



Universidad  
de La Laguna

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

## **Proyecto Fin de Grado**

REGULADOR DE POTENCIA EN AC GESTIONADO  
MEDIANTE MICROCONTROLADOR

Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Alumnos: Gregorio Torres Fariña  
Elyoenay Rodríguez Pérez

Tutores: Alejandro José Ayala Alfonso  
Beatriz Rodríguez Mendoza

Septiembre, 2015

# **ÍNDICE:**

<b>Capítulo I. Introducción General</b>	<b>7</b>
I.1 Introducción general	8
I.2 Objetivos	10
I.3 Estructura de la memoria del proyecto	11
<b>Capítulo II. Microcontrolador y Unidades de E/S</b>	<b>12</b>
II.1 Microcontroladores	13
II.2 AtMega 2560 16AU	14
II.2.1 Velocidad de Trabajo	16
II.2.1.1 Modos del Oscilador	17
II.2.2 Interrupciones	17
II.2.3 Unidades Funcionales	19
II.2.3.1 Puertas de Entrada y Salida	19
II.2.3.2 Temporizadores	20
II.2.3.3 Conversor A/D	21
II.2.3.4 Canal de Comunicación Serie USART	21
II.2.4 Conexiones y Reloj del Sistema	23
II.3 Unidades de Entrada y Salida	25
II.3.1 Display	26
<b>Capítulo III. Herramientas de Diseño y Desarrollo</b>	<b>28</b>
III.1 Herramientas de Software	29
III.1.1 Compilador Arduino IDE	29
III.1.2 National Instruments Multisim 12.0	32
III.1.3 National Instruments Ultiboard 12.0	33
III.1.4 Table Curve 2D	34
III.2 Herramientas de Hardware	34
III.2.1 Arduino Uno Rev. 3	35
III.2.2 Arduino Mega 2560 Rev3	36

III.2.3 Fuentes de Alimentación	37
<b>Capítulo IV. Sistema de Potencia y Medida</b>	<b>38</b>
IV.1 Circuito de Potencia	39
IV.1.1 Triac	39
IV.1.2 Funcionamiento del Circuito de Potencia	40
IV.2 Circuito de Medida de Corriente	41
IV.2.1 Sensor de Efecto Hall ACS712	42
IV.2.2 Amplificador Diferencial	43
IV.2.3 Funcionamiento Medición de Corriente	44
IV.3 Circuito de Medida de Tensión	45
IV.3.1 Opto Acoplador MCT6	45
IV.3.2 Rectificador de Precisión	47
IV.3.3 Funcionamiento Medición de Tensión	48
IV.4 Desarrollo de la Placas PCBs final	48
IV.4.1 PCBs del Proyecto	48
IV.4.2 Montaje final de las PCBs	52
<b>Capítulo V. Software Desarrollado y Calibrados</b>	<b>55</b>
V.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal	57
V.1.1 Fragmento 1	58
V.1.2 Fragmento 2	58
V.1.3 Fragmento 3	62
V.1.4 Fragmento 4	63
V.1.5 Aviso Inmediato del Límite de Potencia	64
V.2 Librerías	64
V.2.1 Librería para la implementación de Fórmulas matemáticas	65
V.2.2 Librería para el Display	65

<b>Capítulo VI. Resultados Experimentales</b>	<b>67</b>
VI.1 Comparativa en la medición de tensión	68
VI.2 Comparativa en la medición de corriente	72
VI.3 Comparativa en la medición de potencia	75
VI.4 Imagen del Dispositivo	80
<b>Capítulo VII. Presupuesto</b>	<b>81</b>
VII.1 Placa Controladora de Potencia	82
VII.2 Placa de Medición de Potencia	83
VII.3 Placa Shield Arduino Mega 2560 Rev3	84
VII.4 Materiales Adicionales	84
VII.5 Mano de Obra	85
VII.6 Presupuesto Total	85
<b>Aportaciones y Conclusiones</b>	<b>86</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>90</b>
<b>Anexos</b>	<b>91</b>
<b>Anexo I. Esquemáticos</b>	<b>92</b>
I.1 Esquema General del Proyecto	94
I.2 Esquemático Conexiones de Entrada a Arduino Mega 2560 Rev3	95
I.3 Esquemático Conexiones de Salida de Arduino Mega 2560 Rev3	96
<b>Anexo II. Fitolitos</b>	<b>97</b>
II.1 Capa Top (superior) – Serigrafía Placa de Control de Potencia	99
II.2 Capa Bottom (inferior) – Capa de pistas de cobre y soldaduras. Placa de Control de Potencia	100

II.3 Capa Top – Serigrafía Placa de Medida de Potencia	101
II.4 Capa Bottom – Capa de pistas de cobre y Soldaduras. Placa de Medida de Potencia	102
II.5 Capa Top – Serigrafía Placa Shield Arduino Mega 2560 Rev3	103
II.6 Capa Bottom – Capa de pistas de cobre y soldaduras Shield Arduino Mega 2560 Rev3	104
<b>Anexo III. Datasheets</b>	<b>105</b>
III.1 Datasheets AtMega 2560 Rev3	106
III.2 Datasheets Triac BTA 41 600V	114
III.3 Datasheets ACS712	118
III.4 Datasheets Opto acoplador MCT6	128
III.5 Datasheets Tel -3 0522	132
<b>Anexo IV. Código del Microcontrolador</b>	<b>135</b>
<b>Anexo V. Manual de Usuario</b>	<b>147</b>
<b>Anexo VI. Summary And Conclusions</b>	<b>154</b>
VI.1 Summary	155
VI.2 Contributions and conclusions	156
VI.3 Possible improvements	156

# **ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y  
Automática

## **MEMORIA**

## **PROYECTO FIN DE GRADO**

TITULO

Regulador de potencia en AC Gestionado Mediante Micro  
controlador

Autores:

Gregorio Torres Fariña  
Elyoenay Rodríguez Pérez

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**  
**GENERAL**

# Capítulo I. Introducción General

## I.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Desde la invención de la rueda y hasta día de hoy, el ser humano ha experimentado cambios en la forma de ver el mundo, acercando la comodidad del movimiento autónomo de distintas maneras. Hablamos de movimiento autónomo, como la producida por cualquier tipo de maquina elemental o eléctrica capaz de ahorrar esfuerzos al ser humano a la hora de la realización de un trabajo.

Cuando las telas provenientes de Indias nos adentraron en la Primera Revolución Industrial, todas las empresas textiles comenzaron a destinar sus esfuerzos en las máquinas de vapor. Estas máquinas controlaban con ayuda de un operario la producción en masa de prendas textiles. Con el paso de los años y la creciente tecnología, llegaron los motores eléctricos y la sustitución del operario del carbón por el eléctrico. Este ejercía el control de los motores de producción desde una pequeña sala de control.

Posteriormente, para regular la fuerza y velocidad ejercida por los motores sobre los sistemas de producción se implementaron las ruedas dentadas y correas de distribución, esto permitiría conseguir mejores resultados con motores más precisos.

El ser humano no descansa y consecuentemente siempre ha intentado conseguir el mayor rendimiento con el mínimo esfuerzo, con el paso de los años, y las innovaciones en el mundo de la electricidad y la electrónica, se ha conseguido llegar a reguladores de motores que caben en la palma de una mano, dichos reguladores basados en Triacs, controlan la potencia entregada al motor o dispositivo en cuestión haciendo uso de las propias señales de alimentación.

En la Figura I.1 podemos apreciar el funcionamiento de la regulación de potencia gracias a Triac.

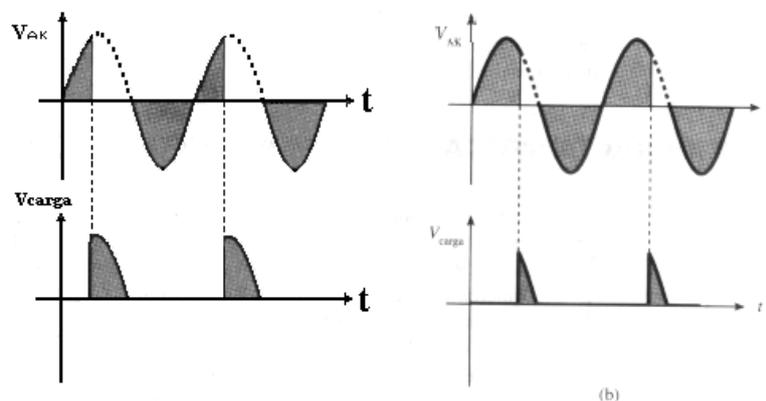


Figura I.1. Regulación de Potencia con Triac

Si actuamos, como observamos en la figura anterior, sobre la señal de entrada en distintos momentos de esta, obtenemos una salida que sigue la misma frecuencia de la alimentación, pero con potencias (voltajes e intensidades) diferentes.

Los reguladores de potencia han sido desde su aparición lo que la punta de flecha fue a los indios en su momento. Maquinaria de producción industrial que adaptamos a cada aplicación, lavadoras que funcionan con distintas velocidades, iluminación del hogar variable para distintos ambientes, etc. Son algunas de las aplicaciones para estos circuitos.

Si continuamos avanzando hacia la era actual, los ordenadores, teléfonos, tablets, etc., son sistemas que están compuestos de procesadores de propósito general, que permiten múltiples tareas diferentes, desde leer y escribir documentos hasta realizar tareas complejas como edición de videos, modelado 3D, etc. Sin embargo, solo el 2% de los 8800 millones de procesadores que se fabrican al año, están destinados a propósitos generales, el resto, son de propósito específico. El nombre que le damos a los procesadores de propósito específico son microcontroladores, existiendo en el mercado muchos tipos con diferentes características, como velocidades de procesado, tamaño de la memoria, entradas y salidas posible, etc. En definitiva, contamos con un pequeño ordenador dentro de un circuito integrado que programamos para que realice funciones específicas. (Figura I.2)

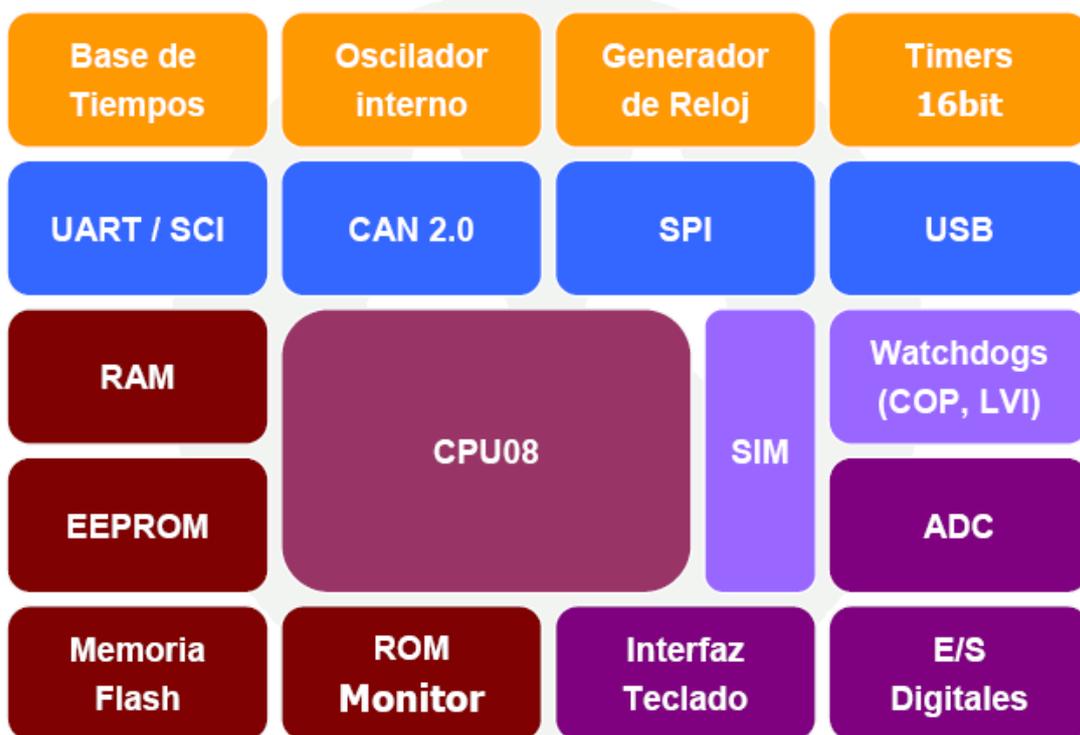


Figura I.2 Elementos de del Microcontrolador

La limitación en la aplicación de los microcontroladores a un desarrollo de ingeniería tiene su límite en la imaginación del diseñador. Con los modelos disponibles se pueden afrontar multitud de diseños distintos desde los más simples hasta los más complejos.

