendo la siguiente fórmula.

$$V_0 = 1.25V \cdot \frac{R1 + R2}{R1} = 1.25V \cdot \frac{6.8k\Omega + 1k\Omega}{1k\Omega} = 9.75V$$

Ecuación 3. Divisor de tensión para señal salida LM317

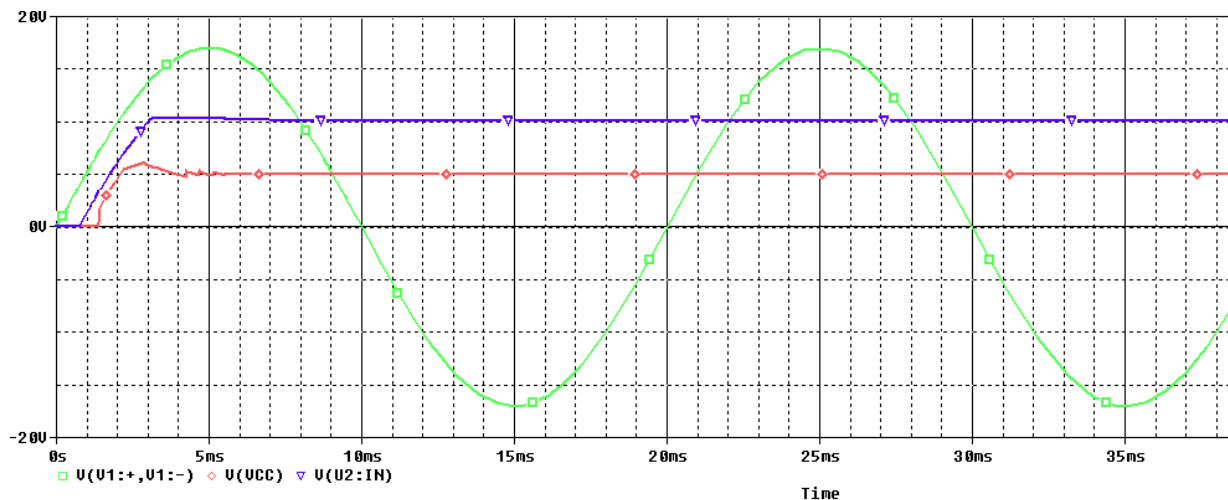


Figura 24. Comparación señal AC-DC.

3.3. Circuito de control

3.3.1. Circuito paso por cero

El circuito paso por cero, Figura 25, consta de un operacional, el LM311, el cuál es capaz de trabajar una señal asimétrica en las patillas V+ y V-, es decir, la patilla V- puede ir conectada a tierra. La función de dicho operacional es comparar la señal de entrada y en cada paso por cero de dicha señal, tener un cambio en la salida.

Este circuito se utilizará para saber cuándo la fuente de alimentación pasa por cero y así poder activar el ángulo de disparo del TRIAC en el tiempo que se requiere para tener mayor o menor potencia.

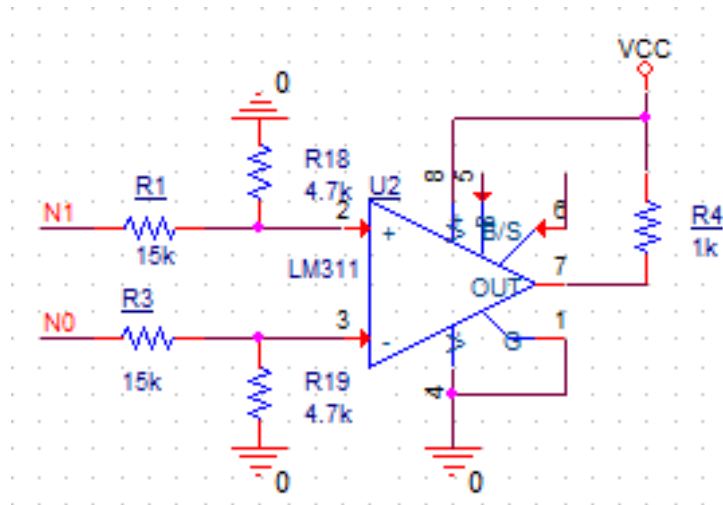


Figura 25. Esquema circuito paso por cero.

La señal a comparar es la señal de entrada de amplitud 17V pero el operacional admite como señal de entrada a comparar un máximo de $\pm 15V$, por ello se reduce mediante la red de resistencias R1, R2, R18 y R19, formando un divisor de tensión.

El funcionamiento del circuito se muestra a continuación en la Figura 26, como se puede observar, la salida alterna entre 5V en los semiciclos positivos y 0V en los negativos.

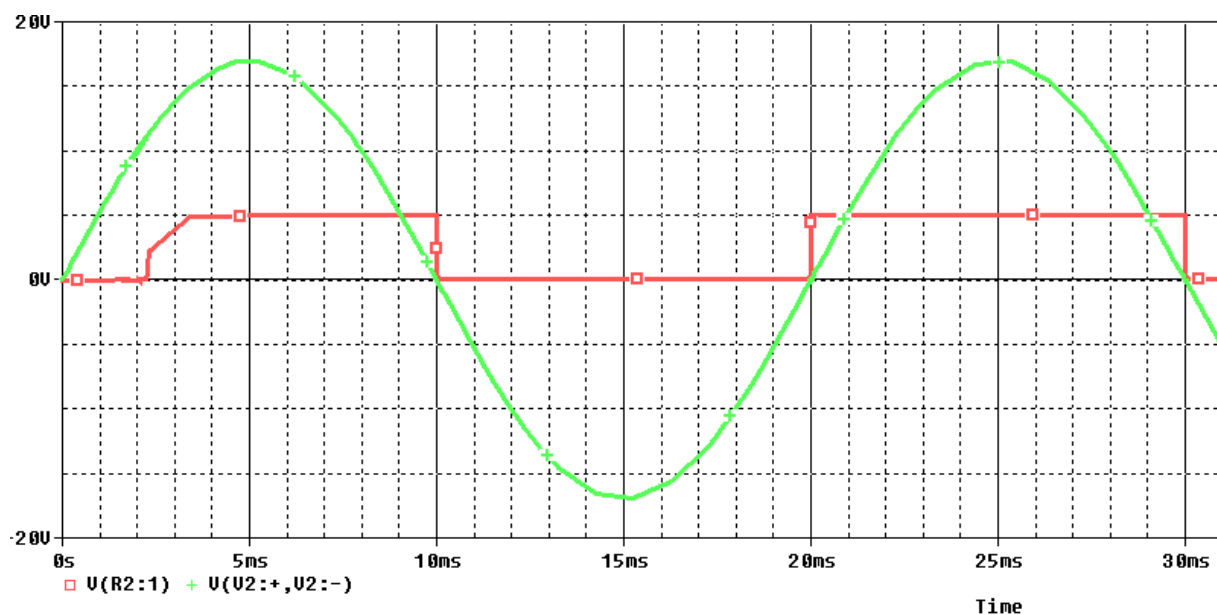


Figura 26. Señal detección cruce por cero.

Más adelante se explicará cómo se consigue que Arduino detecte los cambios de 5V a 0V y viceversa para que el circuito funcione de manera correcta.

3.4. Circuito de potencia

3.4.1. Carga puramente resistiva

El circuito de potencia, visto en la Figura 27, es el principal, el cual está formado por la carga a controlar, un Triac, que funciona como interruptor de la carga con la fuente de alimentación y es activado a través de su puerta por un circuito controlado por Arduino, separados por un optoacoplador con el fin de proteger Arduino.

El TRIAC cerrará el circuito cuando reciba un disparo por la entrada “gate” que lo activará y hará que la potencia en la carga aumente o disminuya en función del ángulo de disparo. Para simular en OrCAD el disparo de Arduino, ya que no hay un simulador de Arduino, se ha utilizado una fuente de tensión en forma de pulsos.

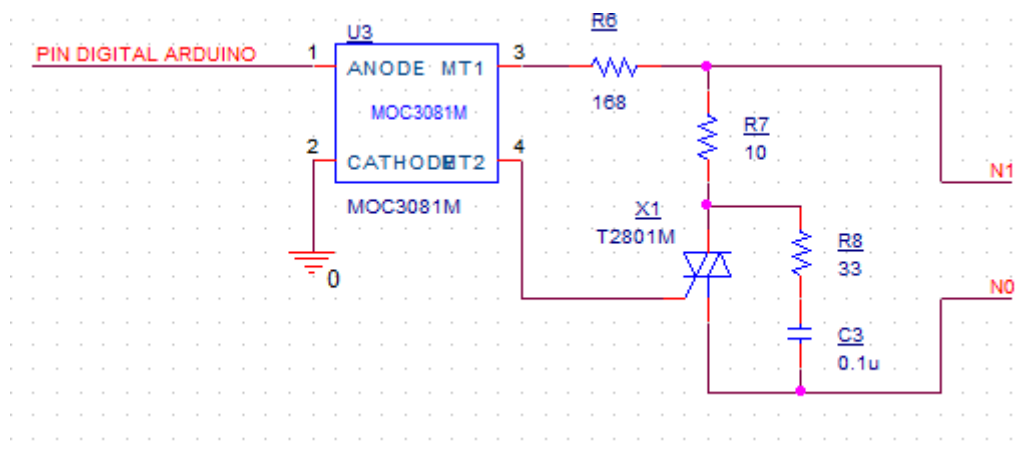


Figura 27. Esquema circuito de Potencia

En cuanto al circuito, mencionado anteriormente, la fuente de tensión en forma de pulsos simula la salida de un pin digital de Arduino, lo que hace es mandar un pulso en un intervalo de tiempo igual al periodo de un semiciclo, es decir, desde 0 a 10ms. Dicho pulso activa el Triac de potencia que cierra el circuito y permite el paso de la corriente por la carga. Cuanto antes se envíe ese pulso, menor ángulo de disparo y, por lo tanto, mayor potencia tendrá la carga, por ejemplo, en el caso que el pulso se envíe a los 2.5ms, el ángulo de disparo será de 45° y la carga tendrá una potencia de aproximadamente 75 %.

En la Figura 28, se puede ver un ejemplo, con un ángulo de disparo de 90° .

Siendo la señal de entrada la curva verde; el pulso del ángulo de disparo la línea azul y la señal de salida, es decir, la de la carga, la roja.

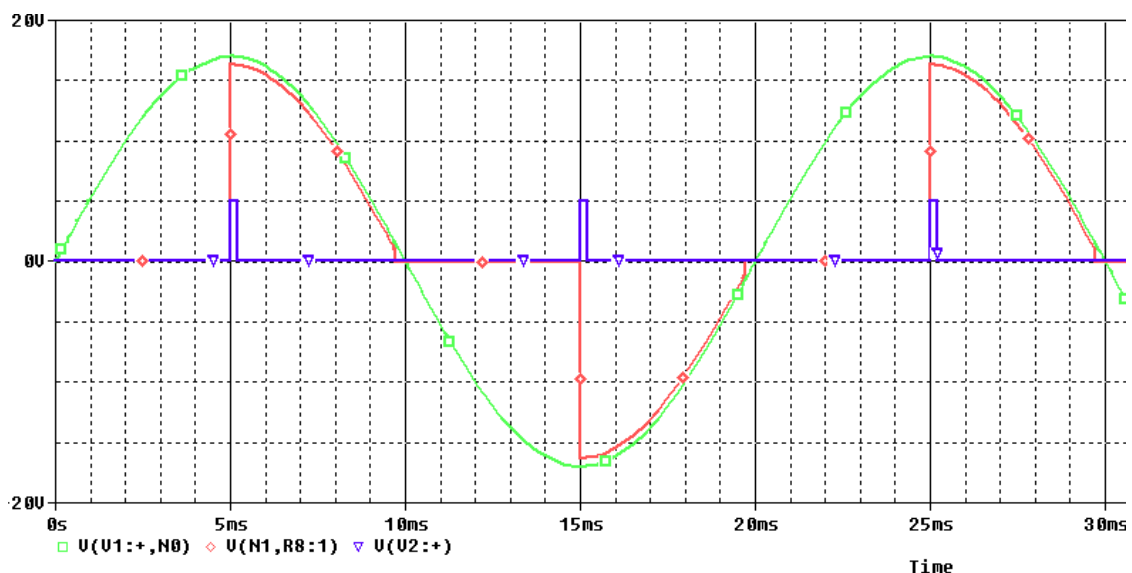


Figura 28. Osciloscopio con ángulo de disparo de 90° .

3.4.2. Carga inductiva

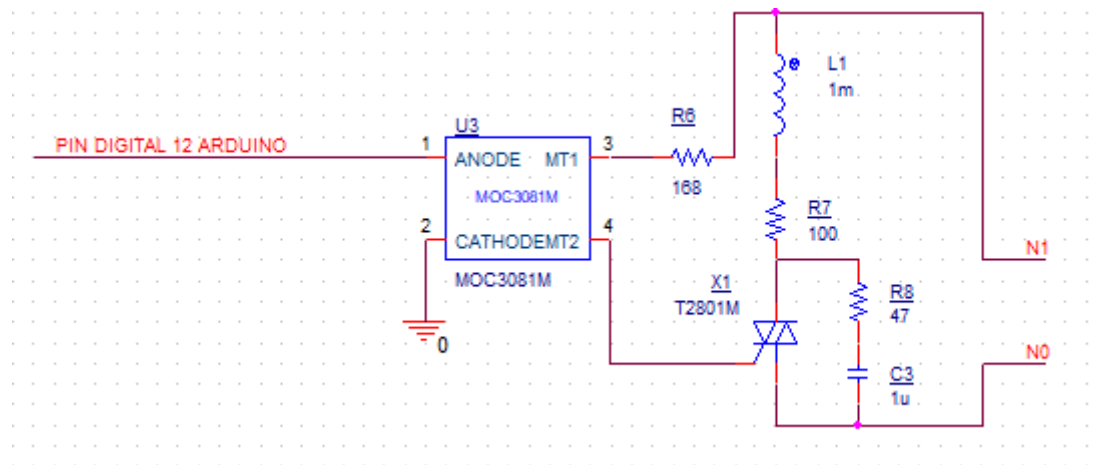


Figura 29. Circuito de potencia con carga inductiva y filtro RC.

El circuito de potencia con carga RL, Figura 29, como se comentó anteriormente en el trabajo, puede tener una pérdida considerable de potencia provocado por el desfase entre la corriente y la tensión en la bobina.

En la Figura 30, se puede ver un ejemplo del desfase entre ambas señales.

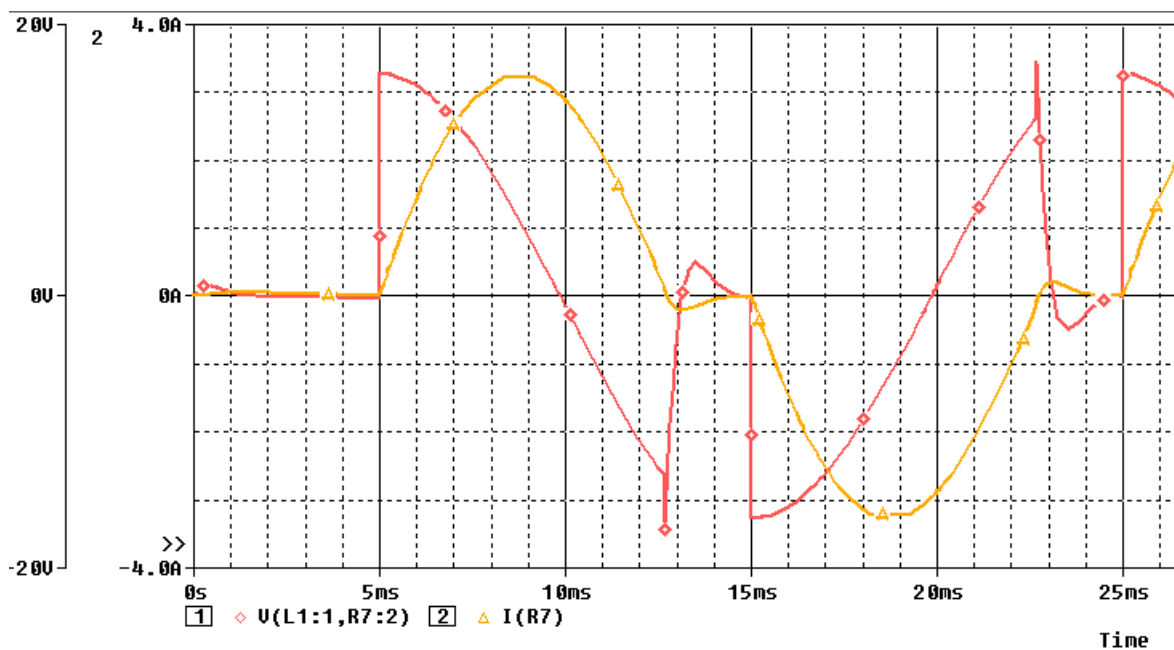


Figura 30. Señal de tensión-corriente de la carga.

Siendo la curva amarilla la corriente en la carga, la roja la tensión en la carga.

Para solucionar este problema, hay que mantener el pulso, o bien, mandar un tren de pulsos para asegurar que cuando la bobina se descarga, haya un pulso después y así no perder potencia en la carga. Esta solución se aplicará mediante Arduino, que es el encargado de mandar los pulsos. En la Figura 31, se puede observar como se mantiene el pulso hasta el final del semiciclo.

La señal naranja es la señal del pulso; la roja, la señal de tensión en la carga; la azul, la señal de alimentación del circuito.

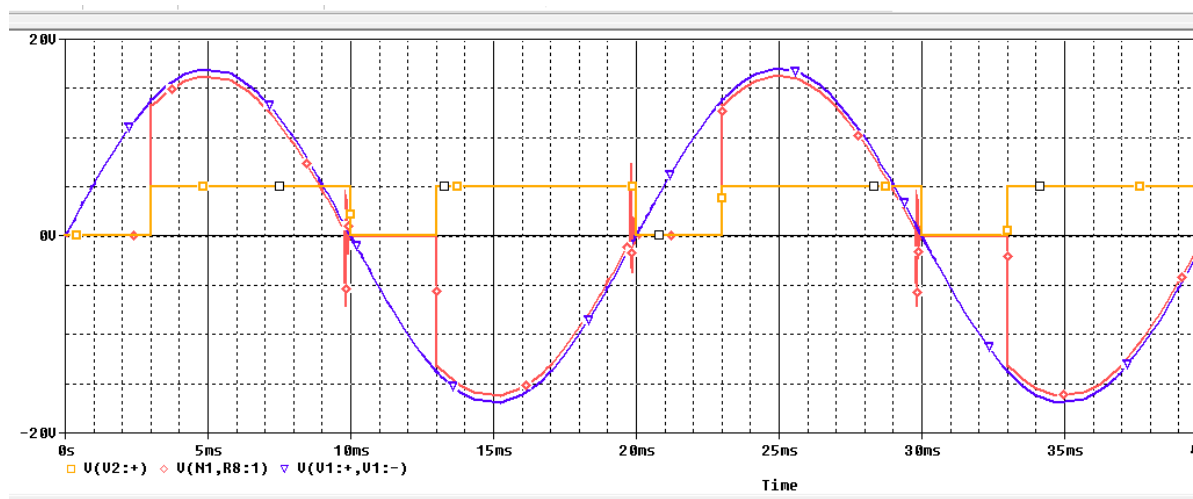


Figura 31. Mantener el pulso para no perder potencia

Otro problema a tener en cuenta, es la sobretensión que produce la inductancia del circuito cuando se abre el interruptor, produciendo picos de tensión de hasta 2 veces la de la fuente de alimentación, como se observa en la Figura 32, pudiendo producir la inutilidad de los componentes del circuito. Una solución, es utilizar un filtro *snubber* RC, en este caso, uno simple, una resistencia en serie con un condensador y colocado en paralelo al interruptor, el Triac. Con el fin de suprimir los picos de voltaje y amortiguar la oscilación transitoria.

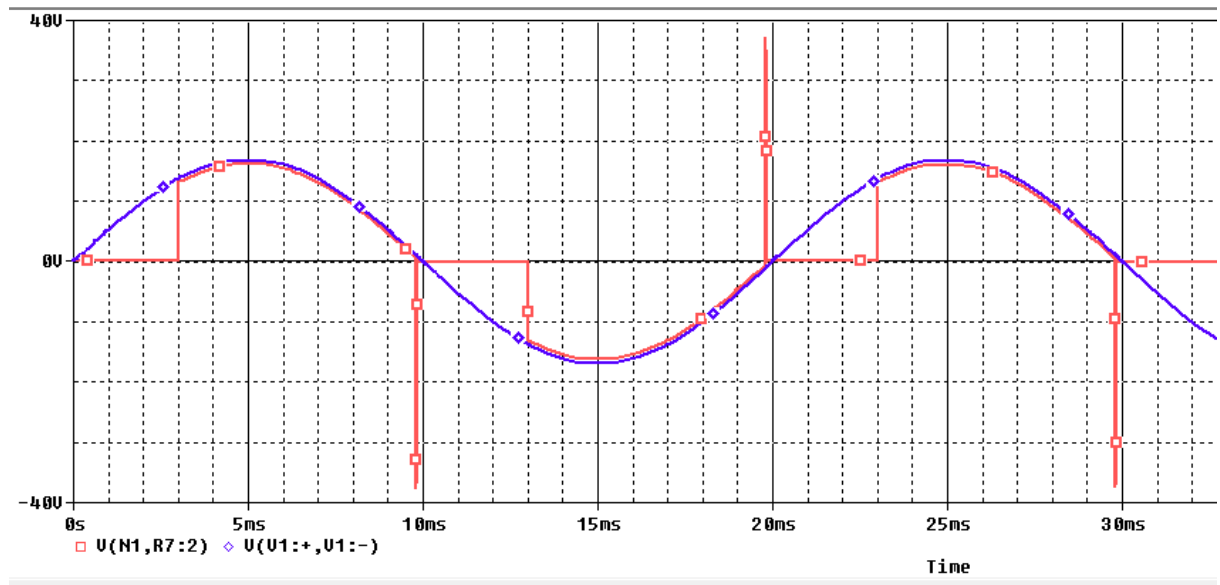


Figura 32. Sobretensión sin filtro snubber

Cuanto menor sea el valor elegido del condensador menor pérdidas se tendrá, pero mayor será la oscilación y viceversa. Para este trabajo se han tomado valores a prueba y error. Se puede consultar este enlace para tener más información de los filtros RC snubber: [12](Filtro RC Snubber). En la Figura 33 se puede observar un ejemplo de unos valores de RC que provocan mucha oscilación.

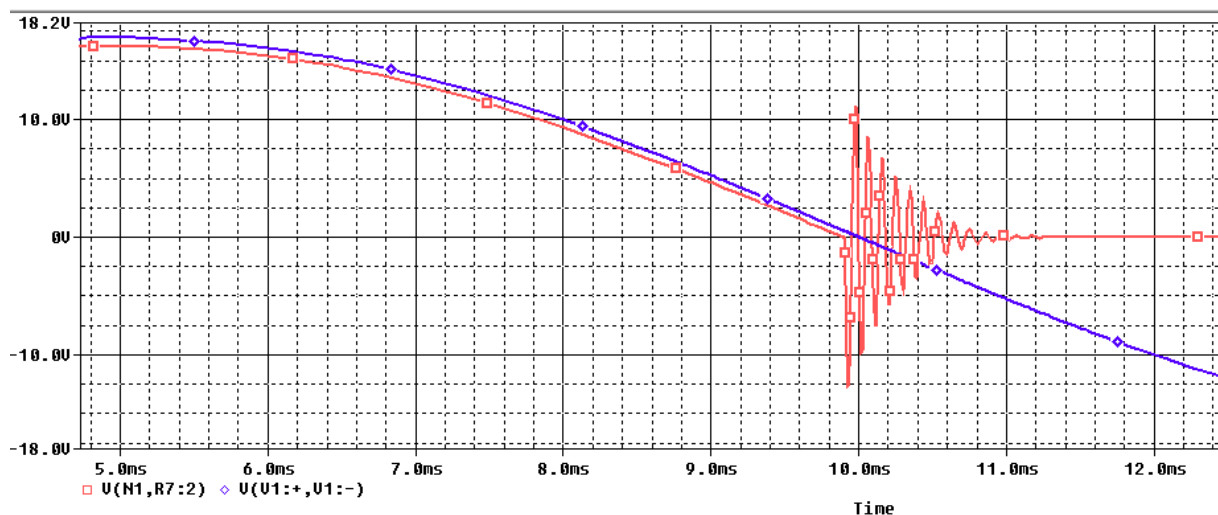


Figura 33. Oscilación provocada por malos valores en el filtro

3.4.3. Cálculo de los disipadores de calor

Para comprobar si es necesaria la instalación de un disipador, primero se tiene que comprobar que potencia puede disipar el componente sin disipador mediante las hojas de características del fabricante (esto es válido para cualquier componente del circuito), teniendo en cuenta los valores de la temperatura máxima de la unión ($T_{j,máx}$), la máxima temperatura del ambiente ($T_{a,máx}$), y la resistencia térmica unión–ambiente (R_{ja}).

$$P_{dis} = \frac{T_{j,máx} - T_{a,máx}}{R_{ja}}$$

Ecuación 4. Ecuación potencia disipada

Si el resultado de la ecuación anterior es superior que la potencia que se ha calculado que disipará el componente en nuestro circuito, no hará falta disipador. Sin embargo, si el resultado de la ecuación anterior es inferior que el calculado con las demás ecuaciones para dicho componente, entonces sí que habrá que usar un disipador, y el cálculo de la potencia disipada que se calcula con las hojas de características ya no es el mostrado en la ecuación anterior, sino que hay que tener en cuenta además de los valores anteriores obtenidos en las hojas de características, otros valores como la resistencia térmica unión–contenedor (R_{ja}), la resistencia térmica contenedor–disipador (R_{cs}), y un coeficiente de seguridad k para asegurar que siempre estamos del lado de la seguridad, es decir, los datos del fabricante son datos basados en la experimentación, pero no todos los materiales tienen las mismas características aunque sea el mismo material, por lo tanto, con dicha constante se asegura que el componente no se rompe por exceso de temperatura. Un valor de k orientativo sería:

- 0.5 para un diseño normal
- 0.6 para economizar en tamaño de disipador
- 0.7 cuando haya una muy buena convección (disipador en posición vertical, en el exterior).

Primero se tiene que calcular la resistencia térmica del disipador para ello se debe conocer previamente la potencia (P) que disipará el componente mediante las ecuaciones correspondientes para el cálculo en el circuito.

$$R_{dis} = \frac{(k \cdot T_{j,m\acute{a}x}) - T_{a,m\acute{a}x}}{P} - (R_{jc} + R_{cs})$$

Ecuación 5. Ecuación cálculo resistencia térmica

Una vez calculada la resistencia térmica del disipador, se tiene que elegir el disipador teniendo en cuenta que la resistencia térmica del disipador elegido tiene que ser inferior a la obtenida matemáticamente. Cuando se tiene el valor de la resistencia térmica del disipador proporcionada por el fabricante, se puede calcular la potencia máxima que el componente más el disipador pueden disipar.

$$P_{dis} = \frac{T_{j,m\acute{a}x} - T_{a,m\acute{a}x}}{R_{jc} + R_{cs} + R_{dis}}$$

Ecuación 6. Potencia máxima que puede disipar el componente

3.4.3.1. Disipador térmico para el regulador LM7805

Como se ha mencionado en capítulos anteriores a este regulador cabe la posibilidad de que haya que acoplarle un disipador. La potencia máxima que suministra el componente en el circuito es de 50mW.

Se calcula la potencia que es capaz de disipar el regulador lineal sin disipador.

$$P_{dis} = \frac{T_{j,m\acute{a}x} - T_{a,m\acute{a}x}}{R_{ja}} = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{65^{\circ}C/W} = 1.538W$$

Con este cálculo se comprueba que el disipador del propio componente es suficiente. Los datos de la fórmula son tomados de la hoja de características del componente.

3.4.3.2. Disipador térmico para el tiristor TRIAC

A continuación, se calculará si el Triac necesita un disipador y, en caso de necesitarlo, el cálculo del mismo. La potencia máxima que puede suministrar el Triac en las condiciones más desfavorables en el circuito es 1.5W.

Se calcula la potencia que es capaz de disipar el regulador lineal sin disipador.

$$P_{dis} = \frac{T_{j,m\acute{a}x} - T_{a,m\acute{a}x}}{R_{ja}} = \frac{398K - \cancel{25}}{60 \frac{K}{W}} = 1.667W$$

Con este cálculo se comprueba que, en este caso, el Triac no necesita un disipador.

3.4.3.3. Disipador térmico para el regulador LM317

Como se ha mencionado en capítulos anteriores a este regulador cabe la posibilidad de que haya que acoplarle un disipador. La potencia máxima que suministra el componente en el circuito es de 35mW.

Se calcula la potencia que es capaz de disipar el regulador lineal sin disipador.

$$P_{dis} = \frac{T_{j,m\acute{a}x} - T_{a,m\acute{a}x}}{R_{ja}} = \frac{125^{\circ}C - 25^{\circ}C}{5^{\circ}C/W} = 20W$$

Con este cálculo se comprueba que el disipador del propio componente es suficiente. Los datos de la fórmula son tomados de la hoja de características del componente.

3.5. Circuitos de mando y visualización

3.5.1. Circuito controlador tiempo de disparo

Para controlar el ángulo de disparo, se utiliza un teclado matricial de cuatro filas y cuatro columnas, por lo que se necesitarían ocho entradas digitales de Arduino, para ahorrar dichas entradas, ya que se necesitan para otras funciones, se ha optado por usar una entrada analógica, añadiendo a cada salida del teclado una resistencia.

Cada resistencia tiene un valor, elegido para que, el valor leído por la entrada analógica no se repita cuando se pulsen dos teclas diferentes. En la programación, se determinará que tecla se está pulsando en función del valor leído, por ejemplo, si se supone que pulsando la tecla 1, el valor leído por Arduino es, 314, en la programación, cuando el valor leído sea 314, se sabrá que la tecla pulsada es la 1.

En la Figura 34 puede verse un ejemplo de la conexión.

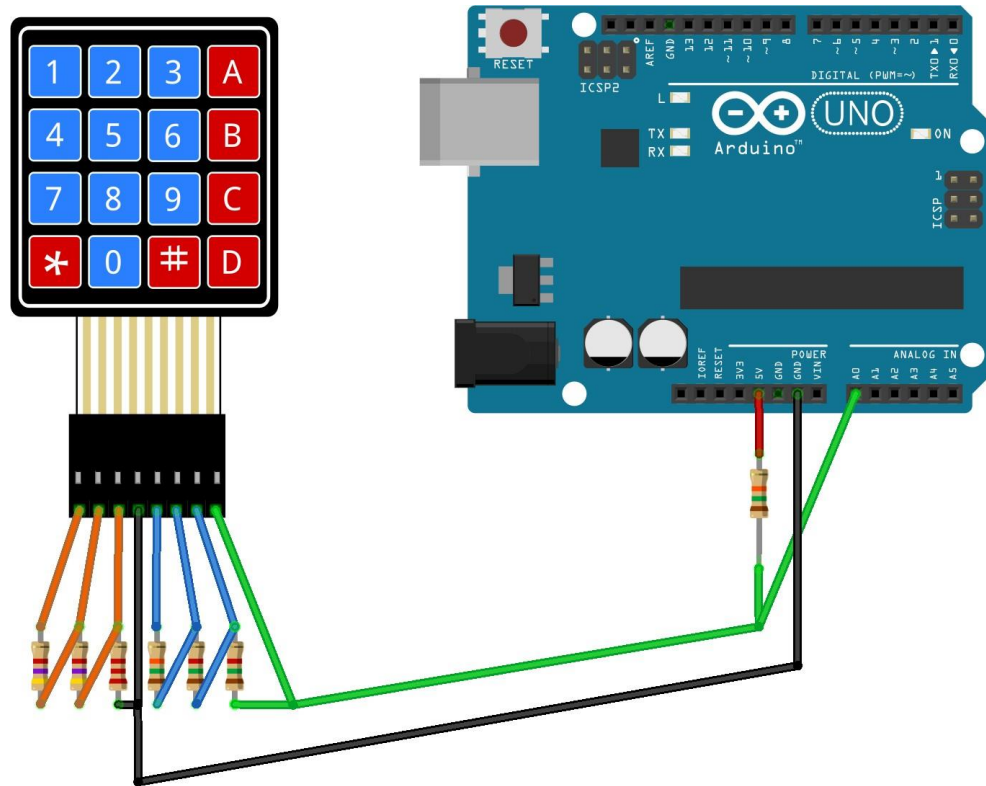


Figura 34. Conexión teclado matricial y Arduino

3.5.2. Circuito visualización por LCD

Este circuito conecta Arduino con LCD y se van a usar solo 7 pines del LCD, se utiliza la conexión a 4 dígitos, donde solo se conectan los pines D4, D5, D6 y D7 del LCD a 4 pines digitales de Arduino.

