



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO ELECTRÓNICO

SISTEMA DE CONTROL DE CARGA CONSTANTE PARA UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA EN KUMBO, CAMERÚN.

Autor: Clara Pérez-Andújar Carretié
Director: José Daniel Muñoz Frías

Madrid
Julio 2016

Clara
Pérez-Andújar
Carretié

**SISTEMA DE CONTROL DE CARGA CONSTANTE PARA UNA MINICENTRAL
HIDROELÉCTRICA EN KUMBO, CAMERÚN**



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1ª. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. **Clara Pérez-Andújar Carretié**, como estudiante de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS (COMILLAS), **DECLARA** ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **“SISTEMA DE CONTROL DE CARGA CONSTANTE PARA UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA EN KUMBO, CAMERÚN”**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2ª. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3ª. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.

- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.

- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.

- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 4 de Julio de 2016

ACEPTA



Fdo Clara Pérez-Andújar Carretié

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
SISTEMA DE CONTROL DE CARGA CONSTANTE PARA UNA
MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA EN KUMBO, CAMERÚN
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2015/2016 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Clara Pérez-Andújar Carretié

Fecha://



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: José Daniel Muñoz Frías

Fecha://

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: Álvaro Sánchez Miralles

Fecha://

Agradecimientos

Muchas gracias a mi director de proyecto, Daniel, por ayudarme en su desarrollo y estar siempre disponible, ayudando de buena gana y tranquilo ante las complicaciones que hayan podido surgir.

Gracias infinitas también a mis padres por su apoyo durante estos cuatro años y su fe en mis capacidades.

SISTEMA DE CONTROL DE CARGA CONSTANTE PARA UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA EN KUMBO, CAMERÚN

Autora: Pérez-Andújar Carretié, Clara

Director: Muñoz Frías, José Daniel

Entidades Colaboradoras: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

Fundación ICAI (Ingenieros de ICAI para el desarrollo)

RESUMEN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

La Fundación Ingenieros de ICAI para el Desarrollo lleva años trabajando para que personas desfavorecidas de todo el mundo tengan unas condiciones de vida dignas llevando hasta ellos recursos energéticos y tecnológicos para cumplir este objetivo. [1]

Uno de sus proyectos se centra en *Shumas Biofarm*, un centro educativo situado en Camerún en la región de Kumbo. A lo largo de 2013 y 2014 la Fundación instaló, con el apoyo de Energías sin Fronteras, diversas instalaciones de energía renovables y así la escuela tuvo energía por primera vez.

Aprovechando la presencia de diversos tipos de energías renovables en la granja, desde 2015 la Fundación ha dado un paso más creando el Centro de Tecnologías Renovables para impulsar la difusión de la energía limpia en Kumbo. En este centro se imparten módulos que instruyen a los jóvenes para que sean capaces de medir los recursos energéticos disponibles, observar las necesidades energéticas y calcular las instalaciones necesarias para cubrirlas. Para apoyar este proyecto con sesiones prácticas, la Fundación está desarrollando un prototipo de turbina hidráulica de 1kW que suministre electricidad a 230 V, 50Hz.

OBJETIVO

El objetivo de este proyecto es completar el diseño del prototipo añadiéndole un sistema electrónico de control de carga con el fin de fortalecer el diseño y alargar la vida útil del producto.

El sistema se diseñará para que en momentos en los que la demanda disminuya, durante la noche, y la turbina tienda a acelerarse, el sistema desvíe la potencia a unas resistencias que también serán de 1kW. De esta manera se evita que la turbina se embale y pueda dañarse.

Dado que se trata de un proyecto solidario se ha tratado de realizarlo de manera sencilla y económica.

PROPUESTA

Se ha planteado enfocar el control que regulará la potencia suministrada a la carga como un control de frecuencia. A través de este control se medirá la frecuencia de la onda, que aumentará cuando no haya demanda junto con la velocidad de la turbina, y cuando esta frecuencia sobrepase un valor fijado se desviará la potencia a las resistencias.

Investigando en la red se halló un circuito para un control de fase fácil de implementar y basándose en él se desarrolló el circuito final de la *Figura 1*.

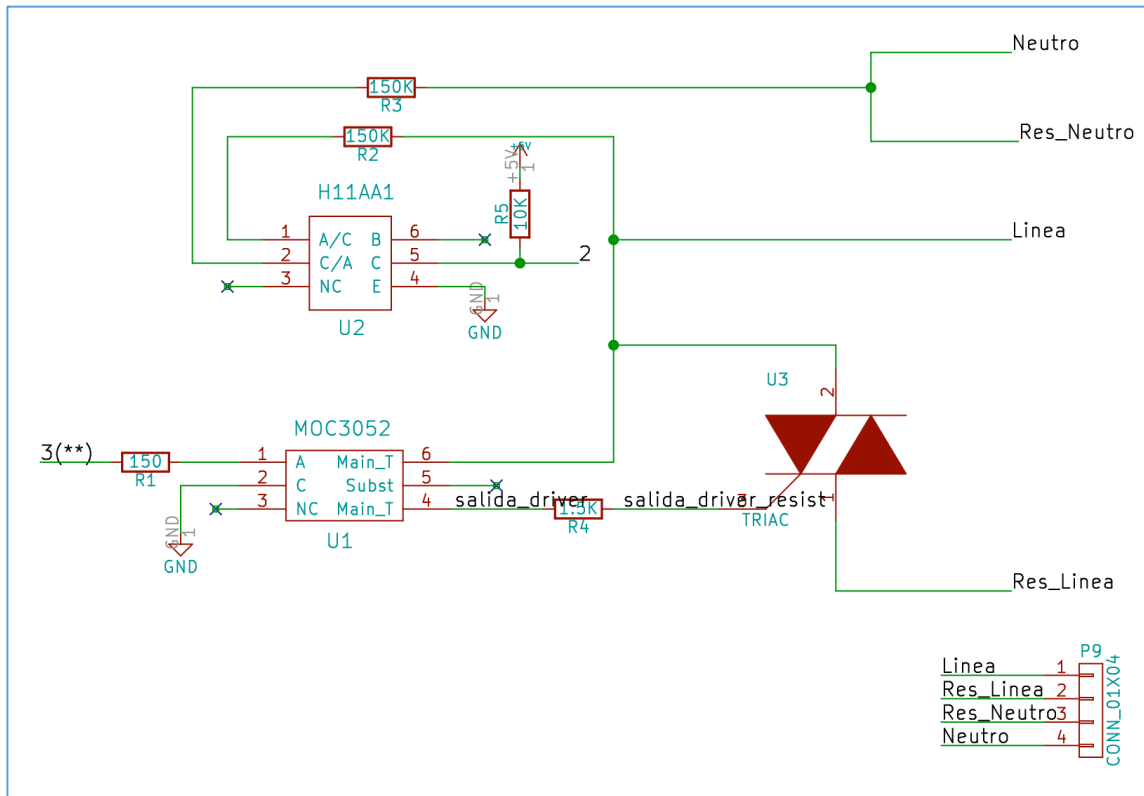


Figura 1. Circuito regulador

El funcionamiento del sistema consiste en la detección de los pasos por cero de la señal de CA por un optoacoplador, el cálculo de la frecuencia a través de los pasos por cero con un programa de software en el microcontrolador y, según el valor calculado, el envío de una señal de disparo al driver optoaislado que activará al triac y este desviará la potencia a la resistencia externa.

El uso de componentes ópticos (optoacoplador y driver) es fundamental para mantener aislada la parte analógica de alta tensión de la parte digital.

En la *Figura 2* se observa la relación entre la señal de entrada, los disparos enviados al triac y la señal de salida. El triac funciona como un interruptor que cuando está encendido disipa la potencia a las resistencias y en cuanto la tensión vuelve a pasar por cero, este se apaga y por lo tanto la potencia llega hasta la carga de demanda.

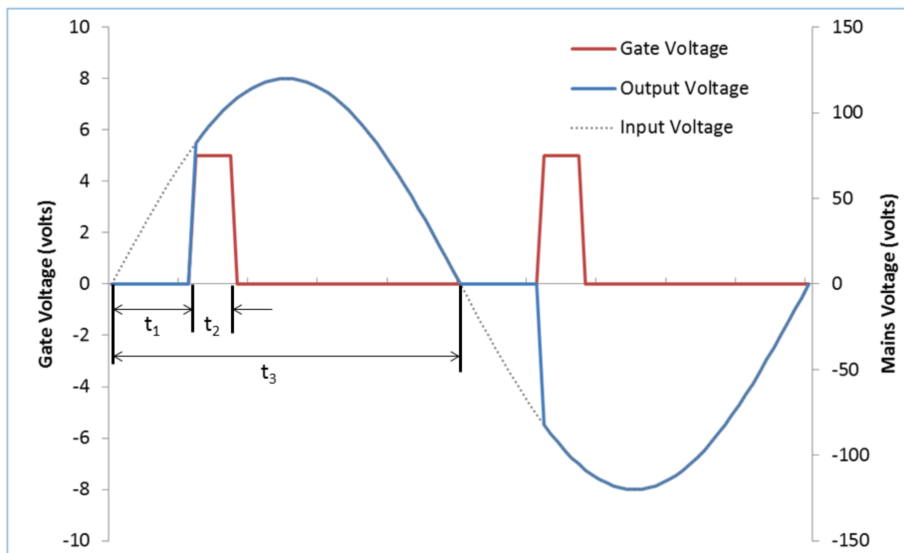


Figura 2. Principio funcionamiento

METODOLOGÍA

El desarrollo se ha dividido en dos partes: la elaboración del Hardware y posteriormente el diseño del Software. Para ello se han utilizado las herramientas de software KiCad y MPLAB.

La elaboración del Hardware consiste en la creación de la placa de circuito impreso PCB que sostendrá el circuito. A su vez se distinguen cuatro etapas:

La primera de ellas ha sido la elección de los componentes mirando detalladamente las hojas de datos para asegurarse de que son válidos para el objetivo del circuito.

La segunda etapa ha consistido en realizar el esquema del circuito de la *Figura 1* en KiCad diseñando los símbolos que no estaban en las librerías y posteriormente asignándoles las huellas que tendrán en la placa PCB, diseñando también aquellas necesarias.

La tercera etapa ha consistido en crear el circuito impreso prestando especial atención al ancho de las pistas, a los planos de masa y a la colocación de los componentes con el fin de evitar problemas de sobrecalentamiento debidos a la alta tensión.

La cuarta y última etapa ha sido el montaje de la placa en el laboratorio utilizando el equipo de soldadura y elementos aislantes como mica o cinta aislante por seguridad.

La elaboración del software ha consistido en un programa de comprobación del funcionamiento del hardware. Este programa dispara el triac $5ms$ después de la detección del paso por cero.

RESULTADOS

Al utilizar el software de comprobación se vio que únicamente parte del circuito funcionaba correctamente. La detección de los pasos por cero era correcta y la llegada de los disparos al driver también. Aun así, tras numerosas pruebas y alteraciones en el hardware no se ha conseguido que el triac dispare correctamente y por lo tanto no ha habido tiempo para continuar con el diseño del software de control.

CONCLUSIONES

Después de las numerosas pruebas realizadas y la falta de resultados se concluye que el error debe estar o bien en el diseño del circuito o bien en la elección del driver optoaislado. Se seguirá investigando posibles soluciones y analizando los resultados obtenidos hasta lograr el correcto funcionamiento y poder así continuar con el objetivo del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.fundacionicai.org>
- [2] Mohan, Undeland y Robbins, John Wiley & Sons, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, 2a Ed, Nueva York, 1995.

CONSTANT LOAD CONTROL SISTEM FOR A MICROHYDRAULIC CENTRAL IN KUMBO, CAMEROON

ABSTRACT

INTRODUCTION

Fundación ICAI is a NGO dedicated to make energetic and technological resources available to unprivileged people from all over the world so that they can achieve a decent level of well-being and continue growing and developing.

One of it's many projects is focused in *Shumas Biofarm*, an educational centre located in the region of Kumbo in Cameroon. Through the year 2013 and 2014, *Fundación ICAI* installed diverse renewable energy structures so that the biofarm could finally enjoy energy.

Making use of all the renewable energy installations, the NGO launched in 2015 a new project focused on creating a Renewable Technologies Centre impulse and spread the clean energy system in Kumbo. Here they give academic modules to the individuals in order to make them capable of measuring the available resources, see the energetic needs and calculate the required installations to make up for those needs.

To support this project with practical laboratory sessions, *Fundación ICAI* is developing a hydraulic turbine prototype of 1kW that will supply electricity at 230Vac, 50Hz.

OBJECTIVE

The aim of this project is to complete the prototype's design coupling a load control electronic system to it so that it strengthens the design extending the product's lifespan.

The system will be designed so that when there is no energy demand, during nigh time and the turbine tends to accelerate at a dangerous speed, the system deviates the power to a resistor of 1kW. This way turbine runaway and possible damage is avoided.

Since this is a solidary project, the objectives of simplicity and low budget have been respected.

APPROACH

The control that will adjust the power supply will be a frequency control. Through this control the frequency of the AC wave will be measured and if it exceeds a fixed value (when demand decreases speed and frequency increase) then the power will be dissipated to the resistor.

Searching through the web, a simple phase control circuit was found and taking it as base, the final circuit of *Figure 1* was developed.

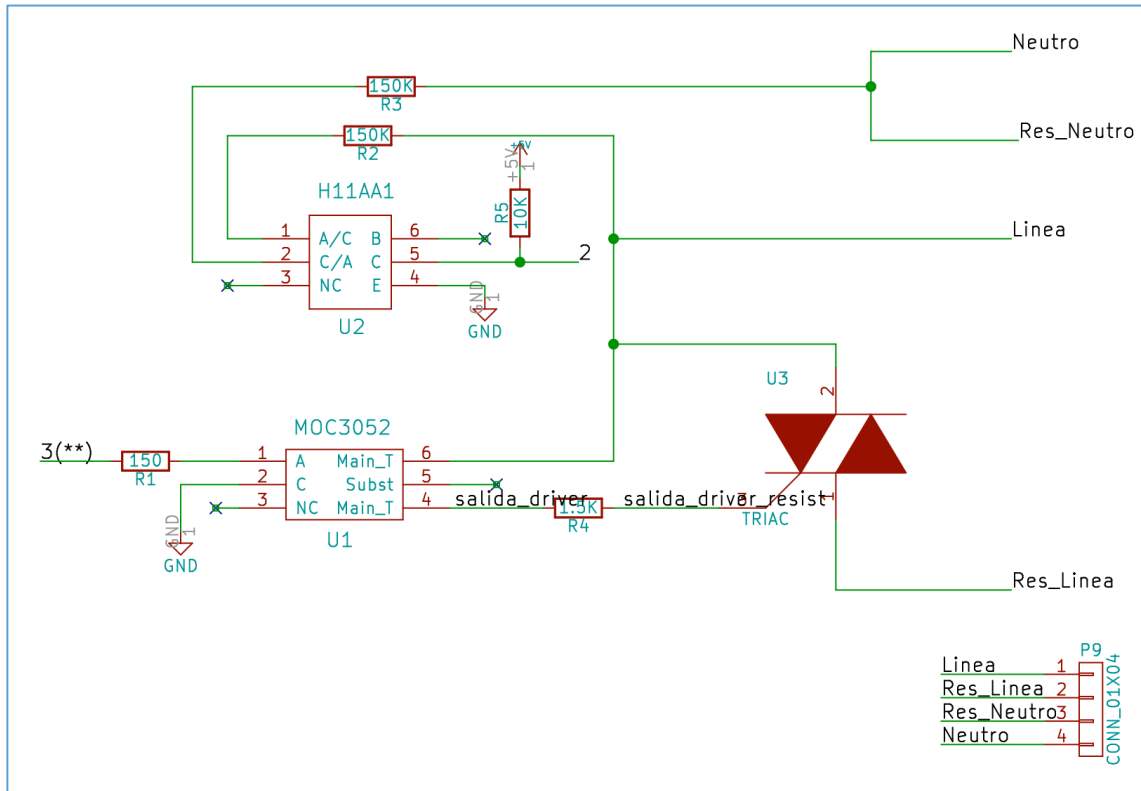


Figure 1. Final circuit

The system operates by detecting the zero-crossing of the AC signal by the optocoupler, calculating the frequency through the zero-cross with a software program and depending on that sending a trigger signal to the optoisolated driver in order to activate the triac that will conduct the power to the resistor.

The use of optical components (the optocoupler and the driver) is critical for this circuit to isolate the analogical part with the digital part.

Figure 2 shows the relation between the AC input wave, the trigger signal and the output of the triac. The triac works as a switch that when it's on it turns on the power into the resistor and when the AC signal crosses zero again it turns off so the power reaches the final load.

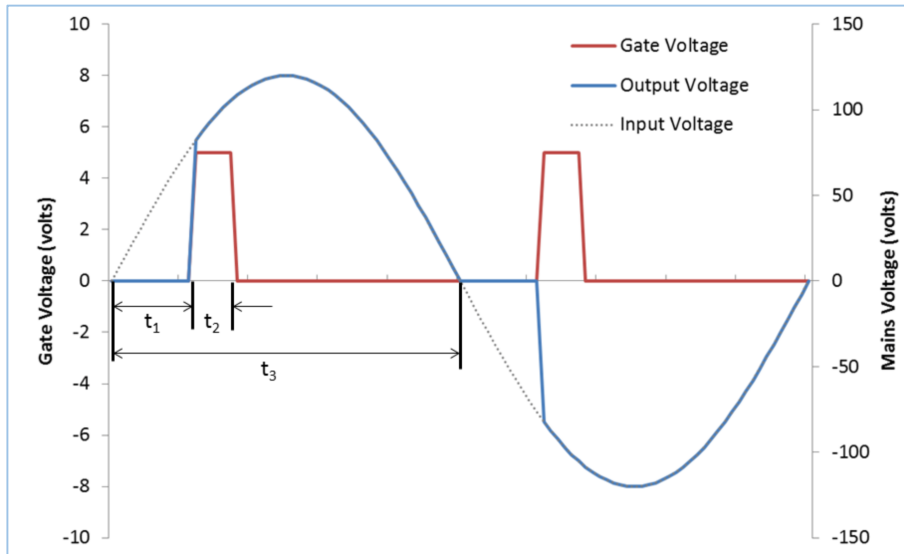


Figure 2. Operating principle

METHODOLOGY

The development has been divided into two main sections: Hardware elaboration and Software programming. Two main software tools have been used for this: KiCad and MPLAB

The hardware consists in the creation of the Printed Circuit Board (PCB) that will hold the circuit. This process can be divided in four stages:

The first one is the selection of the electronic components, looking carefully into their data sheets and making sure they are valid for the purpose of the circuit.

The second stage consists in creating the electronic scheme shown in *Figure 1* in KiCad designing those symbols lacking in the internal libraries of the program and afterwards assigning to each component the footprints they will have on the board, designing the missing ones again.

The third stage is creating the printed circuit paying special attention to the track width, the ground planes and the location of the components to avoid as much as possible the overheating of the board due to high voltage.

The fourth and final stage is the manufacturing of the board in the laboratory using soldering equipment and isolating elements like mica or isolating tape for security.

The software is a check program used to see the correct functioning of the hardware. It applies a triggering pulse to the triac *5ms* after the zero-crossing.

RESULTS

When using the ‘checking’ software it could be seen that only part of the circuit was working properly. The zero-cross detector was right and so was the trigger pulse to the driver. But surprisingly, after numerous trials and alterations to the original hardware, the triac does not trigger properly and therefore there’s been no time to continue developing the control software.

CONCLUSIONS

After the numerous trials and tests done over the hardware and the lack of positive results, it can be concluded that the error is either on the designed circuit or on the chosen optoisolated driver. Further investigation of possible solutions will be done until the hardware responds properly and then the following design of the software can be done to meet the objective of the Project.

REFERENCES

- [3] <http://www.fundacionicai.org>
- [4] Mohan, Undeland y Robbins, John Wiley & Sons, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, 2a Ed, Nueva York, 1995.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

DOCUMENTO I : MEMORIA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



Índice de la memoria

Parte I	Memoria	1
Capítulo 1	Introducción	3
1.1	Contexto: Fundación ICAI en Camerún	3
1.2	Objetivo del proyecto	5
1.3	Estudio teórico	6
1.4	Propuesta	7
1.5	Estudio de los trabajos existentes	8
1.6	Motivación del proyecto	10
1.7	Metodología	11
1.8	Recursos y herramientas empleadas	12
Capítulo 2	Diseño del hardware	13
2.1	Selección del modelo del circuito	13
2.2	Selección de componentes	15
2.3	Creación en Kicad	16
2.4	Montaje	23
Capítulo 3	Pruebas de funcionamiento	25
3.1	Comprobación paso por cero	25
3.2	Software prueba	25
Capítulo 4	Resultados y cambios	27
4.1	Optoacoplador	27



4.2	Cambio resistencias potencia	28
4.3	Resultados finales	31
<i>Capítulo 5</i>	<i>Conclusiones</i>	32
<i>Capítulo 6</i>	<i>Futuros desarrollos</i>	33
6.1	Funcionamiento correcto del hardware	33
6.2	Desarrollo del software de control	34
6.3	Uso de la energía calorífica	34
6.4	Montaje final.....	34
<i>Bibliografía</i>		35
<i>Parte II</i>	<i>Presupuesto económico</i>	37
<i>Capítulo 1</i>	<i>Presupuesto económico</i>	38
1.1	Material y precio unitario.....	38
1.2	Precio total del material.....	40
1.3	Presupuesto de trabajo	41
1.4	Presupuesto general	41
<i>Parte III</i>	<i>Datasheets</i>	44
<i>Capítulo 1</i>	<i>Datasheets</i>	45
<i>Parte IV</i>	<i>Anexo</i>	68
<i>Anexo 1: Código fuente</i>		70



Índice de figuras

Figura 1: Vista panorámica de la granja escuela. (Fuente: SHUMAS ORG).....	3
Figura 2: Oferta de servicios de SHUMAS BIOFARM (Fuente: Revista Anales)	4
Figura 3. Balance de energía en un sistema eléctrico (fuente: U. Carlos III)	6
Figura 4. Esquema de montaje.....	7
Figura 5. Reguladores electrónicos de carga (fuente: Saltos del Pirineo)	9
Figura 6. Regulador de carga trifásico (Fuente: Xinda Green Energy Co.)	9
Figura 7.a Símbolo triac.....	13
Figura 8. AC Phase control circuit (Fuente: Arduino).....	14
Figura 9. Símbolo driver y optoacoplador	17
Figura 10. Esquema circuito completo final	17
Figura 11. "Footprint" conector	19
Figura 12. Footprint optoacoplador/driver.....	19
Figura 13. Netlist	20
Figura 14. Normas de diseño PCB.....	20
Figura 15. Placa de circuito impreso.....	21
Figura 16. Detalle de la placa con el radiador	23
Figura 17. Detalle del cableado de la placa	24
Figura 18. Esquema software de comprobación	26
Figura 19. Detección paso por cero circuito inicial	27
Figura 20. Detalle optoacoplador.....	28
Figura 21. Detección pasos por cero ancha	29
Figura 22. Disparos con retardo de 6.6ms	30
Figura 23. Detalle driver	31
Figura 24. Circuito driver-triac con filtro amortiguador RC (fuente: Panasonic)	33



Índice de tablas

Tabla 1. Lista de componentes y precio unitario	39
Tabla 2. Cantidad de componentes y subtotal	40
Tabla 3. Horas de trabajo y coste.....	41
Tabla 4. Presupuesto general	42



Parte I MEMORIA





Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

La Fundación Ingenieros de ICAI para el desarrollo lleva años trabajando para que personas desfavorecidas de todo el mundo tengan unas condiciones de vida dignas llevando hasta ellos recursos energéticos y tecnológicos para cumplir este objetivo.