## I.2 OBJETIVOS

El presente proyecto ha tenido como finalidad el diseño e implementación de un regulador de potencia controlado por Triac. Sin embargo, como novedad, se ha hecho uso de un microcontrolador AtMega 2560 con el objetivo de que, en todo momento, el usuario disponga en tiempo real, en un display, la potencia que se está entregando a la carga, siempre que ésta, sea de tipo resistiva. (Figura I.3)

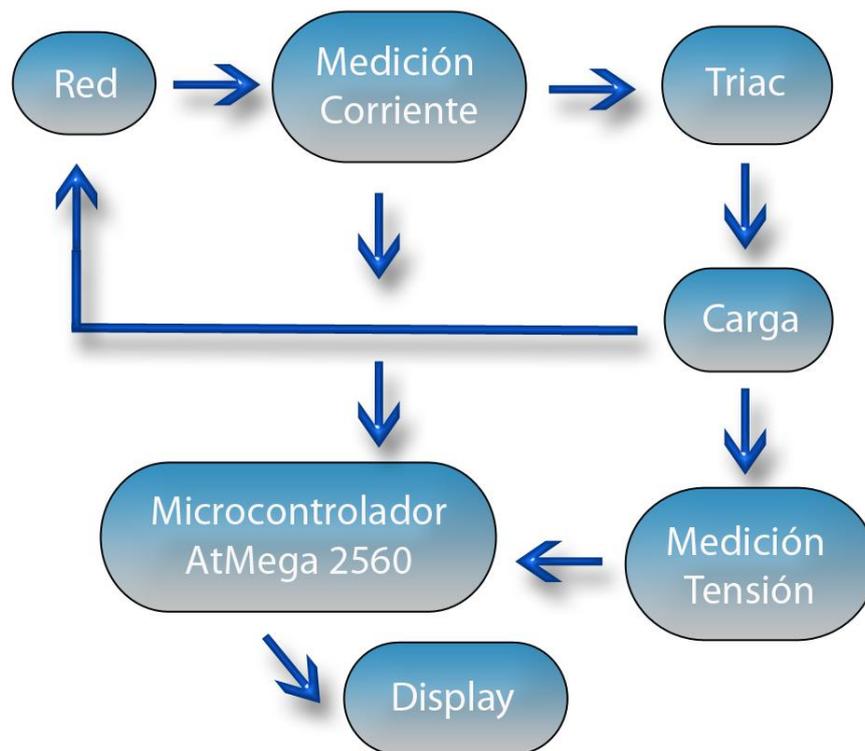


Figura I.3 Esquema general de bloques del dispositivo

El sistema fue inicialmente pensado para subsanar los inconvenientes de la imprecisión que se generaba al usar mantas calefactoras en las torres de rectificado de escala piloto en los laboratorios de química industrial. El dispositivo permite obtener

una precisión en la medida de la potencia de dos decimales dentro de un rango de 0 a 3680W.

### **I.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA DEL PROYECTO**

En la presente memoria, la descripción de los diferentes módulos que conforman el sistema implementado así como su funcionamiento, se realiza mediante el desarrollo de 6 capítulos.

En el primero de los mismos, se pretende ofrecer una visión rápida y general de los objetivos alcanzados con el proyecto de forma que su lectura nos oriente para el resto de la memoria.

El Capítulo II centra su objetivo en la descripción de las características generales del componente, en torno al cual, se desarrolla todo el trabajo. Nos referimos al Microcontrolador AtMega 2560, que será el encargado de realizar las mediciones y procesamiento de la señal de salida.

El desarrollo de circuitos, placa de componentes, así como el código de funcionamiento llevan asociados elementos Software que serán descritos en el Capítulo III, sus principales funciones y su implicación durante la etapa de desarrollo y/o construcción.

En el Capítulo IV se hace referencia al sistema de control del proyecto, a la decisión de la toma de un circuito en comparativa con otros de misma funcionalidad y características diferentes. Se explica con detalle el objetivo principal de este proyecto, se estudia con detalle el diseño, construcción y funcionamiento de los distintos circuitos que ejercen la medición de la intensidad y el voltaje (corriente y tensión) para la obtención de la potencia activa de la carga que se le aplique.

El Capítulo V es, sin duda, el de mayor peso en el proyecto, un Microcontrolador sin hardware puede realizar funciones por Software, no coherentes, pero sin embargo, si el Microcontrolador no tiene el Software implementado, no podrá hacer uso de ningún hardware, por tanto, en este capítulo se detalla los flujos y las distintas partes del Software y el funcionamiento.

Para finalizar, nos encontramos con los Capítulos VI y VII. El primero se centra en la obtención de resultados experimentales, la comprobación del funcionamiento del sistema por comparación, con otros de tipo comercial. Por último, en el Capítulo VII, se detalla el presupuesto económico del proyecto y donde se han incluido gastos de material, mano de obra y costes de ejecución.

**CAPÍTULO II**  
**MICROCONTROLADOR Y**  
**UNIDADES DE E/S**

## Capítulo II. Microcontrolador y Unidades de E/S

En este capítulo se hace referencia al componente principal, el Microcontrolador AtMega 2560, desde el punto de vista de su utilización en el diseño desarrollado, es decir, se analizarán sus prestaciones, características, etc., para la implementación de nuestro sistema.

También se reflejarán las diferentes unidades de entrada y salida utilizadas en este sistema, mediante las cuales el usuario interactúa con el microcontrolador para observar en cada momento la potencia entregada a la carga.

### II.1 MICROCONTROLADORES

Gracias a los continuos avances de la electrónica, especialmente en la tecnología de los semiconductores y en el campo de la microelectrónica, se ha conseguido desarrollar un tipo de ordenador potente, pequeño y de reducidos costes económicos, llamado microcontrolador, Figura II.1. Los microcontroladores constituyen un ordenador en único circuito integrado, su reducido tamaño les permite estar en el interior de los dispositivos que gobiernan, haciendo los productos finales más versátiles y potenciándolos sin apenas alterar su tamaño y coste. Actualmente los microcontroladores son usados en todos los sectores de la industria, siendo los de la automoción, la informática y las comunicaciones los que más uso hacen de este tipo de integrados.

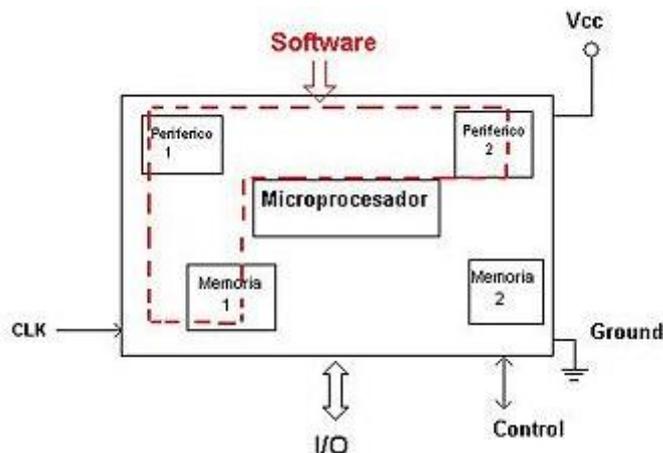


Figura II.1 Esquema general de un Microcontrolador

En este proyecto se optó por usar un microcontrolador AtMega del fabricante de componentes electrónicos Atmel. La familia de microcontroladores AtMega de 8 bits

está formada por varias gamas, siendo el grupo AtMega 2560 uno de los más avanzados y con mayor número de recursos. El modelo elegido pertenece a esta gama y es el AtMega 2560-16AU, que se muestra en la Figura II.2. El criterio de elección se ha basado en la elevada capacidad de memoria que nos proporciona, destacando además por el número de módulos integrados que incorpora, haciendo de éste uno de los microcontroladores más importantes de la casa Atmel.



Figura II.2 Microcontrolador AtMega 2560 16AU 0648

Se puede decir que el microcontrolador AtMega 2560 es el elemento central de este sistema, ya que todos los demás componentes del sistema giran en torno a él.

## II.2 ATMEGA 2560 16AU

El AtMega 2560 16AU es un microcontrolador que hace uso de los últimos avances en el campo de los sistemas integrados con procesadores, llegándose a un dispositivo potente a la vez que versátil. De esta forma, uniendo estos avances a las ya conocidas características de los microcontroladores anteriores AtMega, la empresa Atmel ha conseguido crear un dispositivo capaz de hacer frente a las más exigentes necesidades en un sinnúmero de aplicaciones. Entre los avances que incorpora, se encuentra la “Six Sleep Modes” tecnología, que regula el consumo de energía dependiendo de su uso, ideal para aquellas aplicaciones que dependen de baterías. Seguidamente se procede a enumerar aquellas características más relevantes de este microcontrolador.

### 1. Advanced RISC Architecture

- a. 135 Instrucciones de gran alcance
  - b. 32 x 8 Registros de Propósito General
  - c. Reloj de hasta 16MHz
  - d. On-Chip multiplicador de 2 tiempos.
2. High Endurance Non-volatile Memory Segments
- a. 256 Kbytes de memoria flash para el sistema
  - b. 4 Kbytes de EEPROM
  - c. 8 Kbytes de SRAM
  - d. 10000 Ciclos de Escritura y Borrado en memoria Flash
  - e. 100000 Ciclos de Escritura y Borrado en memoria EEPROM
  - f. 20 años de guardado de datos a 85°C
3. Atmel QTouch library support (librería táctil)
- a. Botones capacitivos, slider, etc.
  - b. Adquisición de señales QTouch y Qmatrix
  - c. Más de 64 canales sensitivos
4. Peripheral Features
- a. 2 Timer/Counter (contadores y temporizadores) de 8Bits con Prescaler separado.
  - b. 4 Timer/Counter de 16Bits con Prescaler separado.
  - c. Contador en tiempo real con oscilador independiente
  - d. 4 Generadores de pulsos (PWM) de 8 bits
  - e. 12 PWM con resolución programable 2 a 16 bits
5. Special Microcontroller Features
- a. Calibración interna del oscilador.

- b. Interrupciones externas.
- c. Cinco modos de espera.
- d. Reducción de Ruido ADC
- e. Ahorro energía
- f. Energía baja
- g. Espera
- h. Extendido de espera

Característica	AtMega 2560 16AU
Frecuencia de Operación	16 MHz
Memoria de Programa (Flash)	256 Kbytes
Memoria de programa (Instrucciones)	135
Memoria de datos (RAM)	8 Kbytes
Memoria EEPROM de datos	4 Kbytes
Puertos de entrada/salida	86 canales
Contadores (Timers)	2 a 8bits, 4 a 16 bits
PWM	4 a 8Bits, 12 a Bits programables
Comunicaciones en serie	4 USARTs
Convertor ADC 10Bits	16 canales
Encapsulados Disponibles	100 A, 100 C1, 64 A, 64 M2

*Tabla II.1. Características Generales AtMega 2560*

### II.2.1 VELOCIDAD DE TRABAJO

Tanto la CPU como los periféricos incorporados en los microcontroladores trabajan de una forma cíclica y sincronizada, utilizando para ello una onda cuadrada de alta frecuencia que sincroniza todas las operaciones del sistema. El circuito encargado de proporcionar esta señal de trabajo al microcontrolador se denomina oscilador o reloj. Generalmente todos los componentes del oscilador se encuentran integrados en el propio microcontrolador y tan solo requieren unos pocos componentes externos, como pueden ser un cristal de cuarzo o una red RC (resistencia – condensador), para definir la frecuencia de trabajo.

La familia AtMega 2560 dispone de un oscilador y sistema de reloj diferente a cualquier otra familia anterior de microcontrolador Atmel. Esta nueva configuración de reloj incorpora un sistema de multiplicadores y divisores (“poscalers” y “prescalers”)

que permiten trabajar con un amplio rango de osciladores y a distintas frecuencias. Esto se debe a las señales de sincronismo específicas requeridas para la conexión USB. El módulo USB del AtMega 2560 viene pre montado en la mayoría de los casos sobre la plataforma Arduino Mega, por tanto, no puede obtener la señal de reloj de ninguna otra fuente. Afortunadamente, cuando se hace uso del módulo USB, así como el núcleo del microcontrolador y los periféricos, son regidos por el oscilador principal, éstos no tienen por qué trabajar a la misma velocidad que el USB, permitiendo así una amplia gama de configuraciones posibles, que van desde 50 Hz hasta un máximo de 16 MHz. También existe la posibilidad de proporcionar la señal de sincronismo de la CPU y periféricos desde el oscilador interno u otro externo secundario.

### **II.2.1.1 MODOS DEL OSCILADOR**

El microcontrolador AtMega 2560 puede trabajar con ocho configuraciones diferentes del oscilador, de las cuales utilizan dos osciladores diferentes al mismo tiempo. Esta posibilidad de funcionar con dos osciladores a la vez es una de las diferencias principales frente a otros microcontroladores.