Después se conectan los pines de control del LCD: RS, RW y E en tres pines digitales de Arduino tal y como se puede observar en la Figura 35. El potenciómetro se usa para dar más o menos luminosidad a la pantalla LCD.

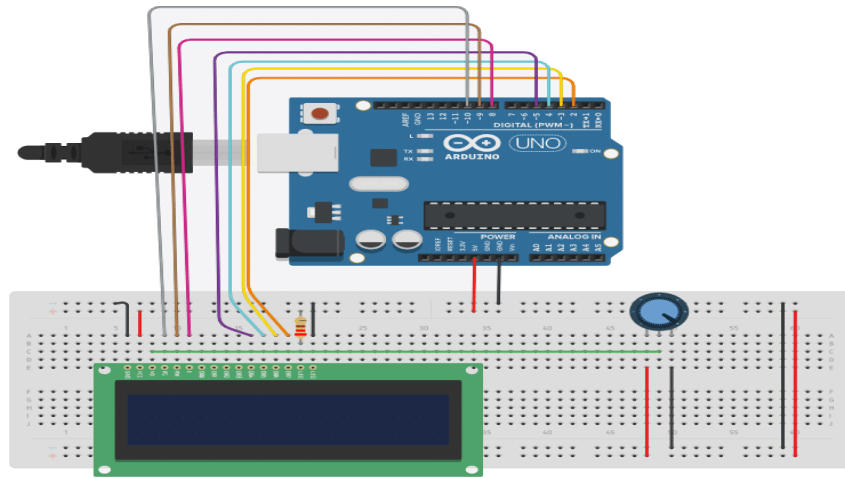


Figura 35. Conexión entre Arduino y LCD

Dicha pantalla se utiliza para mostrar la información del ángulo de disparo cuando se activa el Triac que cierra el circuito de potencia, se mostrará el dato en grados con valores que varían linealmente entre 0° y 180° . Siendo 0° cuando la potencia que se suministra a la carga es máxima y 180° cuando la potencia es prácticamente nula.

3.6. Conexiones de las entradas y salidas de Arduino con los circuitos

Estos circuitos anteriormente mencionados están conectados con la placa Arduino, que controla el proyecto. A continuación, en la Figura 36, se presenta la interacción entre los circuitos y las salidas y entradas de la placa.

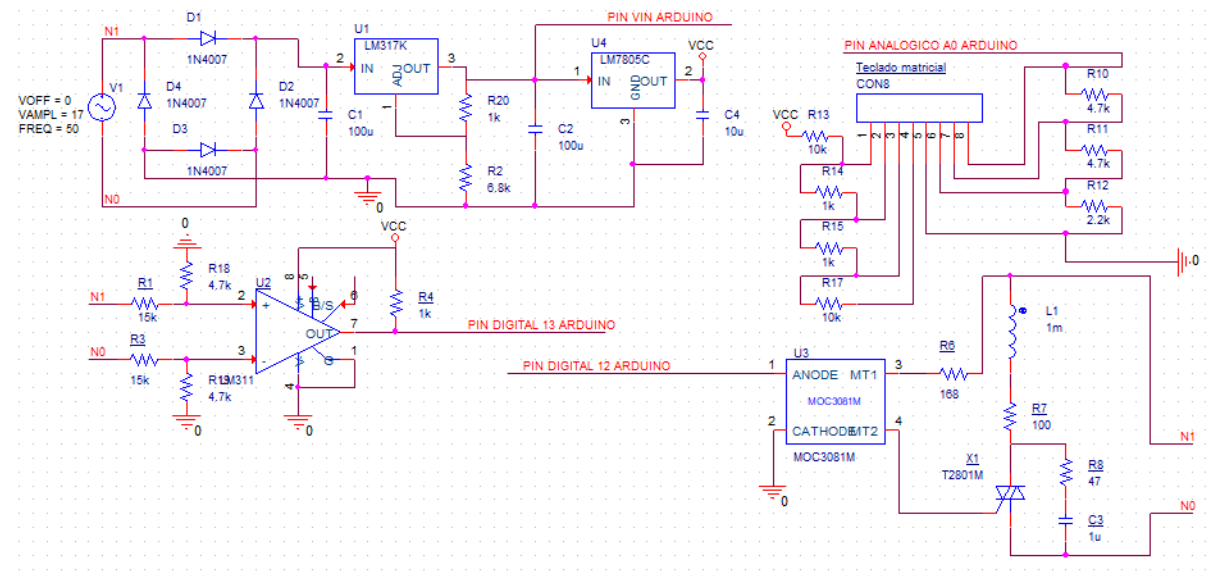


Figura 36. Esquema conexión Arduino-Circuitos

El funcionamiento es el siguiente, del circuito de detección paso por cero obtiene un cambio de nivel por el pin digital, que es de entrada, cada vez que la señal de la fuente de alimentación pasa por cero. Ese cambio de nivel sirve para que Arduino sepa que la señal ha cambiado de semiciclo, y así poder esperar el tiempo necesario para mandar un nivel alto al circuito de potencia. El funcionamiento de cada circuito está mencionado arriba y la programación de Arduino será explicada más adelante.

3.7. Programación

En este capítulo del proyecto se explicará el programa que utilizará Arduino para poder controlar el circuito de potencia y los demás circuitos y sistemas de visualización.

3.7.1. Bloque Arduino

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la programación se realizará en el entorno de programación IDE de Arduino, en la cual lo primero que hay que hacer cuando se empieza a escribir el código es incluir las bibliotecas que se utilizarán en el proyecto, en nuestro caso solo hará falta una, *LiquidCrystal.h*, útil para programar la pantalla LCD, por lo demás, no requerimos de ninguna biblioteca adicional a las que Arduino incluye de serie. A continuación, como en la mayoría de programas, hay que definir las variables que se van a utilizar para el proyecto, para después entrar en la parte de configuración o *setup*.

En la parte de configuración, se inicializan las variables si no se ha hecho ya anteriormente y, se define, tanto que tipo de pines se quiere (INPUT / OUTPUT) como que valor adquiere dicho pin, si es de salida, al comienzo del programa.



Tabla 2. Bloque de configuración de Arduino.

El bucle loop, es el programa que se ejecuta en bucle cuando Arduino está en funcionamiento, es un loop en el que se inicia leyendo el valor del teclado. Si es la tecla 'C', se establece mediante el teclado matricial el valor del ángulo de disparo deseado, para confirmar dicho ángulo, hay que volver a pulsar la tecla 'C'.

Una vez definido control del ángulo de disparo, se espera la detección de un cambio de estado en un pin digital, es la señal de cruce por cero, siempre que hay un cambio de estado, es un cruce por cero de la señal de alimentación.

Después de detectar el cruce por cero, se define la variable necesaria para que el pulso se mantenga activo para asegurar que no se pierde potencia cuando la corriente de la bobina no se ha descargado antes del pulso. Luego se activa el pulso y cuando se espera el tiempo establecido, se desactiva.

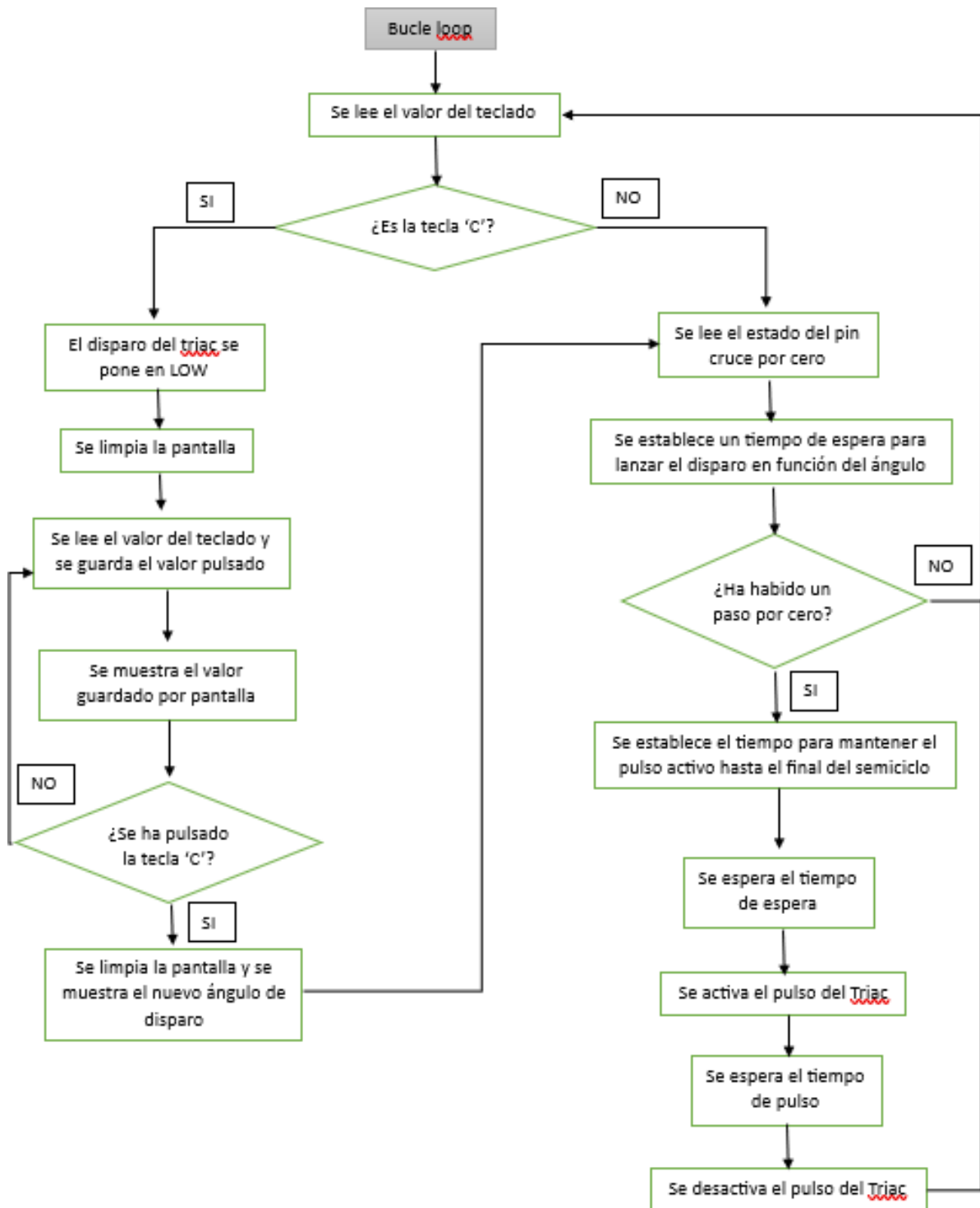


Tabla 3. Bloque loop Arduino potenciómetro.

3.7.2. Bloque visualización LCD en Arduino

Para programar el módulo LCD es necesario incluir la librería “*LiquidCrystal.h*”, no hace falta instalarla porque viene por defecto. Después, hay que indicar los pines, con el constructor “*LiquidCrystal()*”, en los que se va a establecer la conexión entre la placa Arduino y la pantalla LCD.

En el bloque de *setup* se indica el tamaño que tiene la pantalla LCD que se va a utilizar, usando el comando “*lcd.begin*”, en este caso es de 16 caracteres y 2 filas, a continuación, en el bloque de *loop* se escribe el código para mostrar lo que se quiera y donde se quiere, para ello se utiliza los comandos “*lcd.setCursor*” para indicar en que posición se va a empezar a escribir y “*lcd.print*” que muestra el texto que se desea, en este caso se hace una transformación de valores para tener el valor grados.

3.7.3. Bloque conexión Bluetooth

Otra manera de controlar Arduino es, a través del teléfono móvil, usando un módulo Bluetooth, pero para ello es necesario saber cómo se conecta y como se puede establecer una buena comunicación, para ello se ha empleado una aplicación móvil que se comunica con Arduino mediante Bluetooth por puerto serie.

El objetivo de la aplicación es controlar el ángulo de disparo a través de Bluetooth, para ello el diseño de la *app* tendrá un botón a partir del cual nos podremos conectar al módulo HC-06 de Arduino. Para controlar el ángulo de disparo se añade un *Slider* con valores desde 0 a 180, y una pequeña ventana donde se puede observar el valor del *Slider* en cada momento. Esto es lo necesario para poder programar la aplicación, en cuanto al diseño, se añaden ‘bloques vacíos’ que permiten tener un espacio entre textos y herramientas utilizadas. Como se ha mencionado, también se ha añadido cuadros de texto para que el usuario sea capaz de entender el funcionamiento de la aplicación y, por último, por estética, se ha añadido una imagen que será el fondo de la aplicación. A continuación, se puede ver en la Figura 37, como se ve el diseño en el

software App Inventor y en la Figura 38, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** como se ve la aplicación creada.

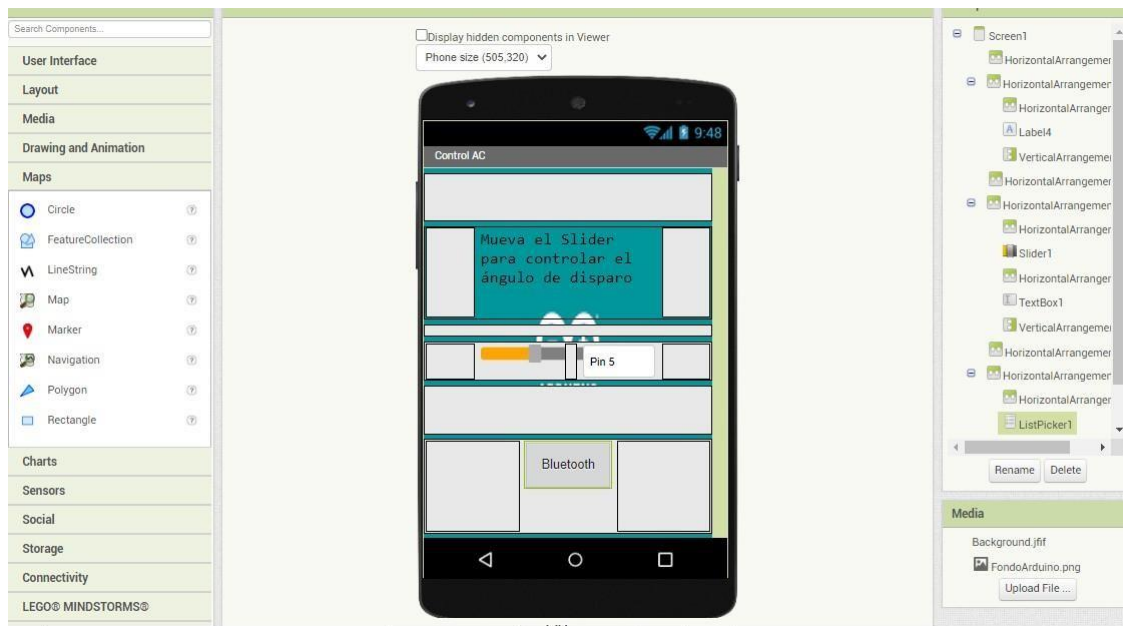
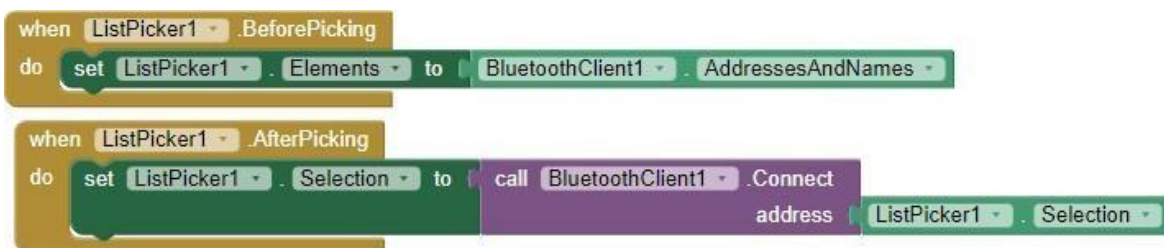


Figura 37. Interfaz diseño app

**Figura 38. Interfaz Usuario**

En cuanto a la programación de la aplicación, lo primero es añadir la función que permite la conexión por Bluetooth, como se puede ver en la Figura 39, se añade el bloque antes de pulsar en el botón y, en el bloque cuando se pulsa el botón se llama a la conexión Bluetooth.

**Figura 39. Programación Bluetooth**

La programación del Slider está compuesta por una condición, cuando el Slider cambie de posición, entonces, dependiendo de la posición que tenga mandará un

carácter por puerto serie, esto dificulta la posibilidad de hacer un Slider de 0 a 180 grados, por lo que se ha optado por hacer 10 saltos, de 18° cada uno, empezando por 0° y terminando en 180°. Se puede observar una parte de la programación por bloques en la Figura 40.

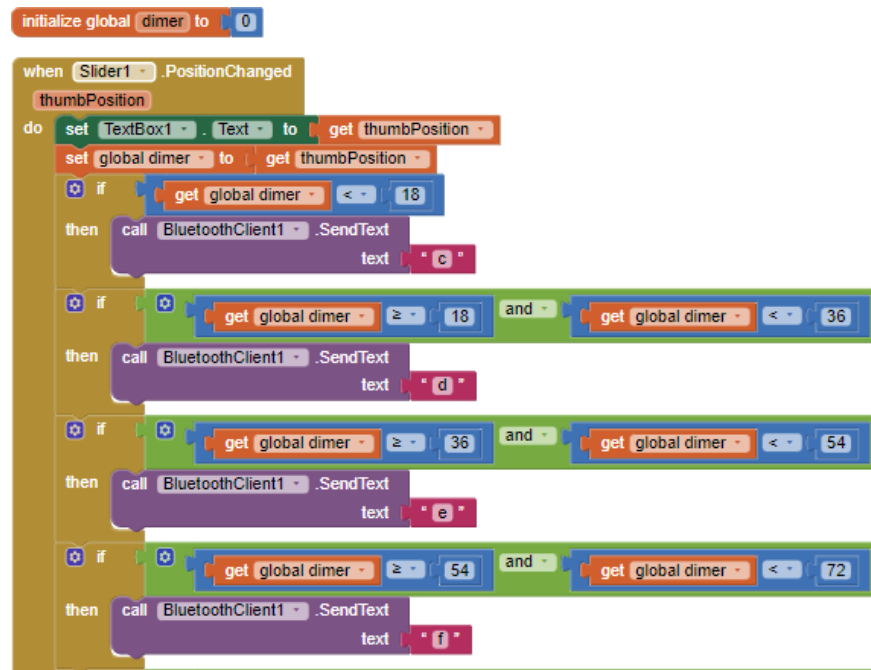


Figura 40. Programación slider Bluetooth

Para que se entienda mejor, en la Figura 41, se puede observar un diagrama de bloques que explica el sencillo funcionamiento de la aplicación.

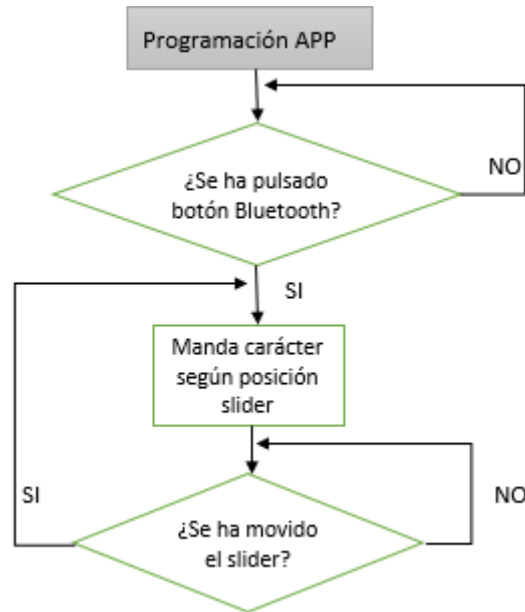


Figura 41. Diagrama bloque programación Bluetooth

3.8. Placa de circuito impreso

El diseño de la placa de circuito impreso ha sido realizado mediante el software Orcad PCB editor, tras intentar hacer todo el diseño de las pistas en una cara, resultó imposible, por lo que se ha optado por hacer el diseño por dos caras, una superior o TOP, y una inferior o BOTTOM.

A continuación, se muestra la placa de circuito impreso, donde las pistas de color amarillo son las de la cara inferior, y las pistas de color verde, las de la cara superior. Además de mostrar la colocación de todos los componentes. Todos los componentes están colocados en la cara superior o TOP.

Para el diseño de la anchura de las pistas se ha seguido como estándar la norma ANSI-IPC 2221. Las anchuras de las distintas pistas se obtienen de la siguiente ecuación

$$Ancho = \frac{\left(\frac{I}{k1 \cdot \Delta T^{k2}}\right)^{1/k3}}{L \cdot 1.378}$$

En donde:

- I: se corresponde con la corriente máxima, en amperios (A).
- ΔT : se corresponde con el incremento de temperatura máximo ($^{\circ}\text{C}$).
- L: se corresponde con el grosor de la capa de cobre, en onzas por pie cuadrado (oz/ft^2). En el caso de este proyecto $L=0.0305\text{mm}=0.8714\text{oz}/\text{ft}^2$
- k_1 : se corresponde con la constante de 0.0150 para pistas internas y 0.0647 para pistas externas.
- k_2 : se corresponde con la constante de 0.5453 para pistas internas y 0.4281 para pistas externas.
- k_3 : se corresponde con la constante de 0.7349 para pistas internas y 0.6732 para pistas externas.

El resultado de esta ecuación se obtiene en milésimas de pulgadas (mil), en el cual 1mm equivale a 2.54 milésimas de pulgada.

El ancho de las distintas pistas son las siguientes:

- Pistas para circuito de potencia

$$\text{Ancho} = \frac{\left(\frac{2}{0.0647 \cdot 15^{0.4281}}\right)^{1/0.6732}}{0.8714 \cdot 1.378} = 24.41 \text{ mil} = 0.622 \text{ mm}$$

- Pistas para el resto del circuito

$$\text{Ancho} = \frac{\left(\frac{1}{0.0647 \cdot 15^{0.4281}}\right)^{1/0.6732}}{0.8714 \cdot 1.378} = 10 \text{ mil} = 0.254 \text{ mm}$$

La anchura de las distintas pistas son las siguientes: para el circuito de potencia, según la ecuación y tomando las características del circuito, el ancho de pista es de 25 milésimas; mientras que para el resto del circuito es de 10 milésimas.

En el capítulo de planos, se mostrarán los diferentes planos de las pistas para el diseño, los *pads* y conexión, información de los taladros a realizar y planos de la posición de los diferentes componentes que forman la PCB.

En la Figura 42, se puede observar una vista en 2D de la PCB.

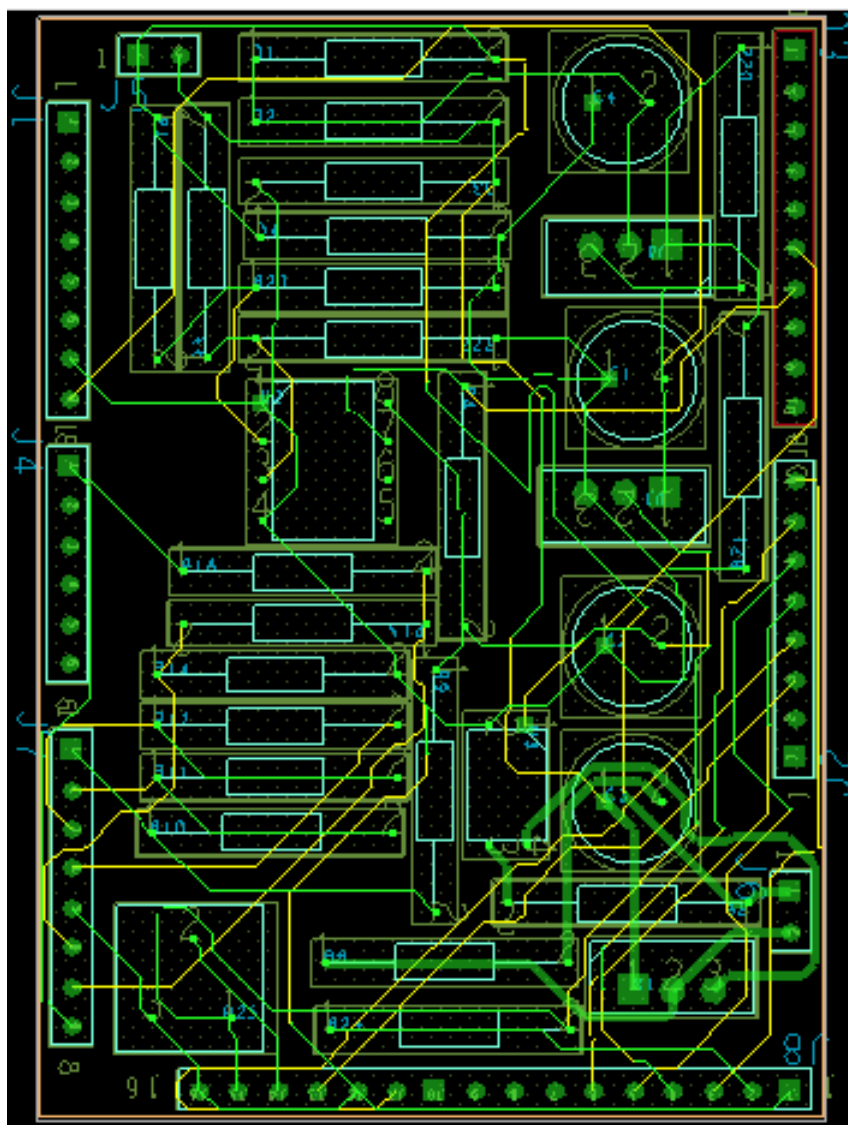


Figura 42. Diseño de la placa de circuito impreso.

4. ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se estudian los datos obtenidos en el análisis simulado.

Los datos teóricos provienen de la simulación del circuito de la Figura 43, eliminando el componente inductivo (bobina) en el caso de simulación de carga puramente resistiva.

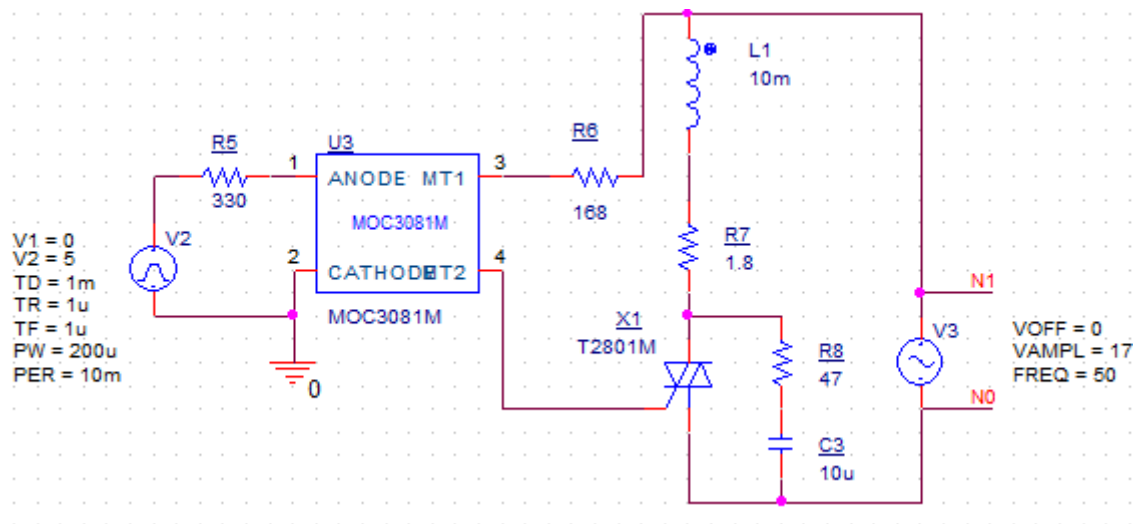


Figura 43. Circuito de simulación.

Primero hay que tener en cuenta los límites de los componentes; el Triac que se está utilizando para la simulación, según su hoja de características, necesita al menos 100mA para poder ser activado; en la patilla de activación del Triac, la corriente que se requiere para poder activar el mismo, es de 25mA aproximadamente; en el caso de carga puramente resistiva, al prescindir del componente inductivo, el filtro RC del Triac puede tener unos valores más bajos. Eligiéndose un valor de resistencia de 3.3Ω y una capacidad del condensador de $0.1\mu F$.

4.1. Ensayos con carga puramente resistiva.

El objetivo es estudiar el comportamiento de la potencia en la carga, para ello es fundamental controlar dos parámetros, la intensidad que la recorre y la tensión que cae sobre ella, según la fórmula de la potencia eléctrica.

$$P = V \cdot I$$

Ecuación 7. Fórmula potencia eléctrica.

Los ensayos se realizarán fijando los valores de la señal de entrada del circuito de potencia, el valor de la carga y el ángulo de disparo.

El primer ensayo consta de saber que corriente circula por la carga en el momento del disparo, con el fin de saber si dicha corriente sobrepasa los 100 mA necesarios para que el Triac se active. Una vez se corrobora dicha condición necesaria para que el circuito funcione, se calcula el valor medio de la potencia absorbida por la carga. Para solucionar esta condición limitante, se aprovecha la solución que se le ha dado al problema de la inductancia, anteriormente explicado, al mantenerse el pulso, desaparece este problema.

Ensayo con una señal de entrada senoidal de amplitud: 17 V y frecuencia: 50 Hz. Y una carga puramente resistiva de valor: 10 Ω :

- Simulación con OrCAD Capture:

Amplitud señal entrada (V)	Tiempo de disparo (ms)	Resistencia (Ω)	Intensidad de disparo (A)	Potencia media (W)	Ángulo disparo (°)
17	1	10	0,49	12,9	18
17	2	10	0,94	12,4	36
17	3	10	1,3	11,41	54
17	4	10	1,55	9,11	72
17	5	10	1,63	6,56	90
17	6	10	1,54	3,97	108
17	7	10	1,29	1,87	126
17	8	10	0,935	0,584	144
17	9	10	0,55	0,116	162

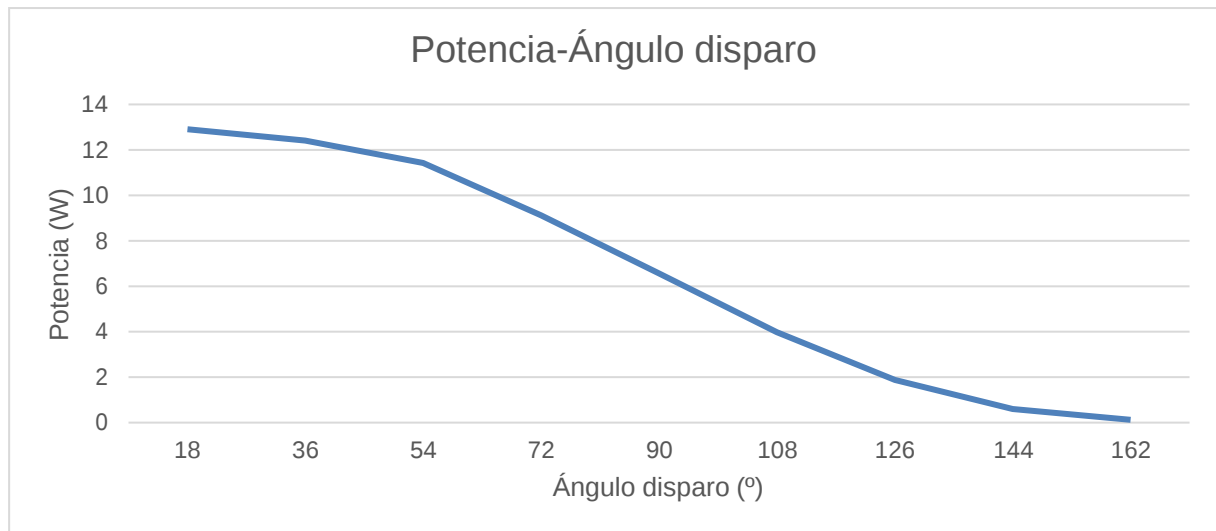


Figura 44. Relación potencia-ángulo disparo con $R=10\Omega$.

Se puede observar en la Figura 44, como era de esperar, a menor ángulo de disparo, mayor es el voltaje que cae en la carga y, como consecuencia, mayor potencia.