Sus proyectos se sitúan en numerosos países: Perú, Haití, Chad, Tanzania, Benín o Camerún; y abarcan numerosas áreas como el acceso a la energía, al agua, a las medicinas, a las TIC o la formación y educación.

El desarrollo de este proyecto va en línea con los objetivos de la fundación y es un granito de arena para su gran labor puesto que forma parte de un proyecto mayor. Consiste en el diseño de un sistema de control de carga electrónico para acoplarlo a un prototipo de turbina hidráulica.

1.1 CONTEXTO: FUNDACIÓN ICAI EN CAMERÚN

La granja escuela *Shumas Biofarm* situada en la región de Kumbo en Camerún es un proyecto que se inauguró en el año 2007 y fue financiado por Manos Unidas y construido con la ayuda de la ONG local *Shumas (Strategic Humanitarian Services)*. En esta granja escuela se imparten cursos relacionados con las técnicas de cultivo y ganadería tanto sostenible como productivas que permiten a los alumnos mejorar el rendimiento de sus cultivos y con ello su calidad de vida, además de transmitir los conocimientos a sus aldeas de origen.



Figura 1: Vista panorámica de la granja escuela. (Fuente: SHUMAS ORG)

Actualmente en la granja habitan 50 estudiantes y durante el año recibe alrededor de 2.000 estudiantes más que vienen de aldeas esparcidas por la región.

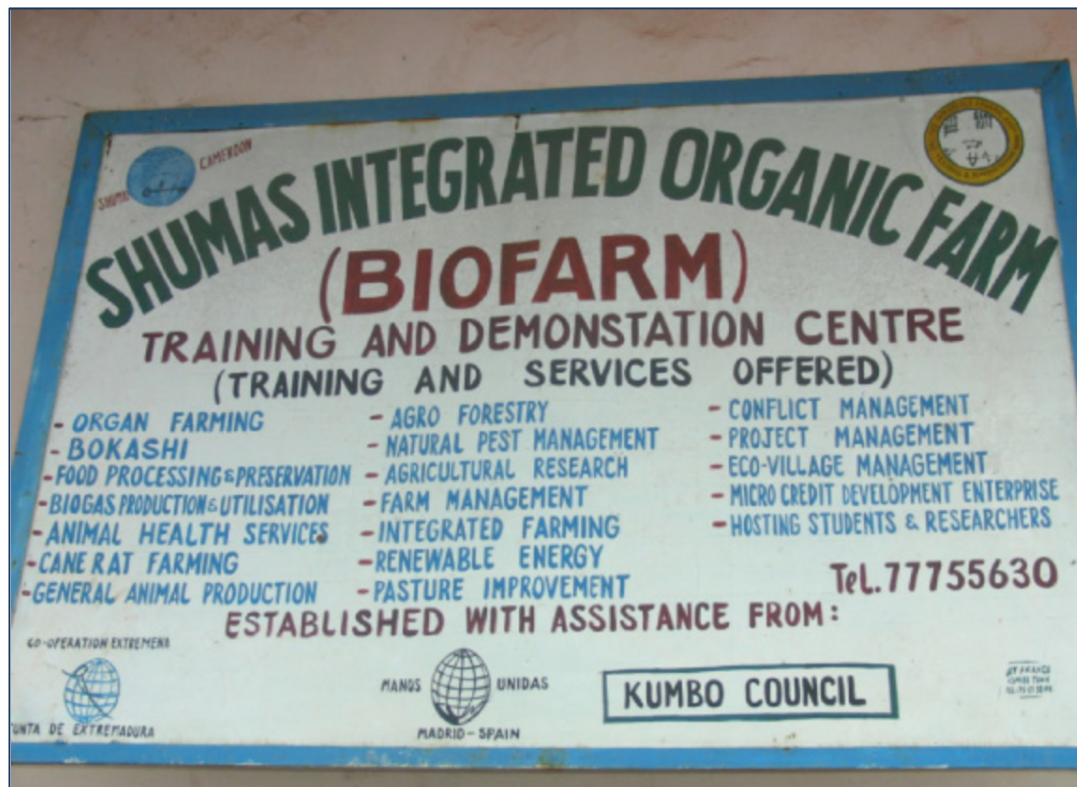


Figura 2: Oferta de servicios de SHUMAS BIOFARM (Fuente: Revista Anales)

El papel de la Fundación ICAI entró en juego en el año 2013 con el apoyo de *Energías sin fronteras* y ha consistido en abastecer a la granja de energía, inexistente hasta su llegada [4] [5]. A lo largo de 2013 y 2014 se instalaron: una microcentral hidráulica de 7kW que proporciona luz a los 10 edificios de la granja además de alimentar los equipos informáticos y electrodomésticos, calentar el criadero de pollos y facilitar el bombeo de agua y su distribución; paneles solares para las clínicas humanas y veterinarias, instalaciones termosolares y de biogás y por último una microturbina eólica con fines didácticos y de demostración.



Desde 2015 el último objetivo del proyecto (KUMBO III) ha sido el de impulsar la difusión de energías renovables por la región de Kumbo. Para ello se ha creado el Centro de Tecnologías Renovables donde voluntarios de ambas organizaciones (ICAI y ESF) imparten módulos educativos de energías renovables.

KUMBO III se basa en tres objetivos o pilares principales que son:

- Capacitar a los alumnos para medir los recursos disponibles (hídrico, eólico o solar), evaluar las necesidades energéticas de un individuo o comunidad y, en consecuencia, calcular las instalaciones necesarias para cubrirlas.
- Expandir las renovables por la región de Kumbo con epicentro en SHUMAS Biofarm.
- Desarrollar las tecnologías apropiadas para la fabricación de equipos artesanales de generación eléctrica con materiales que puedan estar disponibles en Kumbo para facilitar la distribución reduciendo los costes que pueda suponer importar los materiales.

El proyecto KUMBO III se inauguró en Junio de 2015 cuando tres voluntarios de ICAI impartieron un módulo formativo de energías renovables durante 10 días.

1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Para dar un paso más y complementar los módulos con sesiones prácticas, la Fundación ICAI está desarrollando un prototipo de turbina hidráulica de 1kW que suministra electricidad a 230V y 50Hz.

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema de control de carga que se acople al prototipo y que permita ajustar la potencia suministrada a la carga. La idea es diseñarlo para que en momentos en los que la demanda disminuye, como pueden ser las horas nocturnas, el equipo desvíe la potencia a unas resistencias que también serán de 1kW. De esta manera se evita que la turbina se acelere y alcance una velocidad peligrosa que



pueda dañar el equipo. Con ello, el diseño final de la turbina junto con el sistema de control será más fiable, seguro y robusto y se prolonga la vida útil de la misma.

Dado que se trata de un proyecto enfocado a la ayuda solidaria y no a la venta comercial se tratará de realizarlo de una manera económica y sencilla. Un diseño fácil de implementar, robusto y de bajo coste.

1.3 ESTUDIO TEÓRICO

En esta sección se hace un breve estudio de las razones de control en motores de corriente alterna y se plantea la propuesta para abordar el proyecto.

El control en los motores eléctricos es necesario para mantener la estabilidad en sus características tanto de frecuencia como de velocidad y así evitar posibles daños por mal funcionamiento. Estas características pueden variar si no hay equilibrio entre demanda y generación eléctrica. Si en un momento dado disminuye excesivamente la carga, es decir la potencia eléctrica demandada en el sistema, entonces disminuye el par electromagnético en el generador que comenzará a acelerarse y con ello a aumentar la frecuencia. En la *Figura 3* se muestra la relación gráfica entre generación y demanda. [1]

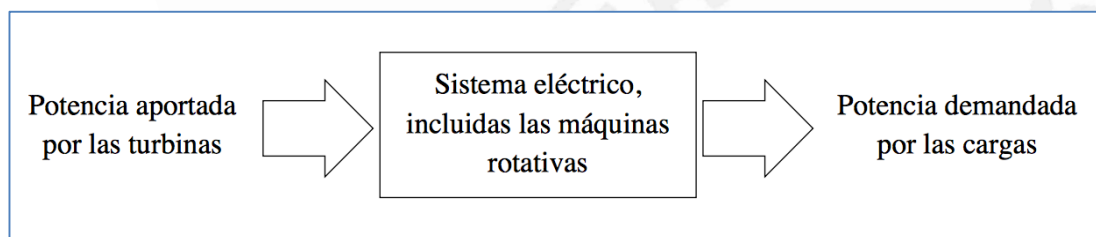


Figura 3. Balance de energía en un sistema eléctrico (fuente: U. Carlos III)

Las técnicas para regular la velocidad de un motor pueden ser o bien mecánicas o bien electrónicas. La regulación mecánica consiste en interponer entre la carga y el motor una resistencia variable, de tal manera que cuanto mayor sea esa resistencia, mayor será la oposición al giro.



Las técnicas electrónicas se centran en cambio en el control de parámetros como la frecuencia del motor pero su coste suele rondar un precio diez veces más caros que el de los controles mecánicos.

1.4 PROPUESTA

Para este proyecto se van a combinar tanto la electrónica como la mecánica.

La parte mecánica será la disipación de la potencia en las resistencias que lógicamente frenan el motor.

La parte electrónica será un control regulador de frecuencia de tal manera que controle cuánta potencia se disipa en esas resistencias electrónicamente, sin necesidad de un operador externo. A través de este control se medirá la frecuencia de la onda generada por el alternador y en función de su valor se disipará más o menos potencia en la resistencia externa (más potencia si la frecuencia sube o menos si la frecuencia baja).

En la *Figura 4* se esquematiza el funcionamiento:

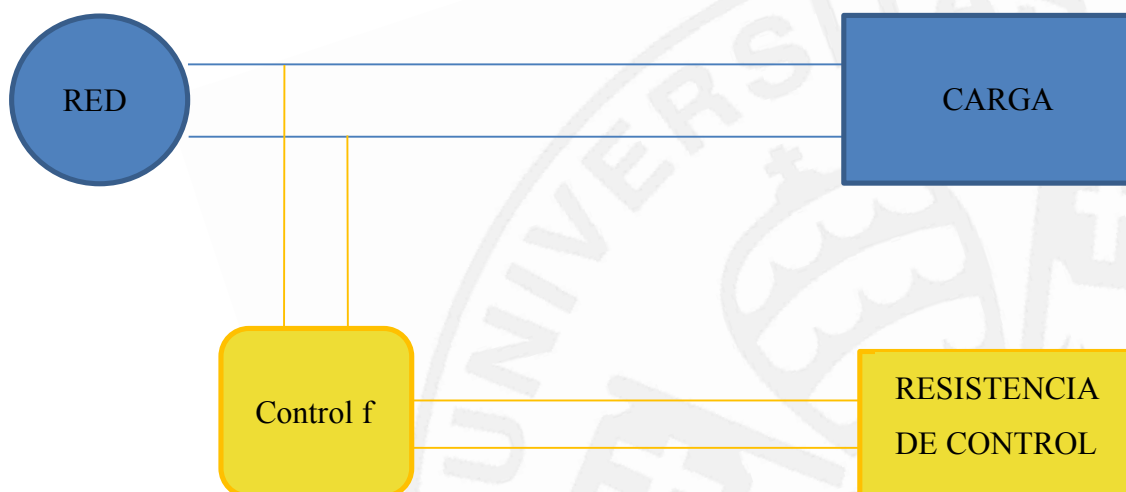


Figura 4. Esquema de montaje



1.5 ESTUDIO DE LOS TRABAJOS EXISTENTES

La electrónica de potencia se ha desarrollado y mejorado rápidamente durante los últimos 30 años y el número de aplicaciones ha ido incrementando, generalmente debido a la mejora en los dispositivos semiconductores y al desarrollo de la tecnología del microprocesador [8] además la disminución de coste tanto en los dispositivos como en los sistemas de control digital [1] [6]. Por todo ello hoy en día es común encontrar en el mercado diversos productos de sistema de control aplicado a la regulación de motores.

En este capítulo se exponen brevemente algunos ejemplos de este tipo de productos encontrados investigando en la red:

Un ejemplo de empresa que cuenta con reguladores de carga entre sus equipos es la empresa española *Saltos del Pirineo* [3]. A esta empresa en concreto se le encargó la turbina comercial instalada en la granja escuela. El cuadro de control electrónico y el regulador electrónico de esta firma se pueden ver en la *Figura 5*. Este regulador electrónico mantiene la carga estable entre la turbina y el generador. Estos equipos son monofásicos y llevan unas resistencias de 2 ó 10 kW que pueden colocarse tanto en agua como en el aire para disipar el calor.

Otro ejemplo es el regulador de carga mostrado en la *Figura 6*. También diseñado para una turbina hidráulica para mantener constante tanto el voltaje como la frecuencia de salida. Este en cambio es trifásico, fabricado en China y su precio mínimo ronda los \$500.

Estos ejemplos además de los otros que se puedan hallar tienen como ventaja el alto grado de diseño y recursos en el desarrollo. Aun así el inconveniente que se encuentra en ellos es, además del precio elevado, el grado de generalidad que conllevan. El diseño de este regulador es específico para el prototipo en cuestión mientras que cualquier otro regulador comercial siempre será un diseño más general y menos específico.



Figura 5. Reguladores electrónicos de carga (fuente: Saltos del Pirineo)



Figura 6. Regulador de carga trifásico (Fuente: Xinda Green Energy Co.)



1.6 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Hoy en día la tecnología avanza a una velocidad vertiginosa y por eso es muy común encontrar un mercado muy competitivo en el que constantemente se lanzan proyectos tecnológicos creativos e innovadores. Dichos proyectos buscan abrirse camino en el mercado y obtener un grado de beneficio económico considerable. Por norma general, si no todos, la mayoría de esos proyectos van dirigidos a un grupo social muy reducido con un cierto grado de bienestar económico que pueden permitirse disfrutar de estos avances.

Gran parte de la población mundial carece de necesidades que a ojos de un individuo del primer mundo son básicas como la calefacción o el agua. Por ejemplo, en concreto, un cuarto de la población mundial no tiene acceso a la electricidad.

La idea de este proyecto nace del deseo de apoyar el uso de los conocimientos tecnológicos con un fin solidario, sin ánimo de lucro y sin búsqueda de beneficio más que el beneficio social que pueda aportar. Por otro lado, el fomento de energías renovables como nuevas fuentes de energía suma a la iniciativa de este proyecto como pequeña aportación a uno mayor.

El apoyo específico a la ONG *Fundación ICAI* se debe a la participación voluntaria en el proyecto durante el curso 2014-2015 formando parte del equipo encargado del proyecto KUMBO precisamente. La motivación esencial es continuar colaborando con *Fundación ICAI* en sus labores solidarias aportando un pequeño granito de arena.



1.7 METODOLOGÍA

Para desarrollar el sistema de control de carga se ha dividido el proyecto en dos partes diferenciadas:

- Elaboración del Hardware
- Elaboración del Software

A su vez se pueden distinguir subetapas diferenciadas para agilizar el desarrollo del proyecto:

- Tarea 1: Investigación en el diseño del circuito electrónico.
- Tarea 2: Selección y adquisición de componentes electrónicos.
- Tarea 3: Diseño del hardware (PCB) utilizando el programa Kicad.
- Tarea 3: Soldadura y montaje de los componentes en la placa.
- Tarea 4: Probar el funcionamiento hardware.
- Tarea 5: Programación del software a implementar para medir la frecuencia de la señal, establecer una frecuencia de corte a partir de la cual se disipe la potencia.
- Tarea 6: Comprobación del funcionamiento del conjunto.



1.8 *RECURSOS Y HERRAMIENTAS EMPLEADAS*

En este apartado veremos los recursos y herramientas empleados para el proyecto total divididos en tres secciones: la elaboración del hardware, la elaboración del software y otros.

- **Hardware:**
 - KiCad 4.0.1: herramienta utilizada para el diseño y elaboración del PCB.
 - Soldador de estaño con distintas puntas.
 - Mica aislante para el radiador.
 - Tornillo y tuerca plástico para el radiador.
 - Cable de alimentación de corriente.
 - Clema, para conectar el cable de corriente y asegurar protección.
 - Resistencia 75Ω y 4A.
- **Software:**
 - MPLAB X IDE v3.15
- **Otros** (medidas, pruebas, investigación...):
 - Sonda para osciloscopio diferencial de alta tensión.
 - Osciloscopio
 - Amperímetro analógico
 - Cableado de laboratorio (sondas, banana-banana, USB, etc.)
 - Matlab, para la obtención de imágenes de precisión.
 - Fuente de alimentación: para pruebas de laboratorio.
 - Ordenador personal

Capítulo 2 DISEÑO DEL HARDWARE

Una vez introducido el proyecto en su contexto y expuestos sus objetivos principales se da paso al primer paso en su desarrollo: el diseño del Hardware. Como se ha expuesto en el capítulo anterior la intención de este proyecto es que se base en un diseño simple, robusto y económico.

En este capítulo se explican detalladamente el proceso de investigación, diseño y fabricación del soporte material del proyecto.

2.1 SELECCIÓN DEL MODELO DEL CIRCUITO

Teniendo en cuenta los objetivos de sencillez, robustez y bajo coste se investigaron a través de la red las distintas propuestas de circuitos electrónicos para controlar la potencia suministrada en corriente alterna.

Al tratarse de corriente alterna, es necesario poder controlar los dos sentidos de circulación de la corriente y el dispositivo semiconductor más adecuado para esto es el triac ya que se trata de un tiristor bidireccional que cuenta con tres terminales, dos para que circule la corriente y un tercero para controlar el disparo que lo activa por lo tanto es más fácil controlarlo que un diodo por ejemplo. El disparo puede darse con tensiones de puerta de ambos signos y por eso resulta también el más adecuado. En la *Figura 7.a* puede verse el esquema del triac con la puerta G (gate) para el disparo y en la *Figura 7.b* su modo de funcionamiento en oposición al de un tiristor.

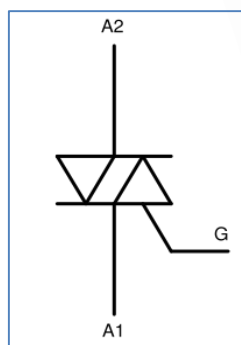


Figura 7.a

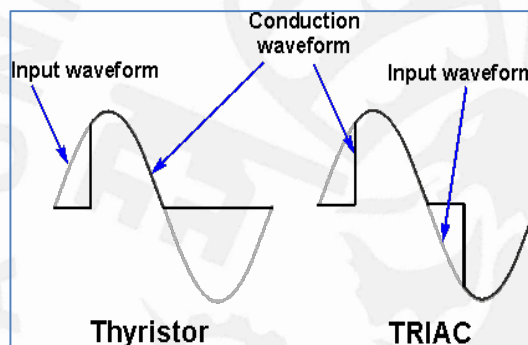


Figura 7.b Triac vs Tiristor (Fuente:

Con ello en mente se halló el circuito mostrado en la *Figura 8* que resulta una aplicación sencilla de un control de fase utilizando un triac como dispositivo semiconductor para controlar la potencia que se disipa en las resistencias de 1kW.