### **II.2.2 INTERRUPCIONES**

Una interrupción consiste en un mecanismo mediante el cual un evento, interno o externo, puede parar la ejecución normal del software del microcontrolador. En ese momento se produce automáticamente un salto a un código software asociado a dicha interrupción, al cual se conoce como subrutina de atención a la interrupción. Esta rutina atiende automáticamente al evento y retoma la ejecución del programa principal justo donde estaba en el momento que se produjo la misma. Este tipo de mecanismo sirve para dar una respuesta inmediata a un evento que requiera ser procesado de forma urgente. Este método es mucho más eficaz que el uso de software, ya que sólo se ejecutarán las tareas asociadas a un evento cuando éste lo solicite por medio de una interrupción, es decir, el código asociado al estímulo sólo se activa por un mecanismo hardware.

Las interrupciones externas son aquellas generadas fuera del microcontrolador y se producen cuando tiene lugar una transición en el estado lógico de las líneas que tienen la capacidad para generar una interrupción. Este tipo de interrupciones constituyen el mecanismo más importante para la conexión del microcontrolador con el exterior, ya que sintoniza la ejecución de distintas partes del código del programa con los acontecimientos externos. Esto es muy útil para el manejo de dispositivos de

entrada que requieran de una atención inmediata, tales como detección de pulsos, recepción de datos, activación de pulsadores, etc.

AtMega 2560 tiene múltiples fuentes de interrupción y a cada una de ellas se le puede asignar un nivel de prioridad alto o bajo. Las de alta prioridad podrán interrumpir el tratamiento de una interrupción de baja prioridad, sin embargo, las de baja prioridad no podrán interrumpir a las de alta. Por otra parte, las interrupciones, tanto de baja como de alta prioridad, no pueden interrumpirse entre ellas. Este tipo de jerarquía es muy útil para aplicaciones complejas donde no todas las tareas tienen la misma importancia. Todas las interrupciones se pueden activar o desactivar cambiando el valor de sus registros asociados.

El chip AtMega 2560 dispone de 57 fuentes de interrupciones, las cuales se distribuyen en:

6. Grupo General de Interrupciones. Son aquellas interrupciones que tienen lugar en el interior del propio microcontrolador, como son los contadores/temporizadores, los reset, etc.
7. Grupo de Interrupciones Periféricas. Corresponden a las interrupciones proporcionadas por los elementos externos como son las entradas y salidas, comunicaciones, etc.

Todas las interrupciones se encuentran detalladas en el datasheet (Anexo III) del microcontrolador AtMega 2560 16 AU.

Cuando se produce cualquiera de los sucesos indicados anteriormente se genera una interrupción. La primera acción después de activarse ésta, es salvar el valor actual del contador de programa guardando su contenido en la pila. Acto seguido, el contador del programa se carga con la posición de la memoria asociada a la interrupción generada y se comienza a ejecutar la rutina de atención a la interrupción. Una vez que el código asociado a la misma ha sido ejecutado, el procesador carga el valor de la pila, que previamente fue guardado, en el contador del programa para que éste continúe con la ejecución normal del código del microcontrolador. De esta forma se atiende inmediatamente y de forma automática a los eventos que tienen asociados una interrupción.

## II.2.3 UNIDADES FUNCIONALES

El microcontrolador AtMega 2560 dispone de una serie de Unidades Funcionales que le permiten realizar tareas específicas (conversión A/D, transmisión/recepción de datos, generación de señales digitales con temporizadores programables, etc.) y optimizar el rendimiento del microcontrolador, ya que dichas unidades trabajan en paralelo con la CPU permitiendo que ésta se centre en otras tareas como procesado de datos, cálculo, movimiento de datos, etc.

Las unidades funcionales más importantes del microcontrolador son:

- Puertos de Entrada y salida
- Temporizador 0 – 8 Bits
- Temporizador 1 – 8 Bits
- Temporizador 2 - 16 Bits
- Temporizador 3 - 16 Bits
- Temporizador 4 - 16 Bits
- Temporizador 5 - 16 Bits
- Convertidor A/D (16 canales a 10 Bits)
- Unidades de comparación/Captura/PWM (CCP)
- Unidades de comparación/Captura/PWM mejorada (ECCP)
- Canales de comunicación serie USART
- Canales de comunicación serie USB
- Módulo analógico de comparación
- Canal de transmisión de datos en paralelo.

### II.2.3.1 PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA

El microcontrolador se comunica con el exterior a través de los puertos bidireccionales que incorpora. Estos están constituidos por un número definido de

líneas digitales de entrada y salida que trabajan entre los 0 y 5 voltios, como se muestra en la Tabla II.2

<b>PUERTO</b>	<b>LÍNEAS DE ENTRADA/SALIDA</b>
<b>PORT A</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES
<b>PORT B</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES
<b>PORT C</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES
<b>PORT D</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES
<b>PORT E</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES
<b>PORT F</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES ANALOGICAS
<b>PORT G</b>	6 LÍNEAS DE SALIDA
<b>PORT H</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES
<b>PORT J</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES
<b>PORT K</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES ANALOGICAS
<b>PORT L</b>	8 LÍNEAS BIDIRECCIONALES

*Tabla II.2. Puertos de la AtMega 2560*

Los puertos se pueden configurar como entradas para recibir datos o como salida para gobernar dispositivos externos. Todas las líneas digitales de entrada y salida disponen de al menos una función alternativa asociada a alguna circuitería específica del microcontrolador. Cuando una línea trabaja en modo alternativo no puede ser utilizada como línea digital de entrada y salida estándar.

Cuando una línea es configurada como con cualquier tipo de función alternativa, si se produce un RESET, dicha función alternativa desaparece, teniendo que volver a realizar la configuración de la misma.

### **II.2.3.2 TEMPORIZADORES**

El microcontrolador AtMega 2560 dispone de seis temporizadores que también pueden ser usados como contadores. A cada uno de estos módulos se les denomina timer y se enumeran desde TMR0 hasta TMR5. Estos seis módulos de temporizadores/contadores están diseñados para llevar a cabo el mismo tipo de tareas, aunque entre ellos difieren en pequeños detalles que son útiles para aplicaciones específicas. Las diferencias principales son:

- Temporizadores 0 y 1 (TMR0 y TMR1), temporizadores/contadores de 8 bits, pre-escaler de 8 bits programable con modo de comparación, produce una interrupción por desbordamiento.
- Temporizadores 2 a 5 (TMR2, TMR3, TMR4, TMR5), temporizadores/contadores de 16 bits, pre-escaler independiente de 16 bits con modo de comparación y captura, produce una interrupción por desbordamiento.

### II.2.3.3 CONVERTOR A/D

El microcontrolador posee un convertor analógico-digital, Figura II.3, que se caracteriza principalmente por tener 10 bits de resolución, 16 canales de multiplexado, una señal de reloj de conversión configurable, un tiempo de adquisición programable y la posibilidad de establecer el rango de tensiones de conversión mediante tensiones de referencia externas.

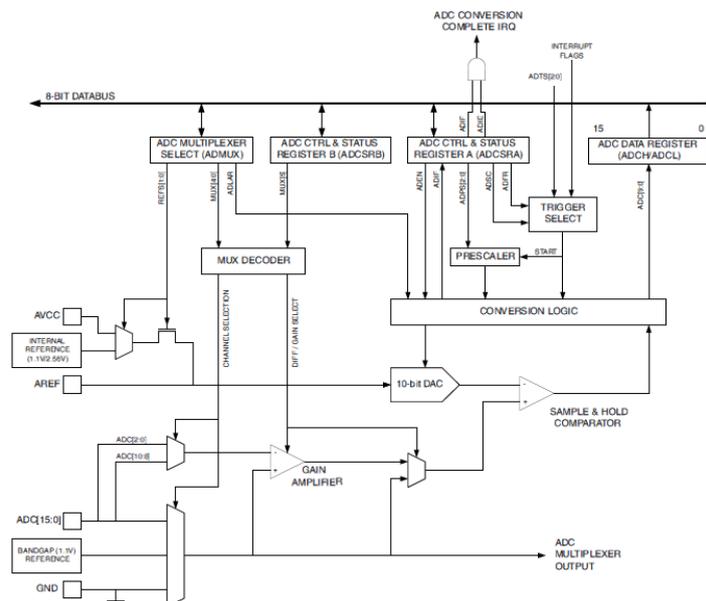


Figura II.3 Diagrama de bloques del convertidor A/D

### II.2.3.4 CANAL DE COMUNICACIÓN SERIE USART

El AtMega 2560 incorpora un canal de comunicación serie USART, que puede aportar 4 modos de trabajo (USART0, USART1, USART2, USART3).

El USART se puede configurar como un sistema full-duplex, asíncrono o síncrono, que además permite el uso de 9 bits de datos, 1 o 2 bits de parada y un bit para comprobar la paridad. Esto hace que la comunicación con dispositivos periféricos, tales como terminales, ordenadores personales, etc., cumpla con los requisitos de velocidad adecuados así como precisión en la comunicación.

También puede ser configurado como un sistema asíncrono half-duplex, que puede comunicarse con dispositivos periféricos, como puede ser el conversor A/D, circuitos integrados, EEPROM, etc.

El sistema USART se compone de Tx y Rx, línea de transmisión y línea de recepción que a su vez se componen de tres alarmas diferentes:

- Tx completo.
- Datos Tx vacíos.
- Datos Rx vacíos.

Para elegir la velocidad de comunicación en el modo asíncrono se dispone de un temporizador cuya frecuencia se controla mediante un registro. Este generador tiene dos velocidades de funcionamiento (Normal y Double Speed). En la Tabla II.3 se establece como obtener la velocidad de comunicación en función de los valores de la frecuencia de oscilación

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate <sup>(1)</sup>	Equation for Calculating UBRR Value
Asynchronous Normal mode (U2Xn = 0)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{16(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed mode (U2Xn = 1)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{8(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master mode	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{2BAUD} - 1$

Note: 1. The baud rate is defined to be the transfer rate in bit per second (bps).

**BAUD** Baud rate (in bits per second, bps).

**f<sub>osc</sub>** System Oscillator clock frequency.

**UBRRn** Contents of the UBRRHn and UBRRLn Registers, (0-4095).

Tabla II.3 Cálculo de la velocidad de comunicación para el modo asíncrono.

En la Tabla II.4 encontramos los ejemplos de velocidad UBRRn para las frecuencias de oscilación comúnmente utilizadas.

Baud Rate [bps]	$f_{osc} = 1.0000\text{MHz}$				$f_{osc} = 1.8432\text{MHz}$				$f_{osc} = 2.0000\text{MHz}$			
	U2Xn = 0		U2Xn = 1		U2Xn = 0		U2Xn = 1		U2Xn = 0		U2Xn = 1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	25	0.2%	51	0.2%	47	0.0%	95	0.0%	51	0.2%	103	0.2%
4800	12	0.2%	25	0.2%	23	0.0%	47	0.0%	25	0.2%	51	0.2%
9600	6	-7.0%	12	0.2%	11	0.0%	23	0.0%	12	0.2%	25	0.2%
14.4K	3	8.5%	8	-3.5%	7	0.0%	15	0.0%	8	-3.5%	16	2.1%
19.2K	2	8.5%	6	-7.0%	5	0.0%	11	0.0%	6	-7.0%	12	0.2%
28.8K	1	8.5%	3	8.5%	3	0.0%	7	0.0%	3	8.5%	8	-3.5%
38.4K	1	-18.6%	2	8.5%	2	0.0%	5	0.0%	2	8.5%	6	-7.0%
57.6K	0	8.5%	1	8.5%	1	0.0%	3	0.0%	1	8.5%	3	8.5%
76.8K	-	-	1	-18.6%	1	-25.0%	2	0.0%	1	-18.6%	2	8.5%
115.2K	-	-	0	8.5%	0	0.0%	1	0.0%	0	8.5%	1	8.5%
230.4K	-	-	-	-	-	-	0	0.0%	-	-	-	-
250K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.0%
Max. <sup>(1)</sup>	62.5Kbps		125Kbps		115.2Kbps		230.4Kbps		125Kbps		250Kbps	

Tabla II.4 Ejemplos de UBRRn para las frecuencias comúnmente utilizadas.