Ahora se fija un valor de ángulo de disparo y se varía el valor resistivo para observar cómo afecta en la potencia.:

- Simulación

Amplitud señal entrada (V)	Tiempo de disparo (ms)	Resistencia (Ω)	Intensidad de disparo (A)	Potencia media (W)	Ángulo disparo (°)
17	4	10	1,55	9,11	72
17	4	33	0,5	2,77	72
17	4	51	0,306	1,78	72
17	4	68	0,23	1,32	72
17	4	82	0,2	1,107	72
17	4	100	0,12	0,915	72

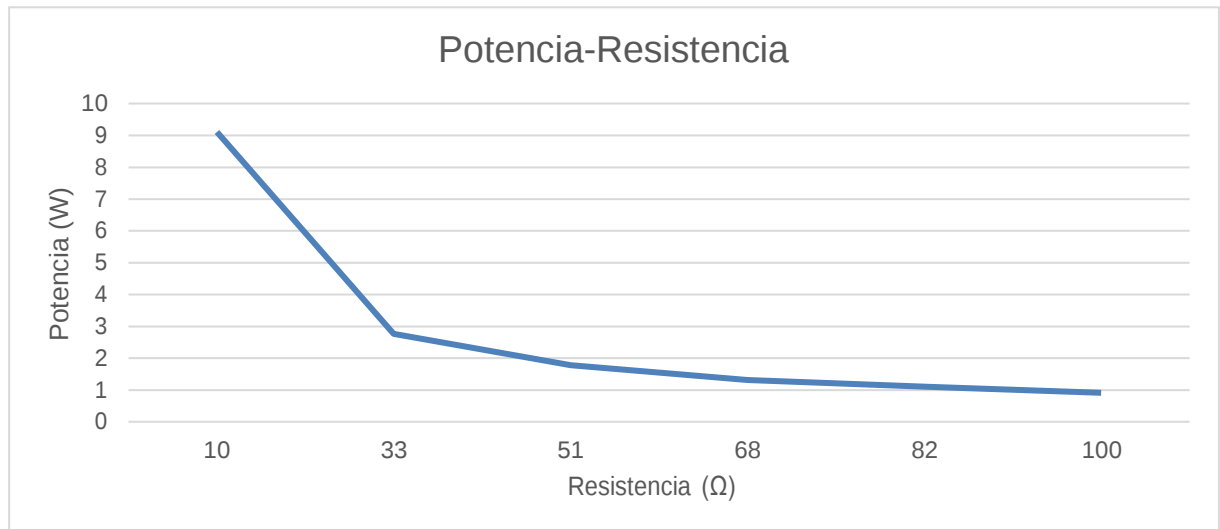


Figura 45. Relación potencia-resistencia con Ángulo desfase=72°

En este caso, Figura 45, se observa que, manteniendo el ángulo de disparo, al aumentar la carga, menor corriente circula por ella, como la tensión se mantiene constante y, en consecuencia, menor potencia.

Otra observación en la simulación con OrCAD es, que cuanto mayor valor en la carga, menor es la corriente que la recorre, ya que la tensión es la misma en todo momento. Por lo que, si no se mantuviera el pulso, habría una parte de potencia que se pierde cuando, después de activarse el Triac y funcionar el circuito, baja de 100 mA la corriente y el Triac se desactiva, tal y como se puede observar en la Figura 46.

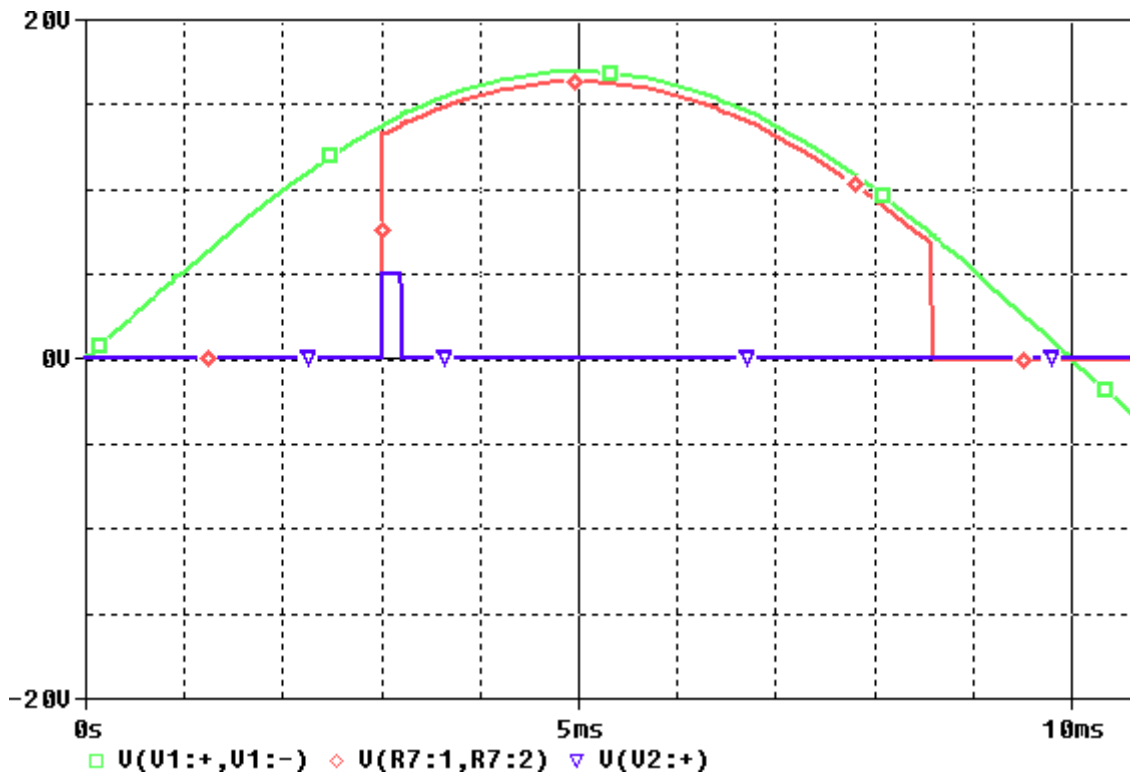


Figura 46. Pérdida de potencia por limitación del Triac.

La gráfica roja representa la tensión en la carga, la verde la señal de entrada y la azul el disparo mandado por Arduino. Como se puede observar en la señal roja, al llegar a la altura de 9.5 ms aproximadamente, cae la tensión a cero, resultado de que la corriente por la carga acaba de bajar de 100 mA, y como consecuencia, provocando una pequeña pérdida de potencia.

4.2. Ensayos con carga inductiva.

Este caso es diferente, ya que, cuando un inductor forma parte de un circuito y, a través de él pasa una corriente eléctrica variable, esta crea un campo magnético en el inductor que induce a su vez una fuerza electromotriz que se opone a quien la está creando. Esto provoca tanto que, cuando se active el disparo, la corriente no aumente de manera brusca y que, haya un desfase entre la tensión y la corriente en la carga, la corriente está retrasada con respecto a la tensión, como se puede observar en la Figura 47.

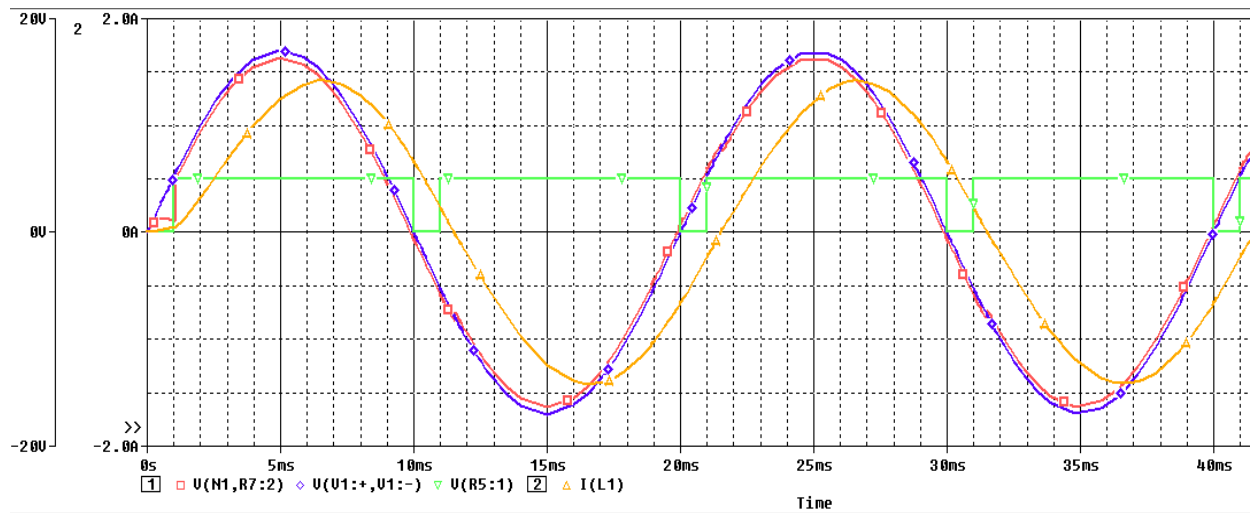


Figura 47. Osciloscopio manteniendo pulso activado hasta el final del semiciclo.

El desfase entre la corriente y la tensión en la carga depende del valor de la resistencia y de la impedancia de la bobina, calculada siguiendo la siguiente ecuación.

$$\alpha = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R}$$

Ecuación 8. Ángulo desfase entre tensión y corriente en la carga.

En los ensayos que se van a realizar, se va a fijar el valor de la resistencia a 10 Ω , la frecuencia también es fija, siendo de 50 Hz y la señal de entrada sigue siendo una señal senoidal de amplitud 17 V. Por lo tanto, el desfase dependerá del valor de la bobina, cuanto más alta sea la inductancia, mayor ángulo de desfase y viceversa.

El primer ensayo consta de observar la potencia absorbida por la carga, manteniendo fijo los valores de la resistencia y la bobina y, variando el ángulo de disparo.

Tensión pico Entrada (V)	Resistencia (Ω)	Valor bobina (mH)	Tiempo de disparo (ms)	Ángulo de disparo ($^\circ$)	Potencia media (W)	Ángulo desfase ($^\circ$)
17	10	4,7	1	18	12,6	8,4
17	10	4,7	2	36	12	8,4
17	10	4,7	3	54	10,6	8,4
17	10	4,7	4	72	8,4	8,4
17	10	4,7	5	90	5,8	8,4
17	10	4,7	6	108	3,32	8,4
17	10	4,7	7	126	1,44	8,4
17	10	4,7	8	144	0,381	8,4
17	10	4,7	9	162	0,061	8,4

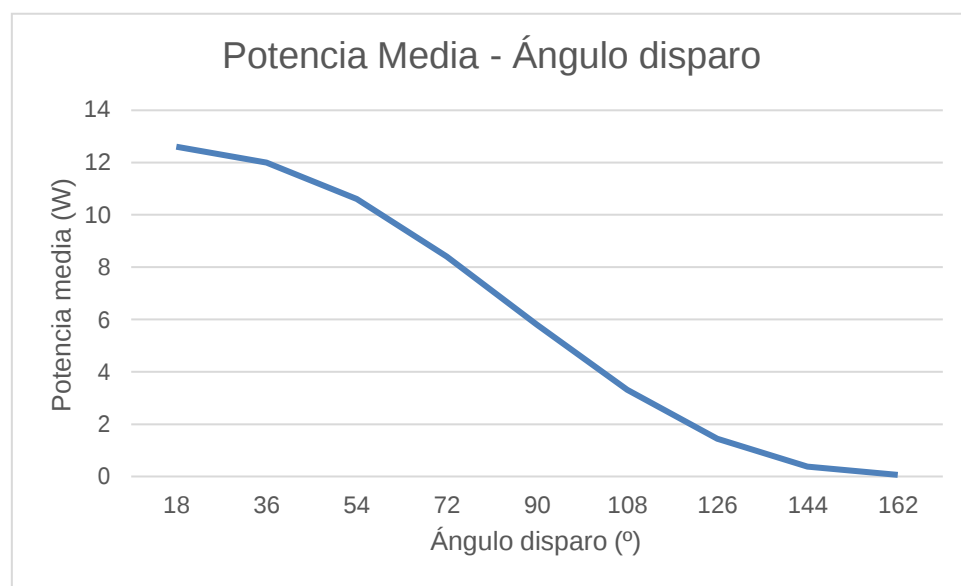


Figura 48. Potencia media con una inductancia de 4.7mH.

En la Figura 48, de la misma forma que con una carga puramente resistiva, a mayor ángulo de disparo, menor potencia en la carga. Comprobando que el circuito funciona.

En el segundo ensayo, se comprueba que, con el mismo ángulo de disparo, 72°, como varia la potencia en la carga, manteniendo el mismo valor resistivo y variando solo el inductivo. Esto se debe a que la potencia de la bobina depende de la inductancia según la siguiente ecuación.

$$P = \frac{U^2}{X_L}$$

Ecuación 9. Potencia de una bobina.

Cuanto más grande sea el valor de la inductancia, menor será la potencia, como se puede observar en la Figura 49.

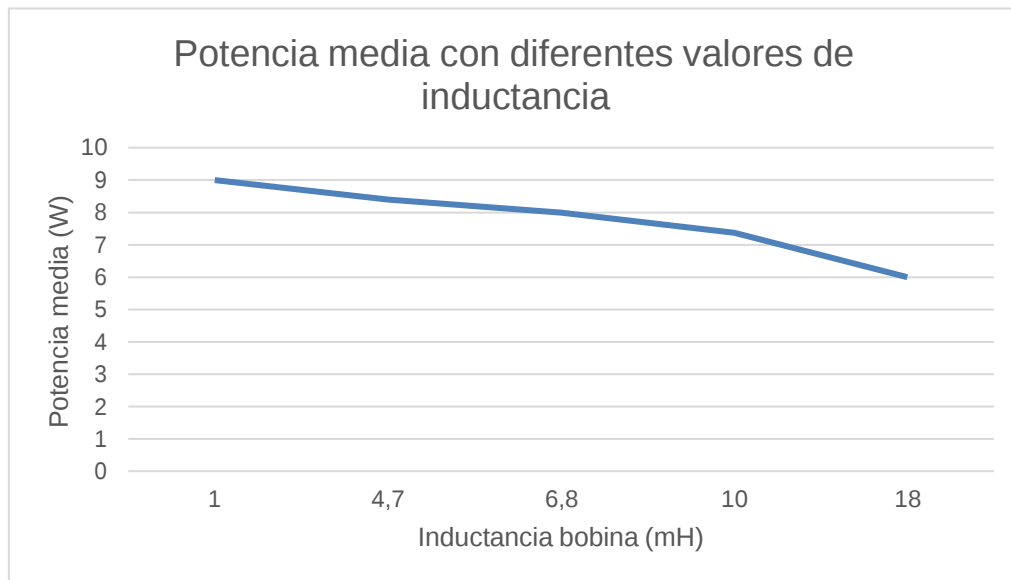


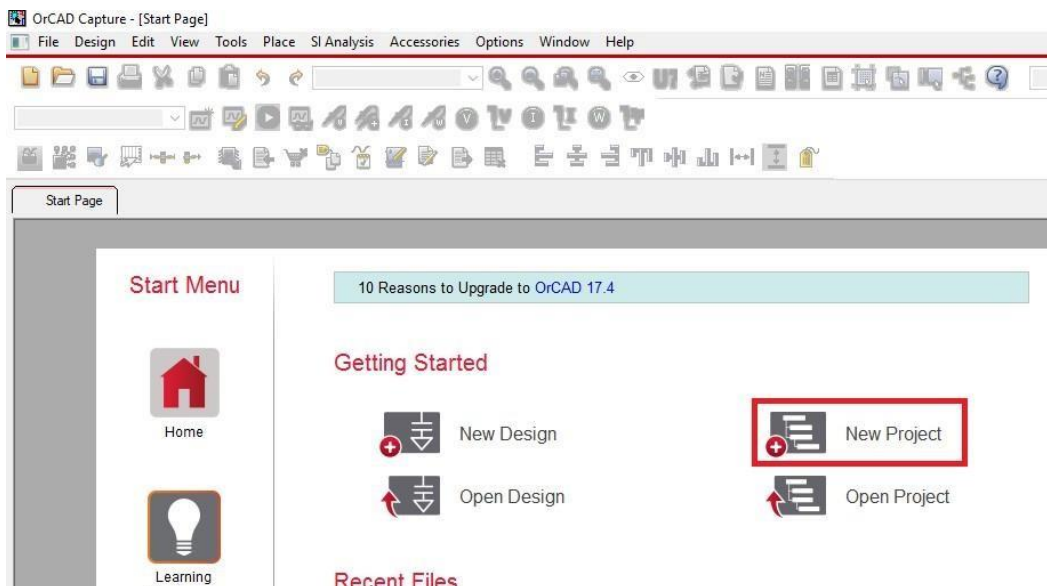
Figura 49. Potencia media variando el valor de la inductancia.

4.3. Simulación parte digital

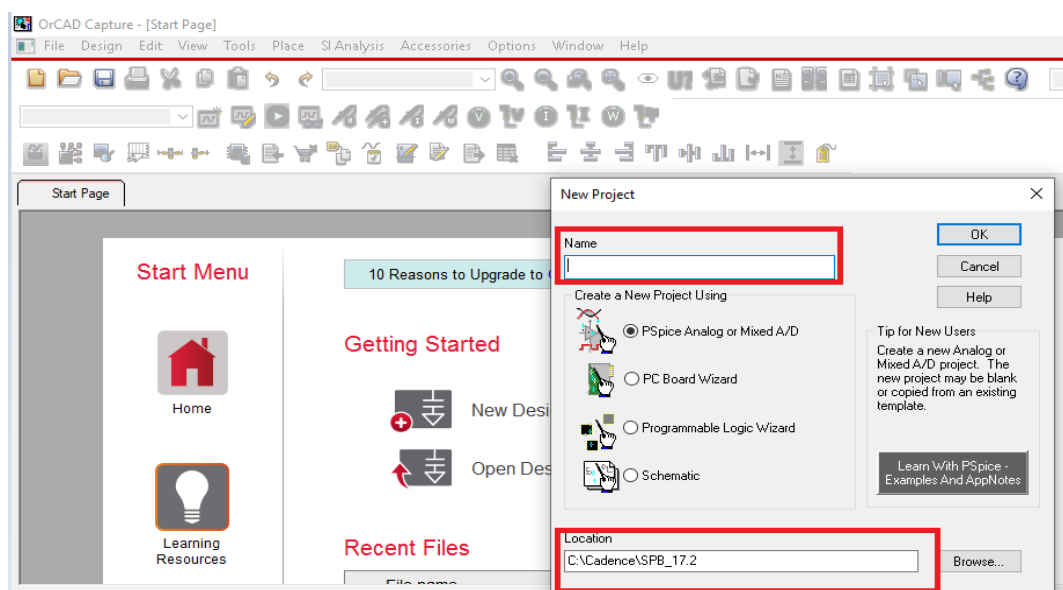
4.3.1. Simulación OrCAD

Como se ha comentado en el trabajo, OrCAD es un software de pago, a pesar de ello, se puede probar gratuitamente y, algunas universidades tienen licencias para poder usarlo como estudiante. Por lo que, una vez instalado, se procede a lo siguiente.

Al abrir el programa, lo mostrado en la Figura 50, es lo primero que se ve, pulsamos en "New Project".

**Figura 50. Página inicio OrCAD**

Se elige un nombre para el proyecto y se elige la carpeta donde se quiere guardar el proyecto, según la Figura 51.

**Figura 51. Selección nombre y directorio**

El siguiente paso es colocar los componentes que componen el circuito, para ello se pulsa el botón que aparece en la Figura 52, al lado del número 1, se seleccionan

las librerías necesarias pulsando el botón 2 y, en la barra abajo del número 3, se filtra el componente que buscamos.

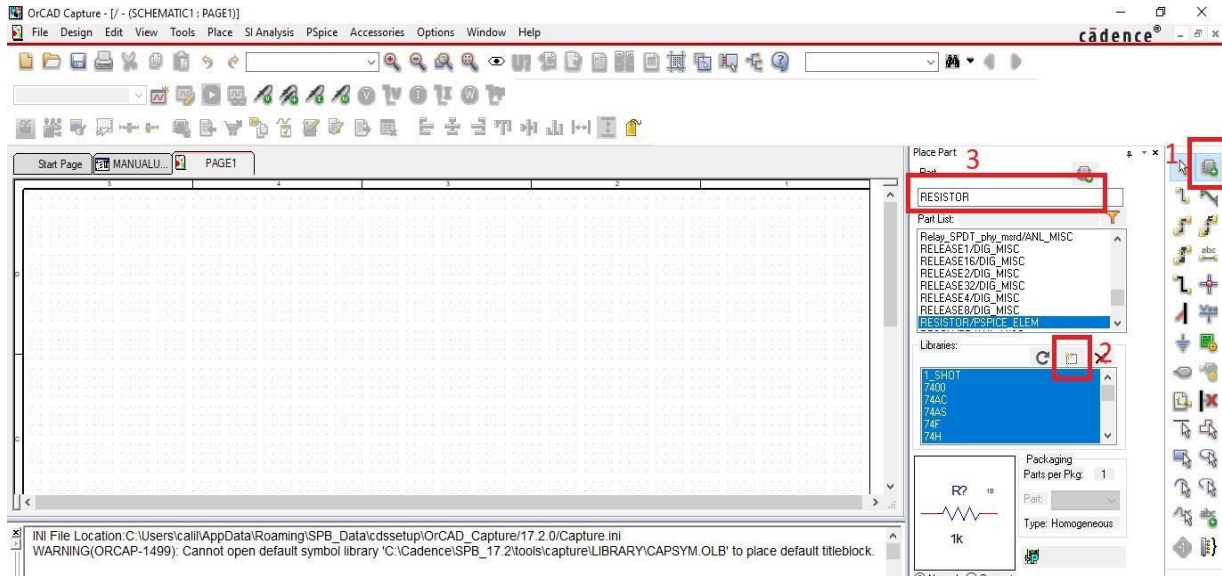


Figura 52. Colocación de componentes

Una vez terminado el circuito, para simular, se crea una simulación, pulsando el botón 1, Figura 53, luego se elige el nombre que se desee para la simulación y, se ajustan los parámetros de simulación, Figura 54.

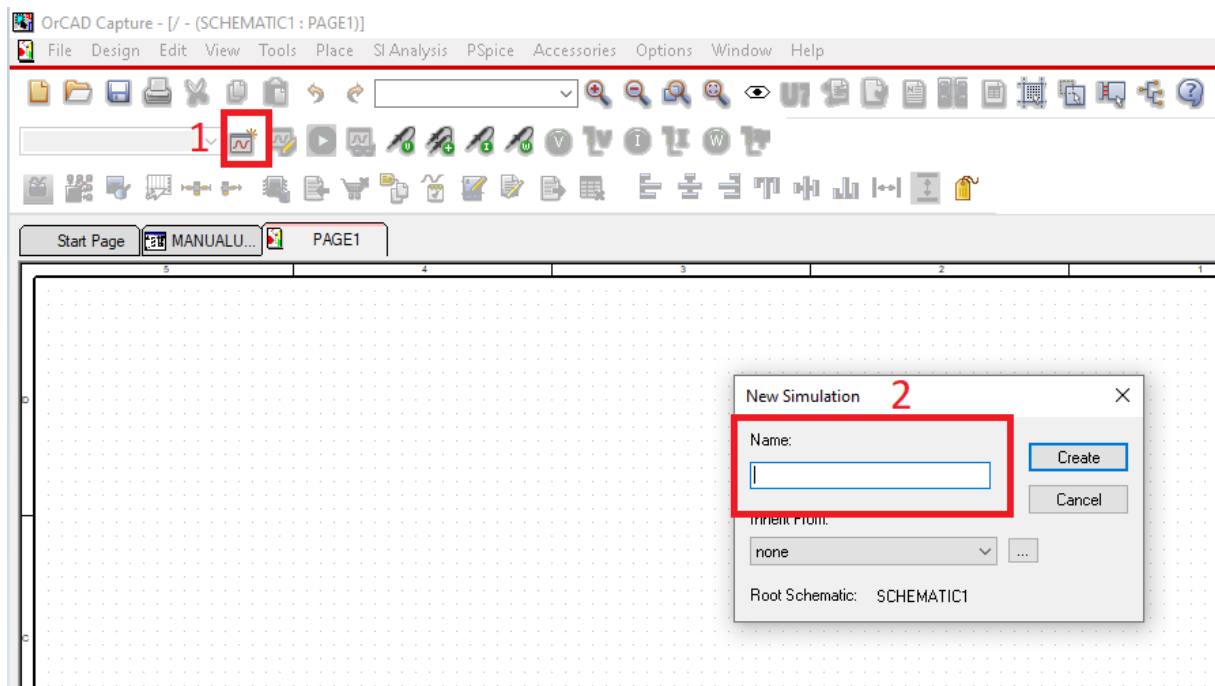


Figura 53. Crear una simulación

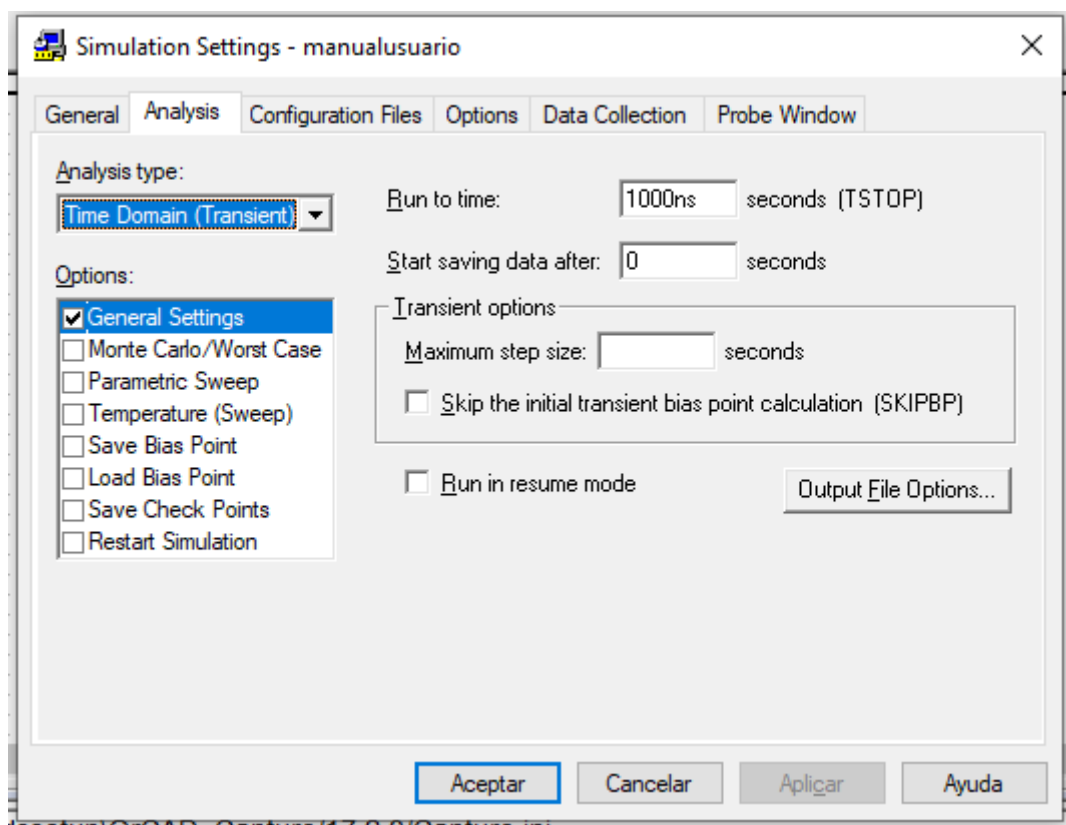


Figura 54. Parámetros de simulación

Una vez finalizado, se puede guardar el proyecto y la simulación, para más ayuda a cerca del uso de OrCAD Pspice, se ofrecen ayudas para aprender en la barra de herramientas.

4.3.2. Simulación Proteus

Como mencionado anteriormente con OrCAD, Proteus es un software de pago, que también incluye una prueba gratuita y, siendo estudiante, un año de prueba. La manera de trabajar de ambos es muy similar. Una vez instalada, se encuentra esta ventana, mostrada en la Figura 55, en la cual se crea un nuevo proyecto.

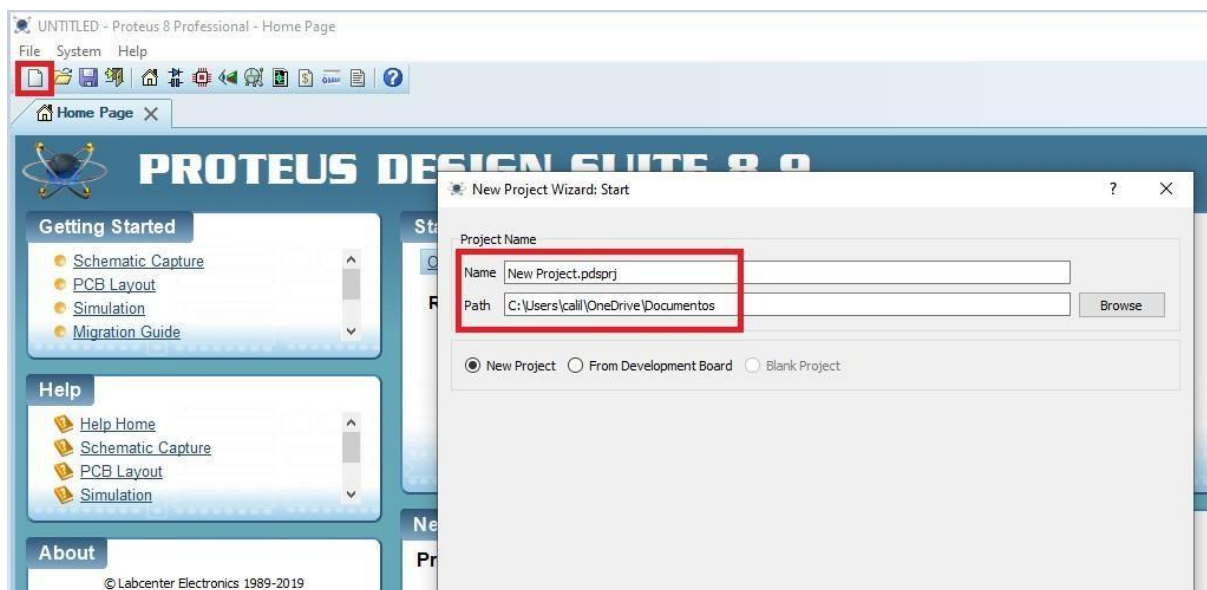


Figura 55. Creación proyecto en Proteus

Al igual que en OrCAD, una vez creado el proyecto, se diseña el circuito deseado, buscando los componentes tal como aparece en la Figura 56. Una particularidad de Proteus es, que se puede simular tarjetas de Arduino.

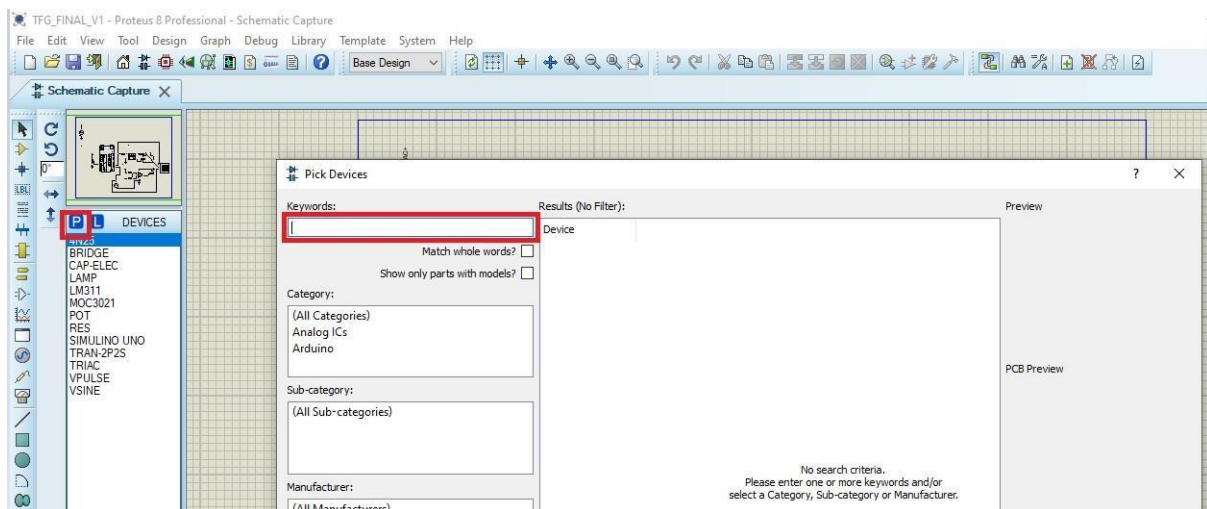


Figura 56. Selección componentes

Cuando el circuito está montado, se simula pulsando el botón de abajo izquierda, tal como se muestra en la siguiente Figura 57.