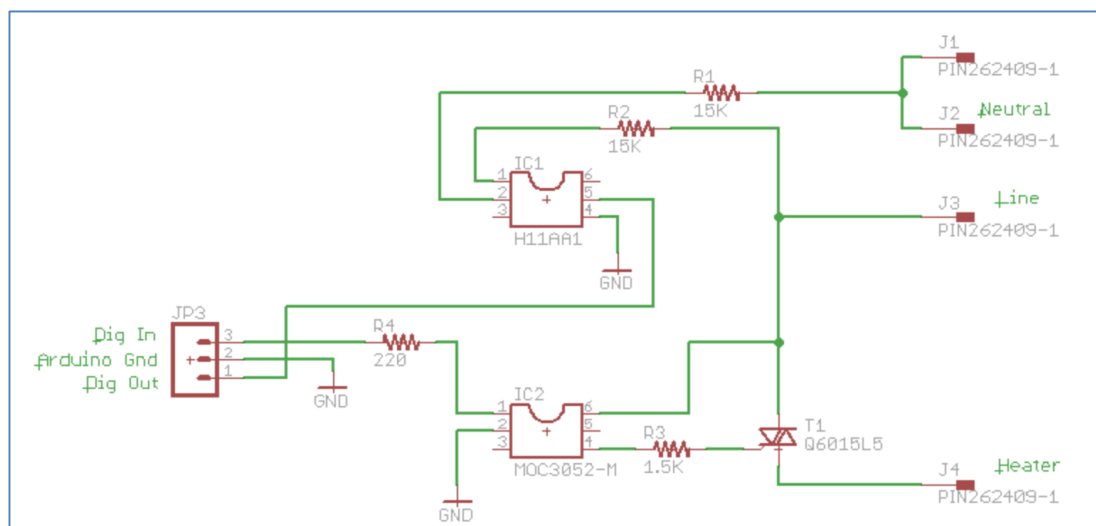


Figura 8. AC Phase control circuit (Fuente: Arduino)

Para proteger el circuito de pequeña señal de la parte de alta tensión y mantener un grado de seguridad adecuado se dividen ambas partes con:

- Un optoacoplador o optoaislador que detecta el paso por cero de la onda (en la *Figura 4* el H11AA1).
- Un driver optoaislado para disparar el triac (en la *Figura 8* el MOC3052).

Basándose en este circuito se desarrolló el hardware con ligeras modificaciones que han consistido en añadir una resistencia de polarización de 10K a la salida del optoacoplador y de añadir un conector de 4 entradas para la línea, el neutro y la resistencia. Dichos cambios se verán en el esquema final en la sección 2.3.

Además de esas modificaciones, a lo largo del desarrollo del proyecto, haciendo las pruebas de laboratorio pertinentes hubo que modificar el valor de algunas resistencias como las de entrada al optoacoplador ya que estas estaban calculadas para resistir más potencia, esto se discutirá en el el Capítulo 4 (*Resultados y Cambios*).



2.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES

En este apartado se muestran los componentes elegidos y para alguno de ellos sus requisitos y cálculos llevados a cabo para su elección.

- **Optoacoplador:** *H11AA1*
- **Driver:** *MOC3052*
- **Resistencias:** sus valores se han modificado tras las pruebas de laboratorio. Se comentará con detalle más adelante.
- **Triac:** Dado que vamos a trabajar con una turbina de 1kW y 230V, la corriente que pasará por los cables de línea y por lo tanto por el triac será de aproximadamente 5 A. Por ello la elección se ha basado en que su corriente máxima I_{rms} sea algo superior a 5 A. En concreto el triac elegido es el modelo *BT128 series* cuya corriente máxima es $I_{rms} = 12A$.
- **Radiador:** El triac debe ir montado sobre un disipador de calor para que se refrigere adecuadamente. Para elegir el radiador apropiado es necesario calcular, para las condiciones concretas, la resistencia de disipación necesaria entre el radiador y el ambiente y eso se calcula fácilmente a través de la ley de Ohm térmica $T_j - T_a = P_{dis} * R_{th t}$ donde:
 - T_j es la temperatura de operación máxima de la unión del triac
 - T_a es la temperatura del ambiente
 - P_{dis} es la potencia consumida por el triac y
 - $R_{th t}$ es la resistencia térmica total entre la unión y el ambiente. Es la suma de R_{j-mb} (resistencia entre la unión y el encapsulado) y R_{rad} la resistencia del radiador que queremos hallar.

Los parámetros T_j , P_{dis} y R_{j-mb} se obtienen del hoja de datos del triac. En ella observamos que $T_j = 125^\circ C$, $P_{dis} = 15W$ aproximadamente para una corriente máxima de 12A y ángulo de 180° de conducción y $R_{j-mb} = 2 K/W$ para medio ciclo. Tomaremos como temperatura ambiente $T_a = 40^\circ C$. Con estos datos obtenemos que la resistencia térmica del radiador necesaria para



refrigerar el triac es de $R_{rad} = 3.6 \text{ K/W}$ y con este valor elegimos el radiador adecuado que es el modelo *Board Level 272 series*.

- **Conector:** Se ha elegido un conector de 4 entradas para conectar la línea entrante a la placa con el neutro de la línea y la resistencia de salida de 1kW.

2.3 CREACIÓN EN KICAD

Una vez se tiene el diseño del circuito y se tienen seleccionados los componentes, el siguiente paso es llevar el diseño a la plataforma de desarrollo libre de Kicad. Este programa permite el acceso a ocho herramientas de trabajo independientes de las cuales en este programa usaremos mayormente seis: *Eeschema*, *Schematic Library Editor*, *Pcbnew*, *Pcb Footprint Editor*, *GerbView* y *PCB Calculator*. Todas ellas serán necesarias para diseñar la placa de circuito impreso de este proyecto (PCB) y el proceso para hacerlo se divide principalmente en los tres pasos siguientes:

- **Diseño del esquema del circuito**

La primera fase de la creación del PCB consiste en dibujar el esquema electrónico utilizando la herramienta *Eeschema*. En él se muestra de manera esquemática cómo van conectados los componentes del circuito; qué pines van a alimentación, a tierra, a otros componentes, etc.

Este paso es muy importante hacerlo bien ya que posteriormente el esquema se importará a la herramienta *Pcbnew* a través de la cual se obtendrá el circuito final impreso y si las conexiones en el esquema no son las adecuadas el circuito final puede llegar a ser totalmente inútil. Por esto es necesario mirar bien las conexiones generales y también en las hojas de datos de los componentes como el optoacoplador o el driver optoaislado las conexiones internas y así asegurarnos de que conectamos cada pin correctamente.

Para realizar el esquema se ha empezado buscando los símbolos de los componentes necesarios en las librerías de Kicad tales como las puestas a tierra (GND), el triac y las resistencias, para las cuales se han modificado sus valores con las especificaciones del diseño. Aquellos componentes cuyo símbolo no se

ha hallado en la librería se ha procedido a diseñar su símbolo utilizando la herramienta *Schematic Library Editor*; es el caso del optoacoplador y del driver optoaislado cuyo símbolo, que es el mismo, se puede ver en la *Figura 9*.

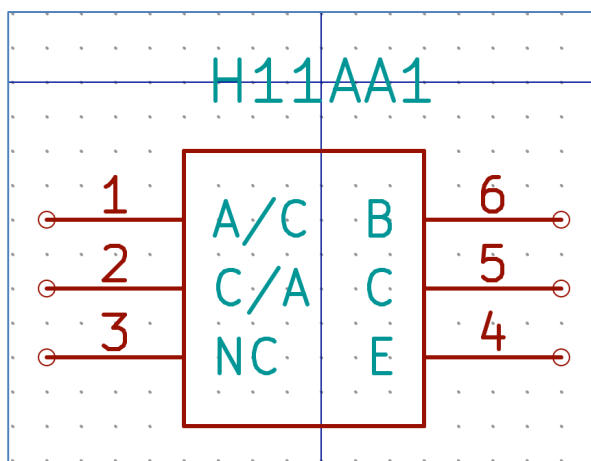


Figura 9. Símbolo driver y optoacoplador

Después de añadir todos los componentes a la hoja esquemática, se procede a conectarlos entre sí (*Figura 10*).

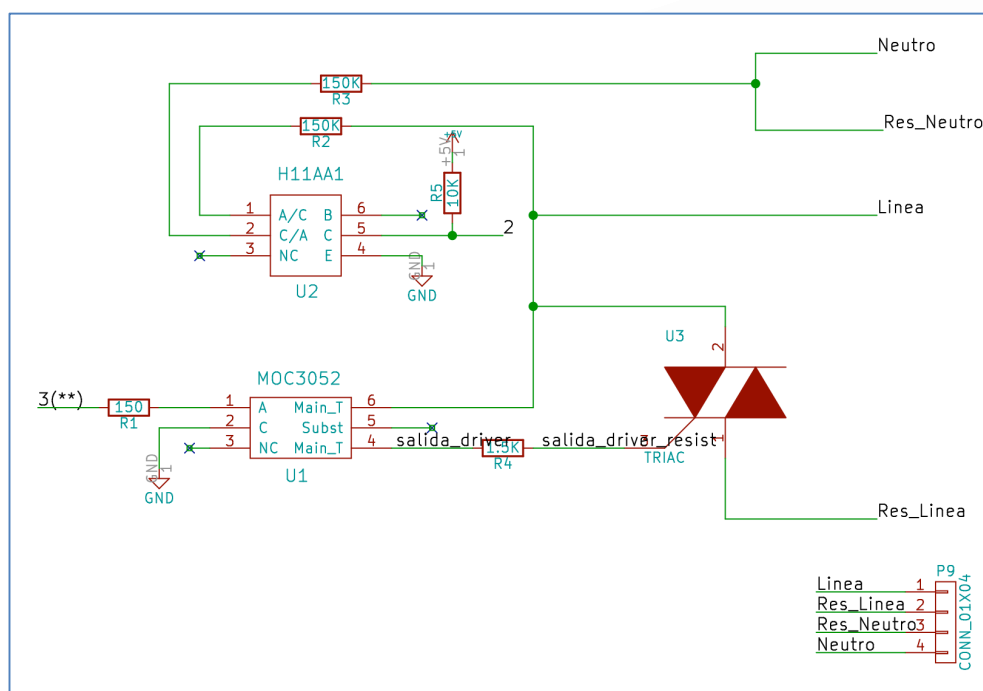


Figura 10. Esquema circuito completo final



En la *Figura 10* se puede ver que se han nombrado algunas de las pistas de conexión como es el caso de *Línea*, *Res_Neutro*, *salida_driver*, etc. Esto se debe a que por dichas pistas circulará una corriente diferente a la que circula por el resto del circuito electrónico. Por ejemplo, por las pistas *Línea*, *Neutro*, *Res_Línea* y *Res_Neutro* la corriente que circula es de aproximadamente 5 A ($U = 220\text{ V}$, $P = 1\text{ KW}$). Por las pistas de salida del driver y entrada al triac circula una corriente inferior a 5 A pero algo superior a la del resto del circuito debido al disparo necesario para activar el triac. En cambio por el resto del circuito circula corriente inferior a 20 mA. Todo esto se tiene en cuenta en el diseño del esquema para que al importarlo para crear el PCB tengamos ya las pistas nombradas y podamos editar su ancho, que este dependerá de la cantidad de corriente que circula por ellas. Cuanta más intensidad tengan que soportar, mayor será el ancho de las pistas.

El orden de conexión en el conector de cuatro entradas no es aleatorio, este se ha hecho teniendo en cuenta la conexión entre los neutros de la línea y de la resistencia para evitar un cableado muy largo entre estos dos puntos porque por esas pistas circula mucha corriente y podría sobrecalentar la placa.

- **Asignación de huellas**

Con el circuito ya finalizado, el siguiente paso es asignar a cada componente su huella correspondiente. Esta huella será la que quedará impresa en la placa PCB para que posteriormente se suelde en ella el componente oportuno.

Al igual que existen librerías de símbolos para realizar el esquema, también existen librerías con una serie de huellas de uso general tales como las de las resistencias o el triac. De nuevo, en el caso del optoacoplador y del driver optoaislado, será necesario crear la huella específica y además habrá que hacer la del conector de 4 entradas. En esta ocasión es necesario mirar las medidas exactas de los componentes para asegurarse de que encajará correctamente en su huella al igual que las conexiones para no haya lugar a error a la hora de soldar los componentes. La *Figura 11* y la *Figura 12* representan las huellas realizadas del conector y del optoacoplador/driver respectivamente.

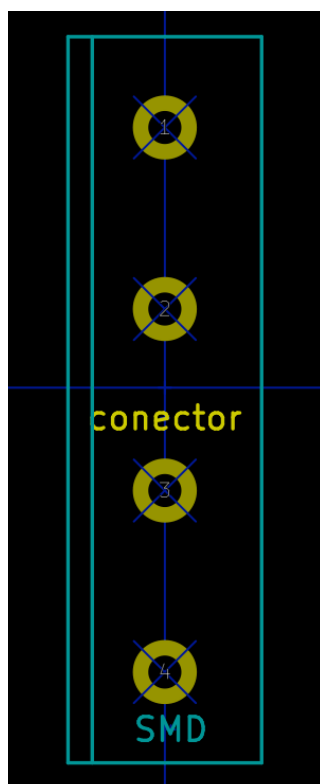


Figura 11. "Footprint" conector

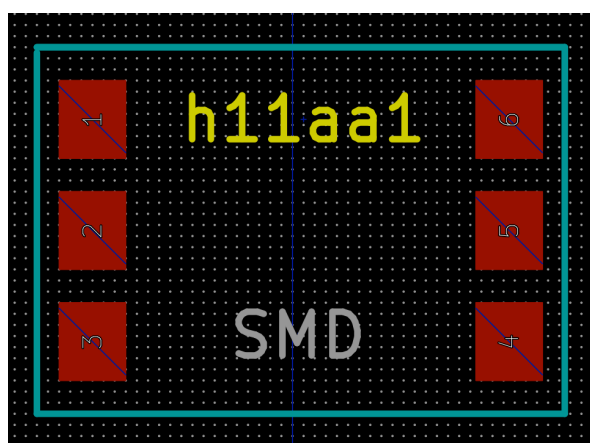


Figura 12. Footprint optoacoplador/driver

Una vez finalizada esta tarea se obtiene una tabla como la representada en la Figura 13 donde se puede ver cada componente con su huella asociada. Este archivo será guardado junto con el archivo del esquema final para importarlo a la herramienta que se utilizará para realizar el diseño final del PCB.



1	P1 -	Power : Socket_Arduino_Uno:Socket_Strip_Arduino_1x08
2	P2 -	Analog : Socket_Arduino_Uno:Socket_Strip_Arduino_1x06
3	P3 -	Digital : Socket_Arduino_Uno:Socket_Strip_Arduino_1x10
4	P4 -	Digital : Socket_Arduino_Uno:Socket_Strip_Arduino_1x08
5	P5 -	CONN_1 : Socket_Arduino_Uno:Arduino_1pin
6	P6 -	CONN_1 : Socket_Arduino_Uno:Arduino_1pin
7	P7 -	CONN_1 : Socket_Arduino_Uno:Arduino_1pin
8	P8 -	CONN_1 : Socket_Arduino_Uno:Arduino_1pin
9	P9 -	CONN_01X04 : myfootprint:conector
10	R1 -	220 : Resistors_SMD:R_0805_HandSoldering
11	R2 -	15K : Resistors_SMD:R_0805_HandSoldering
12	R3 -	15K : Resistors_SMD:R_0805_HandSoldering
13	R4 -	1.5K : Resistors_SMD:R_0805_HandSoldering
14	R5 -	10K : Resistors_SMD:R_0805_HandSoldering
15	U1 -	MOC3052 : myfootprint:h11aa1
16	U2 -	H11AA1 : myfootprint:h11aa1
17	U3 -	TRIAC : TO_SOT_Packages_THT:TO-220_Neutral123_Vertical

Figura 13. Netlist

- **Diseño de la placa final (PCB)**

El último paso consiste en importar el esquema con todas las huellas asociadas a la herramienta *Pcbnew* donde se colocarán de la manera más conveniente y se trazarán las pistas de conexión entre ellas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la corriente que circulará por todas las pistas no es la misma. Por eso se han diferenciado entre tres tipos: *Default*, *Power* y *RePower* (en orden creciente de intensidad) para mantener la seguridad. El ancho de las pistas no es aleatorio si no que se ha calculado con la herramienta *PcbCalculator* utilizando la corriente calculada. Las pistas de *Power* soportan hasta 3A mientras que las de *RePower* hasta 6A. En la *Figura 14* se pueden ver las normas de diseño con estas especificaciones.

	Clearance	Track Width	Via Dia	Via Drill	uVia Dia	uVia Drill
Default	0.2032	0.3048	0.889	0.3505	0.3	0.1
Power	0.2032	1.27	1.27	0.635	0.3	0.1
RePower	0.2032	2.5	1.27	0.635	0.3	0.1

Figura 14. Normas de diseño PCB

A la hora de posicionar las huellas se ha intentado encontrar los caminos más cortos para las señales de corriente alta, para evitar el sobrecalentamiento y posibles problemas derivados. Además se ha dejado el espacio necesario entre el triac y el conector para colocar el radiador.

El diseño final del PCB completo se representa en la *Figura 15*. En ella se puede observar que los planos de masas superior e inferior, utilizados para reducir las tensiones parásitas y la impedancia total del circuito, no cubren la placa al completo. Esto se ha hecho para evitar el acoplamiento de ruido de masa. Los circuitos analógicos a baja frecuencia no pueden compartir la misma masa que los digitales.

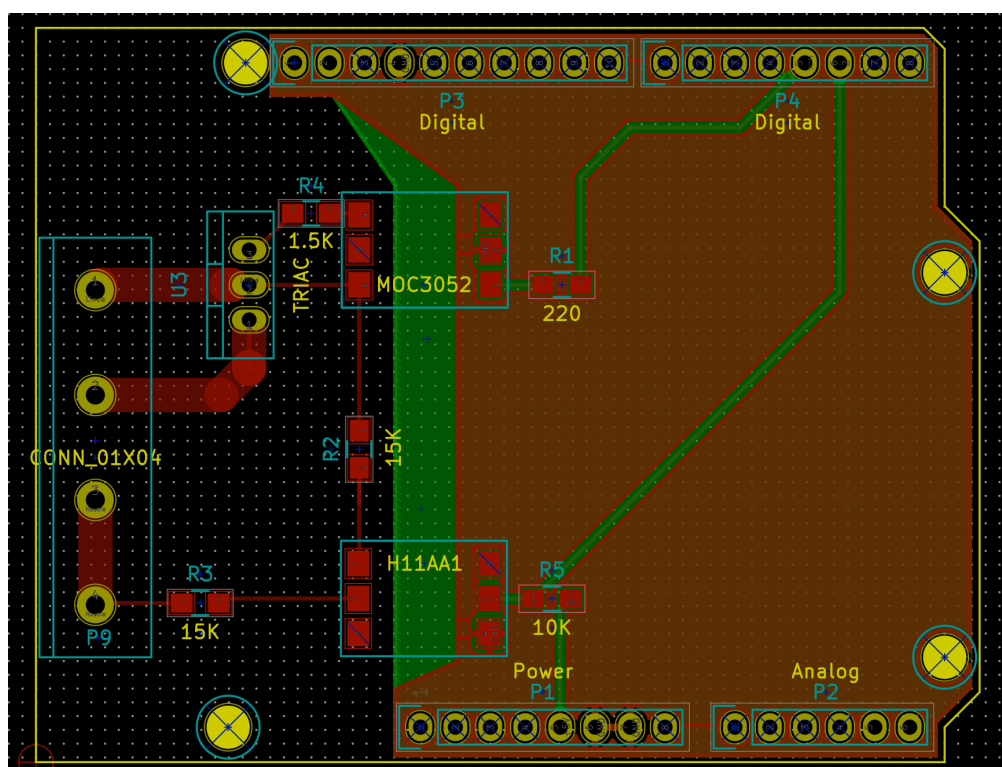


Figura 15. Placa de circuito impreso



Las tolerancias utilizadas han sido las estándar del fabricante, EuroCircuits, que establece las siguientes medidas:

- Ancho mínimo de las pistas: 0.2032 mm
- Diámetro mínimo de las vías: 0.59944mm
- Diámetro mínimo del taladro de las vías: 0.24892mm

Para construir el circuito impreso, se generaron los ficheros en formato Gerber para posteriormente enviárselos al fabricante al fabricante.

2.4 MONTAJE

Una vez recibida la placa se han soldado los componentes en el laboratorio.

Al estar trabajando con una tensión alta de 220V existe un riesgo de electrocución y por ello han debido tomarse las siguientes precauciones:

- 1- Colocar una mica aislante entre el radiador y el encapsulado del triac de manera que traspase el calor pero no conduzca. Además al colocar el radiador se han cortado dos de sus aletas para que no chocaran con los conectores de los puertos. (Figura 16)

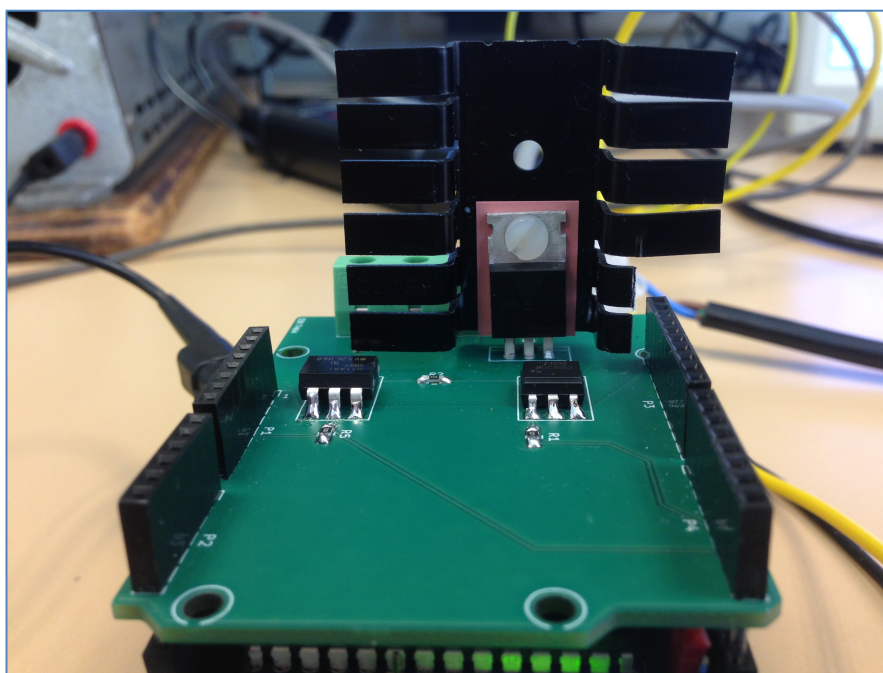


Figura 16. Detalle de la placa con el radiador

- 2- Para la tensión de entrada de 220V al circuito, colocar una clema entre los cables del conector y el cable de corriente pelado. Además de esta manera resulta más fácil medir la señal de entrada y poder compararla al introducir también en la clema dos cables con punta banana (Figura 17).