## II.2.4 CONEXIONES Y RELOJ DEL SISTEMA

Las conexiones del microcontrolador con el resto de elementos que conforman el sistema se distribuyen de la siguiente manera, como se puede observar en la Figura II.4:

- PUERTO A: No se usan los pines de este puerto para ninguna de las aplicaciones.
- PUERTO B: No se hace uso del puerto al completo. Se utilizan los pines PB2 y PB3, para establecer el bus de datos con el display
- PUERTO C, D y E: al igual que el Puerto A, no se usan sus pines para ninguna de las aplicaciones.
- PUERTO F: se usa para establecer la comunicación con los circuitos de medida de tensión y corriente por medio de los pines PF0 y PF1, para medir

corriente y tensión, respectivamente. Este puerto está conectado con el conversor analógico - digital del AtMega 2560.

- PUERTO G, H, J y K: son puertos que tampoco se necesitan para la ejecución del sistema.
- PUERTO L: De este puerto se emplean desde el Pin PJ0 al PJ3. A través de ellos se conectan las líneas de control del display.

Del resto de pines del AtMega 2560, destacan los pines 33 (XTAL1) y 34 (XTAL2) que corresponden con las líneas del oscilador externo.

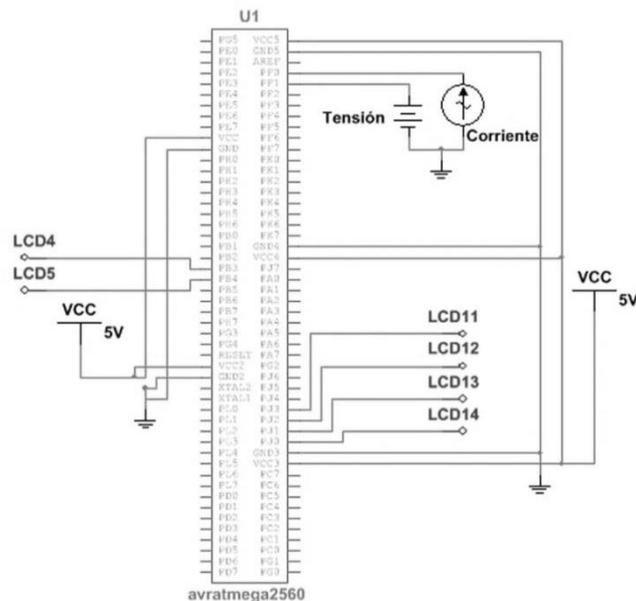
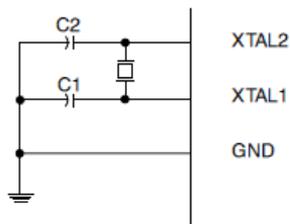


Figura II.4 Esquema del microcontrolador y conexiones

El microcontrolador AtMega 2560 lleva un circuito exterior asociado que permite su correcto funcionamiento. Este es parte de un oscilador formado por un cristal de cuarzo de 16 MHz y dos condensadores de desacoplo, como se muestra en la Figura II.5. El cristal de 16 MHz permite al microcontrolador trabajar a velocidades de 0.4 MHz, 0.9 MHz, 3.0 MHz, 8.0 MHz y 16 MHz, según las necesidades y la configuración del circuito multiplicador de frecuencia PLL (Phase Locked Loop)



*Figura II.5. Circuito del oscilador*

### **II.3 UNIDADES DE ENTRADA Y SALIDA**

Cuando se habla de unidades de entrada y salida, se hace referencia a la información que es enviada y recibida por unidades funcionales de un sistema de procesamiento. Éstas son dispositivos a través de los cuales el microcontrolador se comunica con el exterior.

Las unidades de entrada, Figura II.6, permiten introducir datos externos al microcontrolador para su posterior tratamiento. Estos datos pueden provenir de distintas fuentes, siendo la principal el ser humano. Las más habituales son: teclado, micrófono, escáner, ratón, cámara, etc.



*Figura II.6. Unidades de entrada*

Las unidades de salida, Figura II.7, son dispositivos que muestran o proyectan información hacia el exterior del microcontrolador. La mayoría son para informar, alertar, comunicar o para dar al usuario cierta información, de la misma forma que se encargan de convertir los impulsos eléctricos en información legible para éste, es decir, son los que reciben información que es procesada previamente por el microcontrolador y la reproducen para que sea perceptible por el usuario. Las más habituales son: pantalla, impresora, altavoces, etc.



*Figura II.7. Unidades de salida*

Para conseguir el grado de autonomía y mejorar su versatilidad y prestaciones, se ha diseñado una consola de salida de datos para ofrecer al usuario la posibilidad de visualizar el dispositivo sin necesidad de conectar a un PC.

### **II.3.1 DISPLAY**

Una pantalla constituye un dispositivo de salida para representar visualmente información. El dispositivo utilizado fue un display tipo LCD como el que se muestra en la Figura II.7, que posibilita la representación de caracteres por matriz de puntos (5x8 píxeles), con un tamaño de 4 líneas y 16 caracteres por línea. La pantalla de cristal líquido viene integrada en un módulo que incluye un controlador encargado de la comunicación y representación de caracteres. Los caracteres a representar se envían al módulo por medio de una interfaz de 4 bits de datos y tres líneas de control.

Las características generales del módulo LCD utilizado y de las pantallas de cristal líquido alfanuméricas en general se resumen en:

- Pantalla de caracteres ASCII y símbolos matemáticos, además de los caracteres griegos y japoneses Kanji.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o a la derecha.
- Proporciona la dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite la posibilidad de programar ocho caracteres personalizados.
- Conexión a un microcontrolador usando una interfaz de 4 u 8 bits.

En la siguiente tabla, Tabla II.4, se describe el patillaje del display LCD 16X4 utilizado:

Pin	Símbolo	Descripción
1	Vss	Masa
2	Vdd	Alimentación 5V
3	VO	Ajuste de contraste
4	RS	Selección del Modo
5	R/W	Lectura/Escritura
6	E	Línea Enable
7...14	DB0...DB7	Bus de Datos
8	LED A	Ánodo de Iluminación
9	LED K	Cátodo de Iluminación.

Tabla II.4 Patillaje del módulo LCD

Este dispositivo está gobernado internamente por un microcontrolador Hitachi 44780 o similar, el cual se encarga de la comunicación del módulo con el exterior y del proceso de representación de los datos recibidos. Este modelo de controlador está muy extendido entre los fabricantes de visualizadores de cristal líquido, convirtiéndose en un estándar para el uso de módulo LCD alfanuméricos. Esto permite alternar distintos modelos de pantallas, incluso con diferentes tamaños, sin tener que realizar cambios significativos en el circuito de conexionado o en el software de control.

Como la comunicación utilizada con el LCD es en modo de 4 bits, se requieren 4 líneas de datos, más tres de control (Register Select, Read/Write y Enable). Mediante un potenciómetro de 10 kΩ se puede regular de forma lineal el contraste de los datos visualizados por pantalla. En el siguiente circuito, Figura II.8, se muestra el esquema de conexionado empleado.

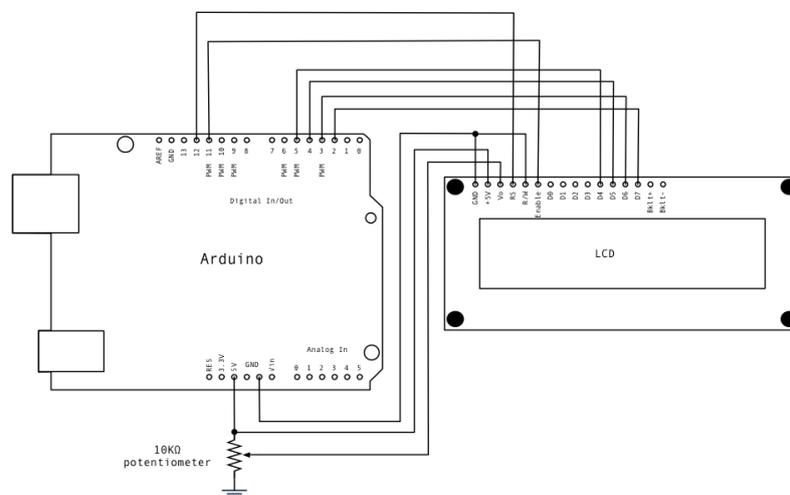


Figura II.8 Esquema de conexión del módulo LCD

# **CAPÍTULO III**

## **HERRAMIENTAS DE DISEÑO Y DESARROLLO**

## Capítulo III. Herramientas de Diseño y Desarrollo

En este capítulo se presentarán las herramientas más relevantes necesarias a lo largo de las etapas de diseño y desarrollo del proyecto. Se requería el uso de distintos programas y utilidades, también se hacía necesario invertir cierto tiempo en comenzar a dominar y familiarizarse con las prestaciones ofrecidas por cada herramienta. De esta forma, antes de iniciar el proceso de creación y diseño se ha pasado por un periodo de aprendizaje, quedando fuera de los límites de este capítulo explicaciones acerca del funcionamiento de las herramientas.

### III.1 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE

En este apartado se expondrán los programas que han sido empleados para el desarrollo del proyecto, y que han sido:

- Compilador Arduino IDE
- National Instruments Multisim 12.0
- National Instruments Ultiboard 12.0
- Table Curve 2D

#### III.1.1 COMPILADOR ARDUINO IDE

Los microcontroladores constan de un juego propio de instrucciones en un lenguaje de bajo nivel, denominado ensamblador. Hace unos años, la única opción para crear el programa de un microcontrolador era usar sus instrucciones en ensamblador, pero a medida que el uso de estos dispositivos fue creciendo se empezaron a desarrollar compiladores para generar el código a partir de un lenguaje de alto nivel como Basic, Delphi o C. El empleo de éstos acelera el tiempo de desarrollo, ya no es necesario aprender todo el juego de instrucciones en ensamblador propias del controlador a utilizar. Normalmente, el código generado por un compilador de alto nivel no suele ser tan bueno y compacto como el mismo programa escrito en ensamblador, pero cuando se trabaja con aplicaciones complejas que requieran de un software muy denso, el tiempo de desarrollo se hace más importante que la optimización del código. Además, los compiladores actuales generan códigos óptimos

con tiempos de ejecución y grado de ocupación en memoria muy cercanos a los obtenidos utilizados directamente en lenguaje ensamblador.

Para escribir el programa de control del microcontrolador se ha elegido el lenguaje de programación de alto nivel C++, haciendo uso del compilador Arduino IDE. Este compilador está orientado a su uso con microcontroladores AtMega implementados dentro de las distintas placas de desarrollo Arduino, permitiendo optimizar su funcionamiento con esta clase de controladores.

El uso de un compilador específicamente diseñado para generar código orientado a microcontroladores se debe a las limitaciones hardware impuestas por estos dispositivos. Estas limitaciones corresponden a la localización de la memoria de programa y la de datos en posiciones separadas, además la imposibilidad de tratar las áreas de memoria ROM como datos. Debido a esto, el compilador no permitirá ciertas operaciones, como crear punteros en un array en la memoria ROM. A pesar de esta pequeña restricción, el compilador incorpora prácticamente todos los elementos estándar del lenguaje C++, además de funciones propias orientadas a microcontroladores como, por ejemplo, para el uso de los puertos de entrada y salida, o los ADCs. Las características del compilador Arduino IDE se resumen en:

- Directivas de preprocesador, incluyendo #PRAGMA, la cual sirve para mantener compatibilidad entre distintos compiladores de C.
- Tipos de datos estándar de 1, 8,16 y 32 bytes, incluyendo punteros, notación en punto flotante, enumeraciones y estructuras.
- Operadores y sentencias del lenguaje C.
- Definición de funciones
- Definiciones estándar de lenguaje C#, stdio.h, stdlib.h, float.h, etc.
- Funciones estándar para cálculos matemáticos, manipulación de cadenas de caracteres, control de memoria y funciones especiales como rand () y qsort ().
- Funciones integradas orientadas al uso hardware de los microcontroladores como, por ejemplo, para el control de los puertos de entrada y salida.

El programa está formado por un entorno de desarrollo integrado (IDE), el cual tiene un aspecto visual basado en ventanas y barra de herramientas que permiten un uso intuitivo, como se puede observar en la Figura III.1. Este compilador permite un inicio relativamente rápido para crear aplicaciones basadas en Arduino, lo que se ve potenciado gracias a las librerías para determinados periféricos y programas ejemplo que incluye.