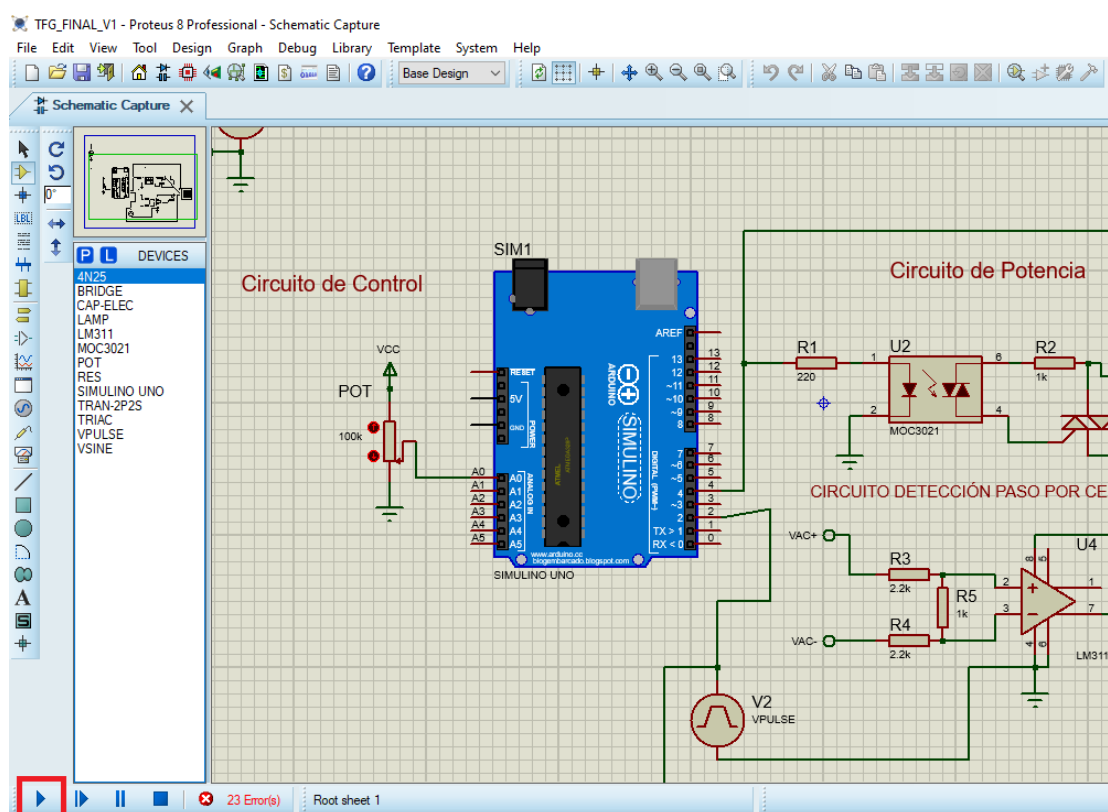


Figura 57. Simular circuito en Proteus

Como la mayoría de softwares de simulación, Proteus tiene un menú de ayuda para usuarios principiantes, en la barra de herramientas, donde se incluyen tutoriales y ejemplos.

4.3.3. Simulación pantalla LCD y teclado matricial

Para la simulación en Proteus, se ha usado un circuito que no refleja la realidad, ya que, por ejemplo, las tierras se colocan para facilitar la simulación y, solo funciona un semiciclo. Es por ello que en Proteus solo se ha simulado la parte digital de Arduino.

Mediante el teclado matricial se introduce el ángulo de disparo deseado, desde 0° a 180°, para mandar el ángulo de disparo es necesario:

1. Pulsar tecla no numérica para introducir el ángulo de disparo.
2. Introducir el ángulo de disparo deseado.
3. Confirmar con la misma tecla no numérica.

Una vez se complete este proceso, la pantalla LCD mostrará la información del ángulo de disparo seleccionado. En el osciloscopio deberá verse reflejado el resultado. A continuación, se muestra una demostración del funcionamiento.

En la Figura 588, se elige el ángulo de disparo. En este caso, será de 50°. Se pulsa la tecla número 5, después, se pulsa la tecla número 0 y, para finalizar, se pulsa la tecla "#".

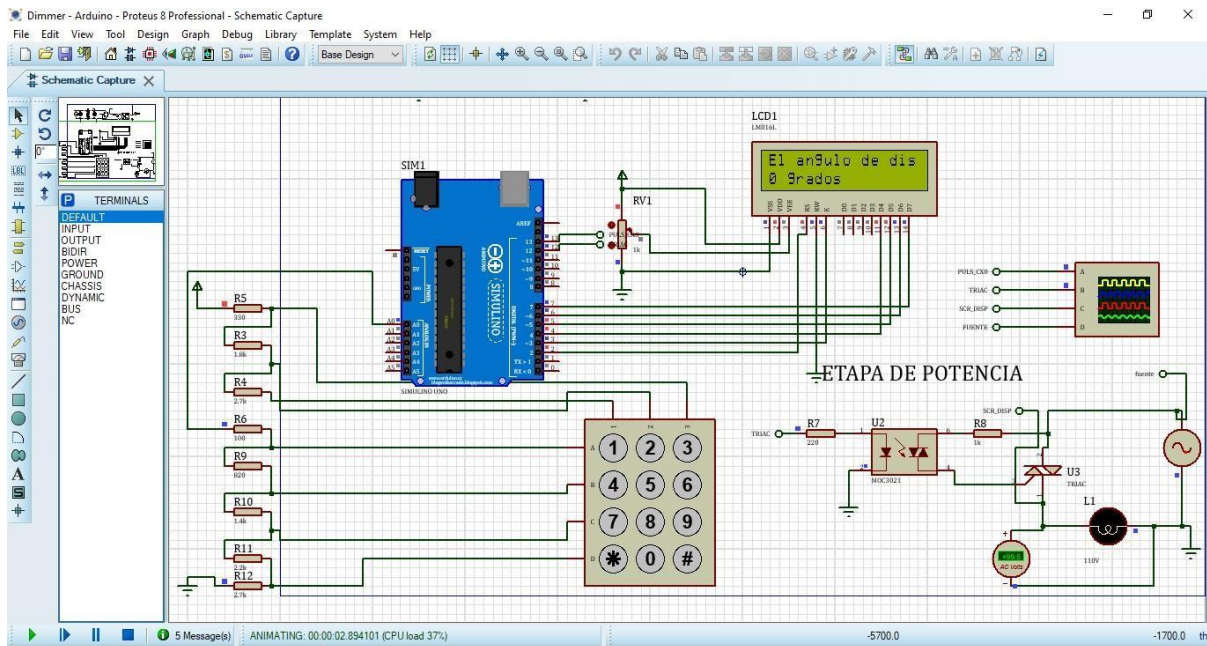


Figura 58. Esquema circuito digital

Como se puede observar, la carga, se ha elegido una lámpara para poder ver visualmente el funcionamiento, en este caso, se encuentra con un ángulo de disparo de 0° .

El osciloscopio muestra, la señal azul, el disparo que manda Arduino mediante la salida digital, la señal roja, la señal de tensión de la carga, y la señal verde, la señal de entrada del circuito. En la Figura 599, se ve reflejado el resultado inicial, con un ángulo de disparo de 0° .

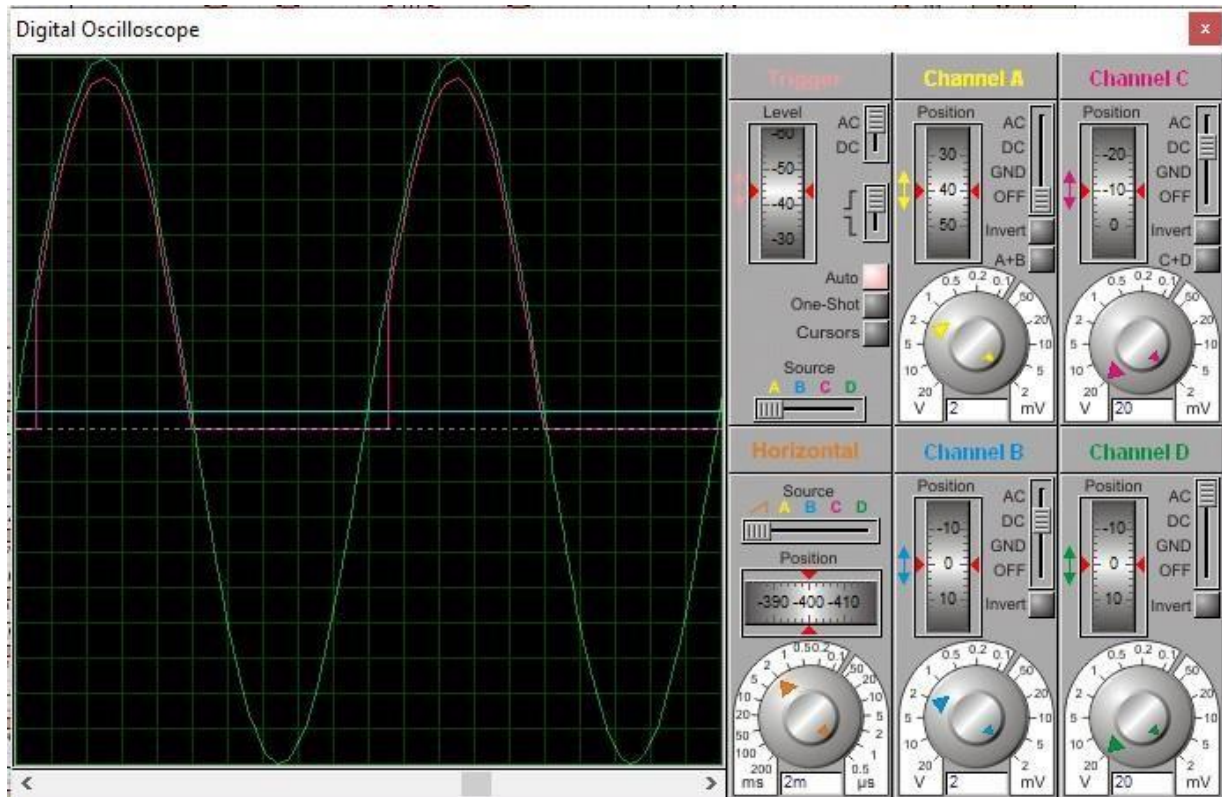


Figura 59. Osciloscopio con ángulo de disparo de 0°

Ahora se procede a insertar el ángulo de disparo de 50° y se mostrará el resultado de la información en la pantalla LCD en la Figura 6060, y el osciloscopio en la Figura 6161.

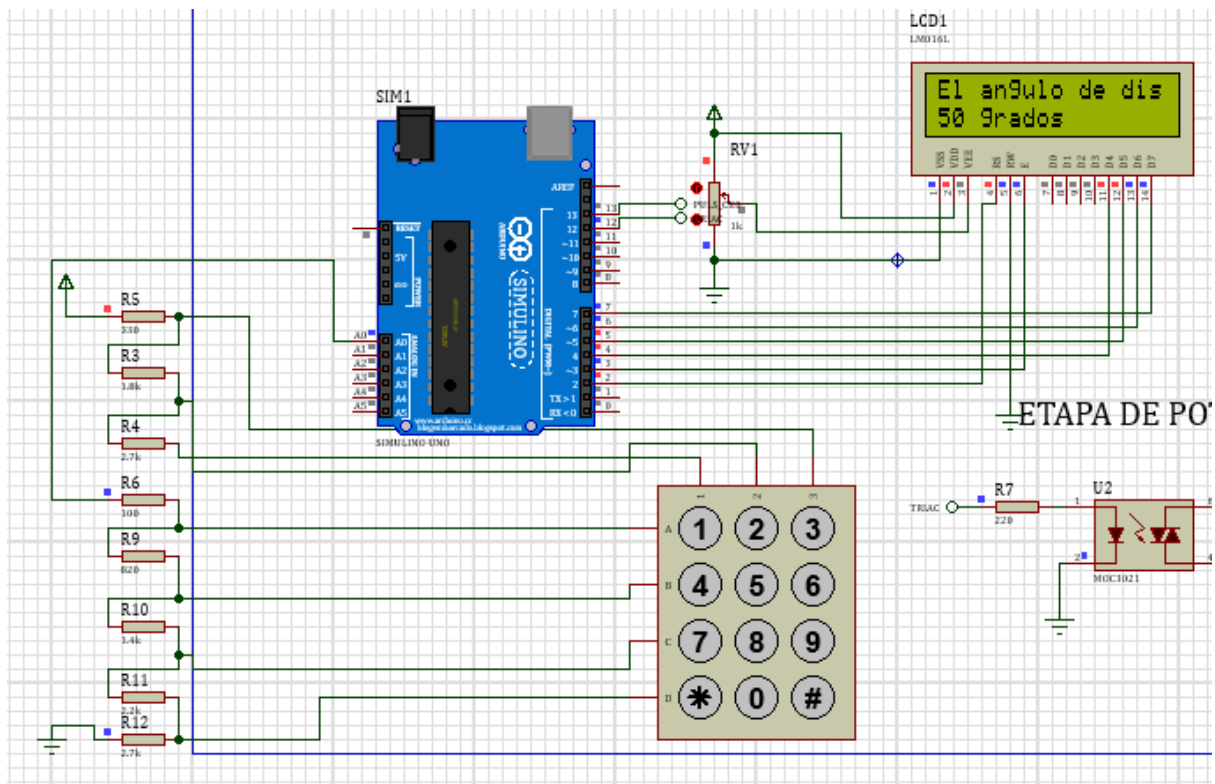


Figura 60. Pantalla LCD muestra la información el ángulo de disparo

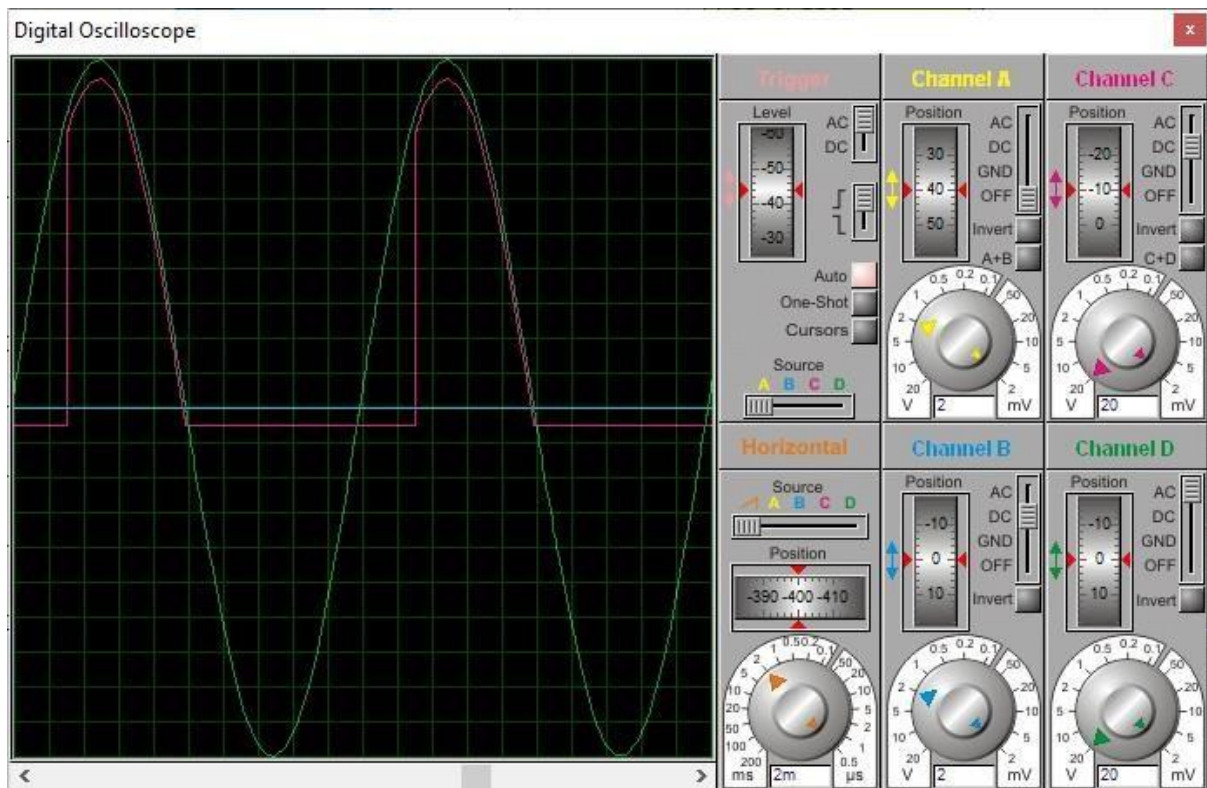


Figura 61. La señal en la carga ha disminuido

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El sistema es un regulador de corriente alterna monofásica controlado por la plataforma de Arduino y totalmente autónomo. Dispone de dos modos de control; uno vía Bluetooth; otro mediante un teclado matricial. Y una pantalla LCD para visualizar el ángulo de disparo.

Se ha conseguido obtener una tensión de salida en el convertidor de 5V, que alimenta la placa Arduino y varios circuitos.

Para asegurar que no se daña la placa Arduino con sobretensiones en el circuito de potencia, se ha utilizado un componente protector, que no está conectado físicamente entre sí, como un optoacoplador.

Se ha logrado trabajar con unos valores de carga resistiva de hasta $1\text{k}\Omega$ y una inductancia de hasta 100mH . Pero, para limitar la corriente del circuito de potencia, se recortará el rango de valores de la carga resistiva desde 10Ω hasta $1\text{k}\Omega$.

Después de realizar el estudio y el diseño de este regulador se puede observar que, tras incluir los distintos componentes auxiliares, este regulador es totalmente autónomo, es decir, conectando sólo la tensión de alimentación el sistema funciona de forma indefinida controlando de forma exacta la tensión de salida requerida.

Con respecto a los trabajos futuros que se pueden realizar siguiendo la línea de este proyecto, se podría cambiar la señal de entrada del circuito de potencia, eliminando el transformador y, como consecuencia, tener la misma amplitud que la red doméstica. Aumentando considerablemente la potencia con la que trabaja el circuito de potencia.

Otra modificación interesante sería poder variar los valores del filtro RC, ya que depende de la carga que se conecte, puede tener unos valores u otros para que sea más eficiente, una propuesta podría ser usar una resistencia variable para el componente resistivo y un tipo de selector donde se puedan elegir varios valores capacitivos del condensador.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] D. W. Hart, Power Electronics, 2011.

[2] M. H. Rashid, Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. Tercera edición.

[3] LCD Arduino, 2022. [En línea]. Available:
<https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/lcd/>

[4] Soluciones industriales | RS, anteriormente RS Components: <https://es.rs-online.com/web/>

[5] Datasheet(PDF) Gratis: <https://www.alldatasheet.com/>

[6] Arduino Forum: <https://forum.arduino.cc/>

[7] Tutoriales y preguntas frecuentes:
<https://blogs.uaen.es/lmnieto2/category/tutoriales/>

[8] Foros de electrónica: <https://www.forosdeelectronica.com/>

[9] Aplicaciones de reguladores de voltaje. (s.f.). Obtenido de <https://reguladores-de-voltaje.com/aplicaciones-de-los-reguladores-de-voltaje.html>

[10] App Inventor. (s.f.). Obtenido de <https://appinventor.mit.edu/explore/ai2/tutorials>

[11] Arduino. (s.f.). Obtenido de <https://www.arduino.cc/>

[12] Filtro RC Snubber. (s.f.). Obtenido de
<https://www.cemdal.com/2019/07/25/m%C3%A9todo-de-c%C3%A1lculo-de-un-circuito-snubber/>

[13] LabCenter. (s.f.). Obtenido de <https://www.labcenter.com/free-trial/>

[14] OrCAD. (s.f.). Obtenido de <https://www.orcad.com/orcad-free-trial>

[15] Uso del módulo HC06 con Arduino. (s.f.). Obtenido de
https://naylampmechatronics.com/blog/12_tutorial-basico-de-uso-del-modulo-bluetooth-hc-06-y-hc-05.html

PLIEGO DE CONDICIONES

1. ESPECIFICACIONES

El sistema es un regulador de corriente alterna controlador por la plataforma Arduino y totalmente autónomo. Dispone de una pantalla LCD para visualizar el ángulo de disparo que controla la potencia entregada a la carga, así como un teclado o un potenciómetro para poder elegir dicho ángulo.

Las siguientes especificaciones son para una carga RL de: $R = 10\Omega$ y $L = 4.7\text{mH}$.

- Tensión de entrada al controlador Arduino: 12V DC
- Tensión de salida del controlador Arduino: 5V DC
- Tensión de entrada a los tres circuitos: 17V AC
- Corriente máxima circuito potencia: 1.7 A
- Frecuencia de trabajo: 50Hz
- Control de la tensión de salida gobernado por Arduino
- Control de mando que consiste, o bien en un teclado, o bien un potenciómetro, y circuito de visualización del ángulo de disparo, consiste en una pantalla LCD de 2 filas por 16 columnas
- Diseño de una placa de circuito impreso, PCB, que contenga toda la circuitería, a excepción del propio Arduino, y que sea directamente conectable al mismo.

Los componentes auxiliares tienen las siguientes especificaciones:

- Pantalla LCD de 2x16
 - Voltaje de funcionamiento de 4.7V a 5.3V
 - Consumo de corriente de 1mA sin retroiluminación
 - Módulo de pantalla LCD alfanumérico
 - Consta de dos filas y cada fila puede imprimir 16 caracteres
 - Puede funcionar tanto en modo de 8 bits como de 4 bits

- Teclado matricial de 4x4
 - Consta de 16 botones, 4 columnas y 4 filas
 - Máximo voltaje operación: 24V DC
 - Máxima corriente operación: 30mA
 - Resistencia de aislamiento de 100MΩ

- Regulador de voltaje ajustable LM317
 - Tensión de salida ajustable entre 1.25V y 37V DC
 - Corriente máxima salida de 1.5A
 - Máxima diferencia entre el voltaje de entrada y salida de 40V
 - Máxima corriente cuando la diferencia de voltaje es de 15V es de 2.2A

- Regulador de voltaje LM7805
 - Tensión de salida de 5V DC
 - Corriente máxima salida de 1A
 - Rango de voltaje de entrada entre 7V Y 35V DC
 - Protección contra corto circuito

- Comparador de voltaje LM311
 - Voltaje de alimentación: $\pm 2.5V - 18V$
 - Corriente máxima de salida: 50mA
 - Voltaje de compensación de entrada: 7.5mV

- Optoacoplador MOC3020
 - Rango corriente de disparo del LED: 15mA – 30mA
 - Voltaje inverso del LED máximo: 6V
 - Voltaje de salida pico repetitivo máximo: 400V

- Triac T2801M
 - Voltaje de salida pico repetitivo máximo: 500V
 - Corriente máxima: 6A
 - Corriente mantenida: 100mA
 - Corriente de puerta de disparo: 80mA

2. MANUAL DE USUARIO

2.1. Programación de Arduino

En primer lugar, se tiene que descargar e instalar el software IDE de Arduino en la página oficial, Figura 6262.

The screenshot shows the Arduino website's navigation bar with links: HARDWARE, SOFTWARE (highlighted), CLOUD, DOCUMENTATION, COMMUNITY, BLOG, and ABOUT. Below the navigation bar, there are three main sections:

- Arduino Web Editor:** A section promoting online coding with a "CODE ONLINE" button and a "GETTING STARTED" link.
- Downloads:** A section for downloading the Arduino IDE 2.0.4. It includes a description of the new release, a link to the documentation, and a list of download options for Windows, Linux, and macOS.
- Over-the-Air Updates:** A section promoting the "Over-the-Air Updates" feature with a "DISCOVER MORE" link.

The "Downloads" section details the following information:

- Arduino IDE 2.0.4:** The new major release is faster and more powerful, featuring a modern editor, responsive interface, autocompletion, code navigation, and a live debugger.
- Documentation:** For more details, refer to the [Arduino IDE 2.0 documentation](#).
- Nightly builds:** Available through the section below.
- Download Options:**
 - Windows:** Win 10 and newer, 64 bits; MSI installer; ZIP file.
 - Linux:** Appliance 64 bits (X86-64); ZIP file 64 bits (X86-64).
 - macOS:** Intel, 10.14: "Mojave" or newer, 64 bits; Apple Silicon, 11: "Big Sur" or newer, 64 bits.
- Release Notes:** A link to the release notes.

Figura 62. Entorno descarga software Arduino.

Una vez finalizada la instalación del software, se tiene que abrir dicho software para, posteriormente, conectar la placa de Arduino UNO al PC mediante el puerto

USB. Después de conectarlo hay que seleccionar la placa que se está utilizando, tal y como se muestra en la Figura 6363.

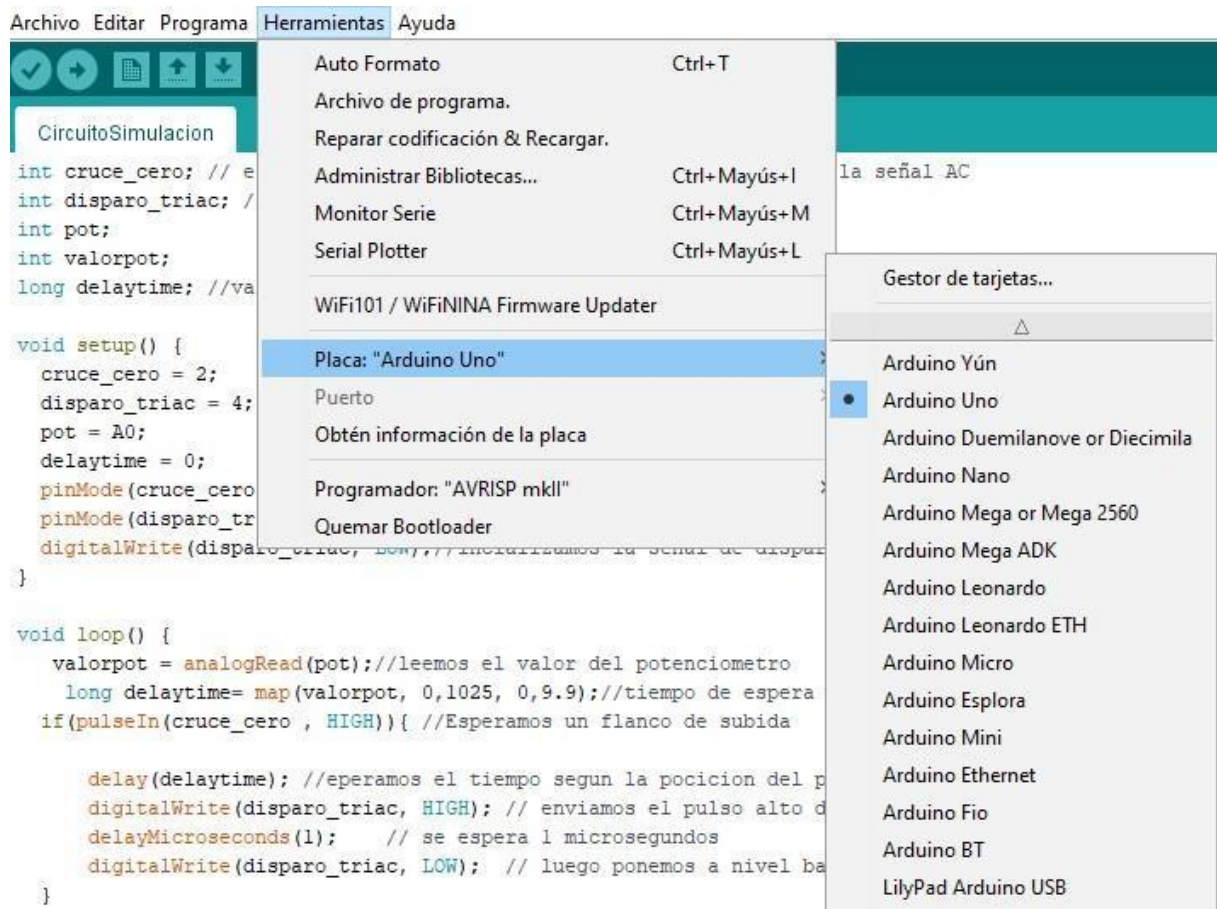


Figura 63. Selección del tipo de placa de Arduino.

Seguidamente, se selecciona el puerto a través del cuál se establece la conexión entre Arduino y el PC, como se muestra en la Figura 6464.

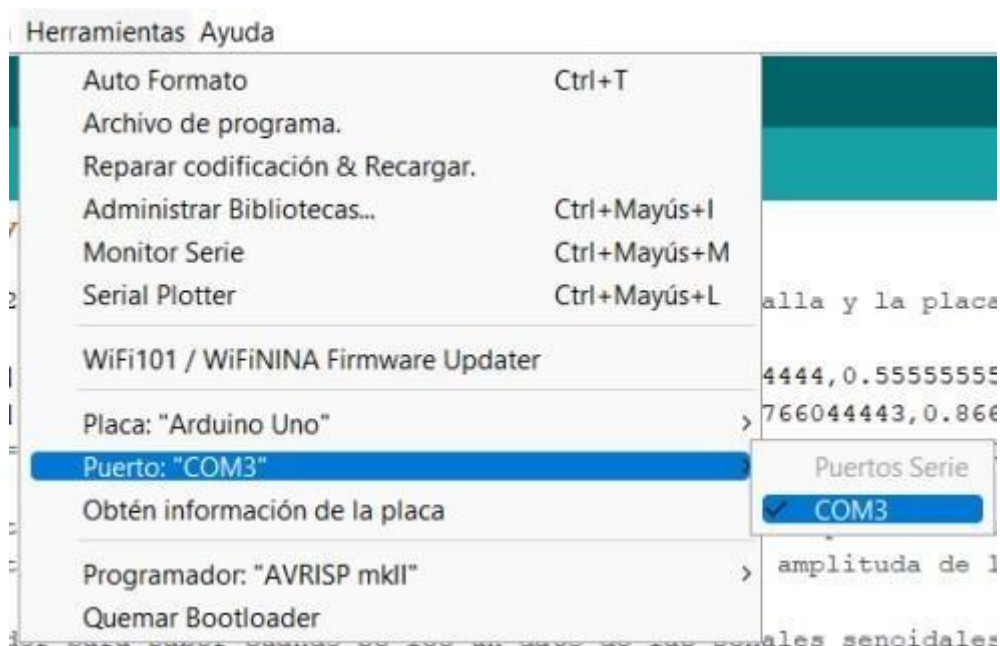


Figura 64. Selección del puerto en el que está conectada la placa Arduino UNO con el PC

Después, se añadirán las librerías necesarias para que el proyecto pueda funcionar correctamente. En este caso se añade la librería *Liquid Crystal*, necesaria para la pantalla LCD. En la Figura 6565, se muestra donde se debe buscar la librería.

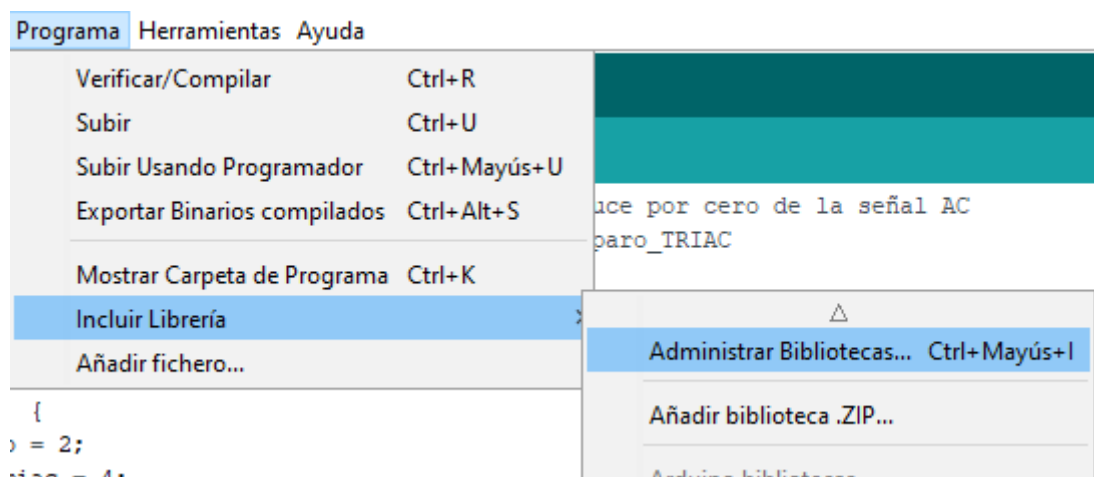


Figura 65. Incluir librería en el software de programación de Arduino

Una vez pulsada la opción de “Administrar Bibliotecas”, aparecerá la ventana que se muestra en la siguiente Figura 6666.