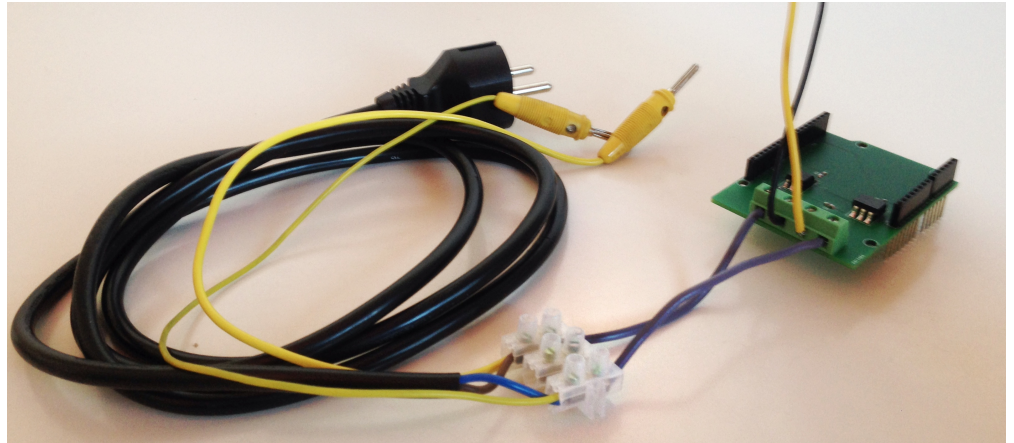


Figura 17. Detalle del cableado de la placa

- 3- Colocar cinta aislante en la parte inferior de la placa donde están las puntas soldadas del conector y del triac.



Capítulo 3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Siguiendo con la metodología propuesta, antes de programar el software final de control es necesario comprobar que el hardware funciona correctamente, que no hay problemas en el diseño, o en la elección de componentes o en el montaje.

En este capítulo se describen las pruebas llevadas a cabo en el laboratorio.

3.1 COMPROBACIÓN PASO POR CERO

La primera prueba consistió en comprobar la detección del optoacoplador de los pasos por cero de la señal de entrada. Este paso es importante ya que la rapidez en la detección influirá en el desarrollo del software teniendo en cuenta más o menos retardo en la subida de los picos de detección.

3.2 SOFTWARE PRUEBA

Una vez testeados los pasos por cero es necesario comprobar que tanto el driver como el triac funcionan correctamente. Para esta prueba ha sido necesario desarrollar un sencillo software de comprobación cuya función es la ejecutar un disparo de $2\mu s$ a la entrada del driver cada cuarto de periodo tras detectar el paso por cero. El esquema del funcionamiento del software se puede ver en la *Figura 18*.

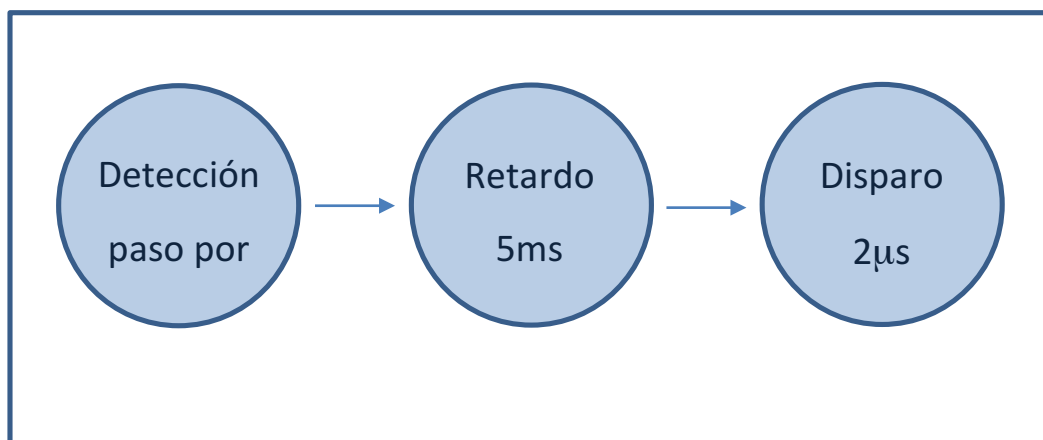


Figura 18. Esquema software de comprobación

La duración del disparo de $2\mu\text{s}$ se debe a que este es el valor típico para t_{gate} en la hoja de datos del triac. Este es el tiempo de control para encender el dispositivo.

Capítulo 4 RESULTADOS Y CAMBIOS

A lo largo de las pruebas de funcionamiento del hardware se fueron obteniendo los siguientes resultados:

4.1 OPTOACOPLADOR

El primero, la comprobación del correcto funcionamiento del optoacoplador, se puede ver en la *Figura 19* donde se observa que la detección de los pasos por cero es correcta y rápida.

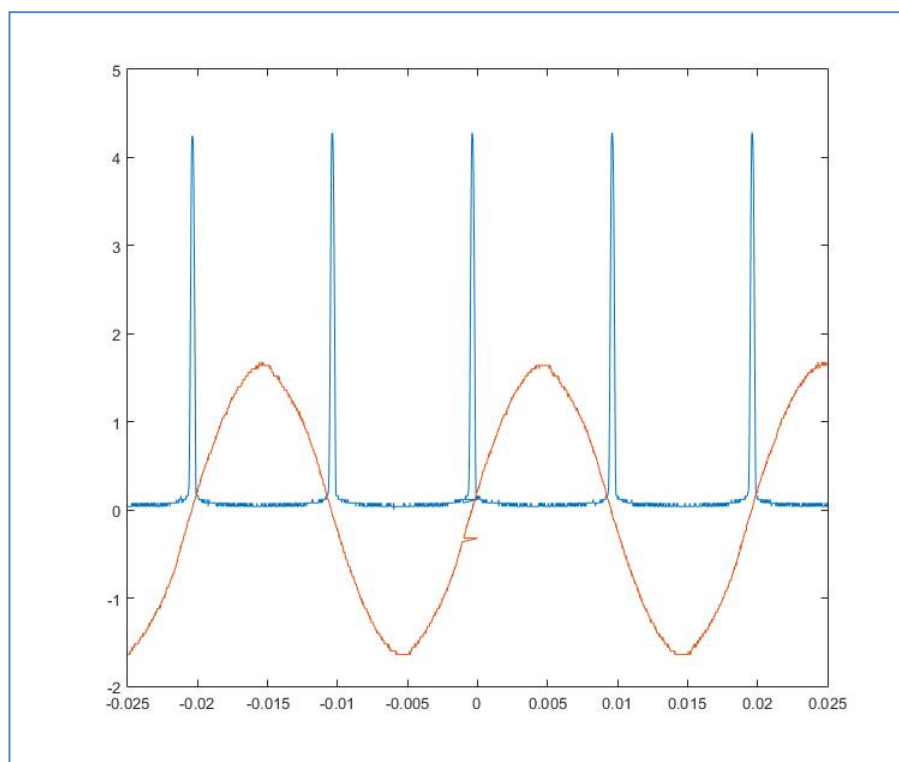


Figura 19. Detección paso por cero circuito inicial

4.2 CAMBIO RESISTENCIAS POTENCIA

A medida que se continuaba probando la placa, ésta se estaba calentando y se encontró que el estaño que soldaba las resistencias R3 y R2 de entrada al optoacoplador se estaba fundiendo. Esto se debía a que las resistencias calculadas estaban pensadas para ser de potencia mientras que las que se instalaron fueron resistencias 0805 que soportan hasta 1/8W.

Se realizaron los cálculos necesarios para cambiar las resistencias iniciales por otras de manera que la corriente que las atravesaba disminuyese y con ella la potencia por cada resistencia. Los cálculos se muestran en las ecuaciones *Ecuación 1.1* ($R = 15\text{ K}$) y *Ecuación 1.2* (150 K). Con resistencias de 150 K la potencia entra dentro del rango.

- Ecuación 1.1 $I_1 = \frac{220}{30K} = 7,33\text{ mA} \rightarrow P_{1dis R} = 110 * 0,00733 = 0,8\text{ W}$

- Ecuación 1.2 $I_2 = \frac{220}{300K} = 0,73\text{ mA} \rightarrow P_{2dis R} = 110 * 0,00073 = 0,08\text{ W}$

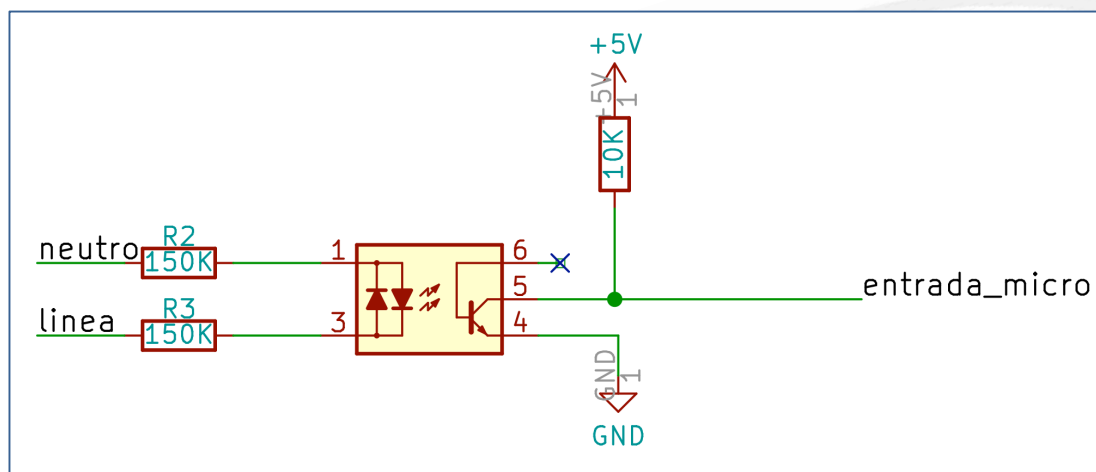


Figura 20. Detalle optoacoplador

En la *Figura 20* se puede ver el detalle del circuito centrado en el optoacoplador con los valores de las resistencias finales. Al incrementar las resistencias, disminuye la corriente que circula por el led a $0,7\text{ mA}$ con ella, la intensidad de emisión de la luz disminuye y la detección del fototransistor empeora.

Esto afectó a la detección de los pasos por cero que empeoró teniendo una subida más lenta y originando un pulso demasiado ancho (*Figura 21*).

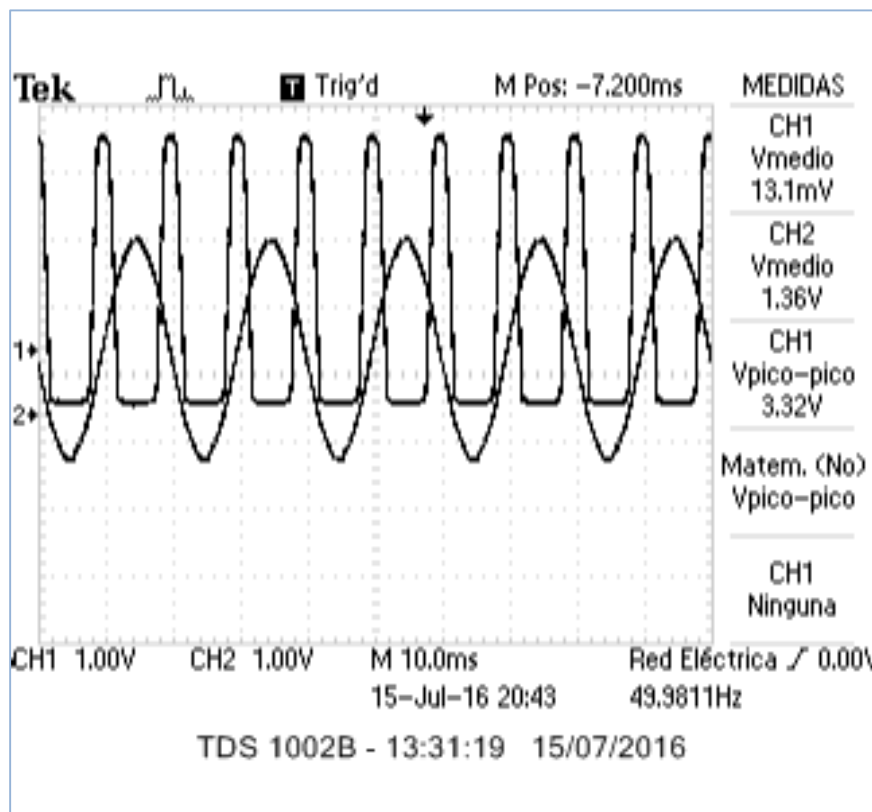


Figura 21. Detección pasos por cero ancha

Como consecuencia del empeoramiento del paso por cero, la detección de éste por el microcontrolador se ve retrasada (el transistor tarda más en saturar) y por lo tanto la salida del microcontrolador con los pulsos generados tardan en darse más de los 5ms programados. Aproximadamente tardan unos 6,6ms. La duración de estos pulsos sigue siendo de 2μs. En la *Figura 22* se puede observar el desfase de 6.6ms en los disparos tras los pasos por cero de la señal de entrada originados antes de llegar al driver.

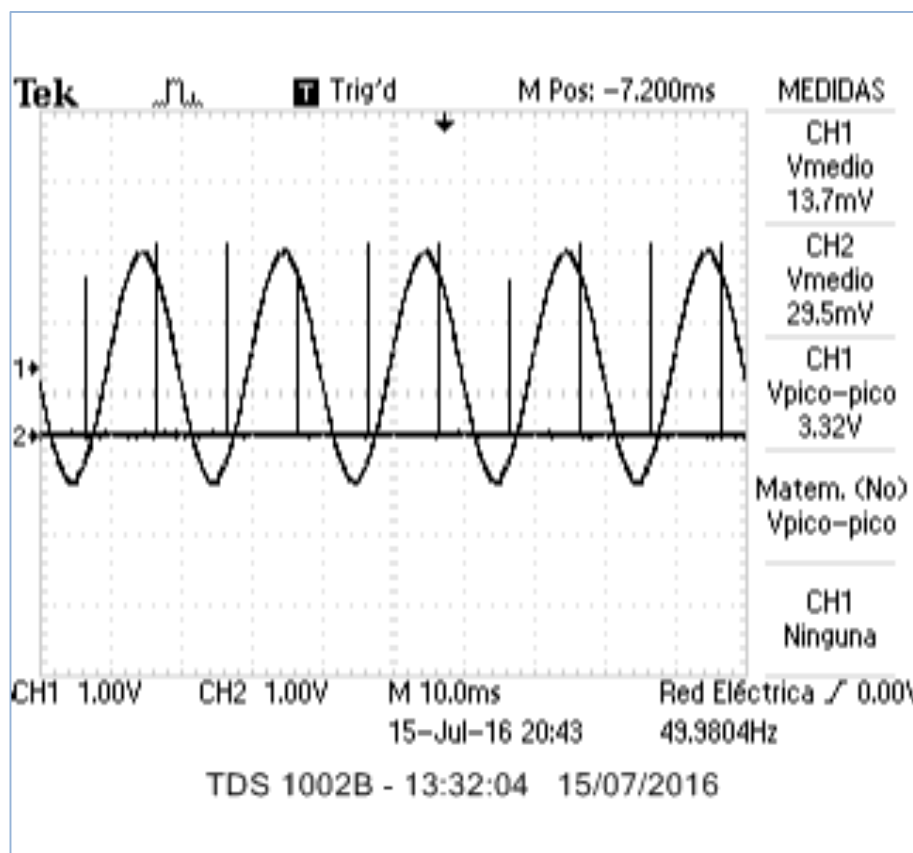


Figura 22. Disparos con retardo de 6.6ms

A pesar del correcto envío de los pulsos al driver, la respuesta de éste no era la esperada y el triac no estaba disparando correctamente.

Se trató de ver si el problema estaba en la intensidad del pulso de entrada al driver reduciendo la resistencia R1 de 220Ω a 150Ω. En las Ecuaciones 2.1 y 2.2 se ve la operación. El valor de 3.3V es la alimentación del microcontrolador y el de 1.4V se obtiene de la hoja de datos del driver siendo esta la máxima tensión de conducción, para ponerse en el peor caso.

- Ecuación 2.1
$$I_{F1} = \frac{3.3 - 1.4}{220} = 8,63 \text{ mA}$$
- Ecuación 2.2
$$I_{F2} = \frac{3.3 - 1.4}{150} = 12,66 \text{ mA}$$

Como se puede ver en las ecuaciones, tras el cambio de resistencia la intensidad de entrada al driver aumenta y es ligeramente superior a la intensidad máxima de disparo de la hoja de datos: $I_{FT} = 10mA$. En la *Figura 23* se puede ver el detalle del circuito del driver con la resistencia final $R1=150\ \Omega$.

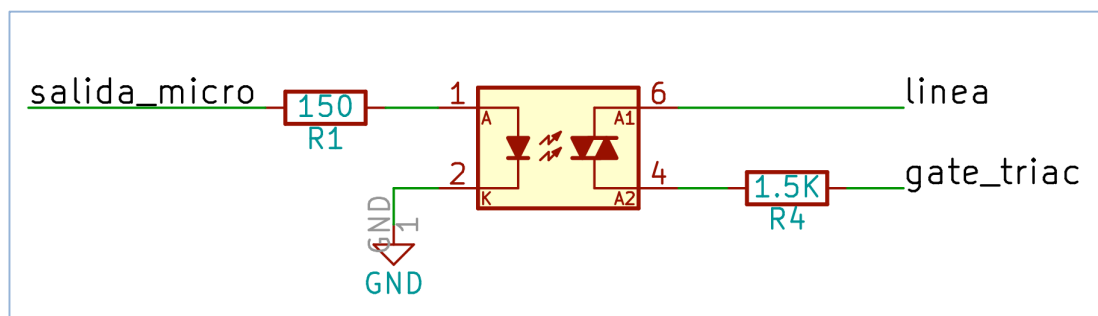


Figura 23. Detalle driver

4.3 RESULTADOS FINALES

Tras varias pruebas más alterando el circuito: retirando el triac y dejando el driver en abierto, sustituyendo el triac por una resistencia de 220K... etc; no se obtuvieron los resultados esperados en el funcionamiento del mismo y debido a una falta de tiempo no fue posible modificar el circuito ni probar más alternativas.



Capítulo 5 CONCLUSIONES

El diseño del circuito es sencillo y por lo tanto fácil de modificar. La placa impresa funciona correctamente y no da problemas de sobrecalentamiento, ligeras electrocuciones ni similares.

A pesar de los resultados inesperados e incompletos el desarrollo del proyecto va por buen camino y queda probar ciertas alteraciones más hasta conseguir que el hardware funcione correctamente. Con ello en marcha ya sólo quedaría el diseño del software cuyo desarrollo no supone demasiada complejidad.

Al tratarse de una combinación entre potencia y electrónica ha sido complejo realizar pruebas en el laboratorio para probar el funcionamiento del hardware y todo ello ha ralentizado el desarrollo y el testado de la placa pero no por ello se trata de un proyecto fallido. Se trata de la primera etapa de desarrollo del producto final y con las pruebas ya realizadas y sobre todo con la placa ya montada resta continuar probando el hardware en el laboratorio, realizando las alteraciones que se crean necesarias, hasta encontrar la solución.

Capítulo 6 FUTUROS DESARROLLOS

Para finalizar el proyecto correctamente para que este pueda ser enviado a Camerún haría continuar con los siguientes desarrollos:

6.1 *FUNCIONAMIENTO CORRECTO DEL HARDWARE*

Lo primero en lo que hay que continuar es en desarrollo del hardware hasta que funcione correctamente.

Una posibilidad de fallo es que el driver se esté activando accidentalmente por aplicar una señal de disparo al phototriac interno demasiado empinada [14]. Para incrementar el tiempo de subida de la tensión se puede aplicar un circuito RC amortiguador como el mostrado en la *Figura 24*.

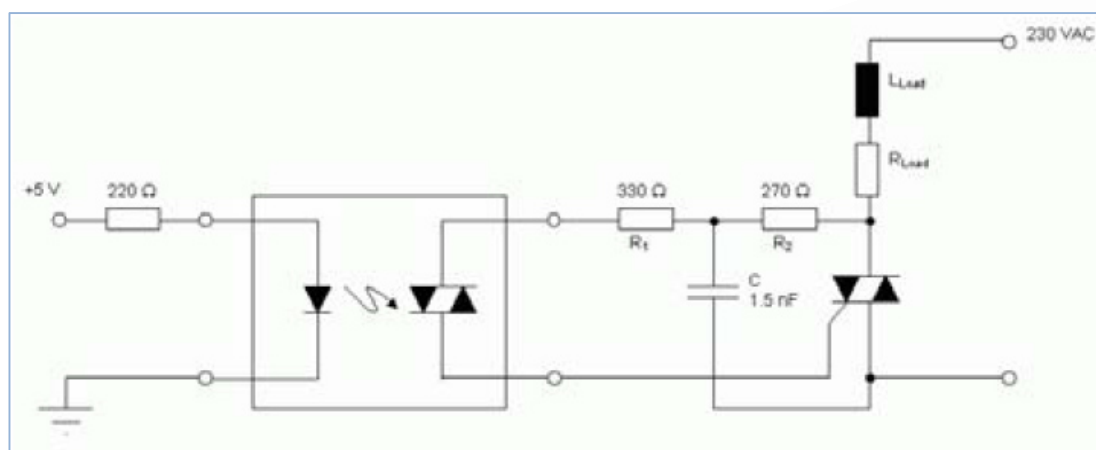


Figura 24. Circuito driver-triac con filtro amortiguador RC (fuente: Panasonic)



6.2 *DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL*

A continuación, con el hardware en marcha, se seguirá con el desarrollo del programa de control de frecuencia.