Figura III.1. Entorno de trabajo del compilador Arduino IDE

Este compilador permite migrar cualquier código generado para una placa de desarrollo hacia otra, simplemente cambiando la placa desde el panel contextual de Herramientas -> Procesador, consiguiendo con esto, que el código desarrollado para Arduino Uno sea válido sin cambios en Arduino Mega (Figura III.2)

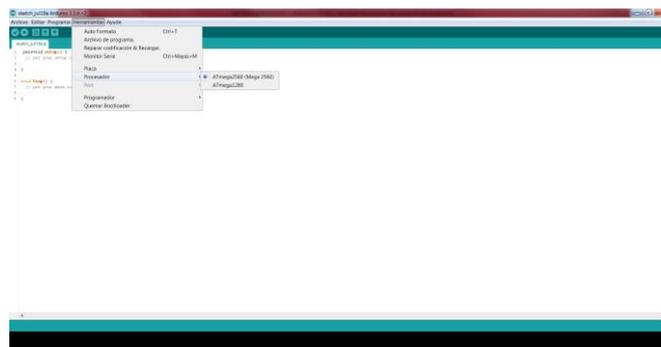


Figura III.2. Selección del procesador utilizado

### III.1.2 NATIONAL INSTRUMENTS MULTISIM 12.0 [1]

Multisim es un entorno de simulación SPICE estándar en la industria. El enfoque de diseño de Multisim ayuda a reducir las iteraciones de prototipos y a optimizar los diseños de tarjetas de circuito impreso (PCB) al inicio del proceso (Figura III.3).

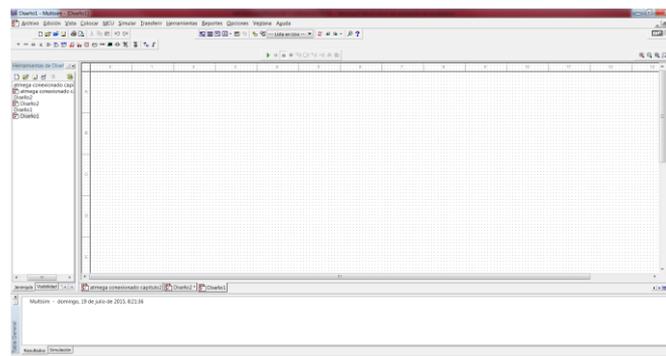


Figura III.3. Entorno de Trabajo Multisim 12.0

Multisim está equipado con más de 36.000 componentes validados por fabricantes de semiconductores líderes. La extensa biblioteca Multisim de amplificadores, diodos, transistores y otros componentes electrónicos, combinada con su simulación avanzada permite abordar multitud de problemas prácticos en el campo de la electrónica (Figura III.4).

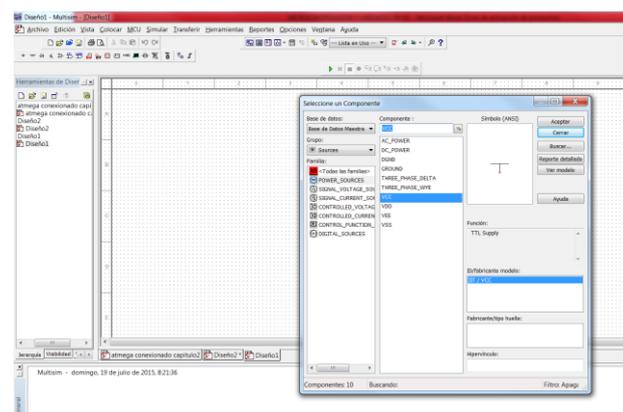


Figura III.4. Base de datos SPICE Multisim 12.0

Sin embargo, Multisim 12.0 no cuenta con todos los componentes SPICE necesarios para los diseños realizados en el presente proyecto. La creación de dichos

componentes se realiza a través del Asistente de Creación de Componentes, mediante el cual se pueden crear los componentes para simulación, como para PCB's, siendo una de las herramientas fundamentales a la hora del diseño (Figura III.5).

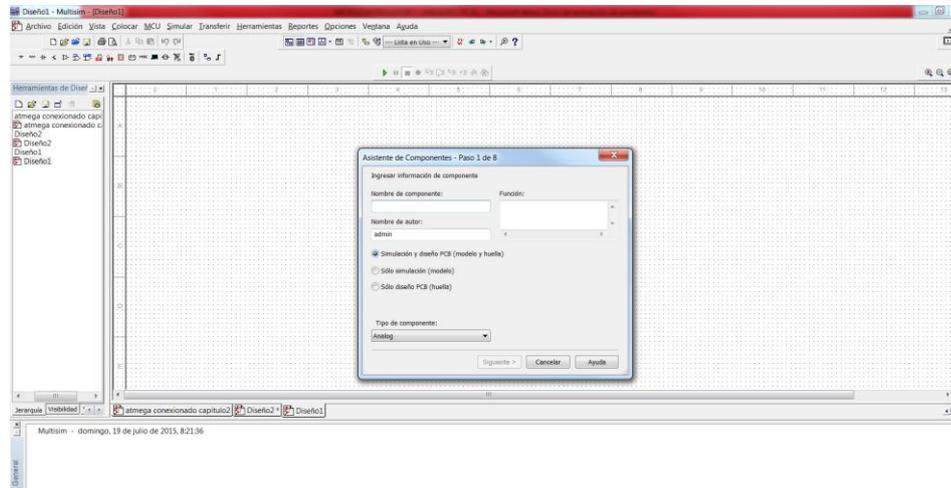


Figura III.5 Asistente de Componentes Multisim 12.0

### III.1.3 NATIONAL INSTRUMENTS ULTIBOARD 12.0

Ultiboard es un entorno de generación de prototipos para diseño rápido de tarjetas de circuito impreso (PCB). Su perfecta integración con Multisim permite a los ahorrar horas de desarrollo con la habilidad de completar esquemáticos de circuitos, simulación SPICE y diseño de PCB's en el mismo entorno (Figura III.6).

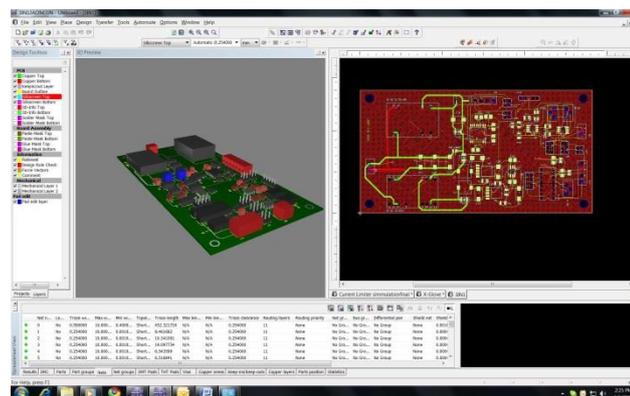


Figura III.6. Entorno de Trabajo Ultiboard 12.0

El entorno de Ultiboard acelera el diseño de PCB's con funcionalidad automatizada, manteniendo la precisión con control manual.

Multisim y Ultiboard pueden optimizar el rendimiento de un circuito. El primero ofrece un potente entorno de simulación SPICE y Ultiboard lo complementa con diseño de PCB's y habilidades de enrutado que permiten crear un prototipo con rapidez.

### III.1.4 TABLE CURVE 2D

Table Curve 2D, Figura III.7, ha sido el software utilizado para realizar el ajuste de calibrado del sistema. Este software ofrece una opción automática para la determinación de los coeficientes de ecuaciones algebraicas que con diferentes coeficientes de correlación, se ajustan a los valores experimentales correspondientes al calibrado.

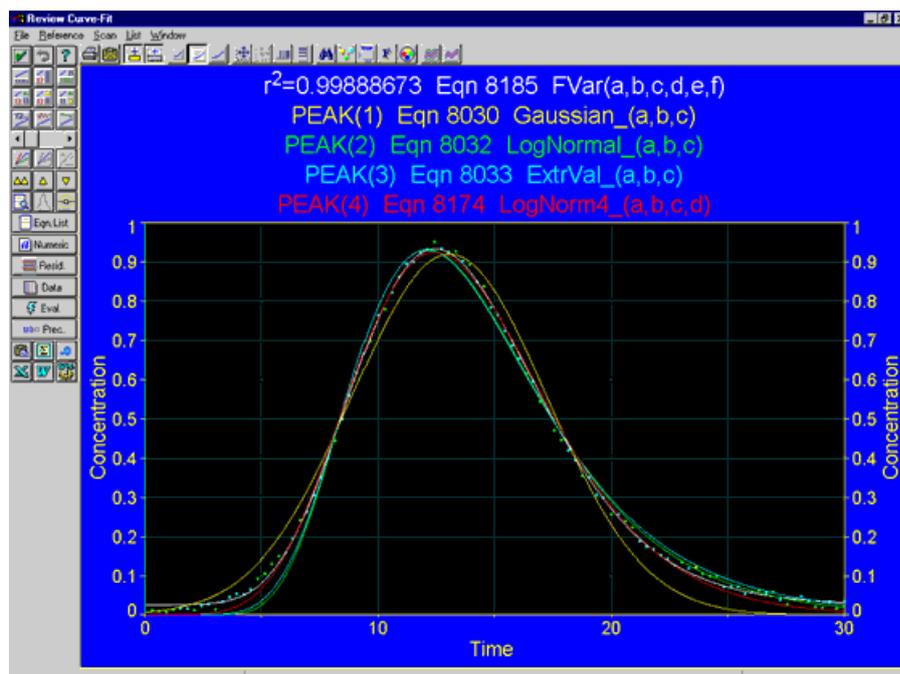


Figura III.7 Entorno de Trabajo de Table Curve 2D

## III.2 HERRAMIENTAS DE HARDWARE

En este apartado se mostrarán los dispositivos hardware utilizados a lo largo del proyecto, como:

- Arduino Uno Rev. 3 (placa de desarrollo)

- Arduino Mega 2560 Rev. 3 (placa de desarrollo)
- Fuentes de Alimentación

### III.2.1 ARDUINO UNO REV. 3

Es la placa utilizada en el proyecto para la implementación del circuito de medida. Es la placa prototipo, es la más básica de su gama con un chip AtMega 328P. Se escogió porque se disponía de la misma y, aunque tiene un rendimiento algo menor del deseado, contaba con todos los componentes necesarios para la realización del diseño (Figura III.8).

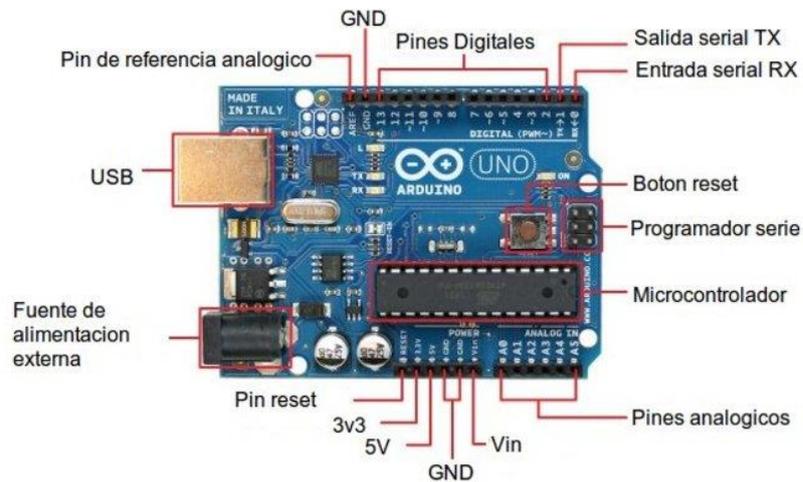


*Figura III.8. Placa de Desarrollo Arduino Uno Rev. 3*

En la Figura III.9 se puede observar la distribución de dichos componentes en la misma:

1. Fuente de Alimentación externa
2. USB
3. Pin de Referencia Analógico
4. GND
5. Pines Digitales
6. Salida Serial Tx
7. Salida Serial Rx
8. Botón Reset

9. Programador Serie
10. Microcontrolador
11. Pines Analógicos
12. Vin (voltaje de entrada)
13. GND
14. 5 V (pin de alimentación exterior)
15. 3.3 V (pin de alimentación exterior)
16. Pin Reset (pin de entrada, reseteo)



*Figura III.9. Distribución de los componentes en la placa Arduino Uno Rev. 3*

### III.2.2 ARDUINO MEGA 2560 REV. 3

En el proyecto se ha hecho uso de esta placa para mejorar el rendimiento del sistema así como para su implementación final. Sus características han sido detalladas en el Capítulo II, (Microcontrolador y unidades de entrada y salida), (Figura III.10).

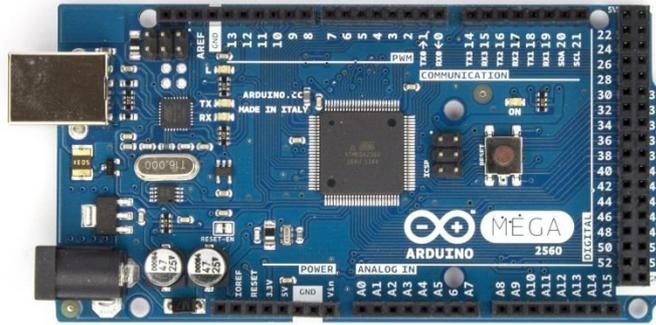


Figura III.10 Placa de desarrollo Arduino Mega 2560 Rev. 3

Como se puede observar, lo más destacable entre ambas placas es la diferencia del microcontrolador con respecto a Arduino Uno Rev. 3. En este caso contamos con un microcontrolador SMD, que reduce considerablemente el tamaño de la misma a la par que aumenta sus prestaciones, tanto en entradas y salidas como en memoria y velocidad de trabajo. Todos estos aspectos, como se ha indicado anteriormente, se encuentran detallados en el Capítulo II.