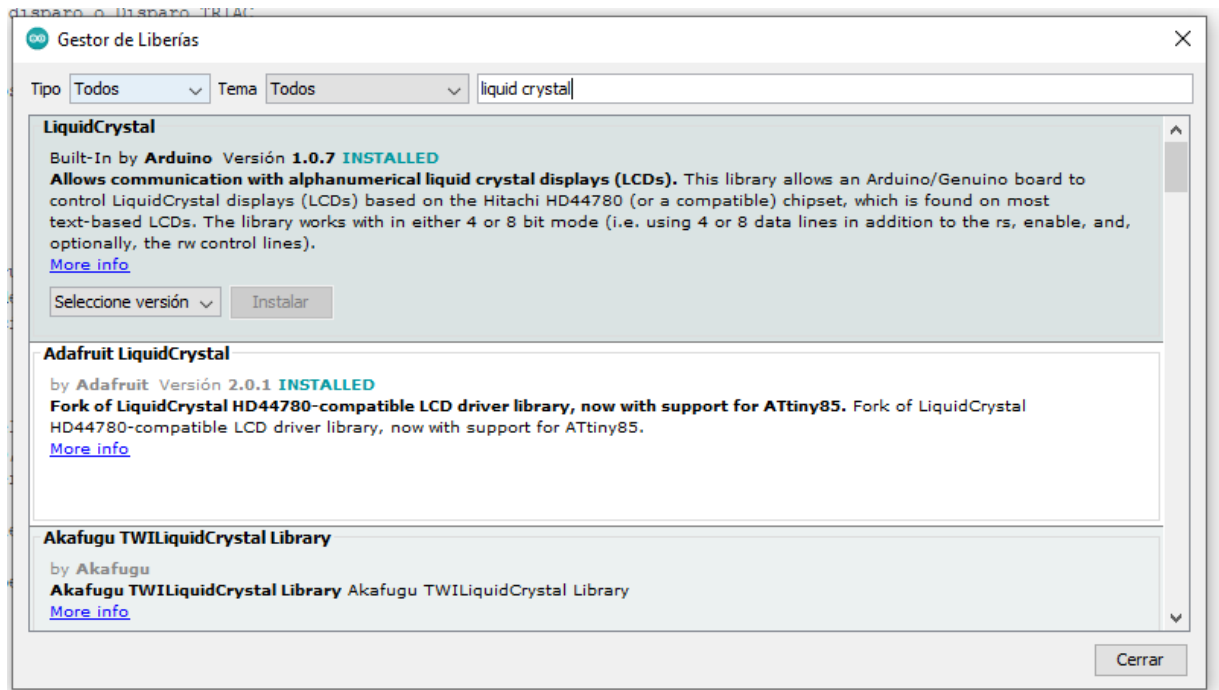
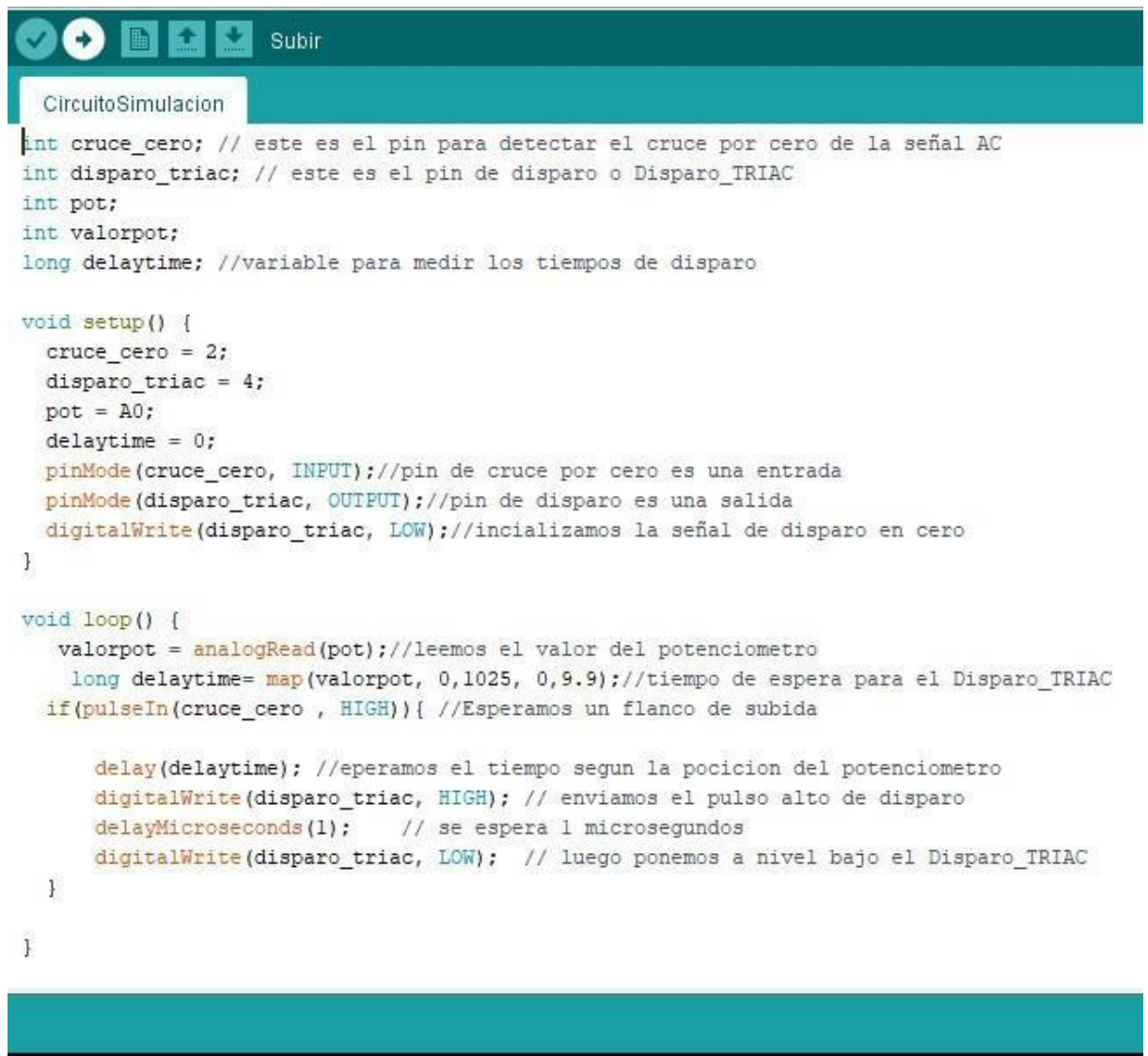


Figura 66. Gestor de librerías de Arduino

Como se puede observar, se ha filtrado por el nombre de la librería deseada, se pulsa el botón de instalar, para saber si se ha instalado correctamente, se tiene que observar la palabra “*INSTALLED*”, tal y como se puede ver en la Figura 6666.

Una vez se ha añadido la librería, ya solo queda cargar el programa en la placa Arduino UNO. Primero, el código del programa debe estar escrito correctamente y segundo, se debe pulsar la flecha que apunta hacia la derecha, tal como aparece en la Figura 6767.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. At the top, there is a toolbar with icons for checking, running, and uploading code, along with a 'Subir' (Upload) button. Below the toolbar, a tab labeled 'CircuitoSimulacion' is active. The main area displays a C++ program for an AC regulator. The code defines variables for zero-crossing detection, TRIAC firing, and a potentiometer. It includes setup and loop functions. The loop function reads the potentiometer value, maps it to a delay time, and triggers the TRIAC output based on the zero-crossing signal. The code is as follows:

```
int cruce_cero; // este es el pin para detectar el cruce por cero de la señal AC
int disparo_triac; // este es el pin de disparo o Disparo_TRIAC
int pot;
int valorpot;
long delaytime; //variable para medir los tiempos de disparo

void setup() {
  cruce_cero = 2;
  disparo_triac = 4;
  pot = A0;
  delaytime = 0;
  pinMode(cruce_cero, INPUT); //pin de cruce por cero es una entrada
  pinMode(disparo_triac, OUTPUT); //pin de disparo es una salida
  digitalWrite(disparo_triac, LOW); //inicializamos la señal de disparo en cero
}

void loop() {
  valorpot = analogRead(pot); //leemos el valor del potenciómetro
  long delaytime = map(valorpot, 0, 1025, 0, 9.9); //tiempo de espera para el Disparo_TRIAC
  if(pulseIn(cruce_cero, HIGH)) { //Esperamos un flanco de subida

    delay(delaytime); //esperamos el tiempo según la posición del potenciómetro
    digitalWrite(disparo_triac, HIGH); //enviamos el pulso alto de disparo
    delayMicroseconds(1); //se espera 1 microsegundo
    digitalWrite(disparo_triac, LOW); //luego ponemos a nivel bajo el Disparo_TRIAC
  }
}
```

Figura 67. Cargar el programa en la placa Arduino

Finalmente, cuando ya se ha subido el programa a la placa de Arduino UNO, dicha placa está preparada para su funcionamiento, siempre y cuando se conecten los componentes de manera correcta.

2.2. Guía de funcionamiento

En esta guía se explicará la manera de que, el usuario introduzca el ángulo de disparo que desea, con el fin de regular el voltaje en la carga.

La simulación, ya que es digital, se realizará con el programa Proteus Professional 8.

Una vez cargado el programa en la placa de Arduino UNO, la pantalla LCD muestra un mensaje como el de la Figura 68.

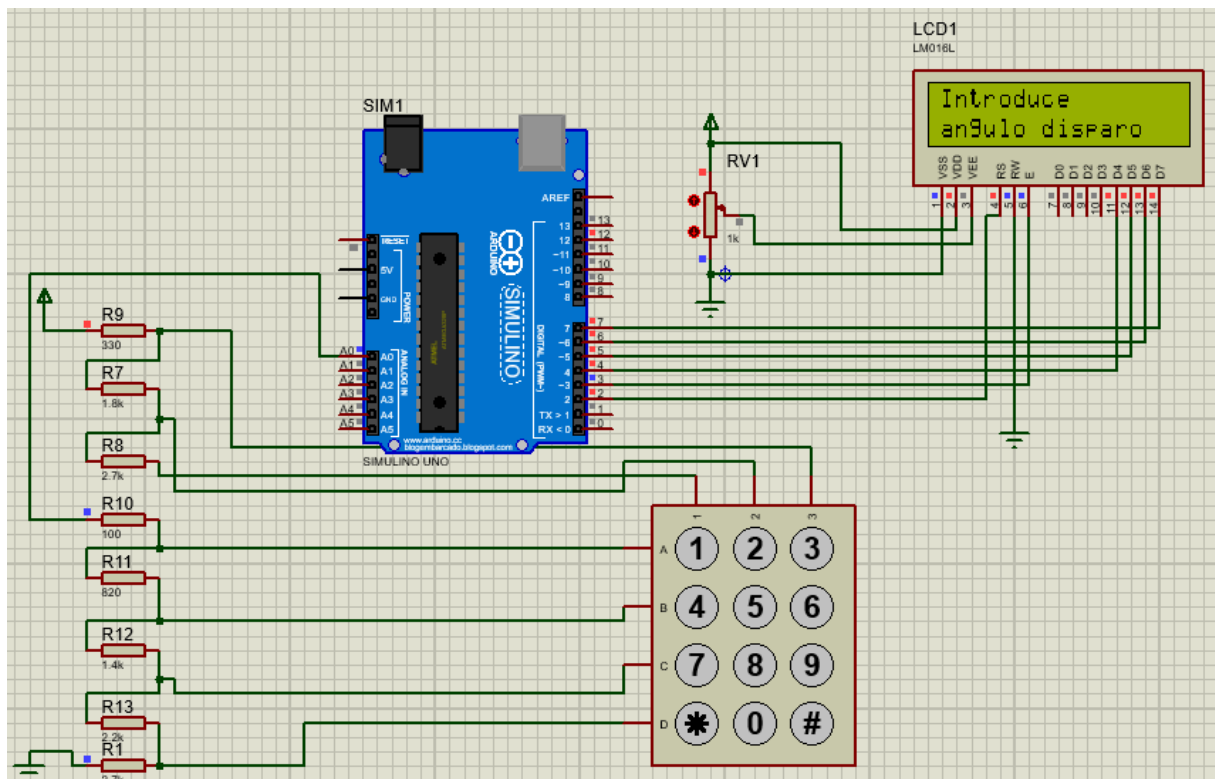


Figura 68. Mensaje inicial en la pantalla LCD

Cuando se visualiza el mensaje de inicio, significa que el programa está esperando a que el usuario introduzca una tecla no numérica para introducir el ángulo de disparo.

Si, por ejemplo, se introduce un '9', seguido de un '0', y se pulsa la tecla '#', el resultado mostrado en la pantalla es el que se puede observar en la Figura 69.

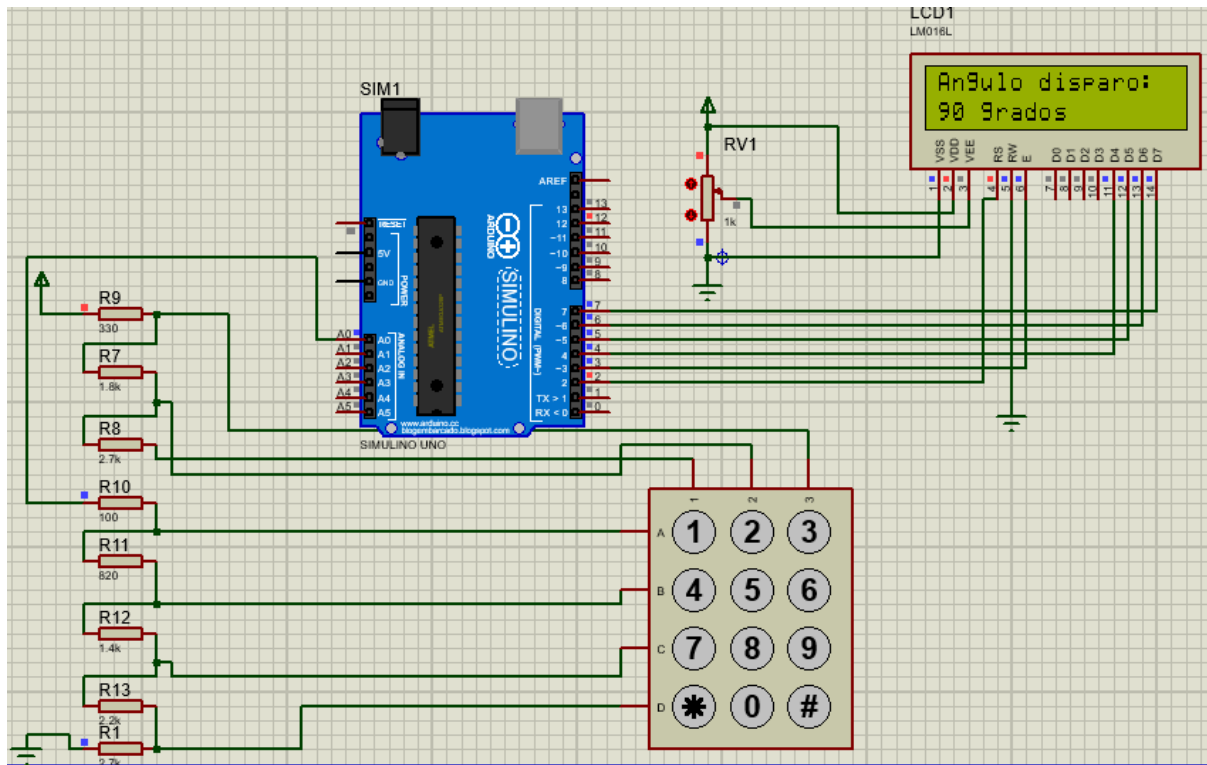


Figura 69. Selección de un ángulo de disparo de 90°

Siguiendo este ejemplo, esta acción hará que Arduino mande el pulso en el tiempo exacto para que la caída de tensión en la carga se reduzca a la mitad.

3. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

Philips Semiconductors

Product specification

Triacs

BT138 series

GENERAL DESCRIPTION

Glass passivated triacs in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional transient and blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

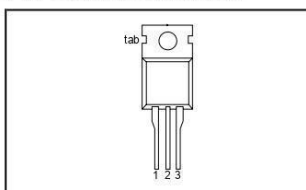
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	MAX.	UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages	500 500F 500G	600 600F 600G	800 800F 800G	V
$I_{\text{T(RMS)}}$	RMS on-state current	12	12	12	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	95	95	95	A

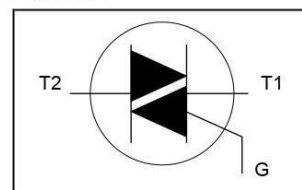
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	main terminal 1
2	main terminal 2
3	gate
tab	main terminal 2

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.			UNIT
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages		-	-500 500 ¹	-600 600 ¹	-800 800	V
$I_{\text{T(RMS)}}$	RMS on-state current	full sine wave; $T_{\text{mb}} \leq 99^\circ\text{C}$	-	12			A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	full sine wave; $T_{\text{J}} = 25^\circ\text{C}$ prior to surge	-	95			A
		$t = 20\text{ ms}$	-	105			A
		$t = 16.7\text{ ms}$	-	45			A
		$t = 10\text{ ms}$	-				A ² s
I^2t	I^2t for fusing	$I_{\text{TM}} = 20\text{ A}$; $I_{\text{G}} = 0.2\text{ A}$; $dI_{\text{G}}/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$	-				A ² s
dI_{T}/dt	Repetitive rate of rise of on-state current after triggering		-	50			A/ μs
		T2+ G+	-	50			A/ μs
		T2+ G-	-	50			A/ μs
		T2- G-	-	50			A/ μs
		T2- G+	-	10			A/ μs
I_{GM}	Peak gate current		-	2			A
V_{GM}	Peak gate voltage		-	5			V
P_{GM}	Peak gate power		-	5			W
$P_{\text{G(AV)}}$	Average gate power	over any 20 ms period	-	0.5			W
T_{stg}	Storage temperature		-40	150			$^\circ\text{C}$
T_{J}	Operating junction temperature		-	125			$^\circ\text{C}$

¹ Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the triac may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 15 A/ μs .

Philips Semiconductors

Product specification

Triacs

BT138 series

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	full cycle	-	-	1.5	K/W
$R_{th\ j-a}$	Thermal resistance junction to ambient	half cycle in free air	-	60	2.0	K/W

STATIC CHARACTERISTICS $T_j = 25\ ^\circ\text{C}$ unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.			UNIT
I_{GT}	Gate trigger current	BT138- $V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$ T2+ G+ T2+ G- T2- G- T2- G+	- - - -	5 8 10 22	35 35 35 70	25 25 25 70	50 50 50 100	mA mA mA mA
I_L	Latching current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$ T2+ G+ T2+ G- T2- G- T2- G+	- - - -	7 20 8 10	40 60 40 60	40 60 40 60	60 90 60 90	mA mA mA mA
I_H	Holding current	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$ T2- G+	-	6	30	30	60	mA
V_T	On-state voltage	$I_T = 15\text{ A}$	-	1.4	1.65			V
V_{GT}	Gate trigger voltage	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$ $V_D = 400\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A};$ $T_j = 125\ ^\circ\text{C}$	- 0.25	0.7 0.4	1.5 -			V V
I_D	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)};$ $T_j = 125\ ^\circ\text{C}$	-	0.1	0.5			mA

DYNAMIC CHARACTERISTICS $T_j = 25\ ^\circ\text{C}$ unless otherwise stated

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.			TYP.	MAX.	UNIT
dV_D/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	BT138- $V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)};$ $T_j = 125\ ^\circ\text{C};$ exponential waveform; gate open circuit	100	50	200	250	-	V/ μs
dV_{com}/dt	Critical rate of change of commutating voltage	$V_{DM} = 400\text{ V}; T_j = 95\ ^\circ\text{C};$ $I_{T(RMS)} = 12\text{ A};$ $di_{com}/dt = 5.4\text{ A/ms};$ gate open circuit	-	-	10	20	-	V/ μs
t_{gt}	Gate controlled turn-on time	$I_{TM} = 16\text{ A}; V_D = V_{DRM(max)};$ $I_G = 0.1\text{ A}; di_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s}$	-	-	-	2	-	μs

September 1997

2

Rev 1.200

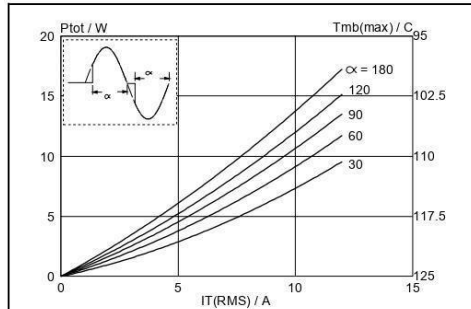


Fig. 1. Maximum on-state dissipation, P_{tot} , versus rms on-state current, $I_{T(RMS)}$, where α = conduction angle.

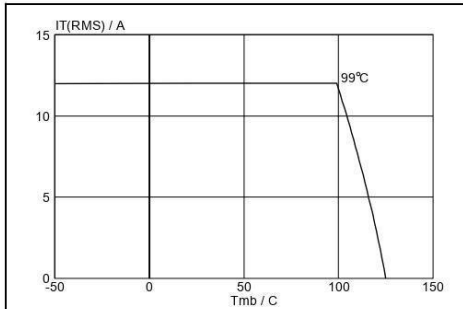


Fig. 4. Maximum permissible rms current $I_{T(RMS)}$, versus mounting base temperature T_{mb} .

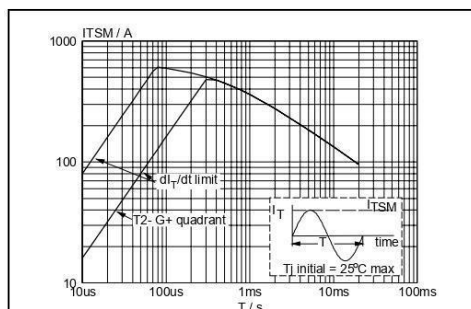


Fig. 2. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current I_{TSM} , versus pulse width t_p , for sinusoidal currents, $t_p \leq 20ms$.

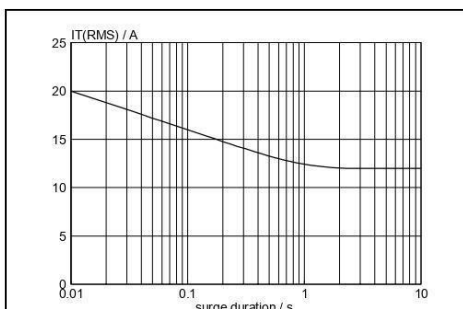


Fig. 5. Maximum permissible repetitive rms on-state current $I_{T(RMS)}$, versus surge duration, for sinusoidal currents, $f = 50 Hz$; $T_{mb} \leq 99^\circ C$.

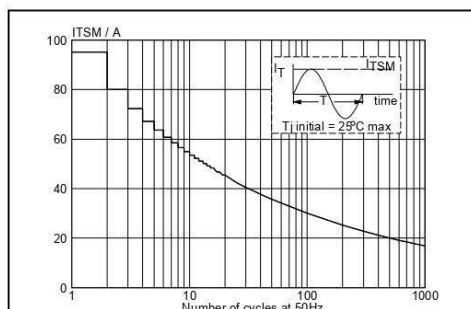


Fig. 3. Maximum permissible non-repetitive peak on-state current I_{TSM} , versus number of cycles, for sinusoidal currents, $f = 50 Hz$.

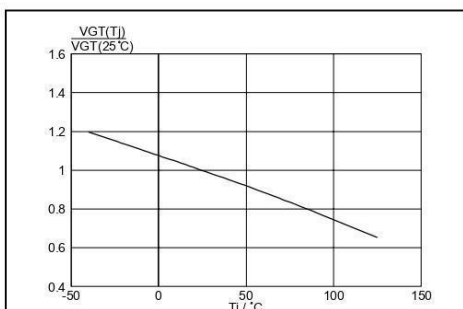
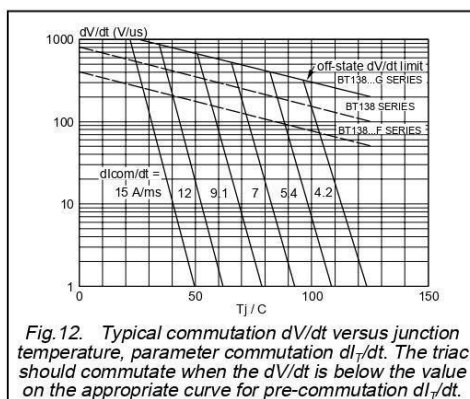
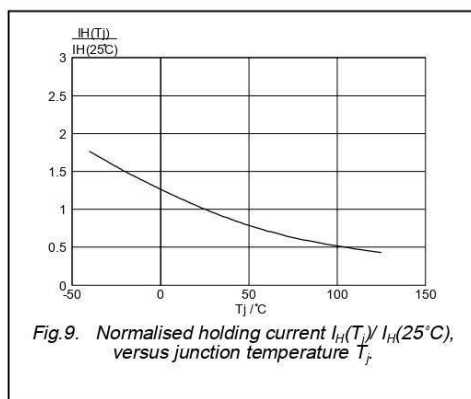
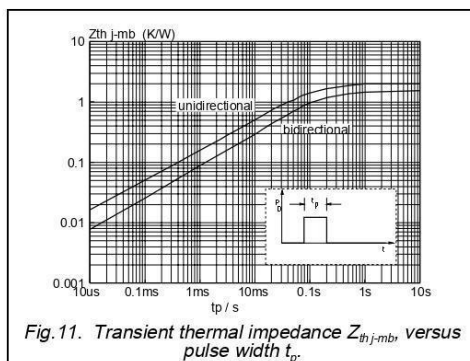
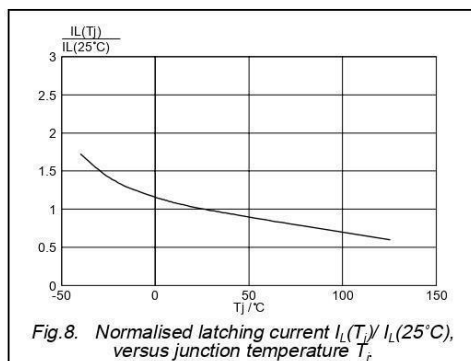
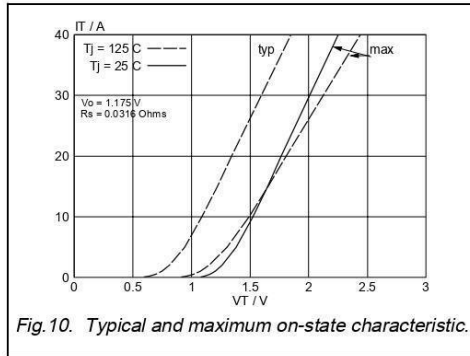
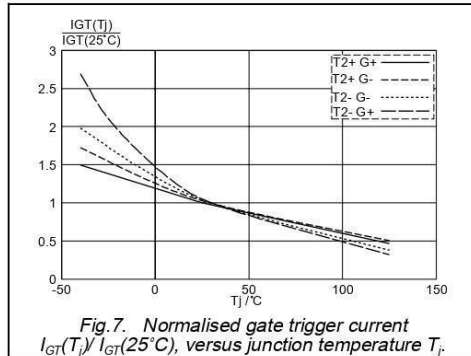
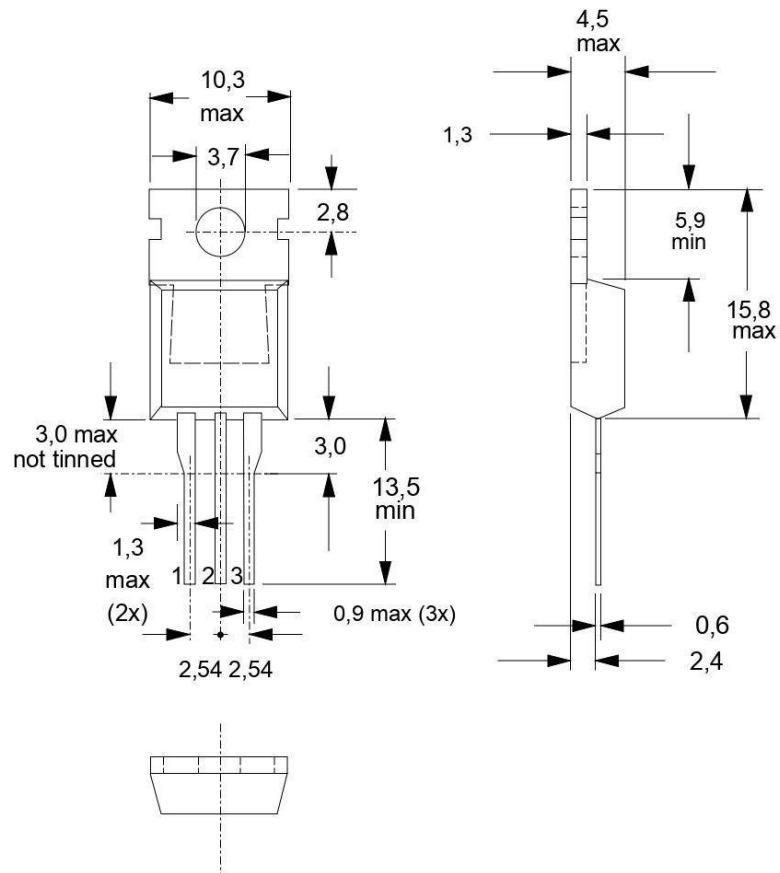


Fig. 6. Normalised gate trigger voltage $V_{GT}(T_j) / V_{GT}(25^\circ C)$, versus junction temperature T_j .



MECHANICAL DATA*Dimensions in mm**Net Mass: 2 g**Fig. 13. TO220AB; pin 2 connected to mounting base.***Notes**

1. Refer to mounting instructions for TO220 envelopes.
2. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

Philips Semiconductors

Product specification

Triacs

BT138 series

DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values are given in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of this specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	
© Philips Electronics N.V. 1997	
All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.	
The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, it is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent or other industrial or intellectual property rights.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

September 1997

6

Rev 1.200

LM211, LM311

Single Comparators

The ability to operate from a single power supply of 5.0 V to 30 V or ± 15 V split supplies, as commonly used with operational amplifiers, makes the LM211/LM311 a truly versatile comparator. Moreover, the inputs of the device can be isolated from system ground while the output can drive loads referenced either to ground, the V_{CC} or the V_{EE} supply. This flexibility makes it possible to drive DTL, RTL, TTL, or MOS logic. The output can also switch voltages to 50 V at currents to 50 mA, therefore, the LM211/LM311 can be used to drive relays, lamps or solenoids.

Features

- Pb-Free Packages are Available

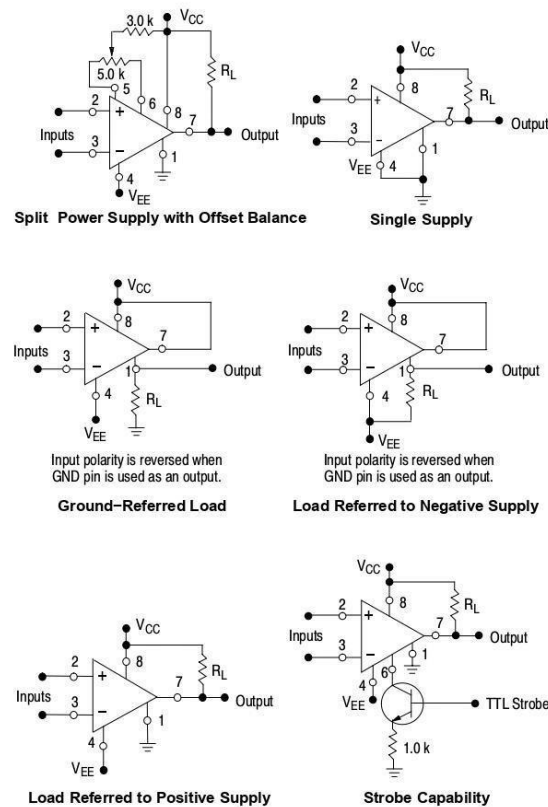


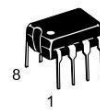
Figure 1. Typical Comparator Design Configurations



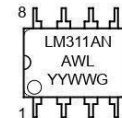
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

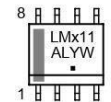
MARKING DIAGRAMS



PDIP-8
N SUFFIX
CASE 626

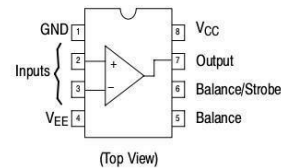


SOIC-8
D SUFFIX
CASE 751



x = 2 or 3
A = Assembly Location
WL, L = Wafer Lot
YY, Y = Year
WW, W = Work Week
G = Pb-Free Package
• = Pb-Free Package

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

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

LM211, LM311**ORDERING INFORMATION**

Device	Package	Shipping [†]
LM211D	SOIC-8	98 Units / Rail
LM211DG	SOIC-8 (Pb-Free)	98 Units / Rail
LM211DR2	SOIC-8	2500 Units / Tape & Reel
LM211DR2G	SOIC-8 (Pb-Free)	2500 Units / Tape & Reel
LM311D	SOIC-8	98 Units / Rail
LM311DG	SOIC-8 (Pb-Free)	98 Units / Rail
LM311DR2	SOIC-8	2500 Units / Tape & Reel
LM311DR2G	SOIC-8 (Pb-Free)	2500 Units / Tape & Reel
LM311N	PDIP-8	50 Units / Rail
LM311NG	PDIP-8 (Pb-Free)	50 Units / Rail

[†]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.