La base del programa se centra en el control en lazo cerrado de la frecuencia de la señal y compararla continuamente con un valor fijado como frecuencia de corte. Cuando la frecuencia de la señal alcance ese valor se disparará el triac para que circule corriente por la resistencia de disipación.

Un control más avanzado podría dar como resultado un control preciso de la potencia para disparar el triac con distintos retardos y de esa manera regular la potencia no sólo cuando la carga sea nula si no cuando varíe levemente también.

Existen numerosas propuestas a la hora de afrontar el control de frecuencia de un sistema eléctrico tales como la aplicación de un PID, un PI, etc. [15]

6.3 *USO DE LA ENERGÍA CALORÍFICA*

Como propuesta, podría utilizar el calor disipado por la resistencia para posibles necesidades de la granja. Habría que analizar la localización de la instalación y ver si se haya algún complejo que se pueda aprovechar de esta energía. Esto sería en el caso de utilizar resistencia aleteada de refrigeración en aire.

6.4 *MONTAJE FINAL*

Por último, para dar por completo el proyecto y para enviarlo a Camerún finalizado, habría que diseñar una placa PCB que acoplase en su misma superficie tanto el circuito electrónico de control como el microcontrolador. Esta placa se diseñaría basándose en los resultados del prototipo de este proyecto y teniendo en cuenta las cajas de aluminio disponibles y sus medidas. De esta manera será más fácil montar el producto final en su caja eléctrica.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pablo Ledesma. *Regulación de frecuencia y potencia*. Fuente: Universidad Carlos III de Madrid, España. Septiembre 2009.
- [2] M. Hidalgo, *Control Electrónico de Motores CA*, UCLM.
- [3] *Turbinas y equipamientos hidroeléctricos Saltos del Pirineo*, S.L.
http://www.saltosdelpirineo.com/catalogos/cat_irem.pdf
- [4] <http://fundacionicai.blogspot.com.es>
- [5] <http://energiasinfronteras.org>
- [6] MUHAMMAD H. RASHID, *Electrónica de potencia*, Ph.D., Fellow IEE
- [7] Adel Merabet, John Kerr, Vigneshwaran Rajasekaran and Derek Wight, *Power Electronics Circuit for Speed Control of Experimental Wind Turbine*. Division of Engineering, Saint Mary's University, Canada. Quanser inc., Markham , ON, Canada
- [8] Zhe Chen, *Senior Member, IEEE*, Josep M. Guerrero, *Senior Member, IEEE*, and Frede Blaabjerg, *Fellow, IEEE*. *A Review of the State of the Art of Power Electronics for Wind Turbines*, 2009.
- [9] “*Thyristors and Triacs*” Power Semiconductor Applications. Philips Semiconductors.
- [10] http://materias.fi.uba.ar/6625/Clases/Clase22_apunte.pdf
- [11] D. W. Hart, *Electrónica de Potencia*. Valparaíso University, Valparaíso Indiana. Prentice Hall.
- [12] Mohan, Undeland y Robbins, John Wiley & Sons, *Power Electronics: Converters, Applications and Design*, 2a Ed, Nueva York, 1995.
- [13] Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) *Electrónica de Potencia*
- [14] Tom Monczka, *Driving triacs with phototriacs*, Panasonic Blog. July 2011
- [15] Tan Wen, *Load Frequency Control: Problems and solutions*, North China Electric Power University, Beijing. Julio 2011.





Parte II PRESUPUESTO

ECONÓMICO

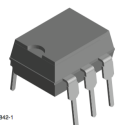


Capítulo 1 PRESUPUESTO ECONÓMICO

En este apartado se listan todos los aspectos del proyecto que implican una aportación económica tanto la ingeniería como el material necesario para el sistema de control de carga.

1.1 MATERIAL Y PRECIO UNITARIO

La *Tabla 1* muestra el coste unitario de cada uno de los componentes necesarios para el desarrollo del proyecto.

COMPONENTES		
Nombre	Precio (€)	Figura
Triac BT138 series	0,824	
Driver Optoaislado MOC3052	0,832	
Optoacoplador H11AA1	0,74	
Conector bloque terminal fijo GMKDSN	1,352	 *



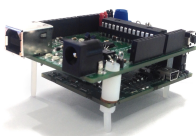
Radiador 272-AB TO-220	0,434	
Resistencias SMD 0805	0,034	
Resistencia de potencia 1kW	24.2	
Tornillos y tuercas aislantes de nylon	0,85	
Mica aislante	0,50	
Tarjeta PICTrainer diseñada en ICAI	20	

Tabla 1. Lista de componentes y precio unitario

*El conector de la figura no se corresponde con el utilizado, que es de 4 entradas.



1.2 PRECIO TOTAL DEL MATERIAL

La tabla siguiente, *Tabla 2*, muestra la cantidad necesaria de cada componente y su precio total.

Componente	Cantidad	Total (€)
Triac	x1	0,82
Driver Optoaislado	x1	0,83
Optoacoplador	x1	0,74
Conector	x1	1,35
Radiador	x1	0,43
Resistencias SMD	x5	1,72
Resistencia potencia	x1	24,2
Tornillo y tuerca nylon	X5	4,25
Mica aislante	x1	0,08
Tarjeta	x1	20
Circuito impreso (PCB)	x1	88
	Subtotal bruto	146,68
	Subtotal neto (21% IVA)	177,48

Tabla 2. Cantidad de componentes y subtotal



1.3 PRESUPUESTO DE TRABAJO

En esta sección se muestra una estimación de las horas de trabajo invertidas en el desarrollo del proyecto y su coste total.

Precio por hora de trabajo del ingeniero	40 €/h
Número de horas de trabajo	370 h
Coste de trabajo total bruto	14.800€
Coste de trabajo neto (21% IVA)	17.908€

Tabla 3. Horas de trabajo y coste

1.4 PRESUPUESTO GENERAL

A continuación, en la *Tabla 4*, se presenta el presupuesto general como la suma de todas sumas parciales obtenidas de los apartados anteriores. Además, se incluirán los gastos generales, que abarcarán todo lo que no se ha contenido en ninguna sección pero también debe ser tenido en cuenta (luz, mantenimientos, material de oficina, etc.). También se incluirá el beneficio industrial.

Apartado	Suma parcial (€)
Materiales	177,48
Ingeniería	17.908
Suma Parcial	18.085,48



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

Presupuesto económico

Gastos generales (13%)	2351.11
Beneficio industrial (6%)	1085.13
Suma Total	21521.72

Tabla 4. Presupuesto general



Parte III DATASHEETS

Triacs

BT138 series

GENERAL DESCRIPTION

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.

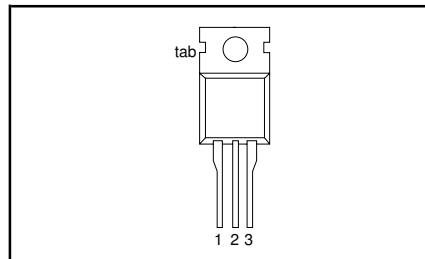
QUICK REFERENCE DATA

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

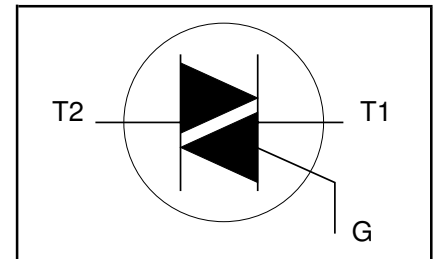
PINNING - TO220AB

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

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 .

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	-	-	2.0	K/W
			-	60	-	K/W

STATIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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	$V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$	-	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	$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$ $V_D = 400\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A};$ $T_j = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	- 0.25	0.7 0.4	1.5 -			V V
I_D	Off-state leakage current	$V_D = V_{DRM(max)};$ $T_j = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	0.1	0.5			mA

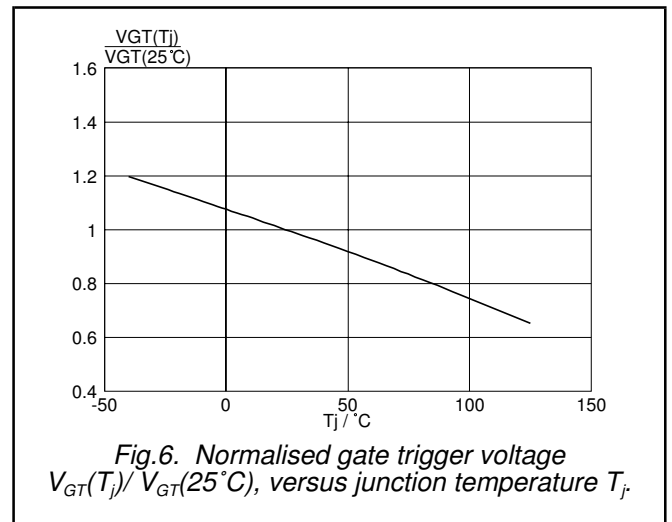
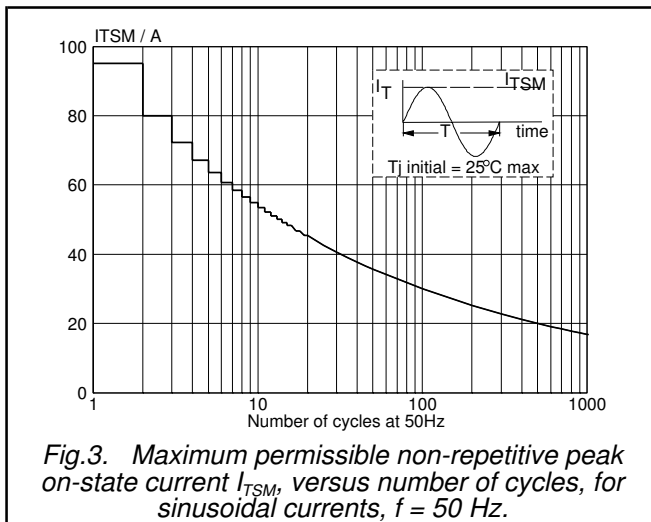
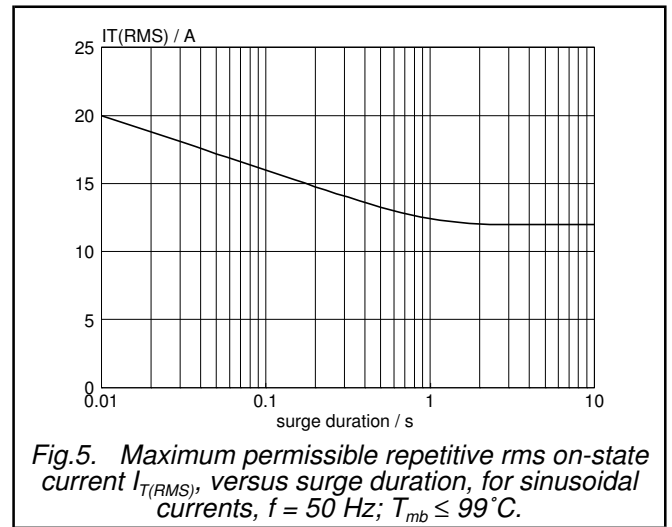
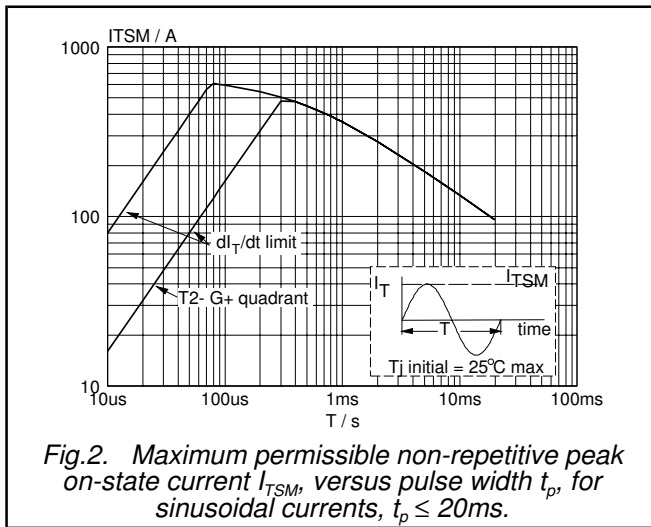
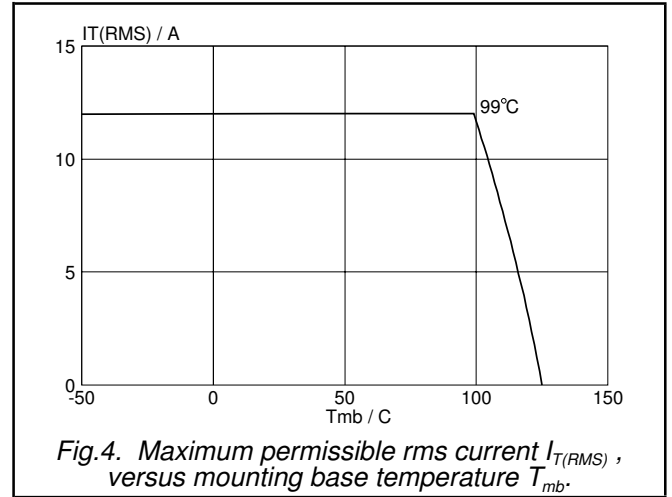
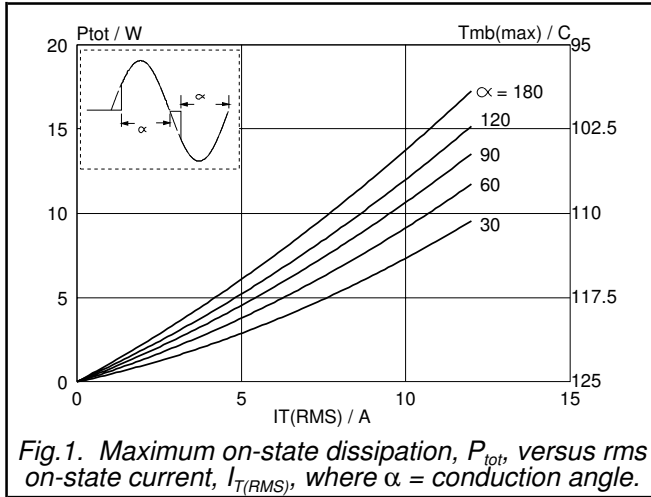
DYNAMIC CHARACTERISTICS

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.			TYP.	MAX.	UNIT
dV_D/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	BT138- $V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)};$ $T_j = 125\text{ }^{\circ}\text{C};$ exponential waveform; gate open circuit	100	50	200	250	-	V/ μs
dV_{com}/dt	Critical rate of change of commutating voltage	$V_{DM} = 400\text{ V}; T_j = 95\text{ }^{\circ}\text{C};$ $I_{T(RMS)} = 12\text{ A};$ $dI_{com}/dt = 5.4\text{ A/ms};$ 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

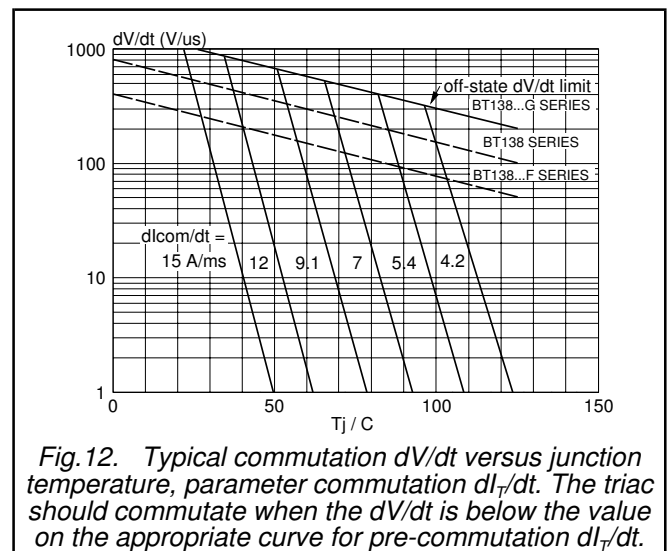
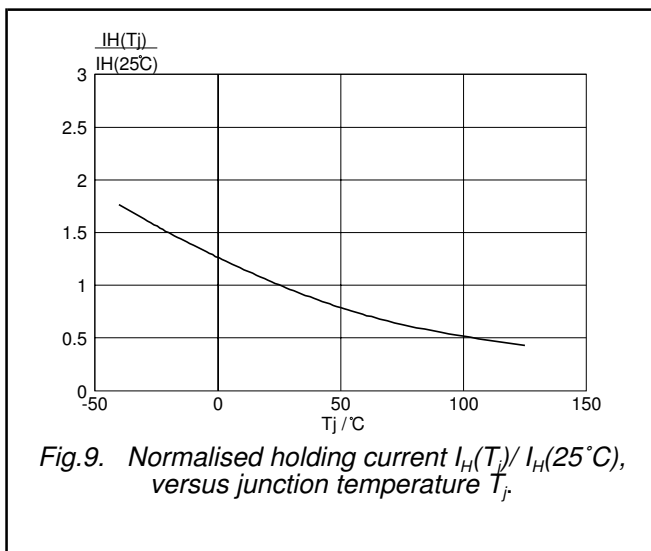
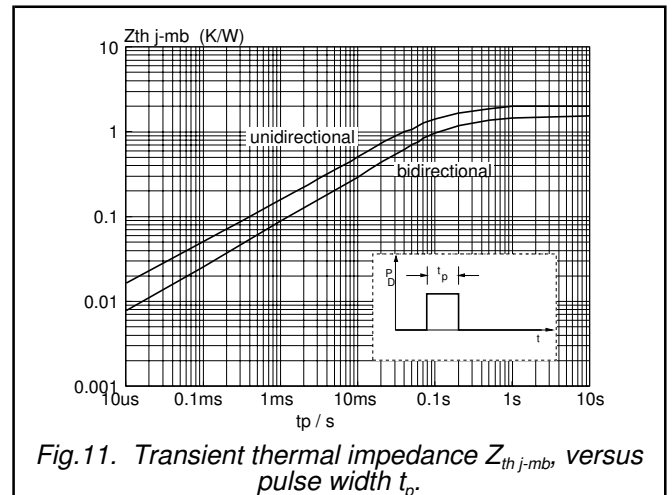
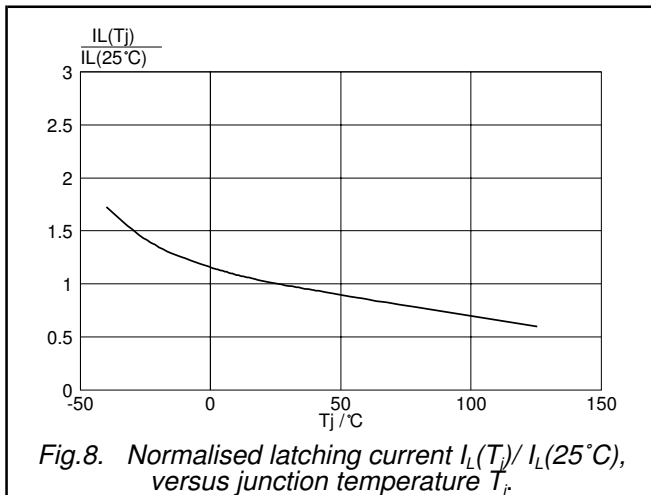
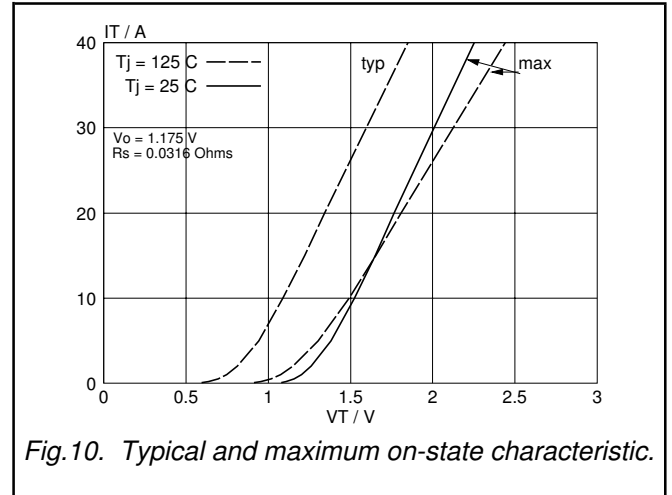
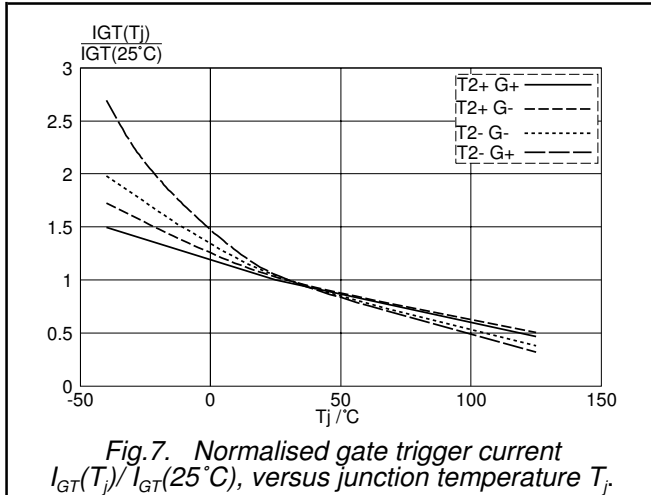
Triacs