### III.2.3 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Para alimentar los diferentes prototipos desarrollados en el proyecto, se ha empleado una fuente de alimentación con tres salidas de tensión, una fija de 4.5 – 5 V y dos salidas variables de 0 a 40V. El uso de esta ha bastado para alimentar los diferentes dispositivos creados ya que el mayor valor de tensión ha sido de 15 V. El modelo empleado es el mostrado en la Figura III.11



Figura III.11. Fuente de Alimentación

# **CAPÍTULO IV**

## **SISTEMA DE POTENCIA Y MEDIDA**

## Capítulo IV. Sistema de Potencia y Medida

En este capítulo se hace referencia al objetivo principal del sistema, en su totalidad, han sido necesarios un circuito para la medida de la corriente, un circuito de medida para la tensión, un microcontrolador AtMega 2560, montado sobre el hardware Arduino Mega, y un circuito controlador de potencia suministrada a la carga.

Para conseguir el objetivo de “control de potencia” se hace uso de un circuito basado en un Triac y que se muestra en el Apartado IV.1 del presente Capítulo. En el apartado de la medida, se hace uso de dos circuitos independientes, para la determinación de la corriente y la tensión en la carga, conectados al microcontrolador AtMega 2560. Posteriormente, por implementación software en el microcontrolador, se realizan las operaciones necesarias para obtener la potencia con los valores de V e I.

En el Apartado IV.2 del presente Capítulo se detalla el circuito de medida de corriente, mientras que en el IV.3, el circuito de medida de tensión. El flujo de código del microcontrolador se detalla en el siguiente Capítulo.

### IV.1 CIRCUITO DE POTENCIA

Todo el sistema de control de potencia está basado sobre el circuito propuesto, Regulador de Potencia Alterna de 3800 W [2].

Se ha elegido este circuito porque no es objetivo de este proyecto el tipo de circuito empleado, sino la posibilidad de realizar las medidas con precisión sobre éste u otros de similares características. Sin embargo, se han estudiado diferentes tipos de circuitos, muchos prácticamente iguales al utilizado, con resultados casi idénticos. Al tratarse de una solución sencilla y fácil de implementar se ha seleccionado como circuito controlador de potencia.

#### IV.1.1 TRIAC

El Triac se puede considerar como un interruptor electrónico, permite el paso de corriente entre sus extremos dependiendo de si su puerta está activada o desactivada.

El circuito propuesto para la regulación de potencia posee una particularidad importante, aunque está desarrollado para 3800 W, el mismo es válido para distintas potencias, siempre y cuando se haga uso del Triac adecuado.

La potencia estipulada, según las exigencias iniciales, fue de 7000 W, equivalente a 31.81 A en un red de 220V. El dispositivo a dicha potencia, conlleva mayores riesgos de implementación como limitaciones de laboratorio y materiales, para ello, se ha limitado el funcionamiento del dispositivo a 16 A. Esto permite su utilización en cualquier lugar provisto de tomas de corriente convencional.

Aunque existe la limitación de 16A, por protección, se ha hecho uso de un Triac de 41 A concretamente el BTA – 41 600 (Figura IV.1).

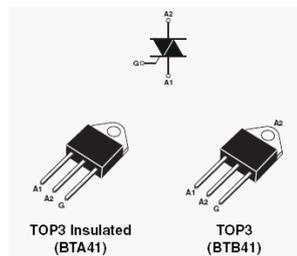


Figura IV.1 BTA 41 600

#### IV.1.2 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito de potencia mencionado anteriormente se muestra en la Figura IV.2.

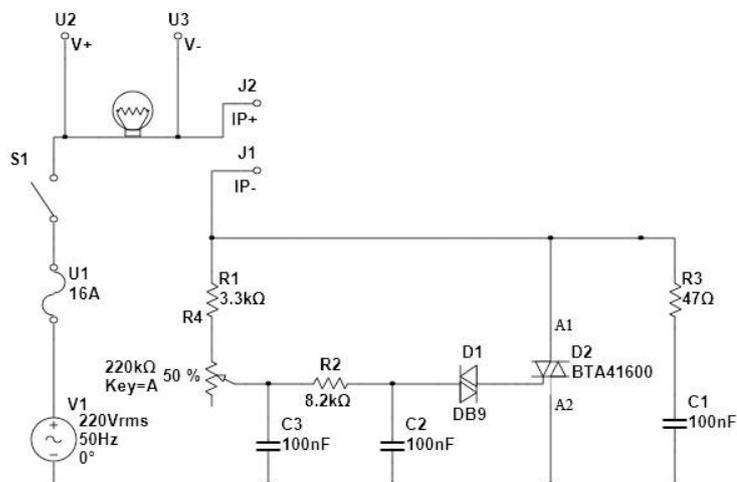


Figura IV.2 Circuito de Potencia con Triac BTA 41 600

Desde la línea de red alterna a 220 V se obtienen dos fases, Fase y Neutro. La primera de ellas se conecta directamente a la carga a través de un interruptor unipolar que la habilita o deshabilita y un fusible de protección contra cortocircuitos de 16 A.

La segunda recibe el control de potencia, dicha línea se conecta con el Triac por sus dos terminales, A1 y A2, provenientes de la carga o de la entrada, respectivamente.

La regulación de la potencia se realiza a través de la resistencia de  $3300\Omega$ , el potenciómetro de  $220\text{ k}\Omega$  y el condensador de  $100\text{ nF}$  (C3), con este esquema se consigue que la puerta del Triac, se active o desactive siguiendo la misma frecuencia de la red. Esta cualidad, permite que el dispositivo sea válido para frecuencias de 50 como de 60 Hz, frecuencias comunes de la red eléctrica.

Se puede comprobar que dependiendo de la resultante entre la resistencia de  $3300\ \Omega$  y el potenciómetro de  $220\text{ k}\Omega$ , la intensidad de carga del condensador varía y, por consiguiente, el momento de apertura de la puerta será dependiente con el tiempo de la carga del condensador.

El conjunto de la resistencia de  $8200\ \Omega$  y el segundo condensador de  $100\text{ nF}$  (C2), realiza la estabilización de la apertura y cierre del Triac, la apertura y cierre se realizan de manera lineal gracias al citado conjunto.

Se añade un Diac DB9 que tiene una tensión de ruptura de 36V, por lo que si la tensión entre sus extremos no ha superado dicho valor, el Diac no dejará conducir, evitando disparos inadecuados del Triac.

Por último, el circuito se complementa con una resistencia de  $47\ \Omega$  en serie con un condensador de  $100\text{ nF}$  (C1), en paralelo con los terminales del Triac. Este conjunto es válido para el arranque de motores, ya que evita que los picos de arranque realicen ruptura sobre el Triac.

El dispositivo es capaz de funcionar con cualquier tipo de carga, (Resistiva, Inductiva o Capacitiva), sin embargo, la mediciones solo será correctas en cargas resistivas.

## **IV.2 CIRCUITO DE MEDIDA DE CORRIENTE**

En el siguiente apartado se detalla la medida de intensidad que se entrega a la carga, para lo que analizaremos el circuito implementado, Figura IV.3.

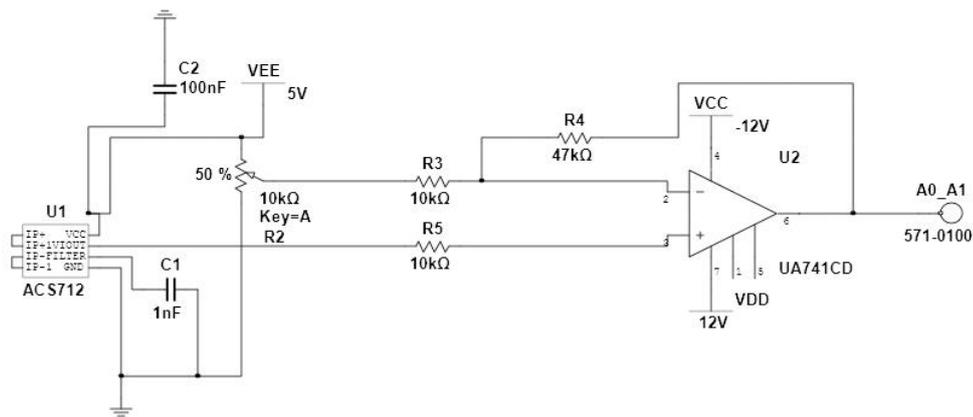


Figura IV.3. Circuito Medición de Corriente

### IV.2.1 SENSOR DE EFECTO HALL ACS712

Para la medida de la corriente se utilizó un sensor de Efecto Hall, que transforma las variaciones de intensidad en la entrada en otras de voltaje a la salida. El componente utilizado fue el ACS712 30 A (Figura IV.4).

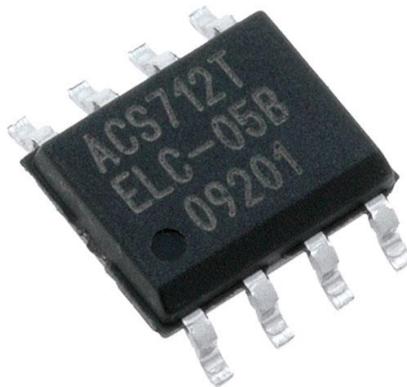


Figura IV.4. Sensor ACS712

Es un sensor de tipo SMD, que se puede emplear en las aplicaciones que requieran la medida de intensidades, posee una precisión de 66mV/ A, en el modelo de 30A. El sensor realiza las mediciones instantáneas de corriente, en corriente alterna necesita de software para conseguir el voltaje eficaz, mientras que en corriente continua el voltaje eficaz coincide con el instantáneo.

En la Figura IV.5, observamos el diagrama de bloques del ACS712.

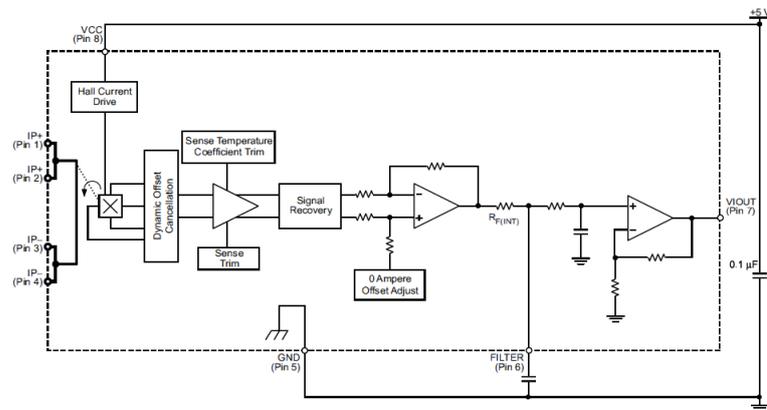


Figura IV.5, Diagrama de Bloques funcional del ACS712

El sensor posee dos niveles de funcionamiento, con lectura de intensidades negativas y positivas, para lo que establece como salida para la intensidad "0" el valor de 2,5 V en  $V_{out}$ . El regulador de potencia, siempre serán intensidades positivas, no haciendo uso de los valores negativos, por lo que aumentaremos la resolución del chip.

Para garantizar una medida correcta, el ACS712 se configura con la implementación típica que se muestra en la Figura IV.6

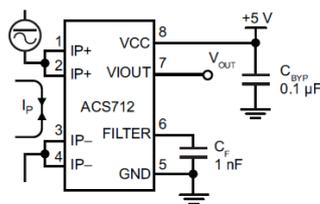


Figura IV.6, Aplicación Típica para la medida de corriente del Sensor ACS712

## IV.2.2 AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Como ya se indicó en el apartado anterior, para ampliar la precisión del sensor, eliminamos la restricción del ACS712 de 0 a 2,5 V para las intensidades negativas, implementando el Amplificador Diferencial de la Figura IV.7

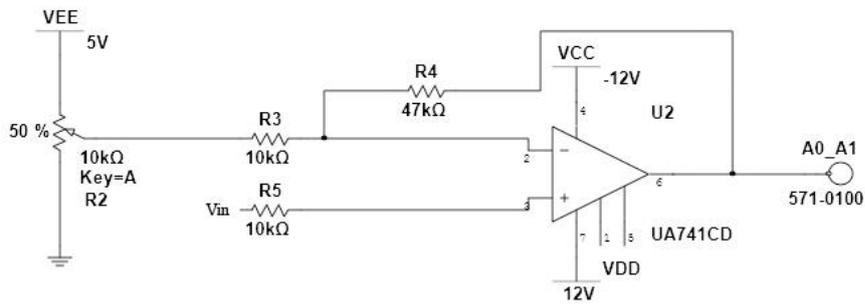


Figura IV.7. Amplificador Diferencial

El circuito de la figura anterior cumple la siguiente condición:

$$V_{out} = \frac{(57000 + R_{potenciómetro})V_{in} - 2350000}{10000 + R_{potenciómetro}}$$

$V_{out}$  se conecta al microcontrolador en la entrada analógica AN0 que, a su vez, está directamente conectada a uno de los 16 canales del Conversor Analógico Digital del Microcontrolador.