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM211	LM311	Unit
Total Supply Voltage	$V_{CC} + V_{EE} $	36	36	Vdc
Output to Negative Supply Voltage	$V_O - V_{EE}$	50	40	Vdc
Ground to Negative Supply Voltage	V_{EE}	30	30	Vdc
Input Differential Voltage	V_{ID}	± 30	± 30	Vdc
Input Voltage (Note 2)	V_{in}	± 15	± 15	Vdc
Voltage at Strobe Pin	—	V_{CC} to $V_{CC}-5$	V_{CC} to $V_{CC}-5$	Vdc
Power Dissipation and Thermal Characteristics Plastic DIP Derate Above $T_A = +25^\circ\text{C}$	P_D $R_{\theta JA}$	625 5.0		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	T_A	-25 to $+85$	0 to $+70$	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature	$T_{J(max)}$	$+150$	$+150$	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to $+150$	-65 to $+150$	$^\circ\text{C}$

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.

LM211, LM311

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted) Note 1

Characteristic	Symbol	LM211			LM311			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 3) $R_S \leq 50\text{ k}\Omega$, $T_A = +25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 50\text{ k}\Omega$, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$	V_{IO}	—	0.7	3.0	—	2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 3) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$	I_{IO}	—	1.7	10	—	1.7	50	nA
Input Bias Current $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$	I_{IB}	—	45	100	—	45	250	nA
Voltage Gain	A_V	40	200	—	40	200	—	V/mV
Response Time (Note 4)		—	200	—	—	200	—	ns
Saturation Voltage $V_{ID} \leq -5.0\text{ mV}$, $I_O = 50\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{ID} \leq -10\text{ mV}$, $I_O = 50\text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} \geq 4.5\text{ V}$, $V_{EE} = 0$, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$ $V_{ID} \leq 6.0\text{ mV}$, $I_{sink} \leq 8.0\text{ mA}$ $V_{ID} \leq 10\text{ mV}$, $I_{sink} \leq 8.0\text{ mA}$	V_{OL}	—	0.75	1.5	—	—	—	V
Strobe "On" Current (Note 5)	I_S	—	3.0	—	—	3.0	—	mA
Output Leakage Current $V_{ID} \geq 5.0\text{ mV}$, $V_O = 35\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_{strobe} = 3.0\text{ mA}$ $V_{ID} \geq 10\text{ mV}$, $V_O = 35\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_{strobe} = 3.0\text{ mA}$ $V_{ID} \geq 5.0\text{ mV}$, $V_O = 35\text{ V}$, $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$		—	0.2	10	—	—	—	nA
		—	—	—	—	0.2	50	nA
		—	0.1	0.5	—	—	—	μA
Input Voltage Range ($T_{low} \leq T_A \leq T_{high}^*$)	V_{ICR}	-14.5	-14.7 to 13.8	+13.0	-14.5	-14.7 to 13.8	+13.0	V
Positive Supply Current	I_{CC}	—	+2.4	+6.0	—	+2.4	+7.5	mA
Negative Supply Current	I_{EE}	—	-1.3	-5.0	—	-1.3	-5.0	mA

* LM211: $T_{low} = -25^\circ\text{C}$, $T_{high} = +85^\circ\text{C}$ LM311: $T_{low} = 0^\circ\text{C}$, $T_{high} = +70^\circ\text{C}$ 1. Offset voltage, offset current and bias current specifications apply for a supply voltage range from a single 5.0 V supply up to $\pm 15\text{ V}$ supplies.2. This rating applies for $\pm 15\text{ V}$ supplies. The positive input voltage limit is 30 V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30 V below the positive supply, whichever is less.

3. The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1.0 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the "worst case" effects of voltage gain and input impedance.

4. The response time specified is for a 100 mV input step with 5.0 mV overdrive.

5. Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3.0 mA to 5.0 mA.

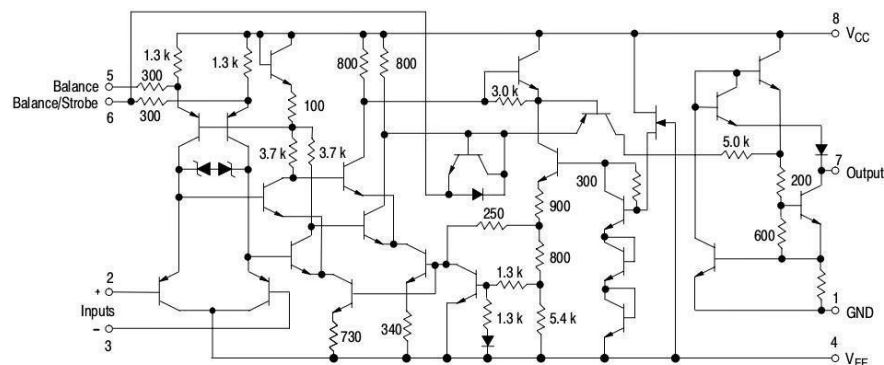


Figure 2. Circuit Schematic

<http://onsemi.com>

LM211, LM311

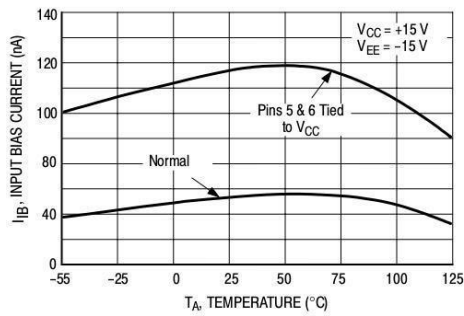


Figure 3. Input Bias Current versus Temperature

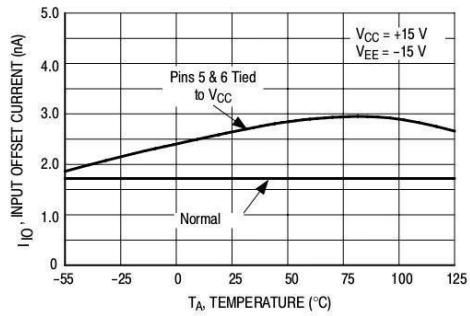


Figure 4. Input Offset Current versus Temperature

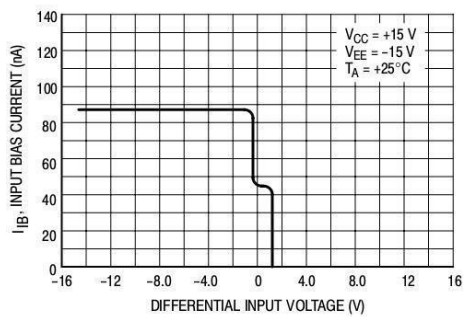


Figure 5. Input Bias Current versus Differential Input Voltage

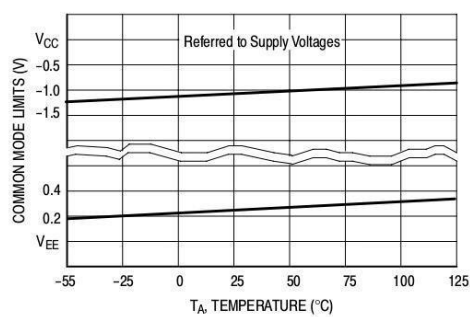


Figure 6. Common Mode Limits versus Temperature

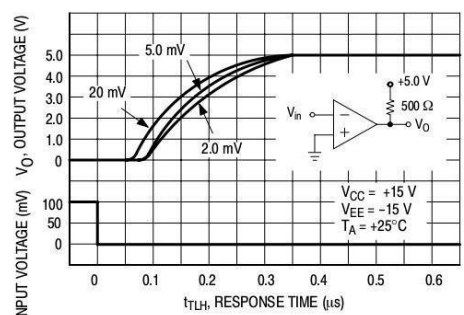


Figure 7. Response Time for Various Input Overdrives

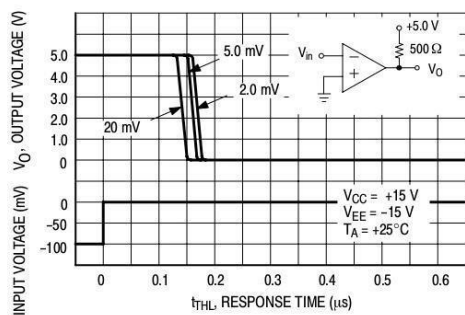


Figure 8. Response Time for Various Input Overdrives

LM211, LM311

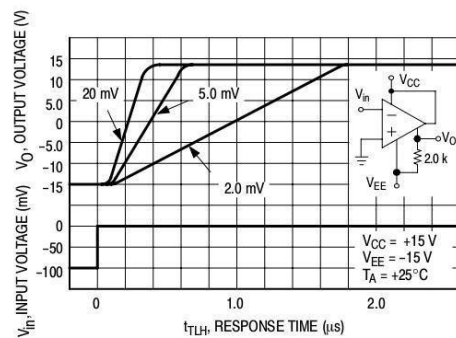


Figure 9. Response Time for Various Input Overdrives

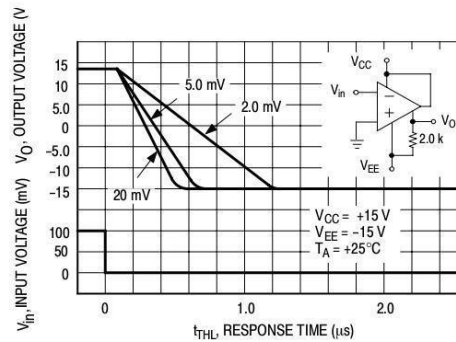


Figure 10. Response Time for Various Input Overdrives

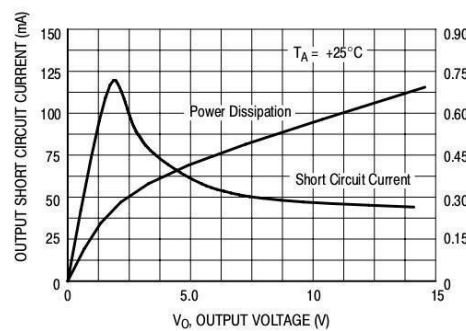


Figure 11. Output Short Circuit Current Characteristics and Power Dissipation

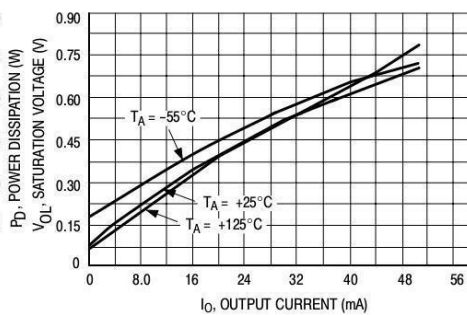


Figure 12. Output Saturation Voltage versus Output Current

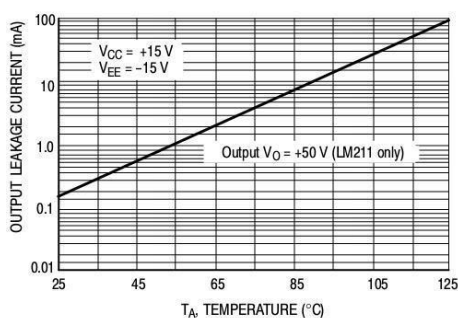


Figure 13. Output Leakage Current versus Temperature

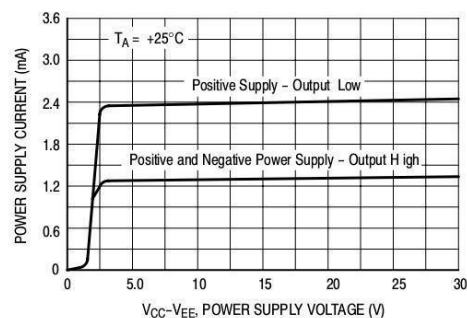


Figure 14. Power Supply Current versus Supply Voltage

LM211, LM311

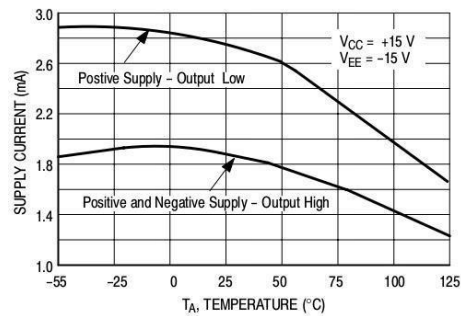


Figure 15. Power Supply Current versus Temperature

APPLICATIONS INFORMATION

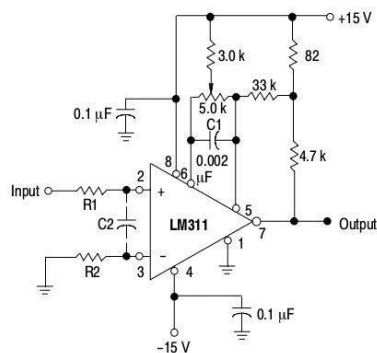


Figure 16. Improved Method of Adding Hysteresis Without Applying Positive Feedback to the Inputs

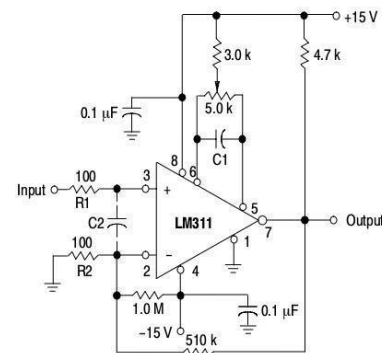


Figure 17. Conventional Technique for Adding Hysteresis

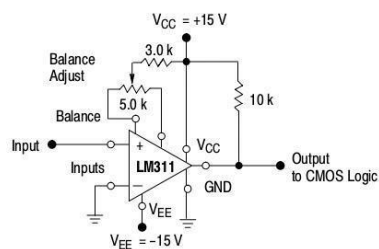


Figure 18. Zero-Crossing Detector Driving CMOS Logic

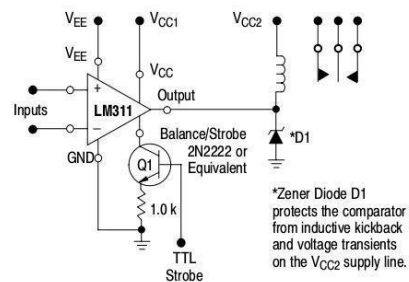
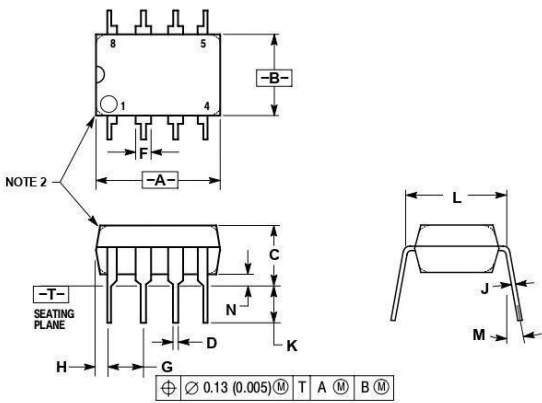


Figure 19. Relay Driver with Strobe Capability

LM211, LM311

PACKAGE DIMENSIONS

PDIP-8
N SUFFIX
CASE 626-05
ISSUE L

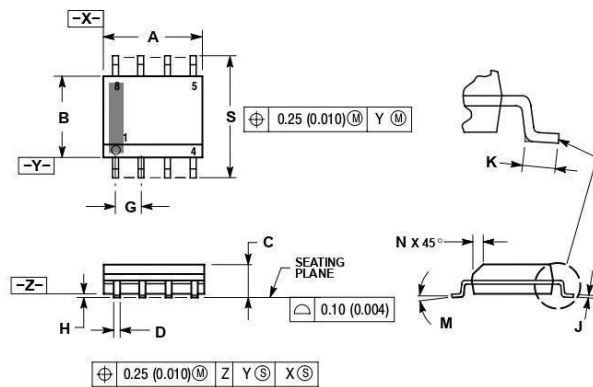


NOTES:
1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.94	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
E	1.02	1.78	0.040	0.070
F	2.54 BSC		0.100 BSC	
G	0.76	1.27	0.030	0.050
H	0.20	0.30	0.008	0.012
I	2.92	3.43	0.115	0.135
J	7.62 BSC		0.300 BSC	
K	---	10 [°]	---	10 [°]
L	0.76	1.01	0.030	0.040

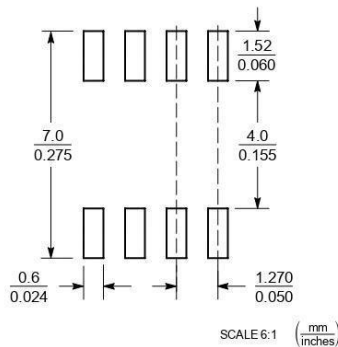
LM211, LM311**PACKAGE DIMENSIONS**

SOIC-8
D SUFFIX
CASE 751-07
ISSUE AG

**NOTES:**

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
6. 751-01 THRU 751-06 ARE OBSOLETE. NEW STANDARD IS 751-07.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.80	5.00	0.189	0.197
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.053	0.069
D	0.33	0.51	0.013	0.020
G	1.27 BSC	0.050 BSC		
H	0.10	0.25	0.004	0.010
J	0.19	0.25	0.007	0.010
K	0.40	1.27	0.016	0.050
M	0°	8°	0°	8°
N	0.25	0.50	0.010	0.020
S	5.80	6.20	0.228	0.244

SOLDERING FOOTPRINT*

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


www.fairchildsemi.com

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

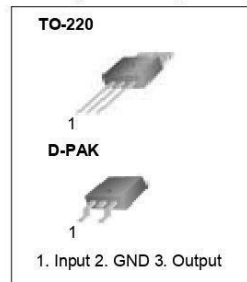
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

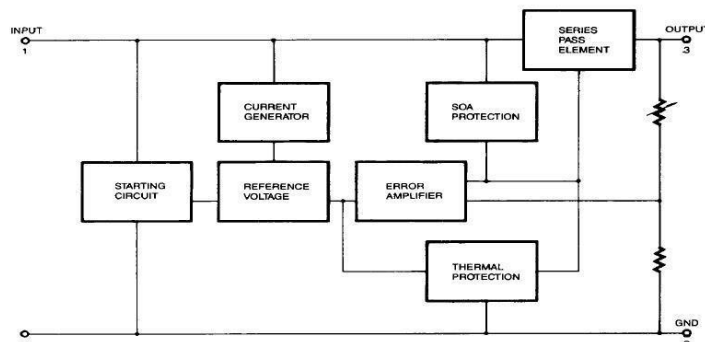
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

©2001 Fairchild Semiconductor Corporation

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I V_I	35 40	V V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	$0 \sim +125$	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	$-65 \sim +150$	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25	
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	-	$V_O = 7V$ to $25V$	4.0	100
				$V_I = 8V$ to $12V$	1.6	50
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	-	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	9	100
				$I_O = 250mA$ to $750mA$	4	50
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3	
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V
Output Resistance	r_O	$f = 1KHz$	-	15	-	$m\Omega$
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Typical Performance Characteristics

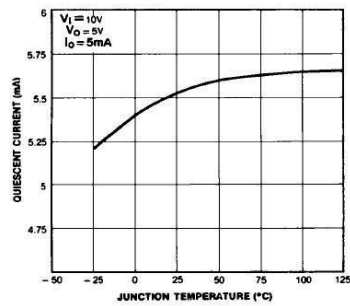


Figure 1. Quiescent Current

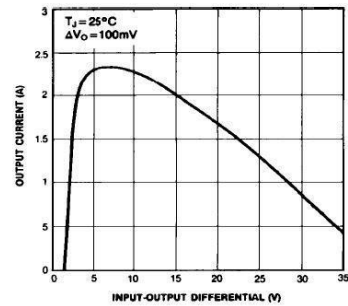


Figure 2. Peak Output Current

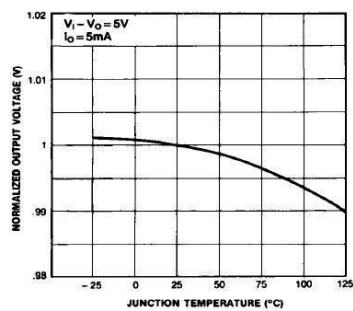


Figure 3. Output Voltage

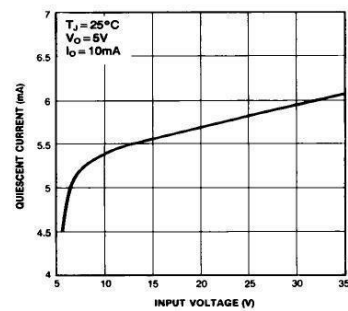


Figure 4. Quiescent Current

Typical Applications

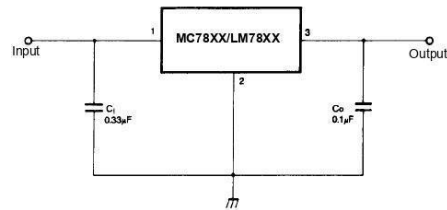


Figure 5. DC Parameters

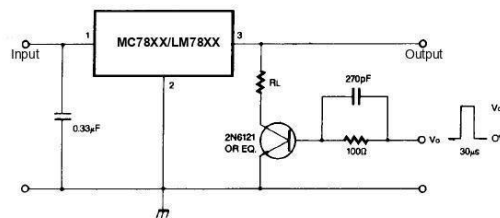


Figure 6. Load Regulation

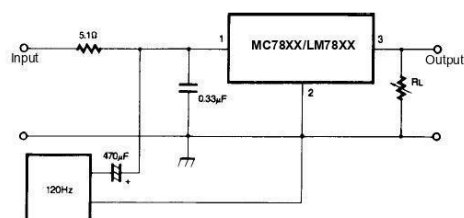


Figure 7. Ripple Rejection

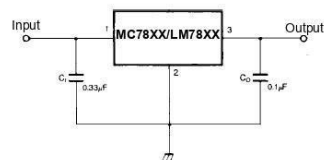


Figure 8. Fixed Output Regulator

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

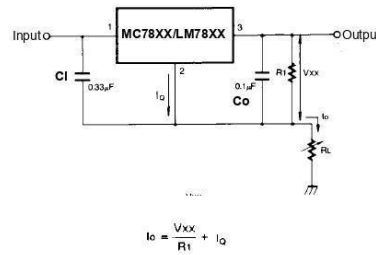


Figure 9. Constant Current Regulator

Notes:

- (1) To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the Output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
- (2) C1 is required if regulator is located an appreciable distance from power Supply filter.
- (3) Co improves stability and transient response.

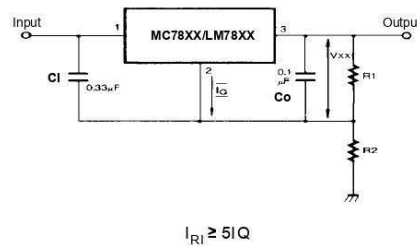


Figure 10. Circuit for Increasing Output Voltage

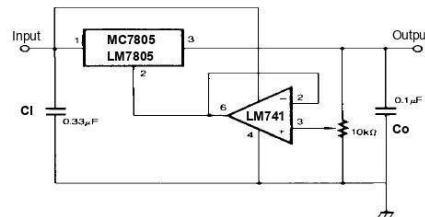


Figure 11. Adjustable Output Regulator (7 to 30V)

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

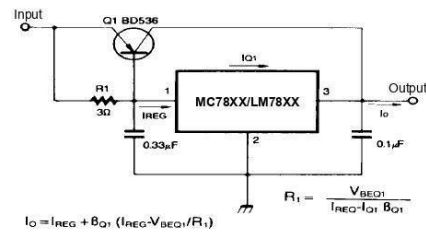


Figure 12. High Current Voltage Regulator

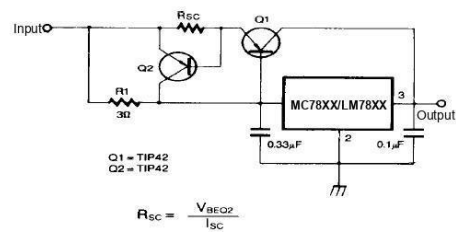


Figure 13. High Output Current with Short Circuit Protection

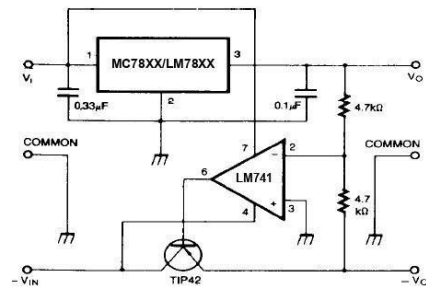


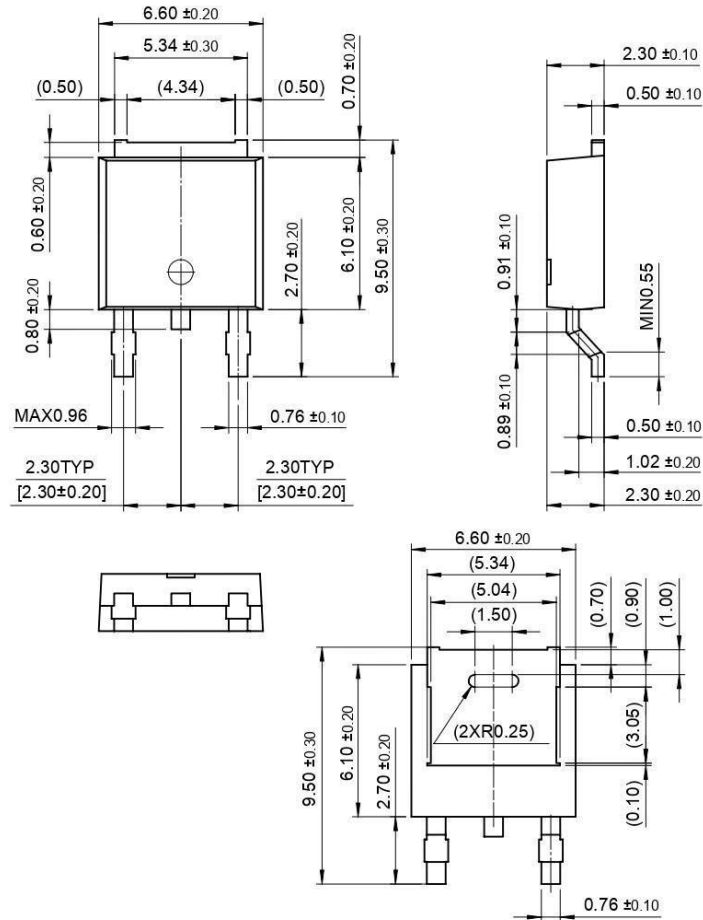
Figure 14. Tracking Voltage Regulator

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Mechanical Dimensions (Continued)

Package

D-PAK



MC78XX/LM78XX/MC78XXA

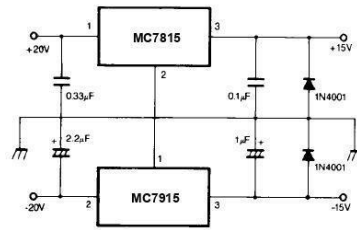


Figure 15. Split Power Supply (±15V-1A)

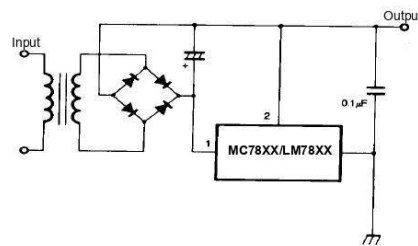


Figure 16. Negative Output Voltage Circuit

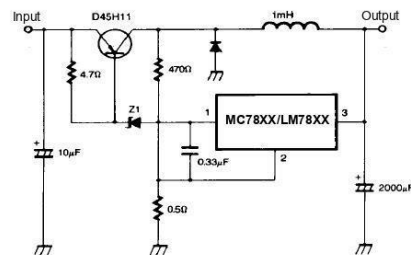
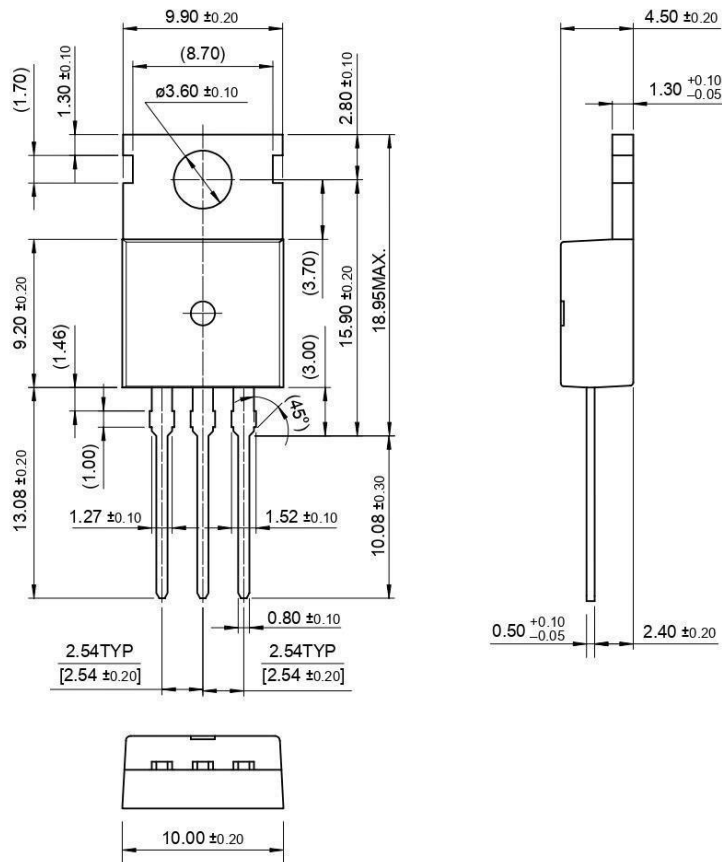


Figure 17. Switching Regulator

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Mechanical Dimensions**Package****TO-220**

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	0 ~ + 125°C

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
MC7805CT	±4%	TO-220	0 ~ + 125°C
MC7806CT			
MC7808CT			
MC7809CT			
MC7810CT			
MC7812CT			
MC7815CT			
MC7818CT			
MC7824CT			
MC7805CDT		D-PAK	
MC7806CDT			
MC7808CDT			
MC7809CDT			
MC7810CDT			
MC7812CDT			
MC7805ACT	±2%	TO-220	
MC7806ACT			
MC7808ACT			
MC7809ACT			
MC7810ACT			
MC7812ACT			
MC7815ACT			
MC7818ACT			
MC7824ACT			

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

 Order this document
 by MOC3020/D


6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3020 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.* They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P_D	100	mW
		1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
OUTPUT DRIVER			
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	300	mW
		4	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	330	mW
		4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating.

For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

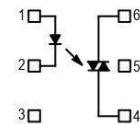
REV 1

|| Motorola, Inc. 1995

MOC3021
[IFT = 15 mA Max]
MOC3022
[IFT = 10 mA Max]
MOC3023*
[IFT = 5 mA Max]

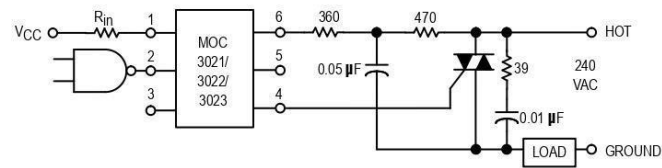
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC

**STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04**
SCHEMATIC


1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL



MOC3021 MOC3022 MOC3023

* This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

Additional information on the use of optically coupled triac drivers is available in Application Note AN-780A.