BT138 series



Triacs

BT138 series



Triacs

BT138 series

MECHANICAL DATA

Dimensions in mm

Net Mass: 2 g

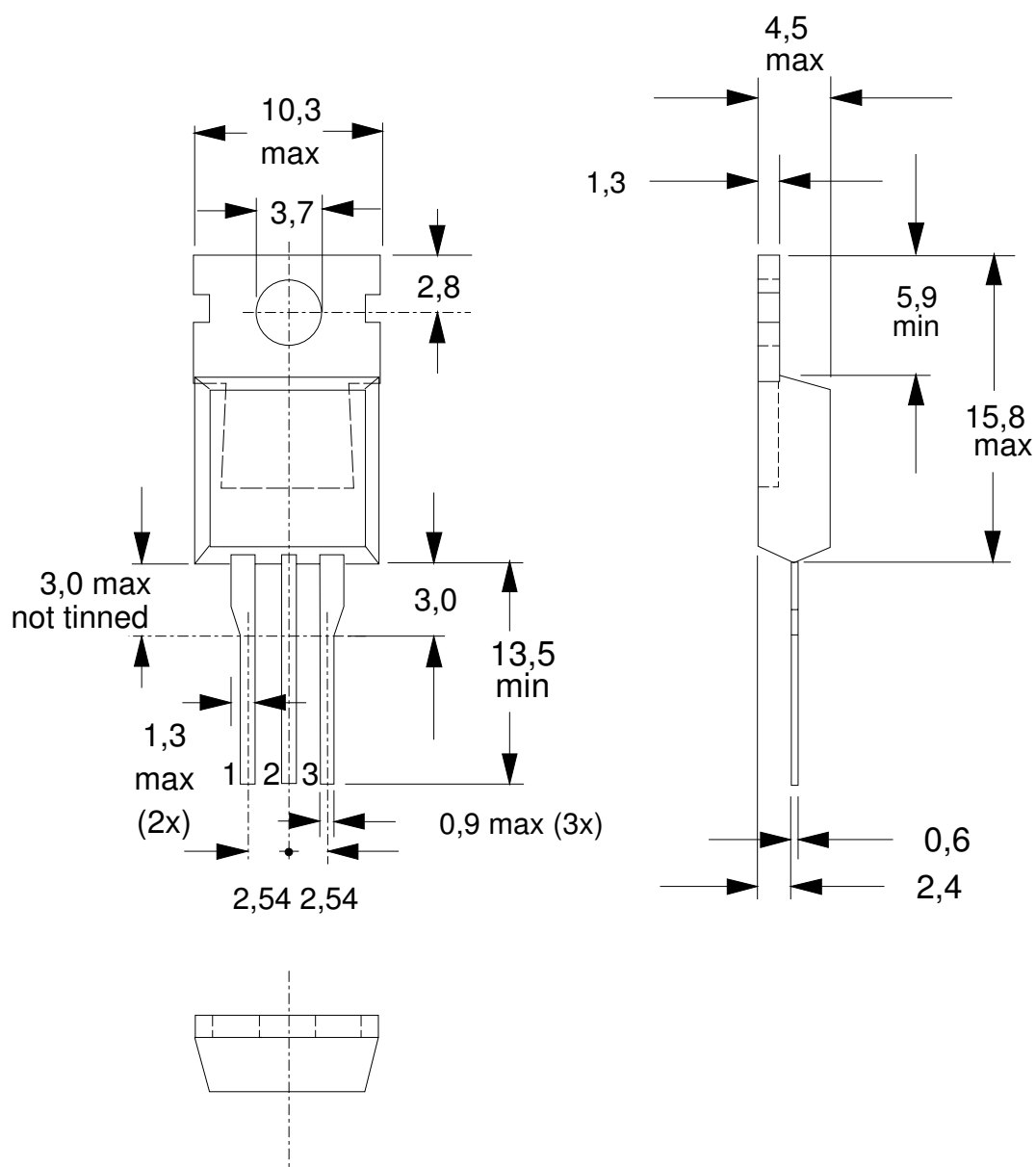
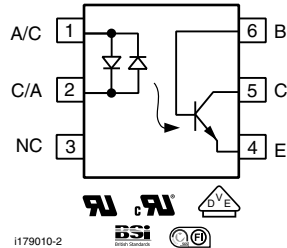
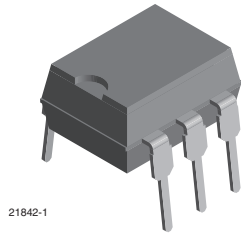


Fig.13. SOT78 (TO220AB). pin 2 connected to mounting base.

Notes

1. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220) envelopes.
2. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

Optocoupler, Phototransistor Output, AC Input, with Base Connection



DESCRIPTION

The H11AA1 is a bi-directional input optically coupled isolator consisting of two inverse parallel gallium arsenide infrared LEDs coupled to a silicon NPN phototransistor in a 6 pin DIP package. The H11AA1 has a minimum CTR of 20 %, a CTR symmetry of 1:3 and is designed for applications requiring detection or monitoring of AC signals.

FEATURES

- AC or polarity insensitive input
- Built-in reverse polarity input protection
- I/O compatible with integrated circuits
- Industry standard DIP package
- Isolation test voltage: 5300 V_{RMS}
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

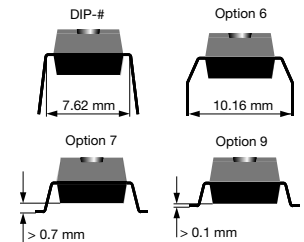
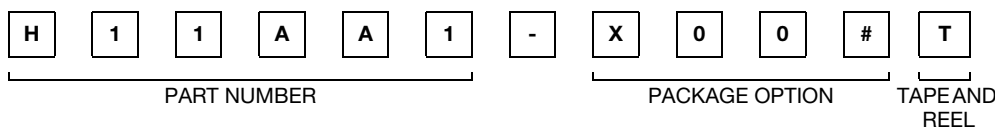
APPLICATIONS

- Telephone line detection
- AC line motor
- PLC
- Instrumentation

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744 system code H, double protection
- CSA 93751
- BSI IEC 60950; IEC 60065
- DIN EN 60747-5-2 (VDE0884)/DIN EN 60747-5-5 (pending), available with option 1
- FIMKO

ORDERING INFORMATION



AGENCY CERTIFIED/PACKAGE	CTR (%)
UL, cUL, BSI, FIMKO	≥ 20
DIP-6	H11AA1
DIP-6, 400 mil, option 6	H11AA1-X006
SMD-6, option 7	H11AA1-X007T ⁽¹⁾
SMD-6, option 9	H11AA1-X009T ⁽¹⁾
VDE, UL, cUL, BSI, FIMKO	≥ 20
DIP-6	H11AA1-X001

Note

- Additional options may be possible, please contact sales office.
- ⁽¹⁾ Also available in tubes; do not add T to end.

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, AC Input, with Base Connection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Forward continuous current		I_F	± 60	mA
Power dissipation		P_{diss}	100	mW
Derate linearly from 25 °C			1.3	mW/°C
OUTPUT				
Power dissipation		P_{diss}	200	mW
Derate linearly from 25 °C			2.6	mW/°C
Collector emitter breakdown voltage		BV_{CEO}	30	V
Emitter base breakdown voltage		BV_{EBO}	5	V
Collector base breakdown voltage		BV_{CBO}	70	V
COUPLER				
Isolation test voltage (RMS)	Between emitter and detector, referred to standard climate 23 °C/50% RH, DIN 50014	V_{ISO}	5300	V_{RMS}
Creepage distance			≥ 7	mm
Clearance distance			≥ 7	mm
Comparative tracking index	per DIN IEC 112/VDE 0303, part 1	CTI	175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	R_{IO}	$\geq 10^{12}$	Ω
	$V_{IO} = 500\text{ V}$, $T_{amb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	R_{IO}	$\geq 10^{11}$	Ω
Storage temperature range		T_{stg}	- 55 to + 150	°C
Operating temperature range		T_{amb}	- 55 to + 100	°C
Lead soldering time at 260 °C		T_{sld}	10	s

Note

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT						
Forward voltage	$I_F = \pm 10\text{ mA}$	V_F		1.2	1.5	V
OUTPUT						
Collector emitter breakdown voltage	$I_C = 1\text{ mA}$	BV_{CEO}	30			V
Emitter base breakdown voltage	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$	BV_{EBO}	5			V
Collector base breakdown voltage	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$	BV_{CBO}	70			V
Collector emitter leakage current	$V_{CE} = 10\text{ V}$	I_{CEO}		5	100	nA
COUPLER						
Collector emitter saturation voltage	$I_F = \pm 10\text{ mA}$, $I_C = 0.5\text{ mA}$	V_{CEsat}			0.4	V

Note

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

CURRENT TRANSFER RATIO ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	$I_F = \pm 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$	CTR_{DC}	20			%
Symmetry (CTR at + 10 mA)/(CTR at - 10 mA)			0.33	1	3	

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

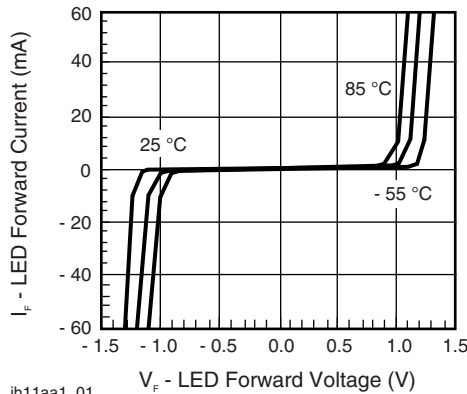


Fig. 1 - LED Forward Current vs. Forward Voltage

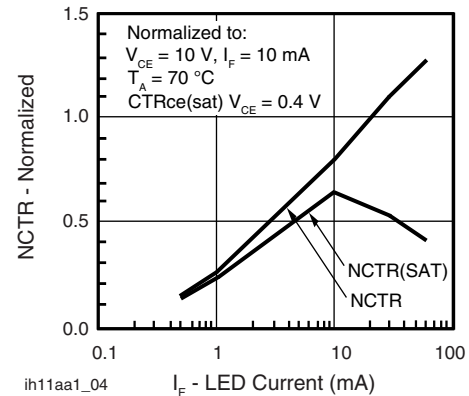


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

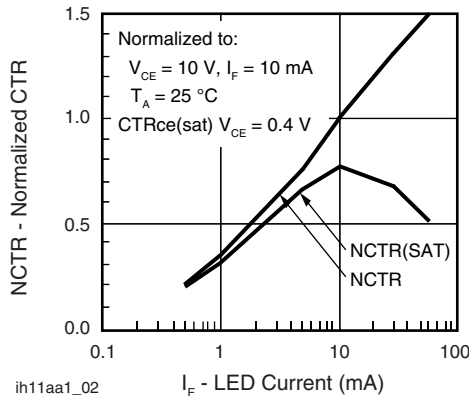


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

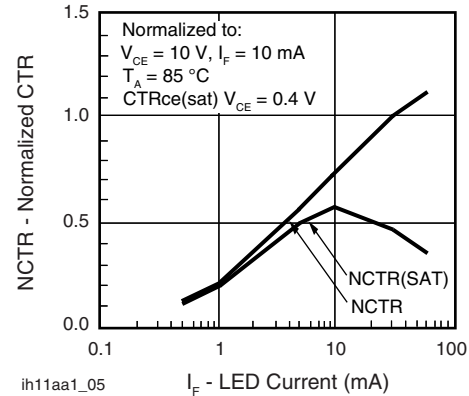


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

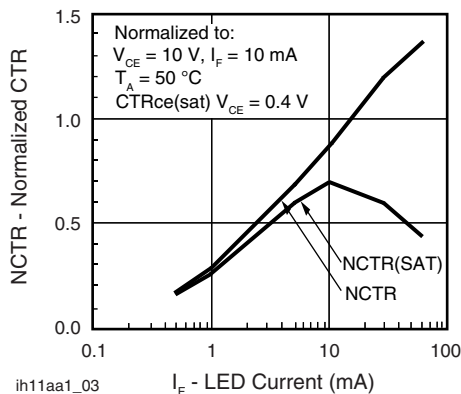


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

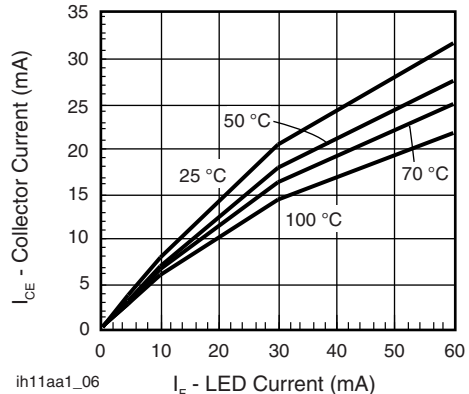


Fig. 6 - Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

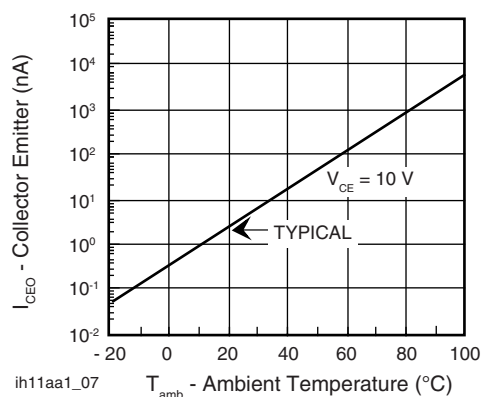


Fig. 7 - Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

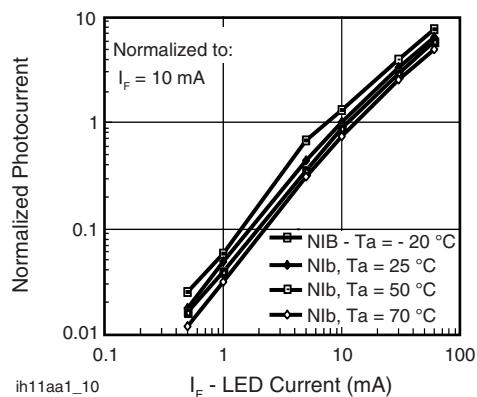


Fig. 10 - Normalized Photocurrent vs. LED Current

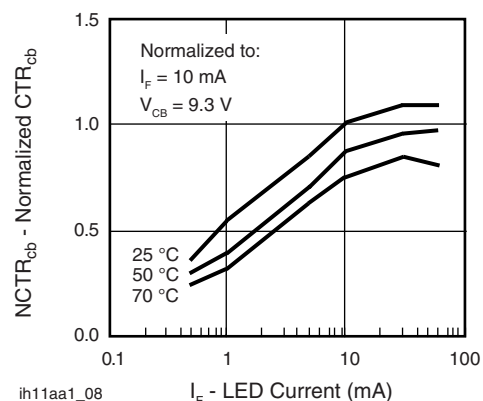


Fig. 8 - Normalized CTR_{cb} vs. LED Current and Temperature

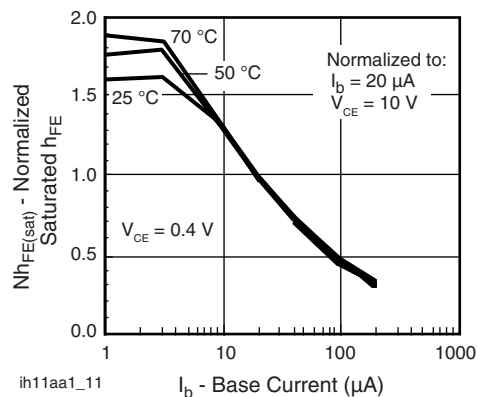


Fig. 11 - Normalized Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature

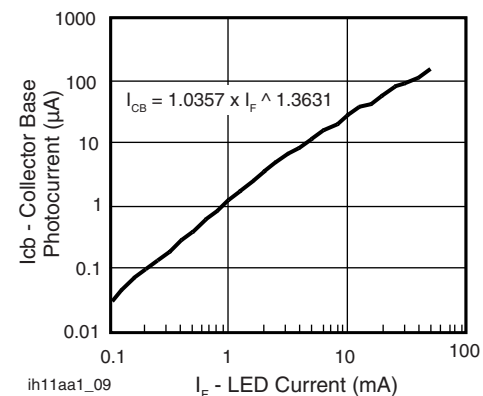


Fig. 9 - Collector Base Photocurrent vs. LED Current

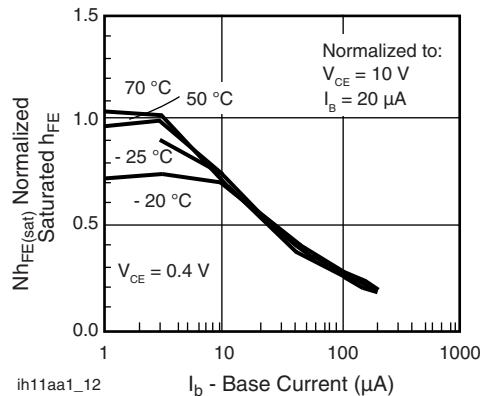


Fig. 12 - Normalized Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature

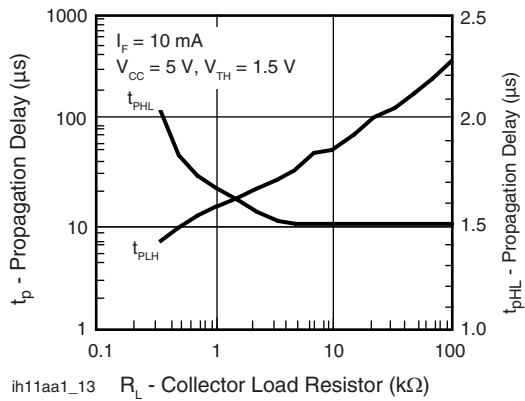


Fig. 13 - Propagation Delay vs. Collector Load Resistor

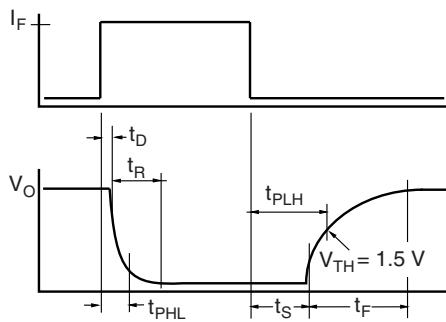


Fig. 14 - Switching Waveform

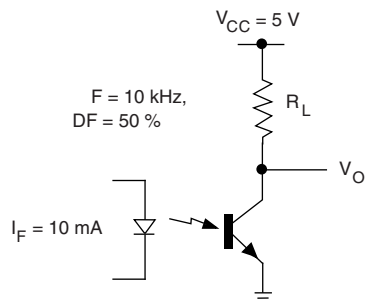


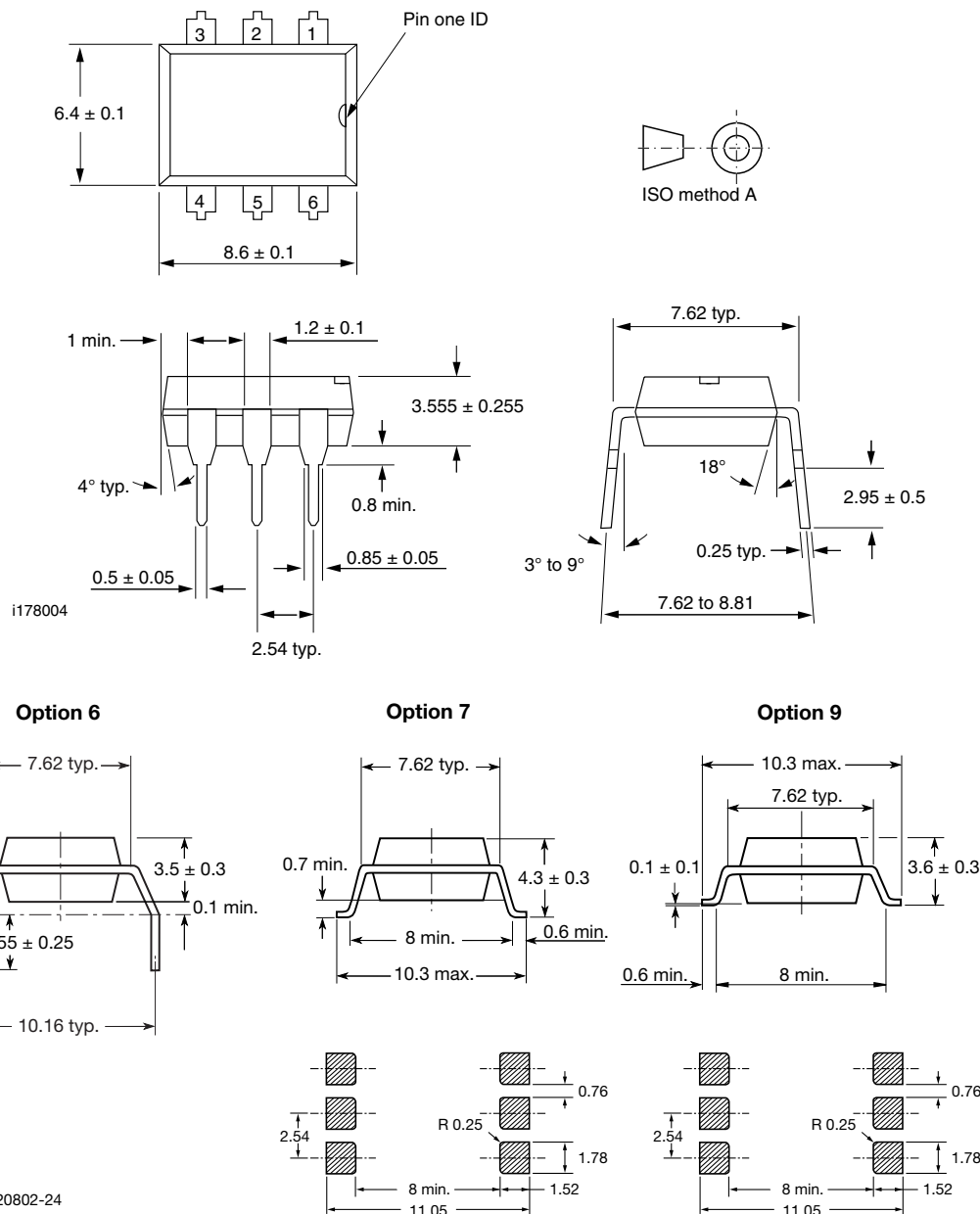
Fig. 15 - Switching Schematic

H11AA1

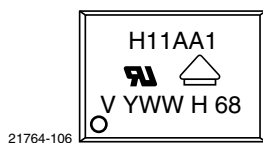


Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
AC Input, with Base Connection

PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



PACKAGE MARKING



Notes

- Only options 1 and 7 are reflected in the package marking.
- The VDE Logo is only marked on option1 parts.
- Tape and reel suffix (T) is not part of the package marking.