### IV.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO PARA LA MEDIDA DE LA CORRIENTE

Las variaciones de intensidad del circuito de potencia se traducen en otras de voltaje en el integrado ACS712, definiendo los valores de 0 a 2,5V para las intensidades negativas y de 2,5 a 5V, para las positivas. Con la implementación del amplificador diferencial, se consigue una resolución de 215,4 mV/A, mucho mayor a la presentada inicialmente por el ACS712 (66 mV/A).

Posteriormente, la señal es almacenada en la memoria RAM del microcontrolador en forma digital, después de pasar por el conversor analógico digital incorporado en la AtMega. Para finalizar, la medida de la corriente se realiza con software desde el propio microcontrolador, usando los datos digitales se obtiene el voltaje eficaz de la señal de corriente, y que se explicará con más detalle en el siguiente capítulo.

### IV.3 CIRCUITO PARA LA MEDIDA DE LA TENSIÓN

El siguiente apartado muestra y detalla el circuito de medida de tensión, Figura IV.8.

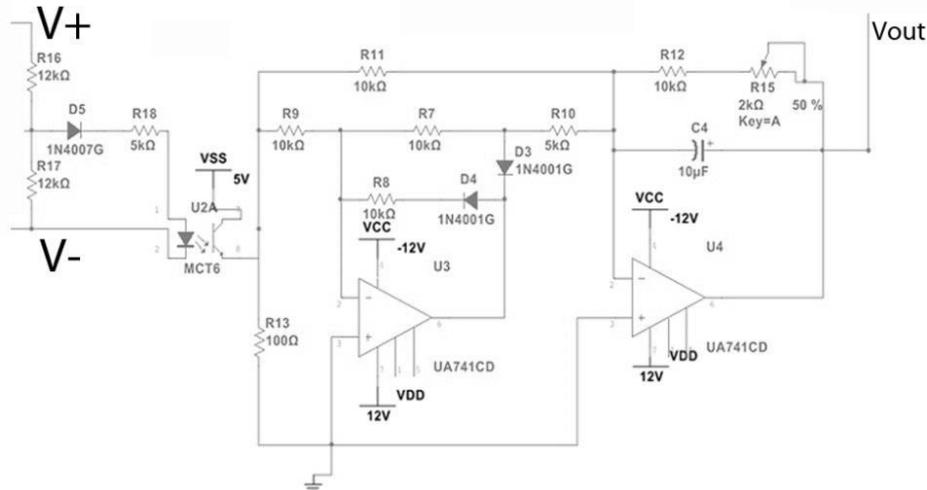


Figura IV.8 Circuito para la medida de la tensión

#### IV.3.1 OPTOACOPLADOR MCT6

El sistema funciona con tensiones alternas de 220-240V, pero el voltaje máximo a la entrada de canal del microcontrolador es de 5V, para lo que no existe ningún dispositivo capaz de convertir directamente las variaciones de voltaje AC en otras de DC entre 0 y 5v. La solución para por la utilización de un optoacoplador que permite aislar la parte de potencia de la de medida/señal en el circuito a desarrollar.

Para conseguir que el opto acoplador no reciba intensidades ni voltajes elevados a la entrada, se ha colocado un partidor de tensión en paralelo a la carga. Las resistencias del partidor poseen un valor entre cien y trescientas veces mayor que la carga, lo que implica que prácticamente toda la intensidad irá por la carga, y en poca medida por el partidor, pero lo suficiente para hacer funcionar el optoacoplador.

En la salida del mismo, obtenemos una variación de voltaje entre 0 y 5 equivalente a la variación de voltaje del divisor de tensión (Figura IV.9).

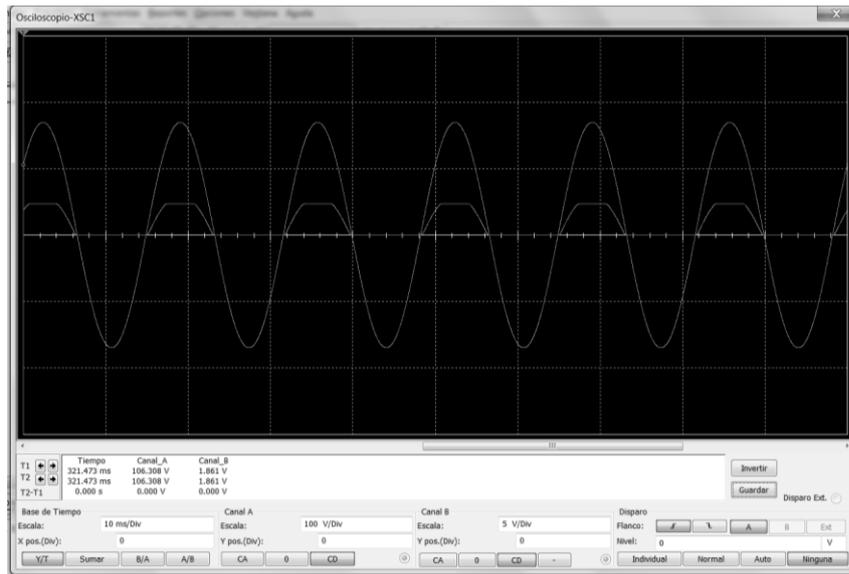


Figura IV.9 Relación entre  $V_{in}$  y  $V_{out}$  en el opto acoplador

El opto acoplador utilizado fue el MCT6, es un opto acoplador compuesto por dos fototransistores con sus correspondientes diodos leds emisores, siendo ideal para la conversión de tensiones alterna a tensiones continua.

La corriente en inversa no puede superar los 60 mA, ni el voltaje entre sus extremos puede ser superior a los 3 V, dado que los voltajes e intensidades son superiores, se añade un diodo 1N4007, para evitar la ruptura (Figura IV.10).

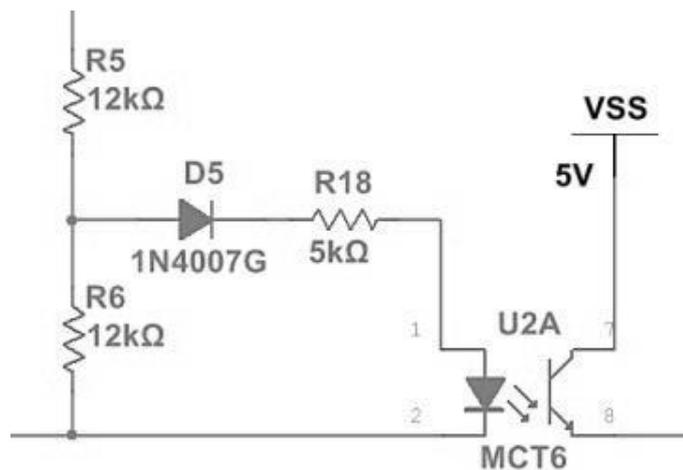


Figura IV.10, Protección y conexionado Opto acoplador MCT6

### IV.3.2 RECTIFICADOR DE PRECISIÓN

Un rectificador de onda completa de precisión es un circuito pensado para rectificar aquellos valores que un puente rectificador normal no es capaz de realizar.

El rectificador de la Figura IV.11, es un rectificador de precisión compuesto por dos operacionales UA741, el primero de los mismos como rectificador de media onda y el segundo como sumador – restador.

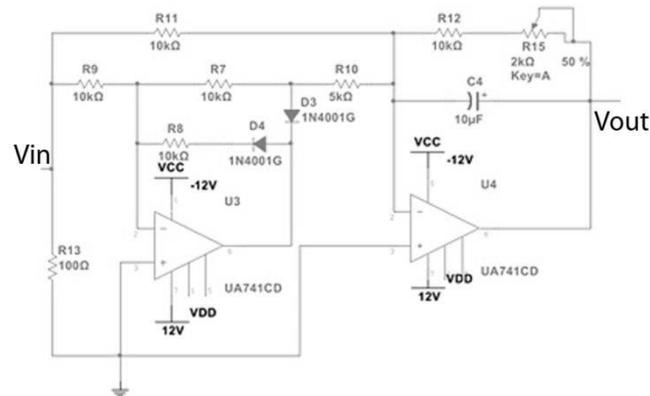


Figura IV.11. Rectificador de precisión

En la Figura IV.12, se observa la señal de salida, en función de la entrada obtenida por simulación.

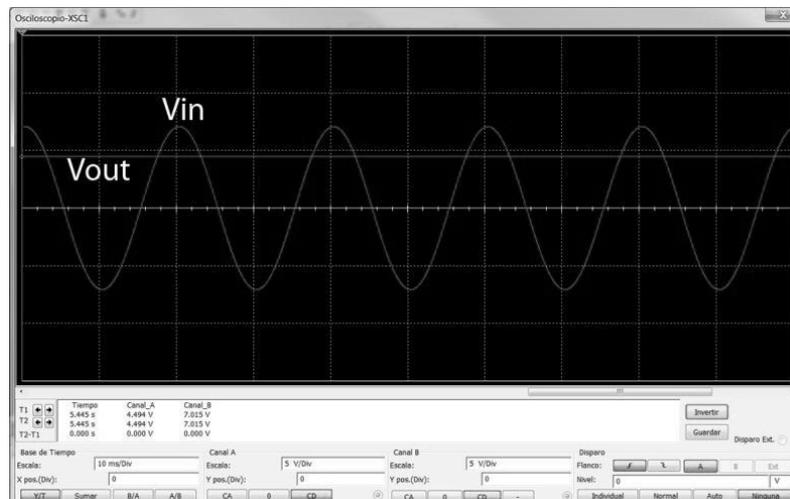


Figura IV.12. Relación Voltaje de entrada – Voltaje de salida rectificador de precisión

La salida del Rectificador de Precisión descrito, se conecta a la entrada analógica AN1 del microcontrolador AtMega 2560, segunda entrada multiplexada del convertor analógico digital integrado dentro del microcontrolador.

### **IV.3.3 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE MEDIDA DE TENSIÓN**

El circuito para la medida de tensión realiza la misma función que un multímetro, presenta una impedancia muy superior a la carga, por tanto, ejerce una baja acción sobre los resultados.

La prioridad del diseño es aislar la señal de alterna de 220-240V, de la de medida. Para ello, se empleó un optoacoplador que realiza una copia de la señal con valores comprendidos entre 0 y 5V, para, con posterioridad, enviarla al rectificador de precisión, con ello se obtiene un nivel constante de señal como valor eficaz de voltaje, a diferencia del medidor de corriente, donde se logra un valor instantáneo.

Para finalizar, el voltaje de continua se introduce en el CAD del microcontrolador. Para conseguir una relación adecuada de dicho valor con el valor real del voltaje AC, se hace uso de un calibrado y gráfica de correlación del Table Curve 2D. La funcionalidad del mismo, se realiza por software y será detallado en el siguiente capítulo.

## **IV.4 DESARROLLO DE LAS PLACAS PCB'S**

En este apartado se detallan los problemas generados en la implementación del hardware dentro de una PCB. En concreto, se justifica la implementación del sistema en más de una PCB, los problemas de tamaño en las pistas de potencia, así como las soluciones aportadas.

### **IV.4.1 PCB'S DEL PROYECTO**

Durante la realización de la placa de potencia, se presentan múltiples inconvenientes, uno de ellos, es el tamaño de las pistas. Éstas pistas soportan intensidades máximas de 41 A, límite máximo interpuesto por el Triac, pero las pistas deben soportar 1,5 veces la intensidad nominal máxima, esto supone 61.5 A.