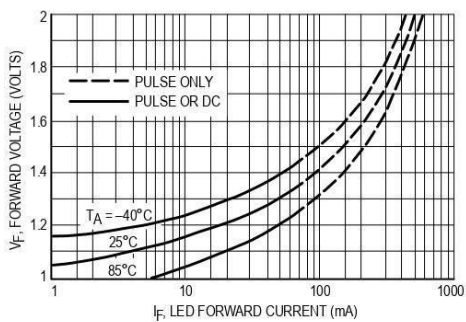
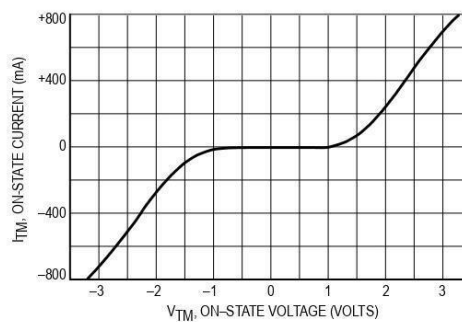
In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05 μ F capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Typical Application Circuit

MOC3021 MOC3022 MOC3023**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED					
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.15	1.5	Volts
OUTPUT DETECTOR ($I_F = 0$ unless otherwise noted)					
Peak Blocking Current, Either Direction (Rated $V_{DRM}^{(1)}$)	I_{DRM}	—	10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction ($I_{TM} = 100\text{ mA Peak}$)	V_{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage (Figure 7, Note 2)	dv/dt	—	10	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
COUPLED					
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V ⁽³⁾)	I_{FT}	—	8	15	mA
		—	—	10	
		—	—	5	
Holding Current, Either Direction	I_H	—	100	—	μA

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.2. This is static dv/dt . See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (15 mA for MOC3021, 10 mA for MOC3022, 5 mA for MOC3023) and absolute max I_F (60 mA).**TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS** $T_A = 25^\circ\text{C}$ **Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current****Figure 2. On-State Characteristics**

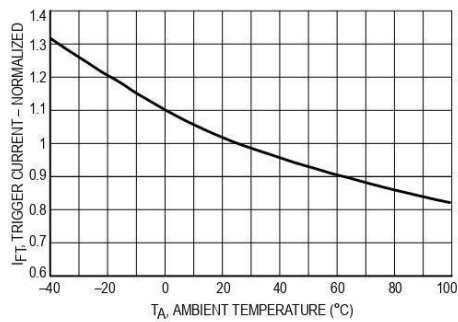


Figure 3. Trigger Current versus Temperature

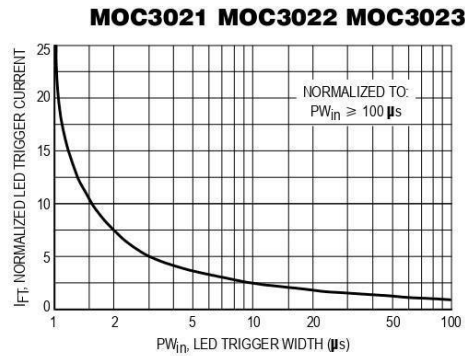


Figure 4. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

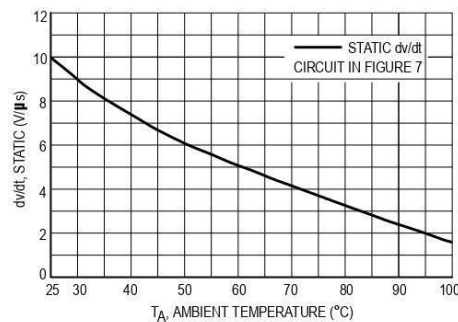


Figure 5. dv/dt versus Temperature

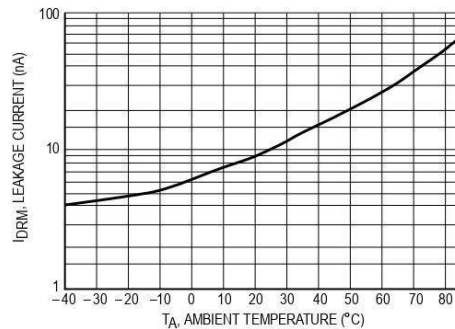
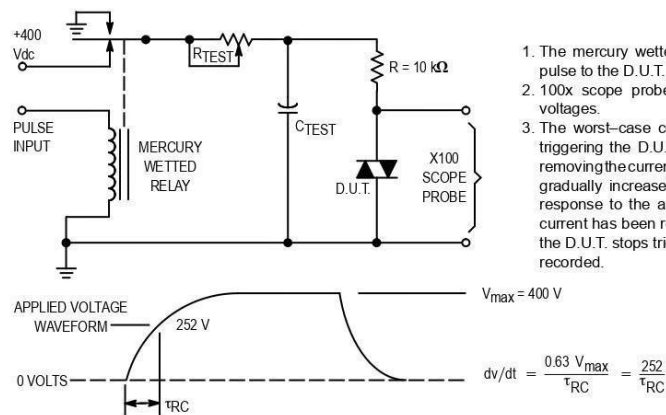
Figure 6. Leakage Current, I_{DRM} versus Temperature

Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

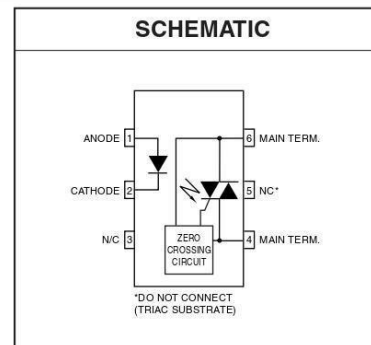
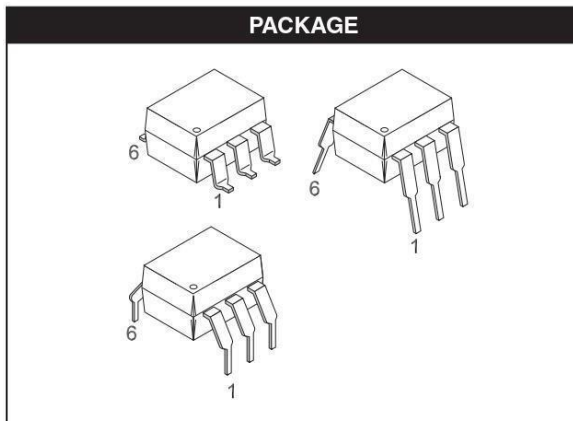


6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

MOC3082M

MOC3083M



DESCRIPTION

The MOC3081M, MOC3082M and MOC3083M devices consist of a GaAs infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a zero voltage crossing bilateral triac driver.

They are designed for use with a discrete power triac in the interface of logic systems to equipment powered from 240 VAC lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

FEATURES

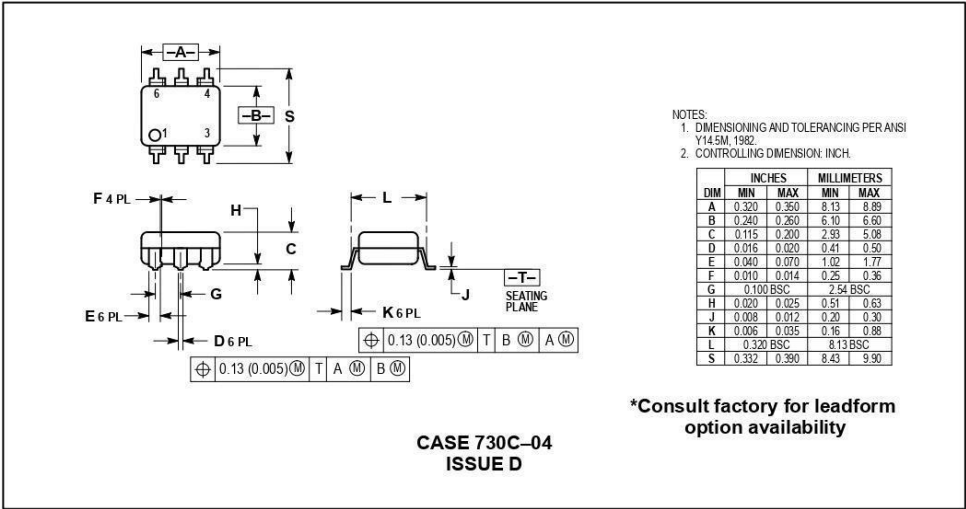
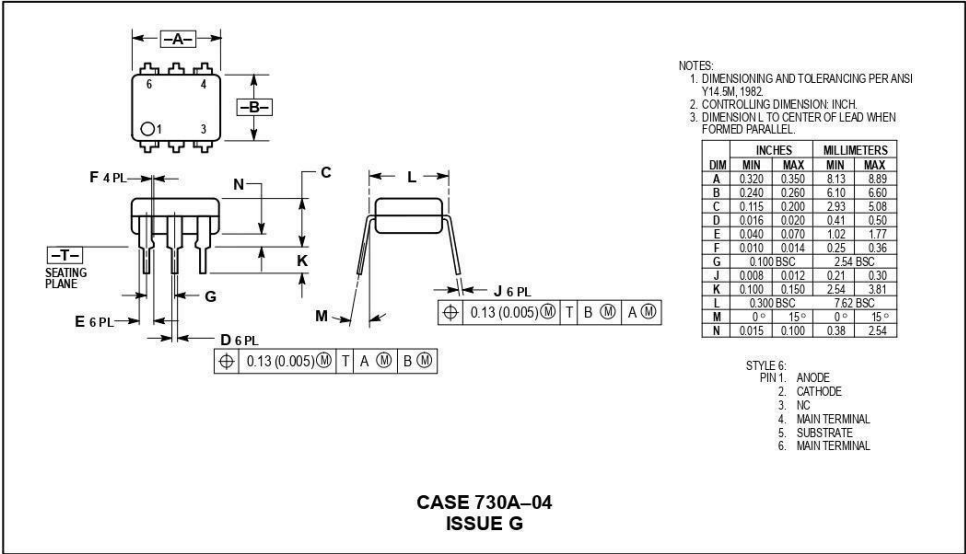
- Underwriters Laboratories (UL) recognized - file #E90700, Volume 2
- VDE recognized - file #102497 - add option V (e.g., MOC3083VM)
- Simplifies logic control of 240 VAC power
- Zero voltage crossing
- dv/dt of 1500 V/ μ s typical, 600 V/ μ s guaranteed
- Compatible with Fairchild's FKPF12N80 discrete power triac

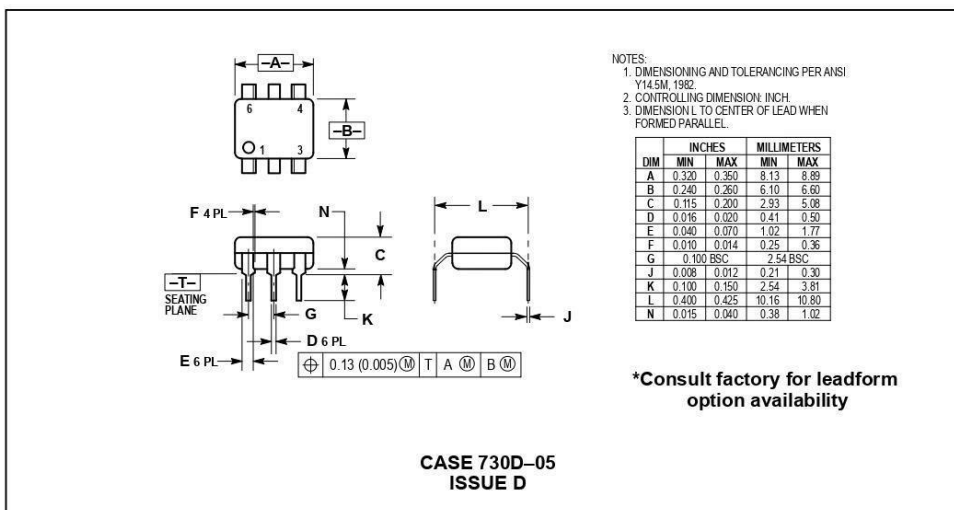
APPLICATIONS

- Solenoid/valve controls
- Lighting controls
- Static power switches
- AC motor drives
- Temperature controls
- E.M. contactors
- AC motor starters
- Solid state relays

MOC3021 MOC3022 MOC3023

PACKAGE DIMENSIONS



MOC3021 MOC3022 MOC3023

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOC3020/D





6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M**MOC3082M****MOC3083M**

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _A = 25°C unless otherwise noted)			
Parameters	Symbol	Value	Units
TOTAL DEVICE			
Storage Temperature	T _{STG}	-40 to +150	°C
Operating Temperature	T _{OPR}	-40 to +85	°C
Lead Solder Temperature	T _{SOL}	260 for 10 sec	°C
Junction Temperature Range	T _J	-40 to +100	°C
Isolation Surge Voltage ⁽⁴⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)	V _{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25°C Derate above 25°C	P _D	250	mW
		2.94	mW/°C
EMITTER			
Continuous Forward Current	I _F	60	mA
Reverse Voltage	V _R	6	V
Total Power Dissipation 25°C Ambient Derate above 25°C	P _D	120	mW
		1.41	mW/°C
DETECTOR			
Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	800	V
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μs, 120 pps)	I _{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ 25°C Ambient Derate above 25°C	P _D	150	mW
		1.76	mW/°C



6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

MOC3082M

MOC3083M

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameters	Test Conditions	Symbol	Min	Typ*	Max	Units
EMITTER						
Input Forward Voltage	$I_F = 30\text{ mA}$	V_F		1.3	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 6\text{ V}$	I_R		0.005	100	μA
DETECTOR						
Peak Blocking Current, Either Direction	$V_{\text{DRM}} = 800\text{V}$, $I_F = 0$ (note 1)	I_{DRM1}		10	500	nA
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$I_F = 0$ (figure 9, note 3)	dv/dt	600	1500		V/ μs

TRANSFER CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ*	Max	Units
LED Trigger Current	Main Terminal Voltage = 3V (note 2)	I_{FT}	MOC3081M			15	mA
			MOC3082M			10	
			MOC3083M			5	
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{\text{TM}} = 100\text{ mA peak}$, $I_F = \text{rated } I_{\text{FT}}$	V_{TM}	All		1.8	3	V
Holding Current, Either Direction		I_H	All		500		μA

ZERO CROSSING CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ*	Max	Units
Inhibit Voltage (MT1-MT2 voltage above which device will not trigger)	$I_F = \text{Rated } I_{\text{FT}}$	V_{INH}	All		12	20	V
Leakage in Inhibited State	$I_F = \text{Rated } I_{\text{FT}}$, $V_{\text{DRM}} = 800\text{V}$, off state	I_{DRM2}	All		200	500	μA

ISOLATION CHARACTERISTICS

Characteristics	Test Conditions	Symbol	Min	Typ*	Max	Units
Input-Output Isolation Voltage	$f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$ (note 4)	V_{ISO}	7500			Vac(pk)

*Typical values at $T_A = 25^\circ\text{C}$

Note

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (15 mA for MOC3081M, 10 mA for MOC3082M, 5 mA for MOC3083M) and absolute max I_F (60 mA).
3. This is static dv/dt . See Figure 9 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
4. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.



6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

MOC3082M

MOC3083M

Figure 1. LED Forward Voltage vs. Forward Current

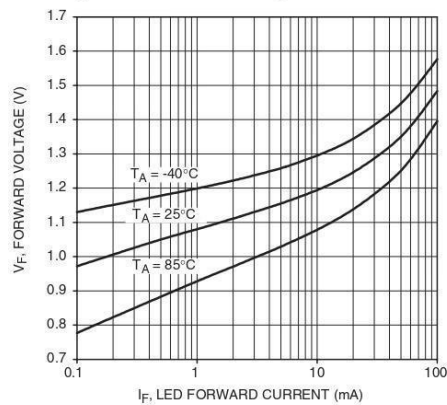


Figure 2. Trigger Current Vs. Temperature

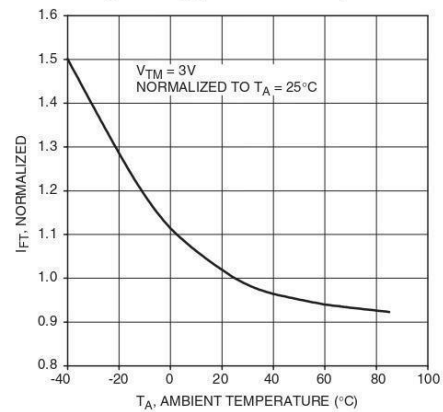


Figure 3. LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

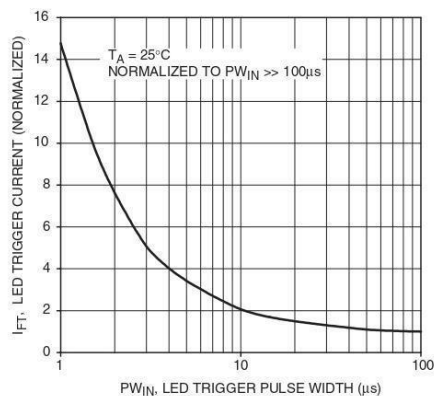
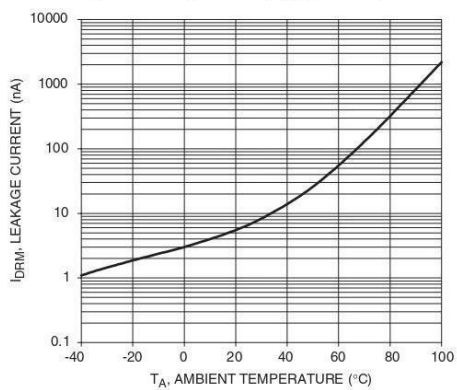


Figure 4. Leakage Current, I_DRM vs. Temperature





6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

MOC3082M

MOC3083M

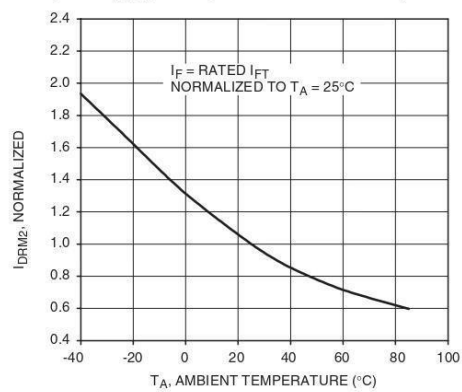
Figure 5. I_{DRM2} , Leakage in Inhibit State vs. Temperature

Figure 6. On-State Characteristics

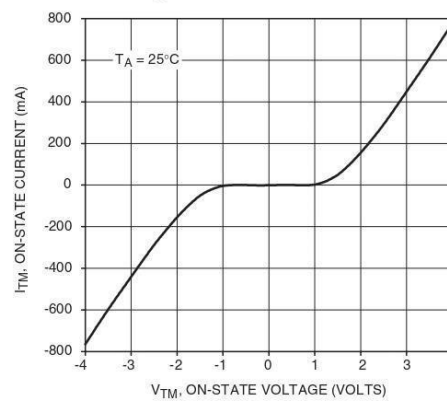
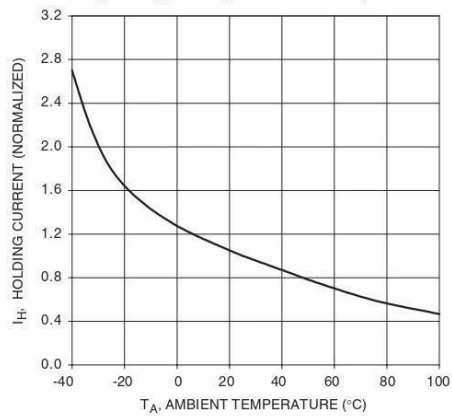
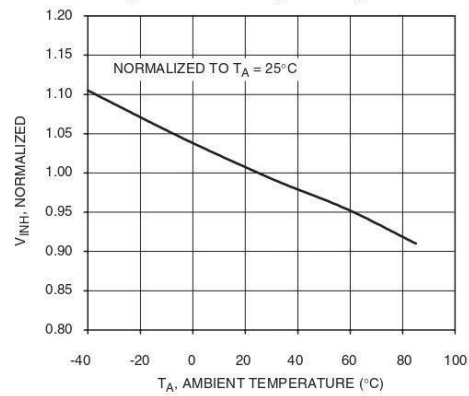
Figure 7. I_H , Holding Current vs. Temperature

Figure 8. Inhibit Voltage vs. Temperature





6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

MOC3082M

MOC3083M

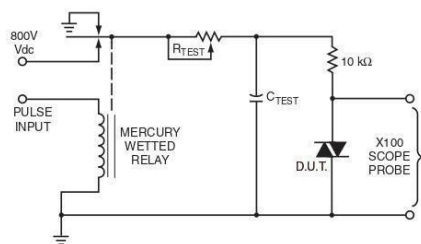


Figure 9. Static dv/dt Test Circuit

1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τ_{RC} is measured at this point and recorded.

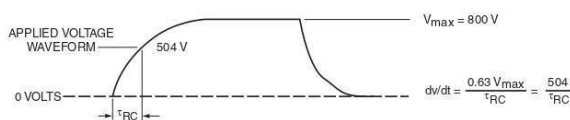
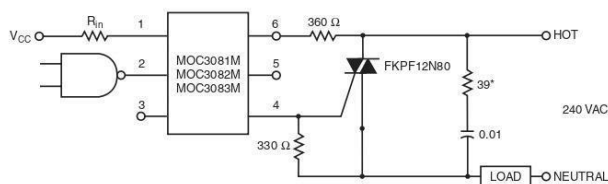


Figure 10. Static dv/dt Test Waveform

Typical circuit for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

R_{in} is calculated so that I_F is equal to the rated I_{FT} of the part, 15 mA for the MOC3081M, 10 mA for the MOC3082M, and 5 mA for the MOC3083M. The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load use.



* For highly inductive loads (power factor < 0.5), change this value to 360 ohms.

Figure 11. Hot-Line Switching Application Circuit



6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

MOC3082M

MOC3083M

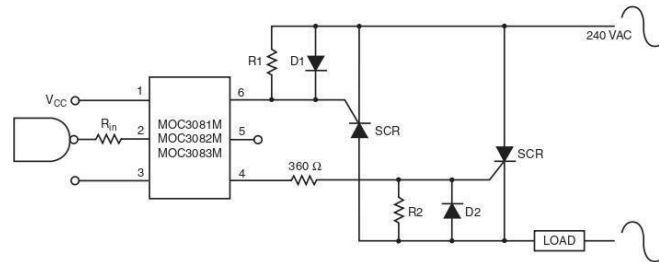


Figure 12. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit

Suggested method of firing two, back-to-back SCR's with a Fairchild triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohm.

Note: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.



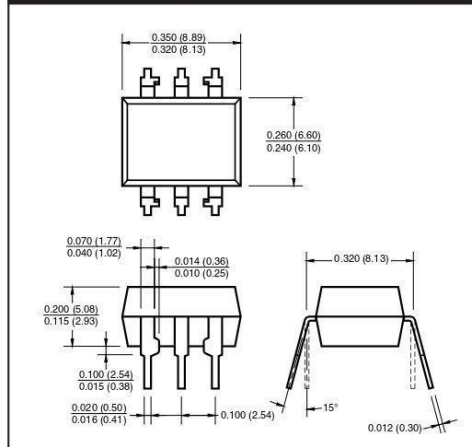
6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

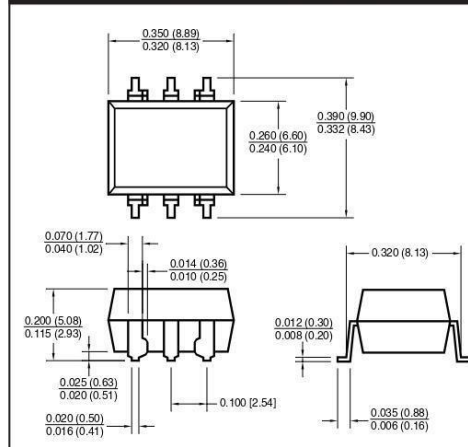
MOC3082M

MOC3083M

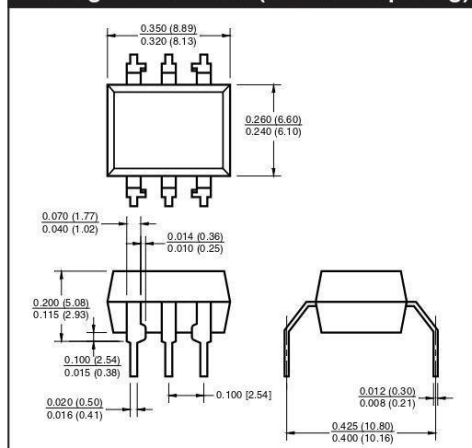
Package Dimensions (Through Hole)



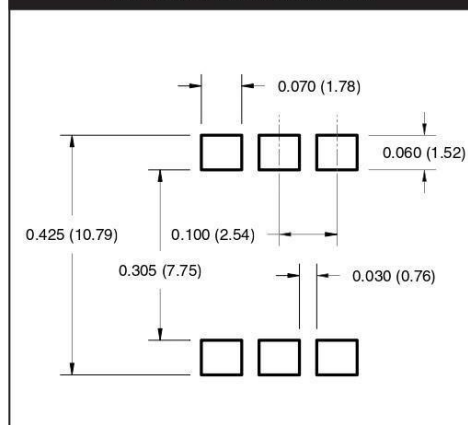
Package Dimensions (Surface Mount)



Package Dimensions (0.4" Lead Spacing)



Recommended Pad Layout for Surface Mount Leadform



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)



6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

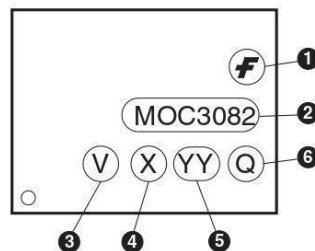
MOC3082M

MOC3083M

ORDERING INFORMATION

Order Entry Identifier	Description
S	Surface Mount Lead Bend
SR2	Surface Mount; Tape and reel
T	0.4" Lead Spacing
V	VDE 0884
TV	VDE 0884, 0.4" Lead Spacing
SV	VDE 0884, Surface Mount
SR2V	VDE 0884, Surface Mount, Tape & Reel

MARKING INFORMATION



Definitions	
1	Fairchild logo
2	Device number
3	VDE mark (Note: Only appears on parts ordered with VDE option – See order entry table)
4	One digit year code, e.g., '3'
5	Two digit work week ranging from '01' to '53'
6	Assembly package code

*Note – Parts that do not have the 'V' option (see definition 3 above) that are marked with date code '325' or earlier are marked in portrait format.



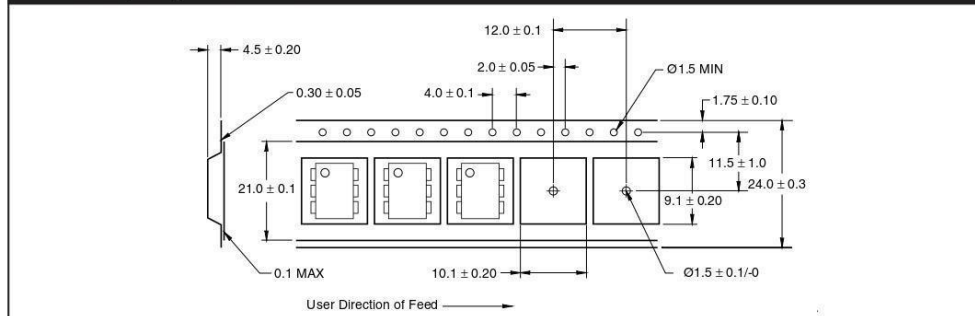
6-PIN DIP ZERO-CROSS OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (800 VOLT PEAK)

MOC3081M

MOC3082M

MOC3083M

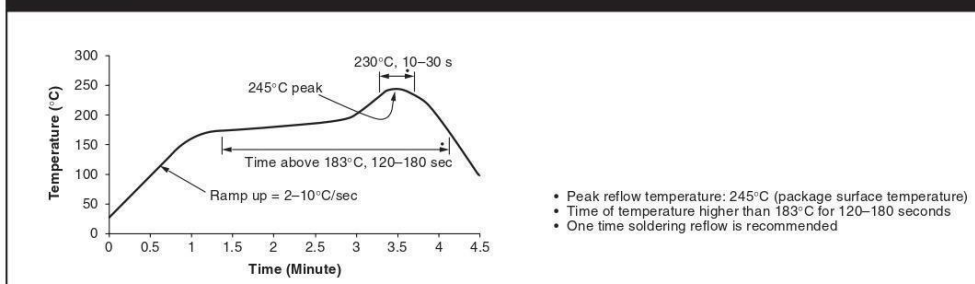
Carrier Tape Specifications



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)

Reflow Profile





High-reliability discrete products
and engineering services since 1977

T2801 SERIES

SILICON BIDIRECTIONAL THYRISTORS

FIGURE 1 – CURRENT DERATING

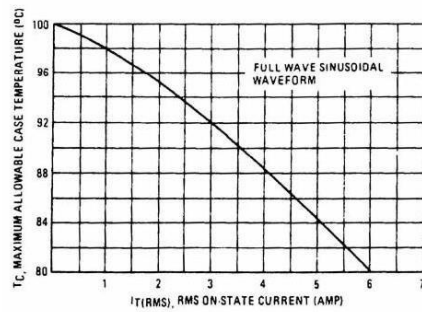
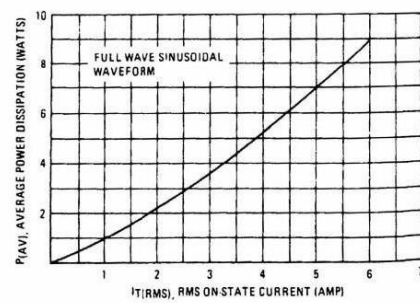


FIGURE 2 – POWER DISSIPATION



Rev. 20131205



High-reliability discrete products
and engineering services since 1977

T2801 SERIES

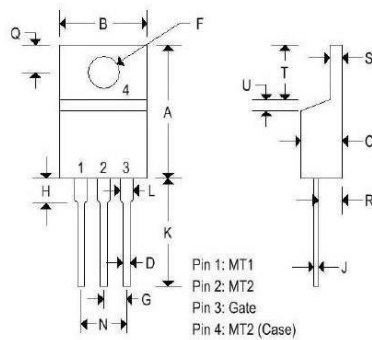
SILICON BIDIRECTIONAL THYRISTORS

(Rated V_{DRM} , $I_{T(RMS)} = 6A$, commutating $di/dt = 4.3A/ms$, gate unenergized, $T_C = 80^\circ C$)		-	10	-	
Critical rate of rise of off-state voltage (Rated V_{DRM} , exponential voltage rise, gate open, $T_C = 100^\circ C$) T2801B T2801C T2801D T2801E	dv/dt	50 40 30 20	- - - -	- - - -	$V/\mu s$

Note 2: Applies for MT2(+), G(+); MT2(-), G (-)

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Case	TO-220AB
Marking	Alpha-numeric
Pin out	See below



	TO-220AB			
	Inches		Millimeters	
	Min	Max	Min	Max
A	0.575	0.620	14.600	15.750
B	0.380	0.405	9.650	10.280
C	0.160	0.190	4.060	4.820
D	0.025	0.035	0.640	0.890
F	0.142	0.147	3.610	3.730
G	0.095	0.105	2.410	2.670
H	0.110	0.155	2.790	3.930
J	0.014	0.022	0.360	0.560
K	0.500	0.562	12.700	14.270
L	0.045	0.055	1.140	1.390
N	0.150	0.210	4.830	5.330
Q	0.100	0.120	2.540	3.040
R	0.090	0.110	2.040	2.760
S	0.045	0.055	1.140	1.390
T	0.235	0.255	5.970	6.460
U	-	0.050	-	1.270
V	0.045	-	1.140	-
Z	-	0.080	-	2.030

Rev. 20131205



High-reliability discrete products
and engineering services since 1977

T2801 SERIES

SILICON BIDIRECTIONAL THYRISTORS

FIGURE 1 – CURRENT DERATING

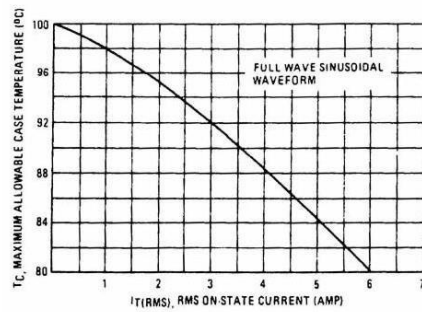
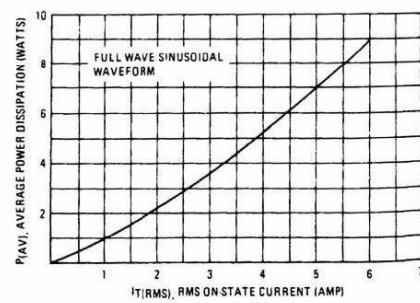


FIGURE 2 – POWER DISSIPATION



Rev. 20131205

4. PROGRAMAS

A continuación, se muestra el programa de Arduino. Este programa puede ser directamente copiado al entorno IDE de Arduino para compilarlo y cargarlo en Arduino.

```
#include<LiquidCrystal.h>
```

```
LiquidCrystal lcd(2,3,4,5,6,7);//para asignar los pines de Arduino en este orden: RS, E,  
D4,D5, D6, D7
```

```
float angulo_disparo;//variable del ángulo de disparo
```

```
int teclado;//entrada analógica
```

```
float valor1;
```

```
int keyboardvalue;
```

```
float keypressed;
```

```
int reset_teclado;
```

```
int tecla_pulsada;
```

```
int i;//variable para asegurar que el mensaje inicial permanece hasta que se introduce un  
ángulo de disparo
```

```
int cruce_cero;// este es el pin para detectar el cruce por cero de la señal AC
```

```
int disparo_triaco;// este es el pin de disparo o Disparo_TRIAC
```

```
int estadoactual;//variable que guarda el estado del pin de entrada digital
```

```
int estadoanterior;//variable que guarda el estado anterior del pin de entrada digital
```

```
float delaytime;//variable para medir los tiempos de disparo
```

```
float tiempoenalto;//tiempo en alto del pulso de activacion para asegurar que se activa en  
cada semiciclo
```

```
void setup() {
```

```
    lcd.begin(16,2);//se define el tamaño que tiene la pantalla
```

```
    lcd.clear();
```

```
    lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print("Pulse 'C' para");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("angulo disparo");
teclado = A0;//pin analógico A0
pinMode(teclado, INPUT);//pin analógico del teclado
reset_teclado=0;
angulo_disparo=90;
valor1=0;
i=0;
estadoactual = 0;
estadoanterior = 0;
cruce_cero = 13;//pin digital 13
disparo_triac = 12;//pin digital 12
delaytime = 0;
tiempoenalto = 0;
pinMode(cruce_cero, INPUT);//pin de cruce por cero es una entrada
pinMode(disparo_triac, OUTPUT);//pin de disparo es una salida
digitalWrite(disparo_triac, LOW);//inicializamos la señal de disparo en cero
}

void loop() {
  keyboardvalue = analogRead(teclado);
  if(keyboardvalue>=0 and keyboardvalue<10){
    digitalWrite(disparo_triac, LOW);//ponemos a nivel bajo el Disparo_TRIAC
    lcd.clear();
    while(reset_teclado==0){//mientras no se pulse la C no se determina el nuevo angulo de
disparo
      delay(1500);
      keyboardvalue = analogRead(teclado);
      if(keyboardvalue>400 and keyboardvalue<430){
```

```
    keypressed = 0;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>700 and keyboardvalue<740){
    keypressed = 1;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>650 and keyboardvalue<690){
    keypressed = 2;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>598 and keyboardvalue<620){
    keypressed = 3;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>582 and keyboardvalue<598){
    keypressed = 4;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>470 and keyboardvalue<495){
    keypressed = 5;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>298 and keyboardvalue<315){
    keypressed = 6;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>560 and keyboardvalue<582){
    keypressed = 7;
    tecla_pulsada=1;
}
```

```
if(keyboardvalue>442 and keyboardvalue<469){
    keypressed = 8;
    tecla_pulsada=1;
}
if(keyboardvalue>220 and keyboardvalue<270){
    keypressed = 9;
    tecla_pulsada=1;
}
if(tecla_pulsada==1){
    valor1=valor1*10+keypressed;
    tecla_pulsada=0;
}
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("'C' para terminar");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(valor1);
if(keyboardvalue>=0 and keyboardvalue<10) reset_teclado = 1; //tecla C
}
lcd.clear();
angulo_disparo=valor1;
valor1=0;
reset_teclado=0;
tecla_pulsada=0;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Angulo disparo: ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(angulo_disparo);
lcd.print(" grados");
delay(2000);
}
```

```
estadoactual = digitalRead(cruce_cero); //se lee el estado de cruce por cero
delaytime= angulo_disparo/18.00; //tiempo de espera para el triac
if(estadoactual!=estadoanterior){ //Esperamos un cambio de flanco
    tiempoenalto = (10 - delaytime)-0.25;
    estadoanterior = estadoactual; //para detectar paso por cero de nuevo
    delay(delaytime); //esperamos el tiempo segun ángulo de disparo
    digitalWrite(disparo_triac, HIGH); //enviamos el pulso alto de disparo
    delay(tiempoenalto); //se queda la señal en alto para no perder potencia
    digitalWrite(disparo_triac, LOW); //luego ponemos a nivel bajo el Disparo_TRIAC
}
}
```


PLANOS

El sistema es un regulador AC controlado por la plataforma Arduino y totalmente autónomo. Dispone de un display para visualizar los ángulos de disparo y, un teclado o potenciómetro para controlarlo.