January 2010

FEATURES

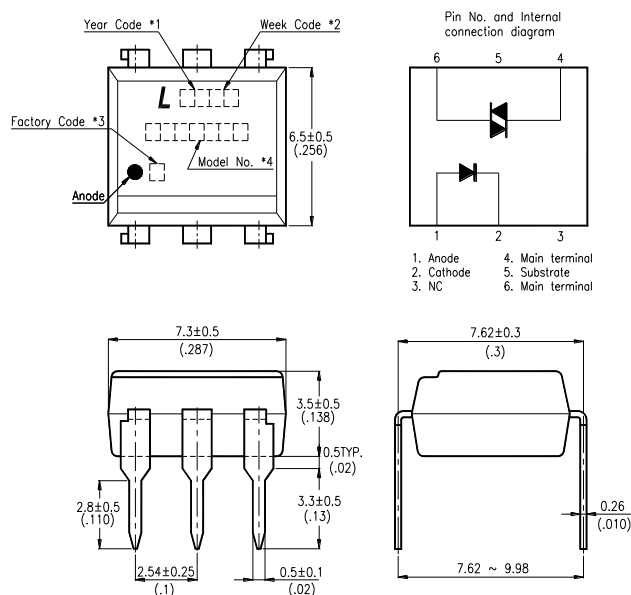
- * Isolation voltage between input and output $V_{iso} : 5,000V_{rms}$
- * 6pin DIP photocoupler, triac driver output
- * High repetitive peak off-state voltage $V_{DRM} : \text{Min. } 600V$
- * High critical rate of rise of off-state voltage
($dv/dt : \text{MIN. } 1000V / \mu s$)
- * Dual-in-line package :
MOC3052
- * Wide lead spacing package :
MOC3052M
- * Surface mounting package :
MOC3052S
- * Tape and reel packaging :
MOC3052S-TA1
- * Safety approval
UL / CSA / FIMKO / VDE* approved
*Required "V" ordering option

APPLICATIONS

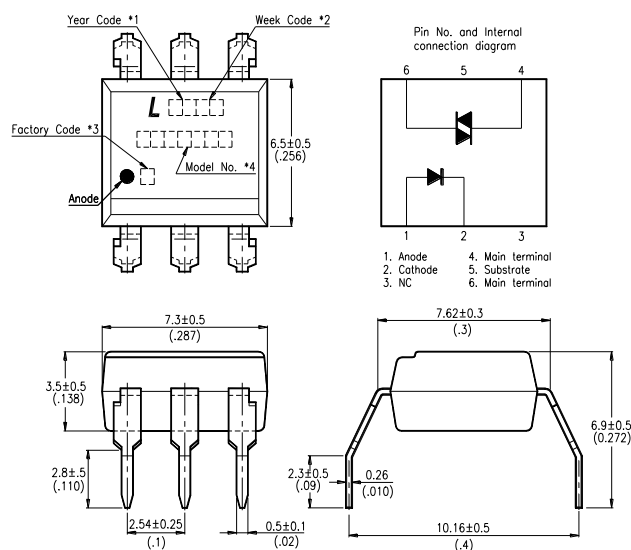
- * Incandescent Lamp Dimmers
- * Interfacing Microprocessors to 115 and 240 Vac Peripherals
- * Lamp Ballasts
- * Motor Controls
- * Solid State Relays
- * Static AC Power Switch
- * Solenoid / Valve Controls
- * Temperature Controls

OUTLINE DIMENSIONS

Dual-in-line package :



Wide lead spacing package:



*1. Year date code.

*2. 2-digit work week.

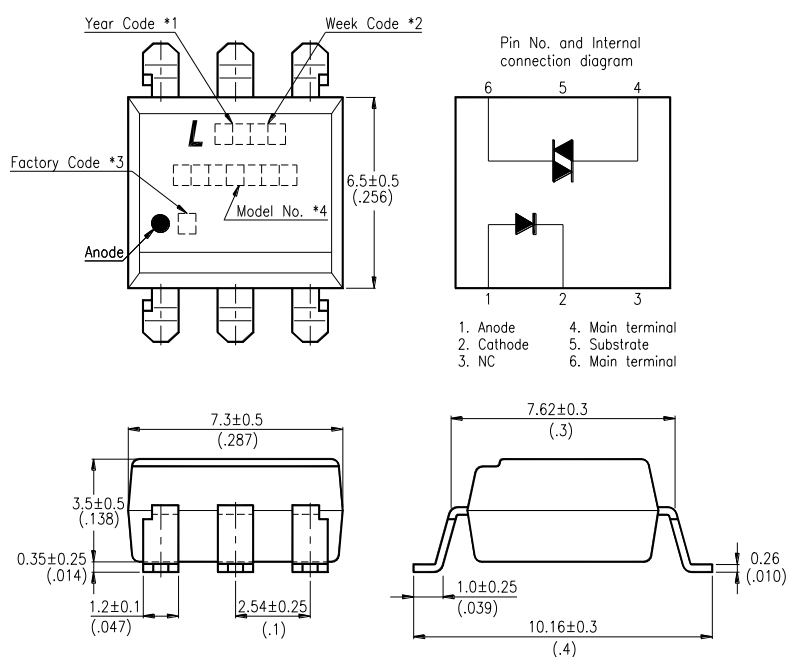
*3. Factory identification mark shall be marked.

(Z : Taiwan, Y : Thailand, X : China-TJ, W : China-CZ)

*4. Model No.: MOC3052

OUTLINE DIMENSIONS

Surface mounting package :

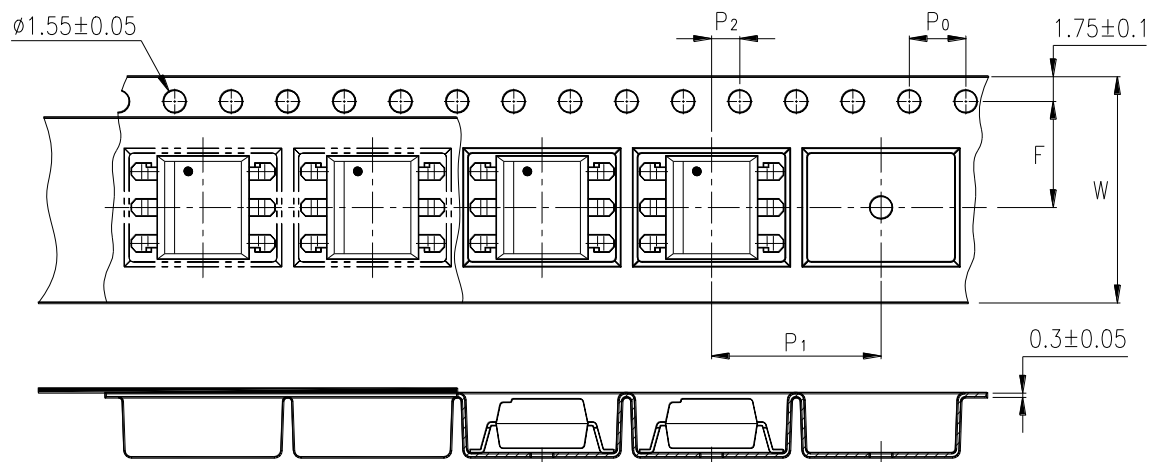


- *1. Year date code.
- *2. 2-digit work week.
- *3. Factory identification mark shall be marked.
(Z : Taiwan, Y : Thailand, X : China-TJ, W : China-CZ)
- *4. Model No.: MOC3052

TAPING DIMENSIONS

Tape and reel package :

MOC3052S-TA1



Description	Symbol	Dimensions in mm (inches)
Tape wide	W	16 ± 0.3 (.63)
Pitch of sprocket holes	P_0	4 ± 0.1 (.15)
Distance of compartment	F	7.5 ± 0.1 (.295)
Distance of compartment to compartment	P_1	2 ± 0.1 (.079)
		12 ± 0.1 (.472)

ABSOLUTE MAXIMUM RATING

(Ta = 25°C)

PARAMETER		SYMBOL	RATING	UNIT
INPUT	Forward Current	I _F	50	mA
	Reverse Voltage	V _R	6	V
	Power Dissipation	P _D	100	mW
OUTPUT	Off-State Output Terminal Voltage	V _{DRM}	600	V
	Peak Repetitive Surge Current (PW=100μs, 120pps)	I _{TSM}	1	A
	Collector Power Dissipation	P _C	300	mW
Total Power Dissipation		P _{tot}	330	mW
*1	Isolation Voltage	V _{iso}	5,000	V _{rms}
Ambient Operating Temperature Range		T _A	-40 ~ +100	°C
Storage Temperature Range		T _{stg}	-55 ~ +150	°C
*2	Soldering Temperature	T _L	260	°C

*1. AC For 1 Minute, R.H. = 40 ~ 60%

Isolation voltage shall be measured using the following method.

- (1) Short between anode and cathode on the primary side and between collector, emitter on the secondary side.
- (2) The isolation voltage tester with zero-cross circuit shall be used.
- (3) The waveform of applied voltage shall be a sine wave.

*2. For 10 Seconds

ELECTRICAL - OPTICAL CHARACTERISTICS

(Ta = 25°C)

PARAMETER		SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	CONDITIONS
INPUT	Forward Voltage	V_F	—	1.2	1.4	V	$I_F=20\text{mA}$
	Reverse Current	I_R	—	0.05	10	μA	$V_R=6\text{V}$
OUTPUT	*1 Peak Blocking Current, Either Direction	I_{DRM}	—	—	100	nA	$V_{\text{DRM}} = 600\text{V}$
	Peak On-State Voltage, Either Direction	V_{TM}	—	—	3.0	V	$I_{\text{TM}}=100\text{ mA Peak}$
	*2 Critical rate of Rise of Off-State Voltage	dv/dt	1000	—	—	V/ μs	
COUPLED	*3 Led Trigger Current, Current Required to Latch Output, Either Direction	I_{FT}	—	—	10	mA	Main Terminal Voltage = 3V
	Holding Current, Either Direction	I_H	—	400	—	μA	

*1 Test voltage must be applied within dv/dt rating.

*2 This is static dv/dt . 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 10mA for MOC3052 and absolute max I_F (50mA)

CHARACTERISTICS CURVES

Fig.1 Forward Current vs.
Ambient Temperature

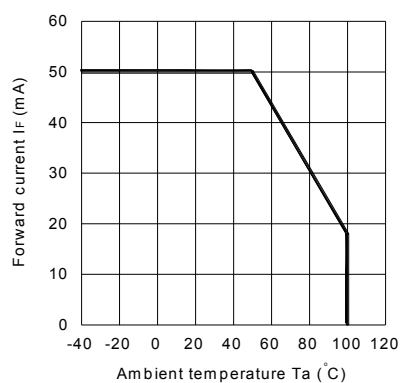


Fig.2 On-state Current vs. Ambient
Temperature

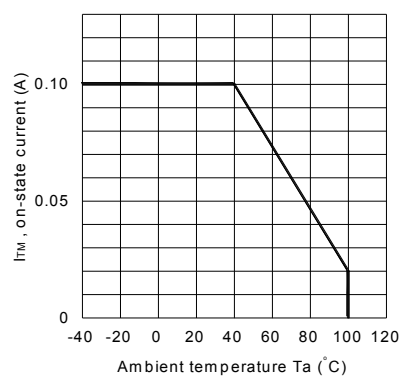


Fig.3 Minimum Trigger Current
vs. Ambient Temperature

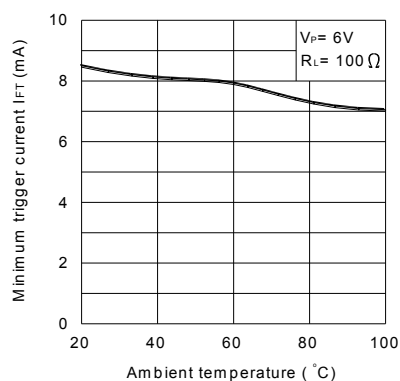


Fig.4 Forward Current vs. Forward
Voltage

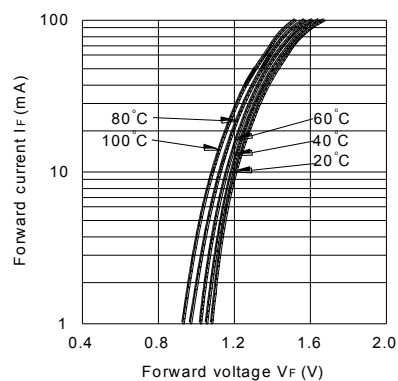


Fig.5 On-state Voltage vs. Ambient
Temperature

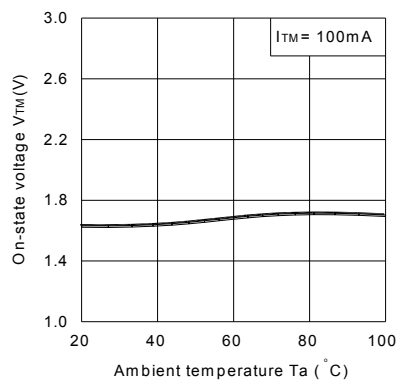
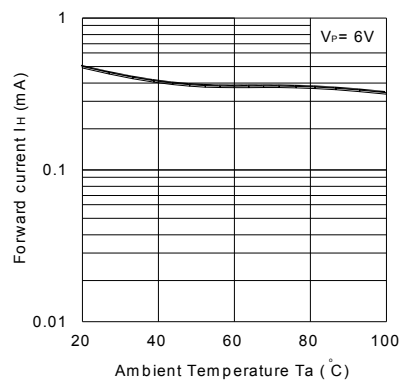


Fig.6 Holding Current vs.
Ambient Temperature



CHARACTERISTICS CURVES

Fig.7 Repetitive Peak Off-state Current vs. Temperature

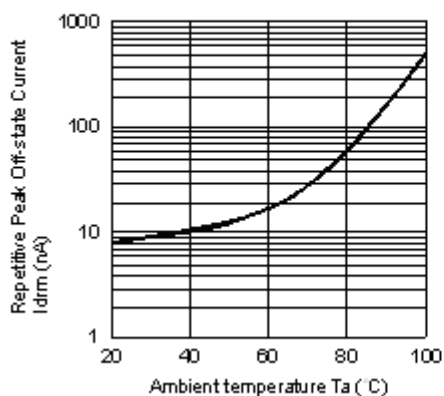
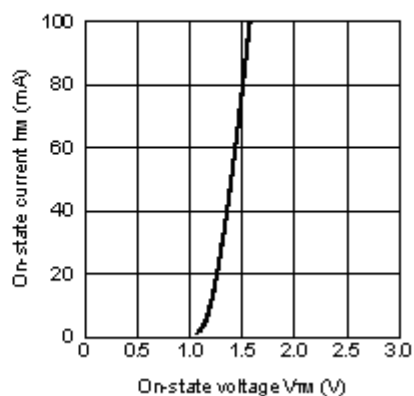
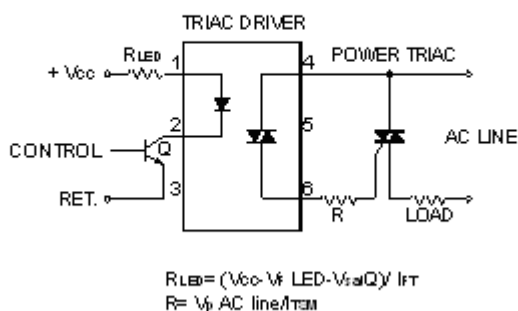


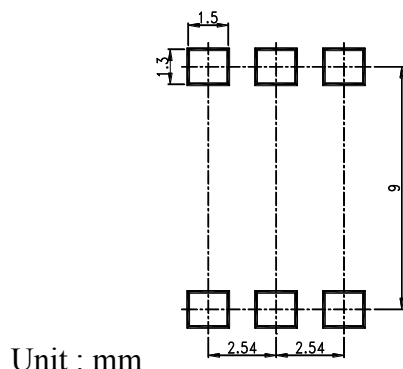
Fig.8 On-state Current vs. On-state Voltage



Basic Driver Circuit



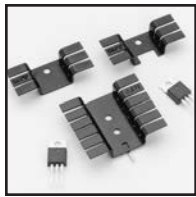
RECOMMENDED FOOT PRINT PATTERNS (MOUNT PAD)



Board Level Heat Sinks



BOARD LEVEL POWER SEMICONDUCTOR HEAT SINKS



270/272/280 SERIES

Small Footprint Low-Cost Heat Sinks

TO-220, TO-202

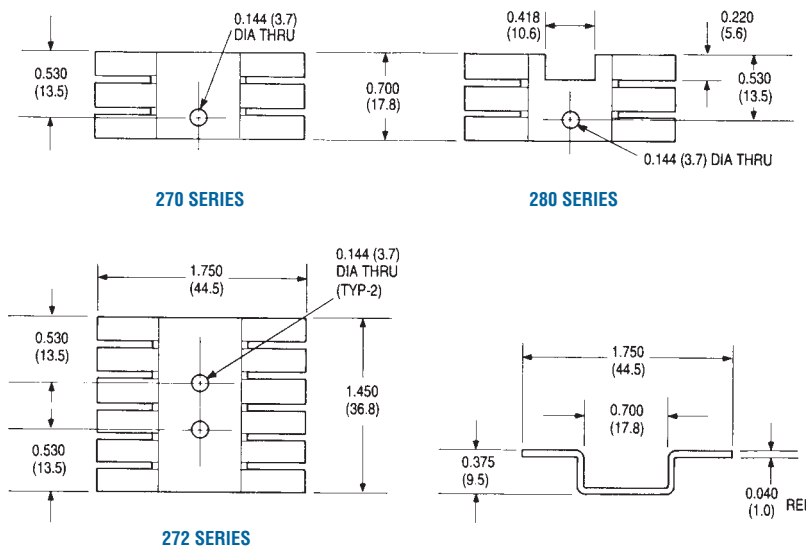
Standard P/N	Height Above PC Board in. (mm)	Horizontal Mounting Maximum Footing in. (mm)	Solderable Tab Options	Thermal Performance at Typical Load Natural Convection	Thermal Performance at Typical Load Forced Convection	Weight lbs. (grams)
270-AB	0.375 (9.4)	1.750 (44.5) x 0.700 (17.8)	—	70°C @ 4W	6.0°C/W @ 400 LFM	0.0052 (2.36)
272-AB	0.375 (9.4)	1.750 (44.5) x 1.450 (36.8)	01,02	42°C @ 4W	3.6°C/W @ 400 LFM	0.0105 (5.72)
280-AB	0.375 (9.4)	1.750 (44.5) x 0.700 (17.8)	—	70°C @ 4W	6.0°C/W @ 400 LFM	0.0048 (2.18)

Material: Aluminum, Black Anodized

These exceptionally low-cost heat sinks can be mounted horizontally under a TO-220 or TO-202 case style with a maximum height of only 0.375 in. (9.4). For added performance, a 271 Series heat sink can also be used for double-sided heat dissipation.

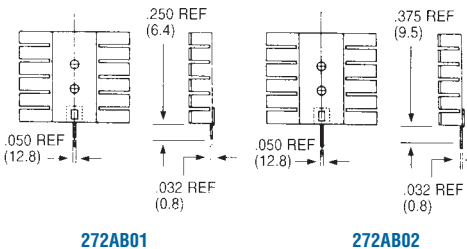
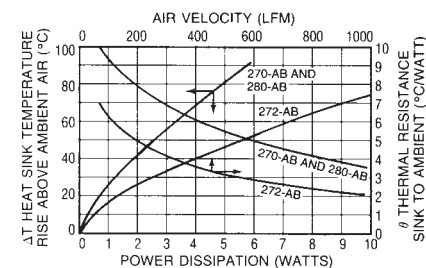
The 270-AB and 280-AB accept one power semiconductor; the 272-AB is designed for two power semiconductors. Specify solderable tab options for the 272 Series by the addition of suffix "01" or "02" to the standard part number (i.e. 272-AB01 or 272-AB02).