A continuación, se muestra el esquema completo del sistema, el diagrama de ensamblaje de la placa de circuito impreso, los diagramas de las pistas del circuito impreso (tanto la cara superior como la cara inferior), el diagrama de los taladros de la placa de circuito impreso, e información del diámetro de los taladros.

Los diagramas se muestran a tamaño real y están listos para su impresión sobre el cliché, y poder crear las pistas sobre la placa de circuito impreso virgen.

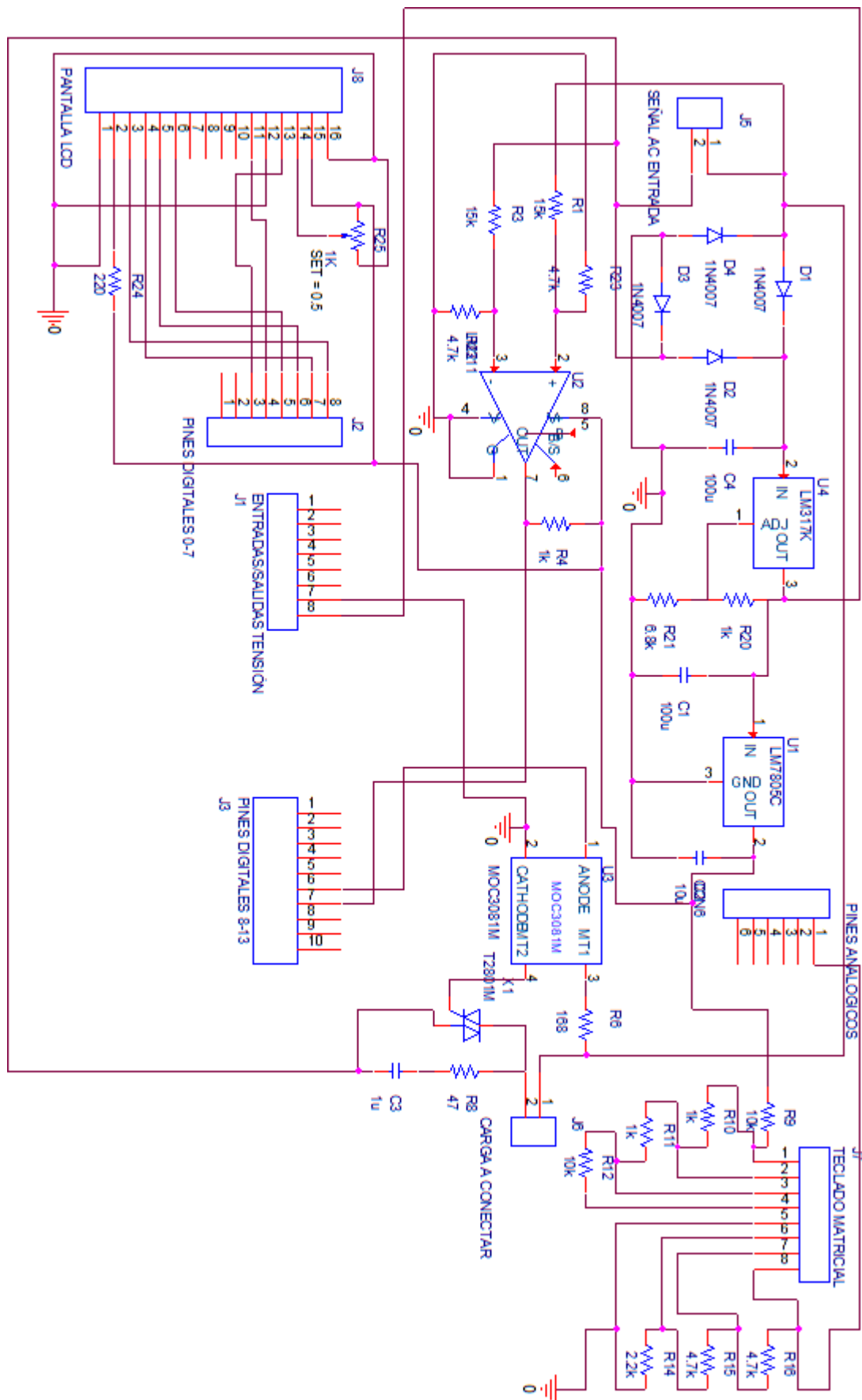


Figura 70. Esquema completo del sistema

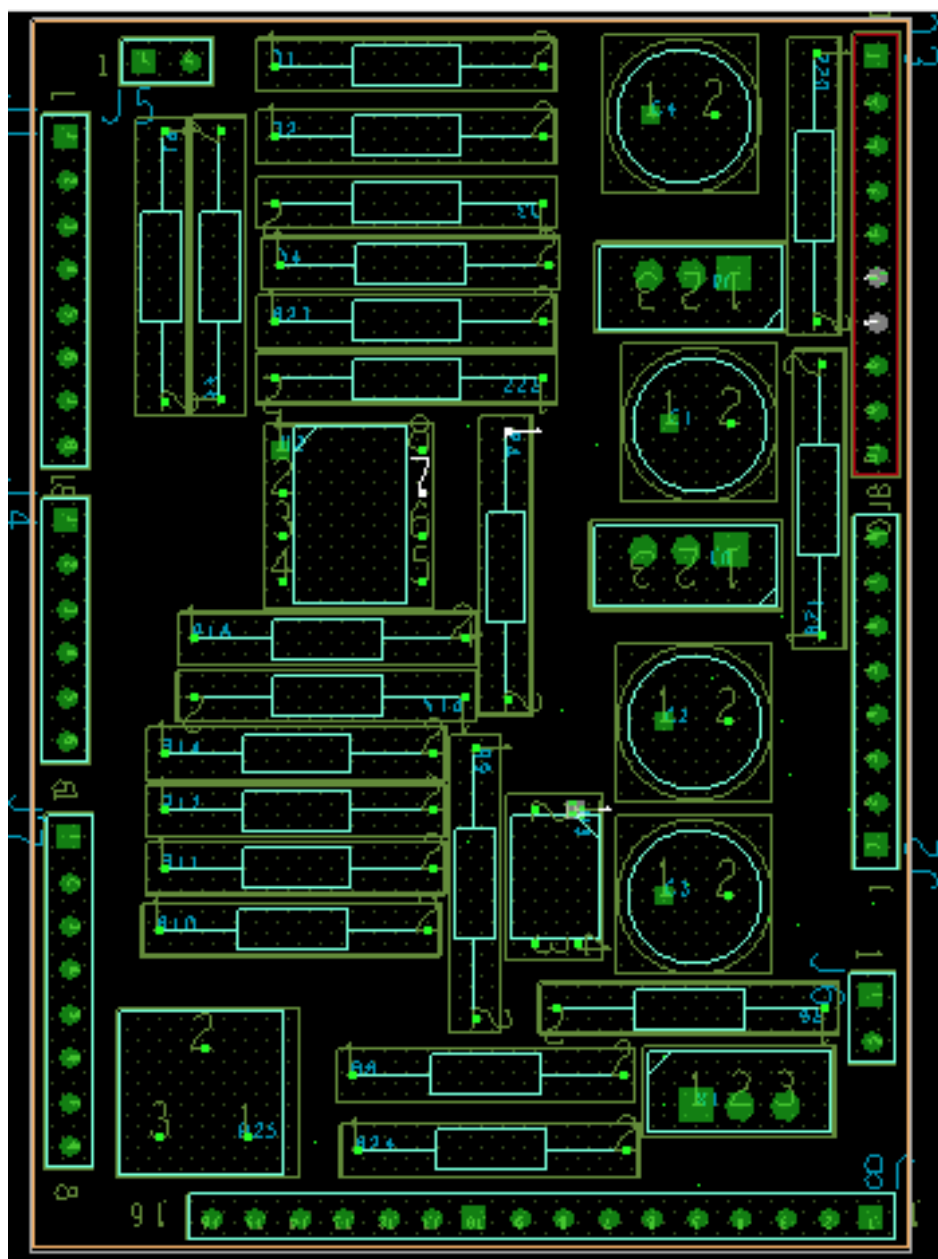


Figura 71. Diagrama de ensamblaje del circuito impreso

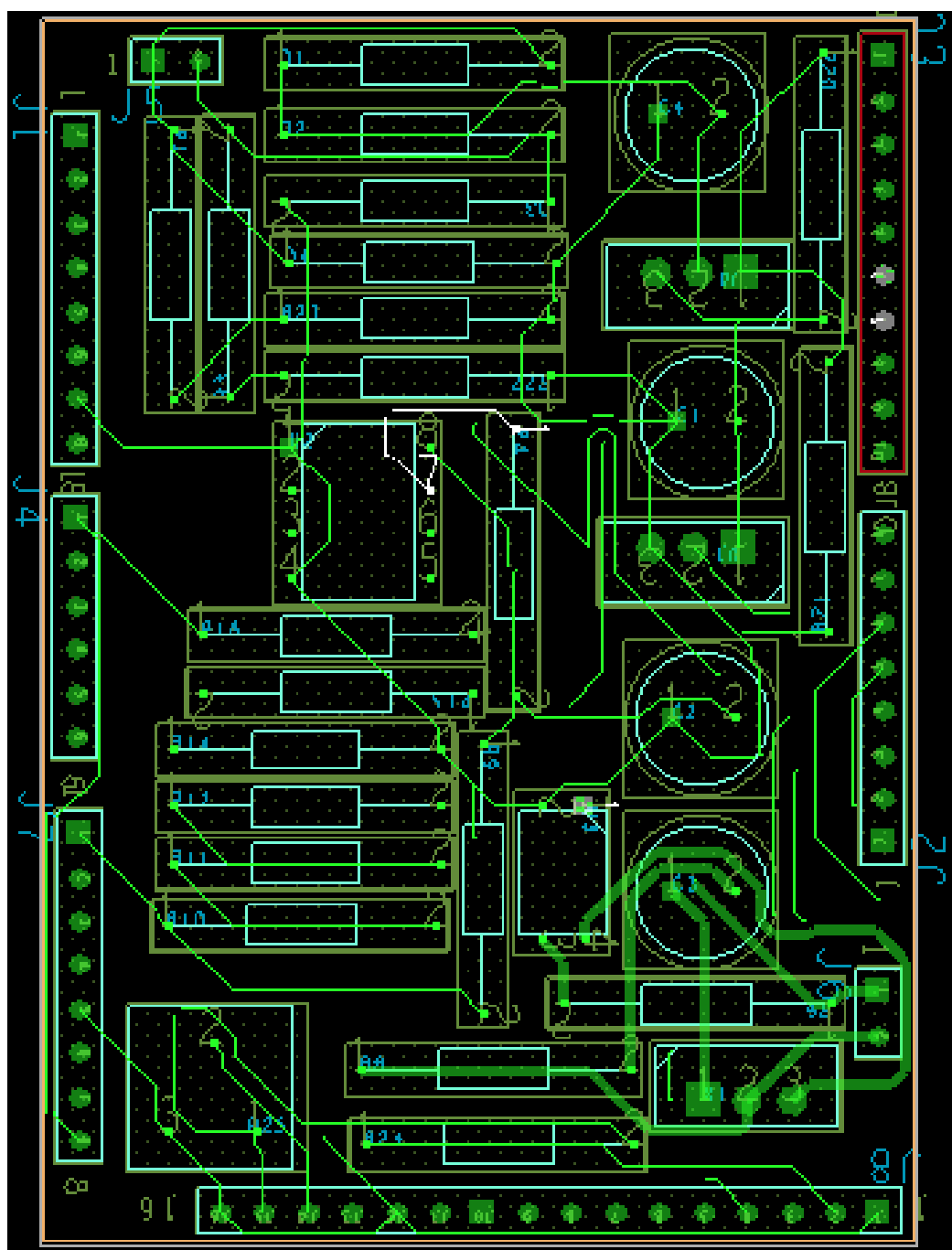


Figura 72. Componentes y conexiones cara TOP

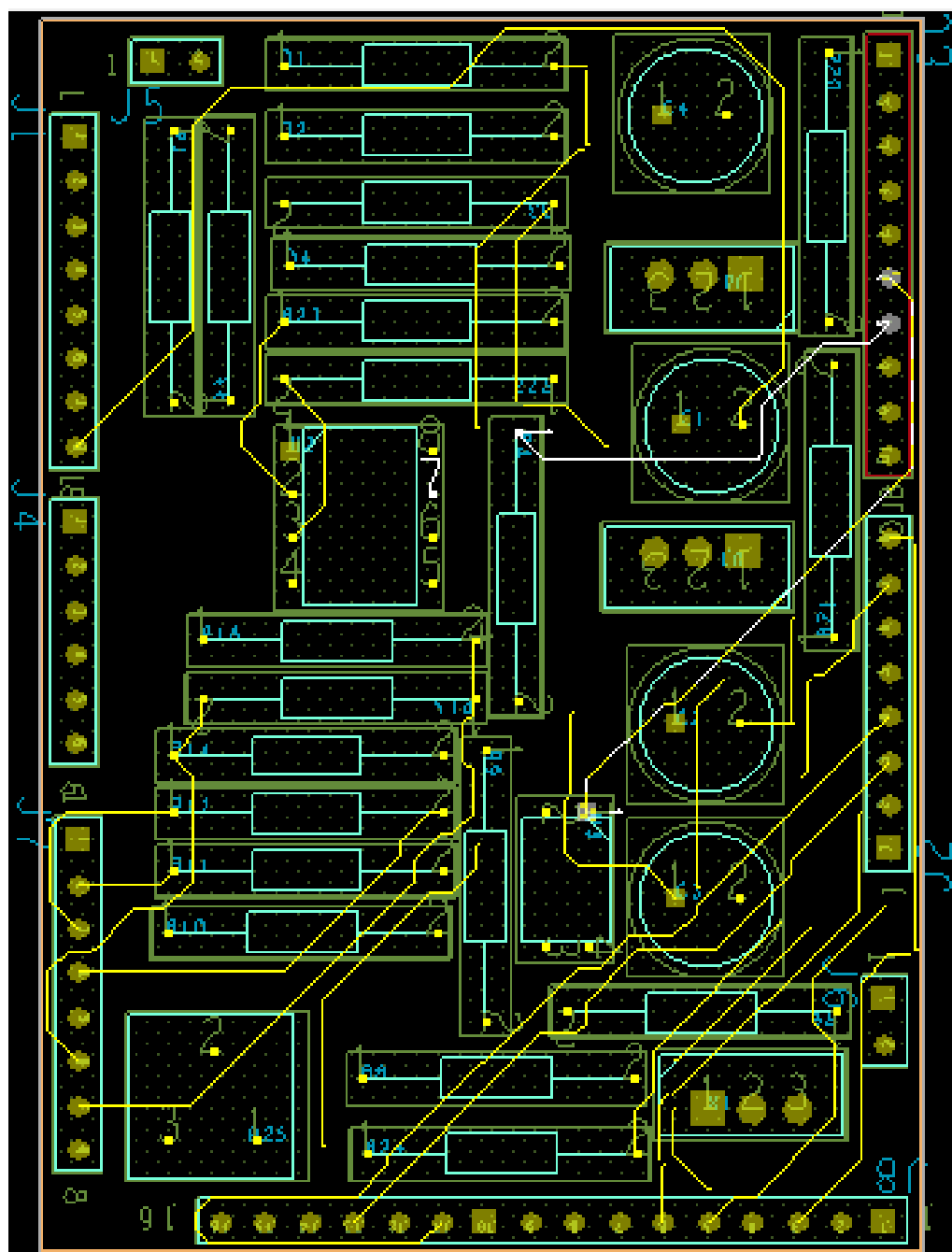


Figura 73. Componentes y conexiones cara BOTTOM

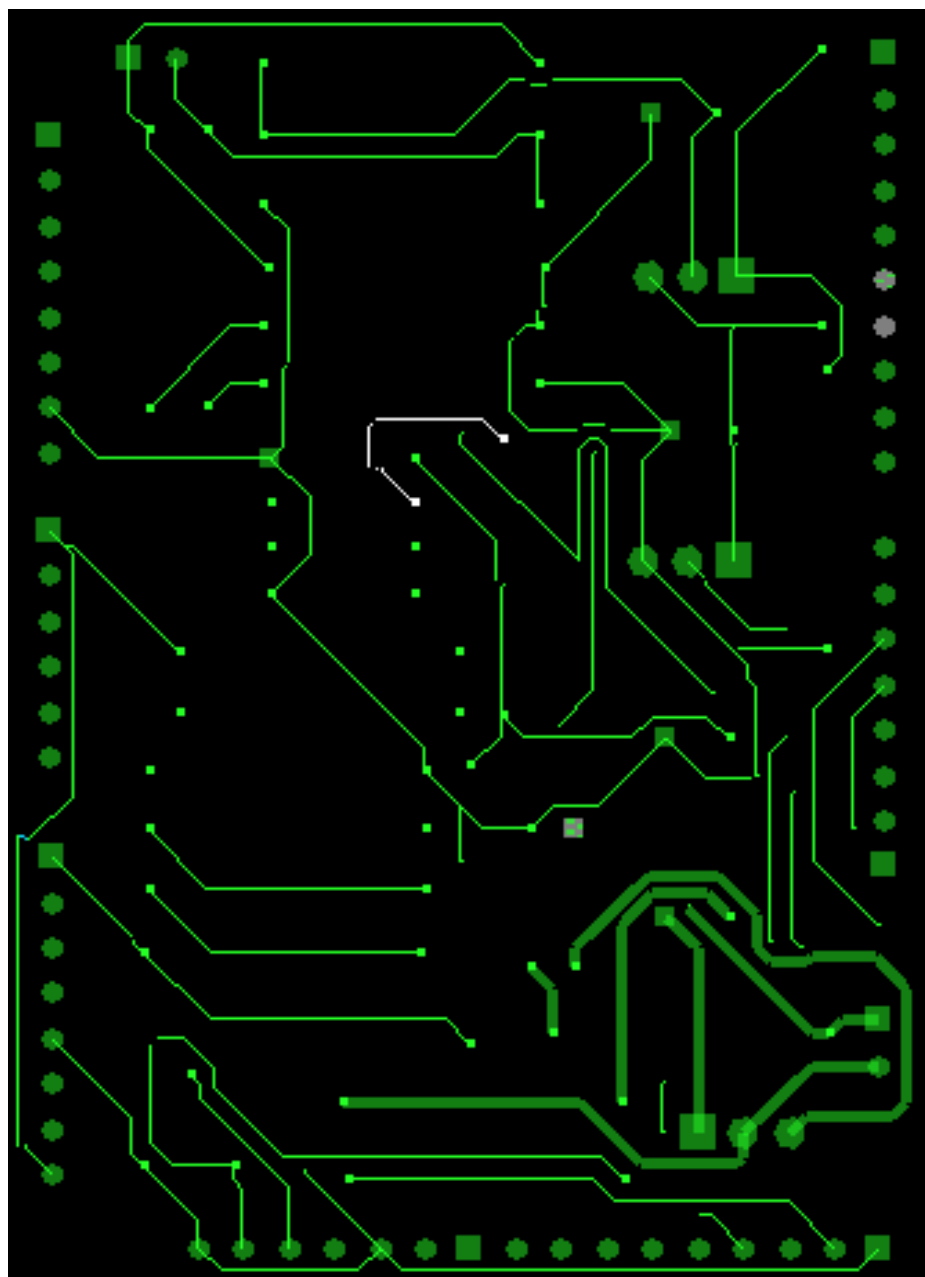


Figura 74. Pistas de la cara TOP

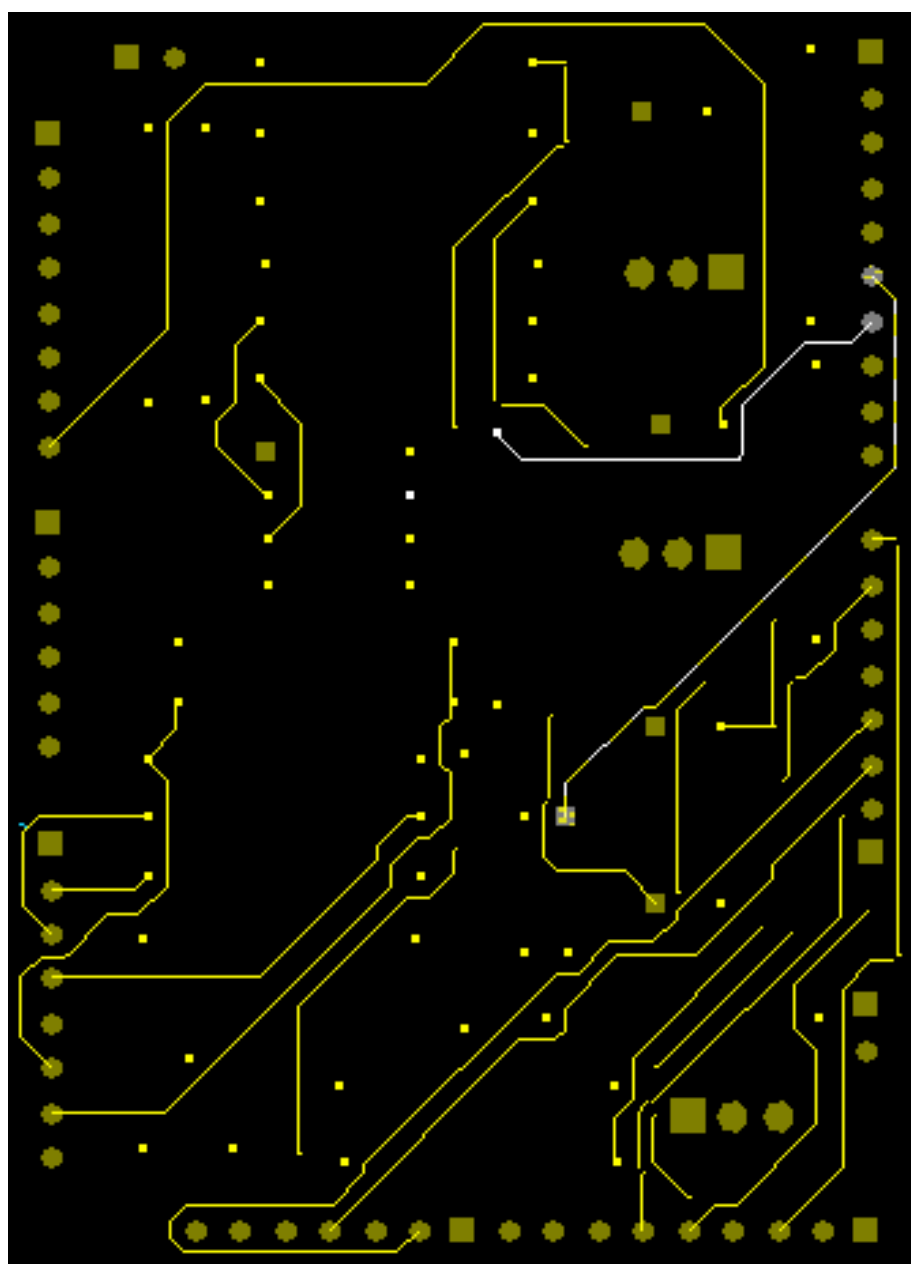


Figura 75. Pistas de la cara BOTTOM

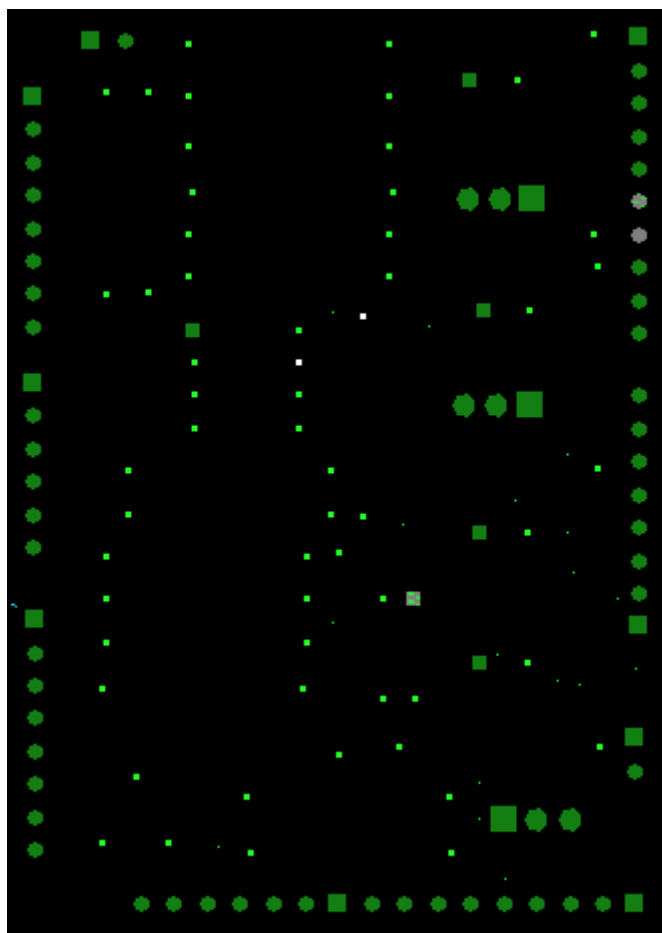


Figura 76. Taladros de la PCB vistos desde cara TOP

Tool	Num	Size	+/-	Tolerance	Plating	Quantity
T01	1.	13.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	17
T02	2.	27.5600	0.0000/	0.0000	PLATED	8
T03	3.	28.7400	0.0000/	0.0000	PLATED	8
T04	4.	31.5000	0.0000/	0.0000	PLATED	49
T05	5.	37.0000	0.0000/	0.0000	PLATED	60
T06	6.	50.7900	0.0000/	0.0000	PLATED	9
---- Total holes:						151

Figura 77. Información de taladros

PRESUPUESTO

1. DISPOSICIONES LEGALES

En este capítulo se describen tanto los costes económicos de todo el trabajo realizado, así como todos los costes de los materiales utilizados.

Los precios de los componentes utilizados están comprobados a fecha de 18 de abril de 2023, no haciéndose responsable el autor de la variación de precio a una fecha distinta de la expuesta.

Los distribuidores de los que se han obtenidos los diferentes componentes son:

- Arduino
- RS Components
- Amazon
- Mouser

2. PRESUPUESTO DE MATERIALES

A continuación, se detallan los distintos precios de cada componente utilizado para el diseño del inversor monofásico en puente completo, además de la placa de circuito impreso y la placa de Arduino UNO.

Código	Componente	Nº ref. fabricante	Cantidad	Precio	Total
1.01	Arduino UNO REV3	7630049200050	1	24,00 €	24,00 €
1.02	Pantalla LCD 2x16	PC1602ARSD	1	22,07 €	22,07 €
1.03	Teclado matricial 4x4	125.MD9005	1	7,26 €	7,26 €
1.04	Potenciómetro	RK1631110TVG	1	6,41 €	6,41 €
1.05	Módulo Bluetooth	B0722MD4FY	1	10,99 €	10,99 €
1.06	Comparador LM311	LM311P	1	0,75 €	0,75 €
1.07	Regulador Tensión LM7805	LM7805CT/NOPB	1	2,55 €	2,55 €
1.08	Optoacoplador Triac	MOC3020	1	0,81 €	0,81 €
1.09	Triac	BT138-600E	1	1,44 €	1,44 €
1.10	Diodo	1N4007RLG	4	0,10 €	0,40 €
1.11	Regleta de pines 10 vías	TMS-110-01-S-S	1	4,50 €	4,50 €
1.12	Regleta de pines 8 vías	M20-9990846	1	0,39 €	0,39 €

Código	Componente	Nº ref. fabricante	Cantidad	Precio	Total
1.13	Regleta de pines 6 vías	M20-9990645	1	0,33 €	0,33 €
1.14	Regleta de pines 16 vías	468-0953	1	1,32 €	1,32 €
1.15	Regleta de pines 2 vías	251-8086	1	0,14 €	0,14 €
1.16	Condensador 10µF	711-2129	2	1,14 €	2,29 €
1.17	Condensador 100nF	UVY1H0R1MDD	2	0,21 €	0,42 €
1.18	Resistencia 47Ω	163-9022	1	1,50 €	1,50 €
1.19	Resistencia 100Ω	707-7587	1	0,28 €	0,28 €
1.20	Resistencia 168Ω	186-9518	1	0,29 €	0,29 €
1.21	Resistencia 820Ω	707-7669	1	0,26 €	0,26 €
1.22	Resistencia 1000Ω	707-8861	1	0,20 €	0,20 €
1.23	Resistencia 1400Ω	MRS25000C1401FCT00	1	0,28 €	0,28 €
1.24	Resistencia 1800Ω	707-7688	1	0,16 €	0,16 €
1.25	Resistencia 2200Ω	707-7690	3	0,25 €	0,74 €
1.26	Resistencia 2700Ω	707-7704	2	0,26 €	0,53 €
1.27	Regulador Tensión LM317	533-8209	1	2,84	2,84
1.28	Placa de cobre de doble cara	-	1	12,58 €	12,58 €
				Total	106,49 €

3. PRESUPUESTO DE PERSONAL

A continuación, se van a detallar los precios de las horas del personal junto con las horas invertidas en este proyecto.

Código	Resumen	Cantidad	Precio por hora	Total
2.01	Diseño del hardware	16	20,00 €	320,00 €
2.02	Diseño del software	12	20,00 €	240,00 €
2.03	Montaje	4	15,00 €	60,00 €
2.04	Pruebas y simulaciones	50	20,00 €	1.000,00 €
2.05	Elaboración de la documentación	100	15,00 €	1.500,00 €
			Total	3.120,00 €

4. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Presupuestos de componentes	106.49 €
Presupuesto del personal	3.120,00 €
Presupuesto de ejecución material	3.226.49 €
Gastos generales (15%)	483.97 €
Beneficio industrial (6%)	193,16 €
Total parcial	3.904,05 €
IVA (21%)	818,85 €
Presupuesto de ejecución por contrata	4.723,90 €

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de **CUATRO MIL SETECIENTOS VEINTITRES euros con NOVENTA céntimos.**

En el caso que, por ejemplo, algún fabricante de PCB quisiera fabricar una tirada de 1000 unidades de los reguladores de potencia en señal alterna monofásica que se han desarrollado en este proyecto, la unidad saldría a un coste de **CUATRO euros con SETENTA Y DOS céntimos.**