MECHANICAL DIMENSIONS



Dimensions: in. (mm)

NATURAL AND FORCED CONVECTION CHARACTERISTICS



Note:
1. Suggested Tab Hole = 0.075 ±0.003 plated with 0.100 pad

289 & 290 SERIES

Low-Cost Single or Dual Package Heat Sinks

TO-218, TO-202, TO-202



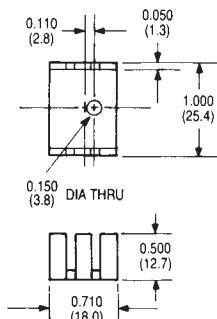
Standard P/N	Height Above PC Board in. (mm)	Horizontal Mounting Maximum Footing in. (mm)	Thermal Performance at Typical Load Natural Convection	Thermal Performance at Typical Load Forced Convection	Weight lbs. (grams)
289-AB	0.500 (12.7)	1.000 (25.4) x 0.710 (18.1)	50°C @ 2W	9.0 C/W @ 400 LFM	0.0055 (2.49)
289-AP	0.500 (12.7)	1.000 (25.4) x 0.710 (18.1)	50°C @ 2W	9.0 C/W @ 400 LFM	0.0055 (2.49)
290-1AB	0.500 (12.7)	1.000 (25.4) x 1.180 (30.0)	44°C @ 2W	7.0 C/W @ 400 LFM	0.0082 (3.72)
290-2AB	0.500 (12.7)	1.000 (25.4) x 1.180 (30.0)	44°C @ 2W	7.0 C/W @ 400 LFM	0.0081 (3.67)

Material: Aluminum, Black Anodized

Low in cost and compact in overall dimensions, one 289 Series heat sink can accommodate one semiconductor; the 289 Series is available with a black an-

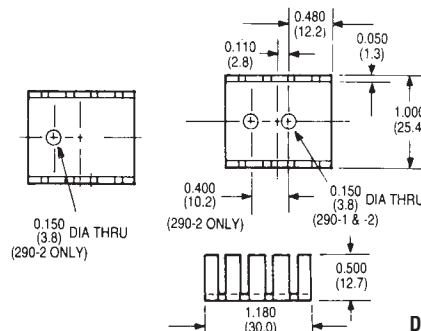
odized finish (289-AB) or with no finish (289-AP). Two semiconductors can be mounted to the 290-2AB style.

289 SERIES



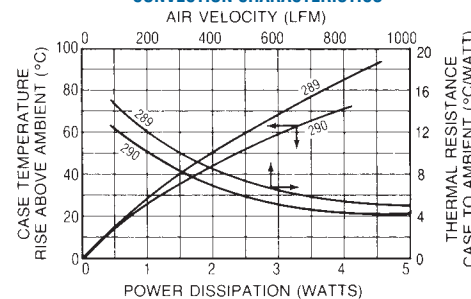
MECHANICAL DIMENSIONS

290 SERIES



Dimensions: in. (mm)

NATURAL AND FORCED CONVECTION CHARACTERISTICS





dsPIC33FJ32MC302/304, dsPIC33FJ64MCX02/X04 and dsPIC33FJ128MCX02/X04

16-bit Digital Signal Controllers (up to 128 KB Flash and 16K SRAM) with Motor Control PWM and Advanced Analog

Operating Conditions

- 3.0V to 3.6V, -40°C to +150°C, DC to 20 MIPS
- 3.0V to 3.6V, -40°C to +125°C, DC to 40 MIPS

Clock Management

- 2% internal oscillator
- Programmable PLL and oscillator clock sources
- Fail-Safe Clock Monitor (FSCM)
- Independent Watchdog Timer
- Low-power management modes
- Fast wake-up and start-up

Core Performance

- Up to 40 MIPS 16-bit dsPIC33F CPU
- Two 40 bit wide accumulators
- Single-cycle (MAC/MPY) with dual data fetch
- Single-cycle MUL plus hardware divide

Motor Control PWM

- Up to four PWM generators with eight outputs
- Dead Time for rising and falling edges
- 25 ns PWM resolution
- PWM support for Motor Control: BLDC, PMSM, ACIM, and SRM
- Programmable Fault inputs
- Flexible trigger for ADC conversions and configurations

Advanced Analog Features

- 10/12-bit ADC with 1.1MSPS/500 kSPS conversion rate:
 - Up to nine ADC input channels and four S&H
 - Flexible/Independent trigger sources
- 150 ns Comparators:
 - Up to two Analog Comparator modules
 - 4-bit DAC with two ranges for Analog Comparators

Input/Output

- Software remappable pin functions
- 5V-tolerant pins
- Selectable open drain and internal pull-ups
- Up to 5 mA overvoltage clamp current/pin
- Multiple external interrupts

Packages

Type	SPDIP (300 ml)	SOIC	QFN-S	QFN	TQFP
Pin Count	28	28	28	44	44
I/O Pins	21	21	21	35	35
Contact Lead/Pitch	.100"	1.27	0.65	0.65	0.80
Dimensions	.285x.135x1.365"	7.50x2.05x17.9	6x6x0.9	8x8x0.9	10x10x1

Note: All dimensions are in millimeters (mm) unless specified.

System Peripherals

- Cyclic Redundancy Check (CRC) module
- 16-bit dual channel 100 kSPS Audio DAC
- Up to five 16-bit and up to two 32-bit Timers/Counters
- Up to four Input Capture (IC) modules
- Up to four Output Compare (OC) modules
- Up to two Quadrature Encoder Interface (QEI) modules
- Real-Time Clock and Calendar (RTCC) module

Communication Interfaces

- Parallel Master Port (PMP)
- Two UART modules (10 Mbps)
 - Supports LIN 2.0 protocols
 - RS-232, RS-485, and IrDA® support
- Two 4-wire SPI modules (15 Mbps)
- Enhanced CAN (ECAN) module (1 Mbaud) with 2.0B support
- I²C module (100K, 400K and 1Mbaud) with SMBus support

Direct Memory Access (DMA)

- 8-channel hardware DMA with no CPU stalls or overhead
- UART, SPI, ADC, ECAN, IC, OC, INT0

Qualification and Class B Support

- AEC-Q100 REVG (Grade 0 -40°C to +150°C)
- Class B Safety Library, IEC 60730, VDE certified

Debugger Development Support

- In-circuit and in-application programming
- Two program breakpoints
- Trace and run-time watch



Parte IV ANEXO





ANEXO 1: CÓDIGO FUENTE

En este anexo se muestra el código de prueba utilizado para la comprobación del hardware. Antes de cada sección se explica brevemente la función de la parte de código mostrada.

Main: En esta sección se inicializan los puertos que serán entradas y los que serán salidas. La entrada al microcontrolador es la salida del optoacoplador conectada al pin 9 del microcontrolador (RA2), el bit 2 del PORT A. En este pin cuenta con el periférico CN30 (*Change Notification 30*). La salida del microcontrolador será la que vaya al driver y sale del pin 15 del microcontrolador (RB6), el bit 6 de PORT B.

Tras inicializar las entradas y salidas se llama a la función **paso_por_cero** que será la responsable de la interrupción si la señal de corriente alterna pasa por cero.

```
int main(void) {
    InicializarReloj();
    RemapeaPeriféricos();
    AD1PCFGL=0xFFFF;

    TRISB=0xFFBF;    //bit 6 salida
    PORTB=0xFFFF;    //lee todas las entradas

    TRISA = 0xFFFF;  // bits de entrada de la
                      // interrupcion (Change
                      // notification bit 2 PORT A)
    PORTA = 0xFFFF;

    SRbits.IPL = 0;    // Habilita interrupciones
    paso_por_cero();

    while(1);
    return 0;
}
```



Paso por cero: En esta sección se inicializa la interrupción de CN30 habilitándola, dándola prioridad y poniendo el flag a cero. Posteriormente se muestra su rutina de interrupción en la cual se inicializa la variable us, el tiempo en microsegundos, y se llama al Timer1. Se ha decidido hacerlo de esta manera para futuros desarrollos en los que el valor del retardo varíe.

```
void paso_por_cero ()
{
    CNEN2bits.CN30IE = 1;    // Habilitar la
                             // interrupción-enable
    //CNPU2bits.CN30PUE = 1; // Encender la resistencia
                             // de pull up para evitar
                             // posibles inconvenientes en
                             // la salida (ruido
                             // eléctrico...etc)
    IEC1bits.CNIE = 1;       // Habilitar las
                             // interrupciones de CN
    IFS1bits.CNIF = 0;       // Poner flag a cero
    IPC4bits.CNIP = 3;       // Dar prioridad 3 a la
                             // interrupción.
}

void __attribute__((interrupt(no_auto_psv)))
_CNInterrupt(void)
{
    IFS1bits.CNIF = 0;       // Volvemos a poner el flag a
                             // cero
    int us = 0;              // Valor en us del retardo
                             // deseado para disparar el triac
                             // que se enviará al timer
    us = 24756;              // 5ms con el preescalado elegido
                             // para el reloj.

    ini_timer(us);
}
```



Timer1: A través de este timer se cuenta el retardo enviado por la rutina de la interrupción de los pasos por cero (5ms) y en la rutina de interrupción del timer se pone a uno la salida para dar un pulso y se llama al Timer2 que será el que baje el pulso tras 2us.

```
void timer_paso_por_cero(int us)
{
    TMR1 = 0;
    PR1 = us; //Retardo de 5ms para el disparo
               de gate

    IPC0bits.T1IP = 2; //Prioridad de la interrup. 2
    IFS0bits.T1IF = 0; //Flag a cero
    IEC0bits.T1IE = 1; //Enable Interrupt Timer

    T1CON = 0x8010; //Se arranca el Timer con
                   prescalado 1:8
}

void __attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _T1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.T1IF = 0;
    T1CON = 0x0010; // apago el Timer

    PORTB|=0x0040; // pin 6 es salida para dar señal
                  al driver y disparar el triac

    timer_disparo(); // 2us de duración del pulso de
                    disparo
}
```



Timer2: A través del Timer2 se cuenta 2us antes de bajar el pulso de disparo al driver. Este valor es el típico para disparar el triac y se obtiene mirando su hoja de datos.

```
void timer_disparo () {
    TMR2 = 0;
    PR1 = 80;           //2us de duración del pulso de
                        disparo

    IPC1bits.T2IP = 4; //Prioridad de la interrup. 2
    IFS0bits.T2IF = 0; //Flag a cero
    IEC0bits.T2IE = 1; //Enable Interrupt Timer

    T2CON = 0x8000;     //Se arranca el Timer con
                        prescalado 0
}

void
__attribute__((interrupt,no_auto_psv)) _T2Interrupt(void)
{
    IFS0bits.T2IF = 0;
    T2CON = 0x0000;     // apago el Timer
    PORTB &= ~0x0040; //Bajo el pulso de disparo
}
```



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

DOCUMENTO II: PLANOS





UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



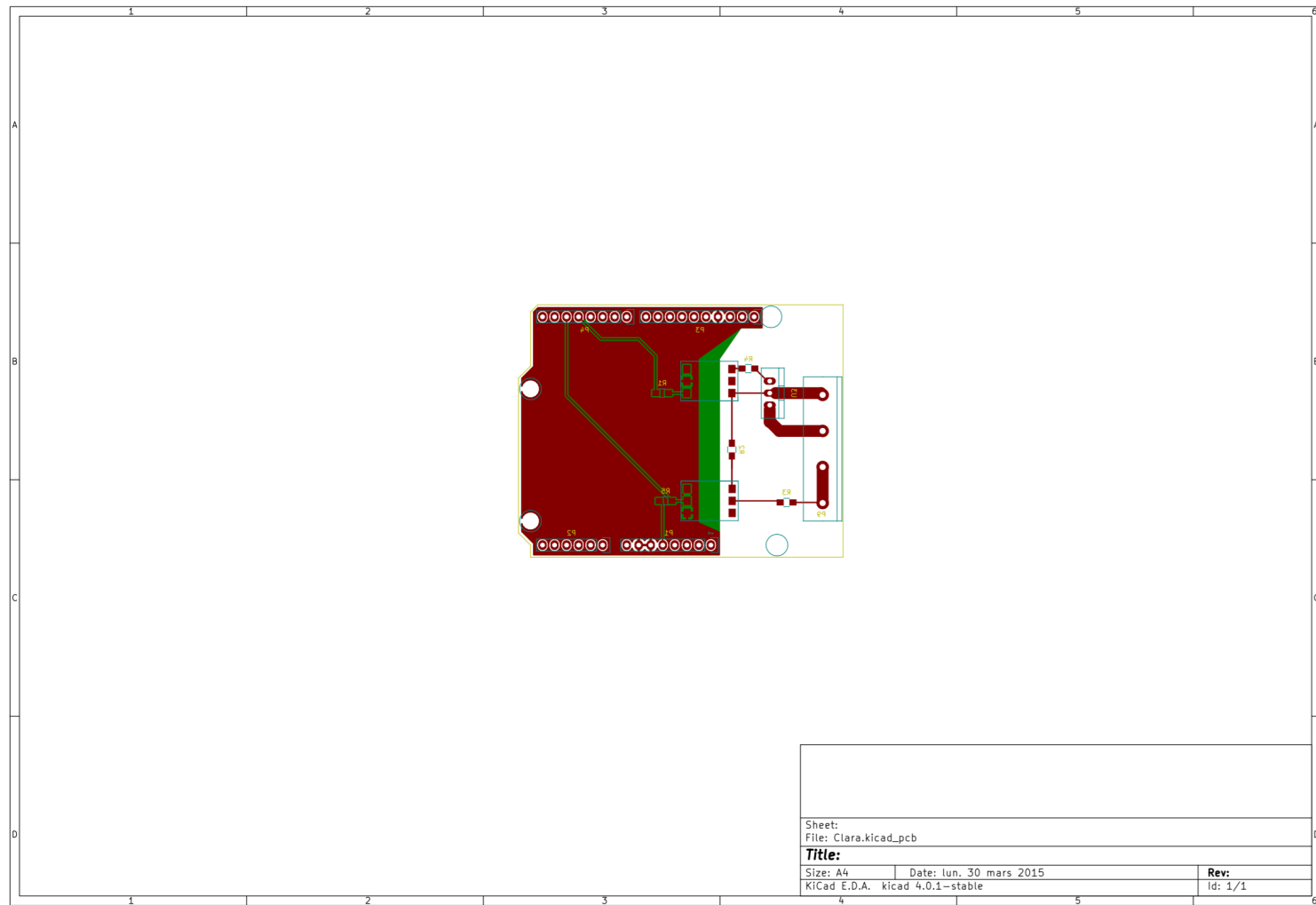


Lista de planos

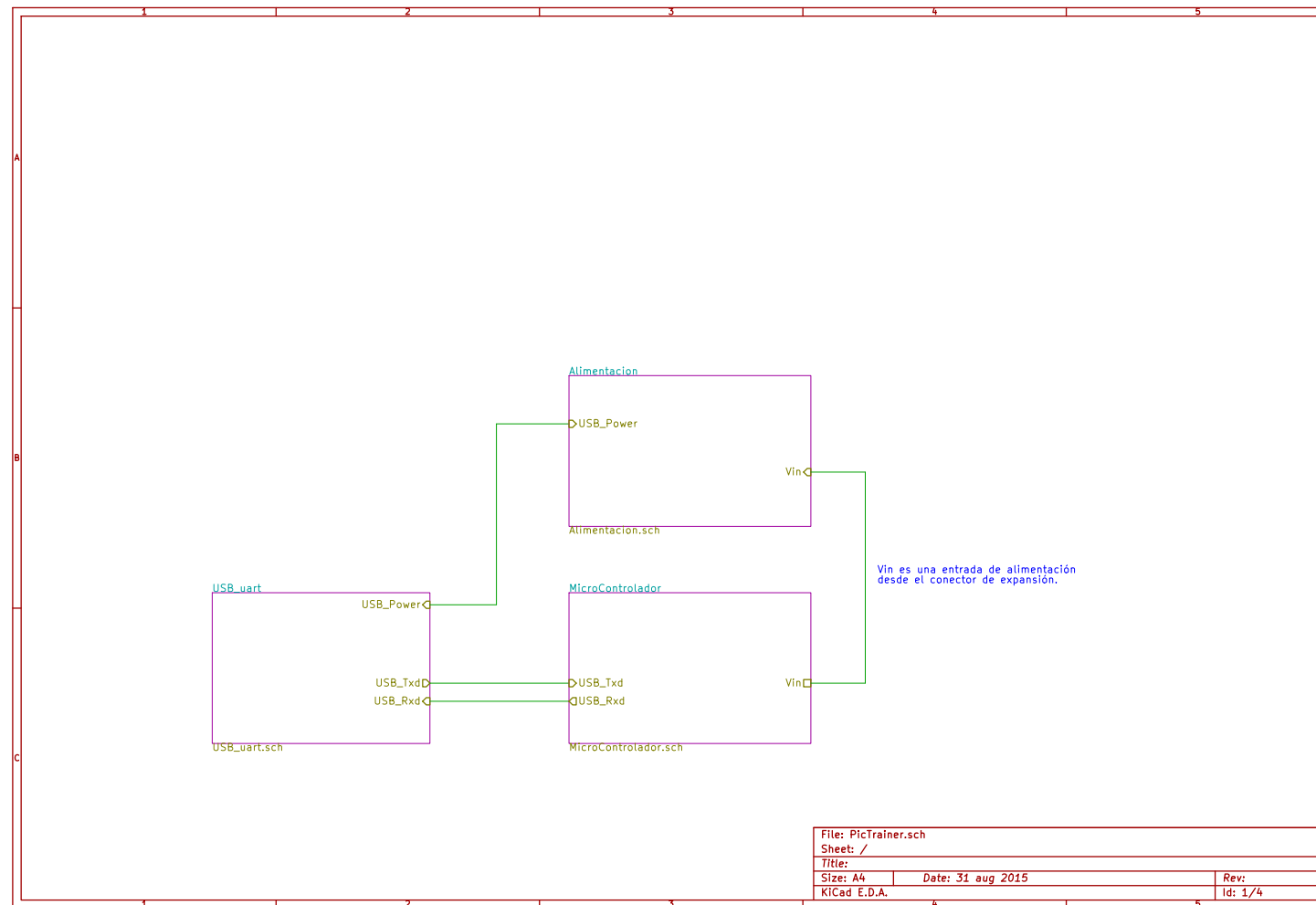
1. Plano del PCB diseñado.....	1
2. Plano del circuito con el microcontrolador.....	2
3. Plano del esquema del microcontrolador utilizado.....	3

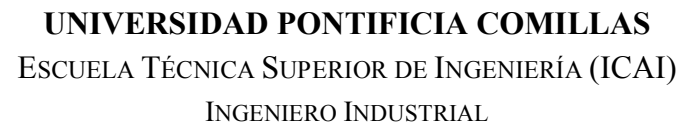


UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



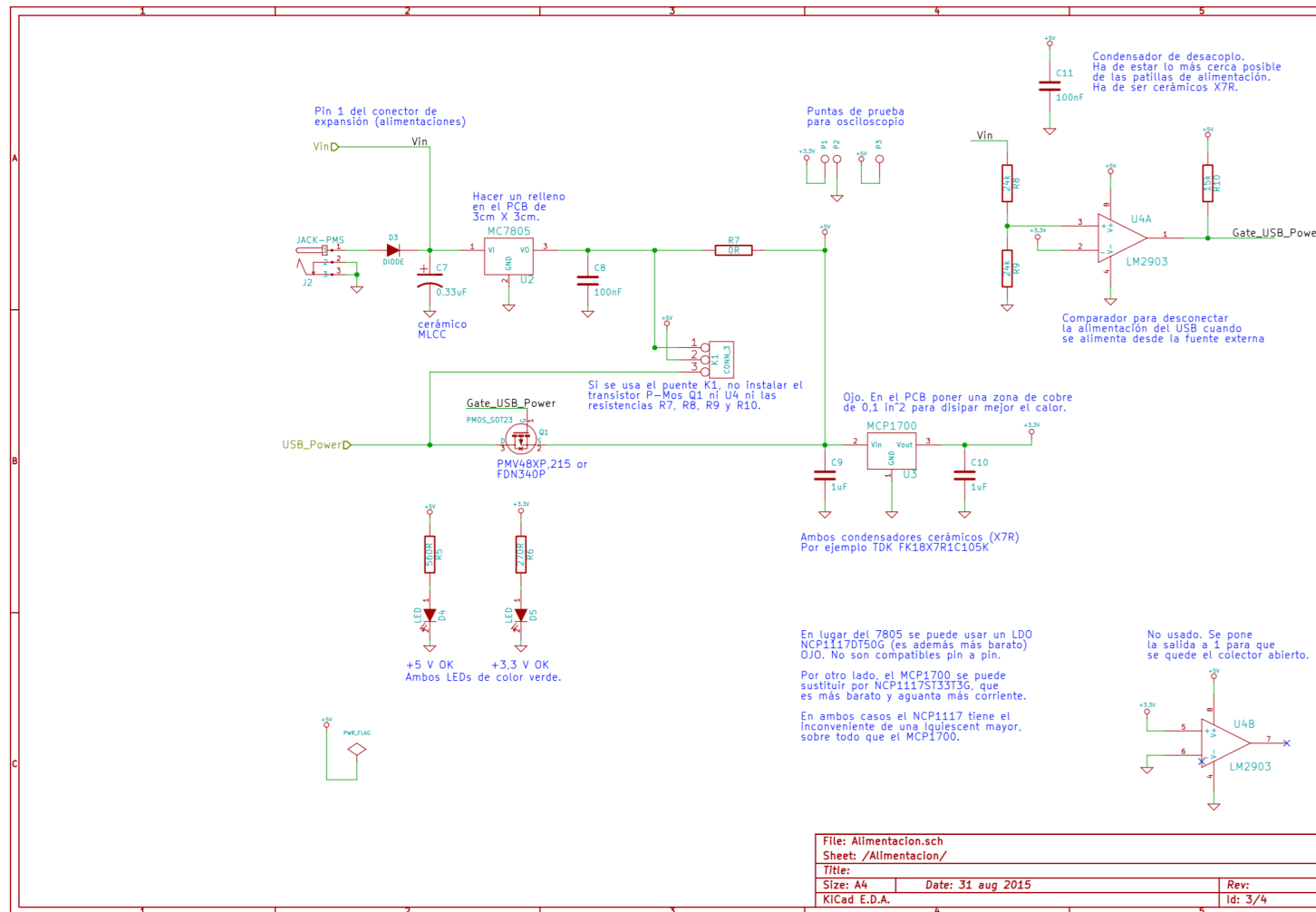








UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL





UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