Haciendo uso de la gráfica de la Figura IV.12, obtenemos el valor, en  $\text{mm}^2$ , del ancho de las mismas con las siguientes características:

- Intensidad máxima: 61.5A
- Variación máxima de temperatura: 45°C
- Longitud de la pista: 10 mm (aproximadamente)

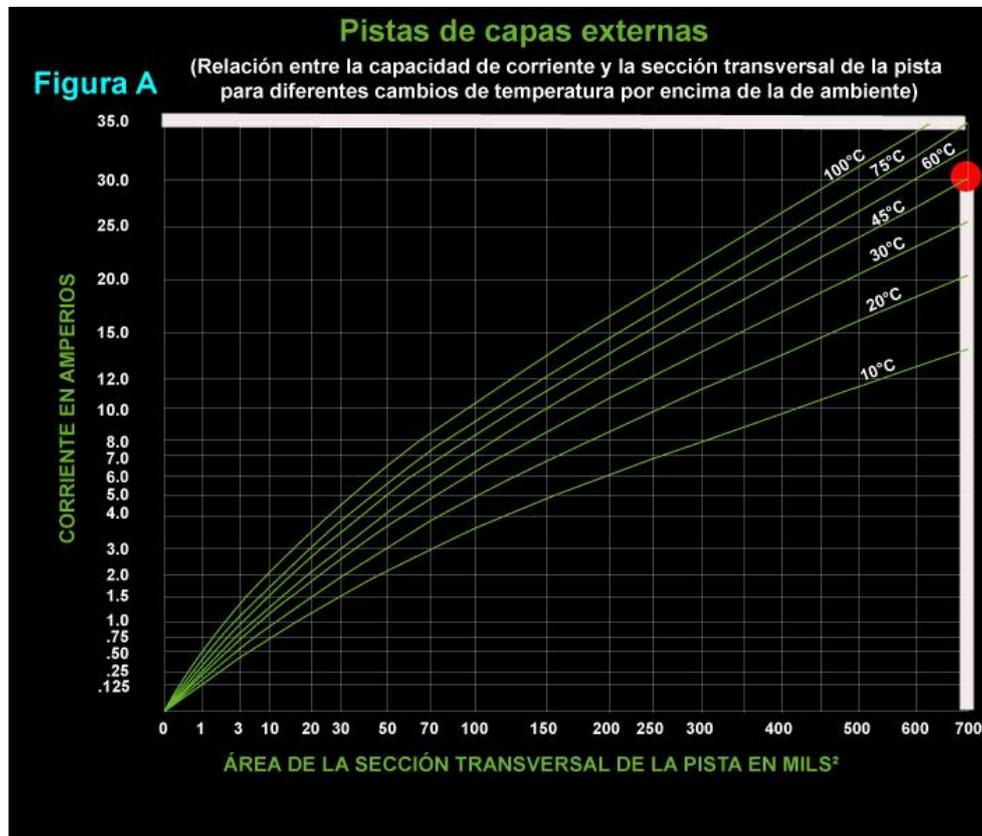


Figura IV.12. Gráfica para el Cálculo de Pistas Externas

Sin embargo, aunque el Triac es capaz de soportar 41 A y las pistas 61,5 A, físicamente esto no se puede implementar sobre PCB, sería necesario realizar las conexiones entre componentes con cables de al menos 10mm<sup>2</sup> de sección y aislamiento XLPE.

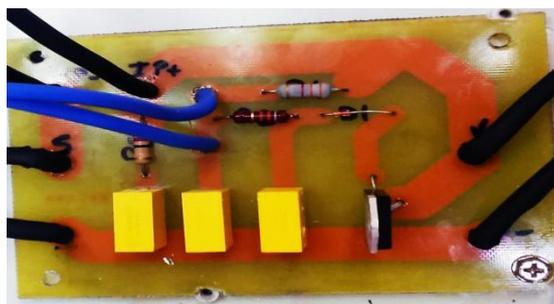
Para evitar elevadas pistas, o el uso de cables, se limita la potencia de salida a 16 A, dicho amperaje es lo que proporciona como máximo una toma de corriente convencional, superando esos niveles, se debería de usar tomas de corriente industrial, lo que no está contemplado en el presente proyecto, al no disponer de las mismas en el laboratorio.

Para el nivel de intensidad elegido como máximo, el ancho de pista debe ser de 13.76 mm, dentro de una PCB de 35 µm.

Dado que se trata de una sección elevada, las soluciones para la implementación han sido:

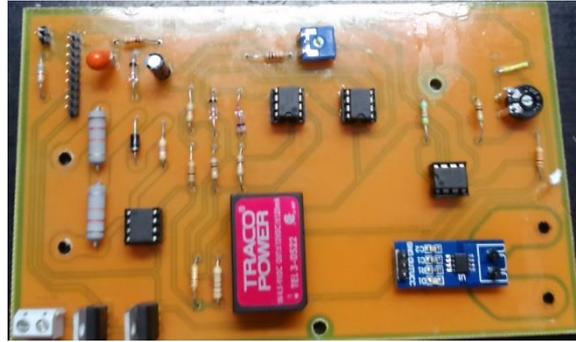
1. Cambio en el espesor de la placa al máximo comercial de 105  $\mu\text{m}$ , tamaño final de la pista: 4.586 mm. Ha sido imposible esta implementación ya que no se contaba con dicha placa de cobre.
2. Realizar dos placas independientes, una para el control de potencia y otra para la medida. Esta ha sido la solución aportada, ya que permite trabajar en paralelo en ambas PCB's, y poder ampliar las pistas independientemente de las molestias con el resto de componentes. Sin embargo, se presenta el problema de las distancias en dichas pistas, lo que implica que la placa no pueda ser muy grande. Como solución a este inconveniente, se decide usar pistas de 10 mm reforzadas posteriormente con estaño, lo que permite que la pista cumpla los requisitos.

La Figura IV.13 muestra la PCB de potencia en su cara superior. Se puede apreciar el tamaño de las pistas, resaltadas de color naranja.



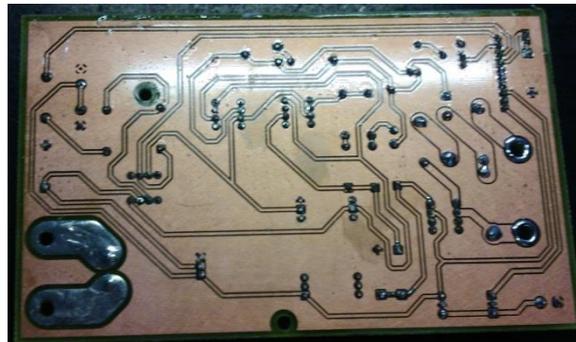
*Figura IV.13 Placa PCB de potencia cara superior*

La Figura IV.14, muestra la PCB de medida en su cara superior.



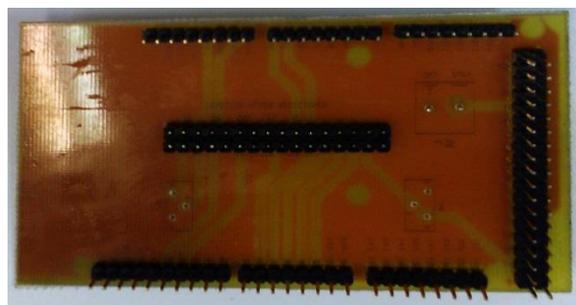
*Figura IV.14 Placa PCB de medida cara superior*

La Figura IV.15, muestra la PCB anterior en su cara posterior.

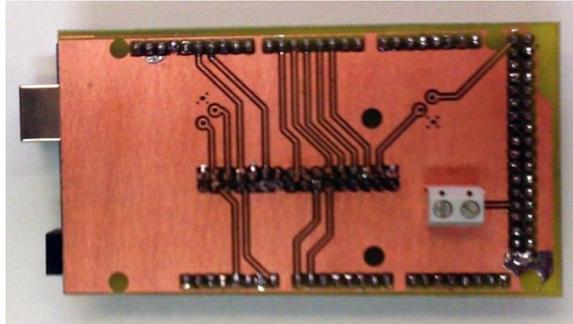


*Figura IV.15 Placa PCB de medida cara posterior*

Las Figuras IV.16 y IV.17, muestran la PCB shield para Arduino Mega, con ella se consigue mejorar las uniones de los distintos componentes a la citada placa controladora.



*Figura IV.16 Placa PCB shield Arduino Mega cara superior*



*Figura IV.17 Placa PCB shield Arduino Mega cara posterior*

#### **IV.4.2 MONTAJE FINAL DE LAS PCB'S**

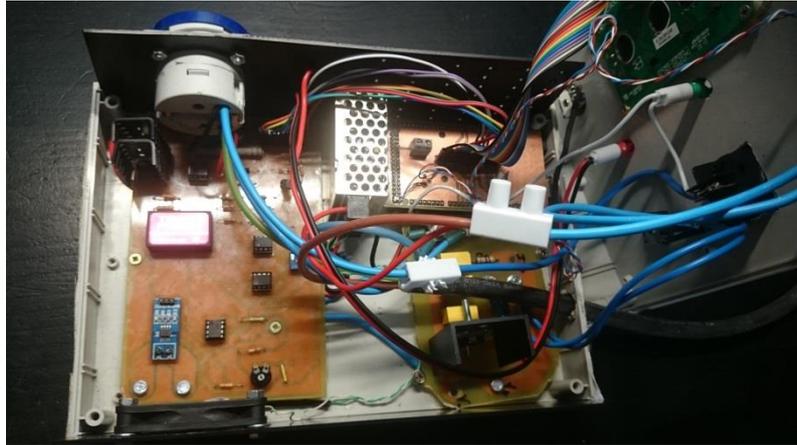
Como se detalló anteriormente, este dispositivo se compone de tres placas PCB's, una con los componentes de potencia, otra con los de medida, la tercera es la encargada de la conexión con Arduino Mega. Las dos últimas cumpliendo las reglamentaciones, con un ancho de pista mínimo de 0,5 mm. La conexión entre la placa de potencia se realiza con cables de 4 mm<sup>2</sup> de sección y aislamiento XLPE.

Las conexiones entre las placas se realizan a través del uso de tornillos de M4 en los orificios destinados a tal fin, incorporando una tuerca de sujeción de placa, y otra segunda tuerca de sujeción de cable. El cable dispone de un terminal redondo para asegurar la conexión. En la Figura IV.18 se muestra un detalle de la citada conexión.



*Figura IV.18 Conexión de cables a las distintas PCB's*

Dentro del dispositivo también se encapsula la placa Arduino Mega que integra el microcontrolador AtMega 2560. La conexión entre la placa de potencia y la placa Arduino se realiza con cables de 0.5mm<sup>2</sup> de sección (Figura IV.19).



*Figura IV.19. Colocación en dispositivo de las distintas placas PCB's*

A su vez, dentro del dispositivo se encapsula la fuente de alimentación regulable de tipo comercial, la cual aporta la alimentación a los circuitos de DC.

El dispositivo integra en el chasis el Display, un interruptor de encendido y apagado de la carga, un porta fusibles, el potenciómetro para el control de potencia, un led indicador de 16 A y un enchufe de tipo industrial hasta 16 A. Todos estos componentes se conectan a placa o entre sí de acuerdo a las siguientes reglas:

### **1. Potencia:**

- Línea de alimentación a polo de entrada de porta fusibles con cable de 4 mm<sup>2</sup>.
- Polo de salida porta fusibles a polo de entrada del interruptor con cable de 4 mm<sup>2</sup>.
- Polo de salida del interruptor a conector de Línea del enchufe de salida con cable de 4 mm<sup>2</sup>.
- Conectores POT1 y POT2 de la placa de potencia con el potenciómetro de control.

### **2. Medida de corriente**

- Conector de IP+ de la placa de potencia, a entrada del chip ACS712, conector IP+, implementado en placa de medición, con cable de 4 mm<sup>2</sup>.

- Salida del chip ACS712, conector IP-, al conector IP- de la placa de potencia, con cable de 4 mm<sup>2</sup>

### **3. Medida de tensión**

- Conector V+ de la placa de medida con el conector L1 del enchufe Schuko por cable de 1 mm<sup>2</sup>
- Conector V- de la placa de medida con el conector L2 del enchufe Schuko por cable de 1 mm<sup>2</sup>

El resto de conexiones, Display, LED, se realizan con cables de 0.5 mm<sup>2</sup>, como se indica en el circuito esquemático del Anexo I, presente en este proyecto.

# **CAPÍTULO V**

**SOFTWARE**

**DESARROLLADO Y**

**CALIBRADOS**

## Capítulo V. Software Desarrollado y Calibrados

En este capítulo se describe el software de medición que, en todo momento, define el comportamiento del microcontrolador y permite que el sistema actúe de forma coherente y en función de las necesidades. Mediante éste, el AtMega 2560 realiza los cálculos necesarios para obtener el valor de potencia e indicar al usuario cuando ha sobrepasado el límite de corriente permitido para el dispositivo. A continuación se resumen las funciones principales que implementa dicho software:

- Inicio Rápido
- Medición en tiempo Real
- Aviso instantáneo del límite de potencia.

En las Figura V.1 y V.2 se muestran el mensaje de inicio que se visualiza en el display.



*Figura V.1 Mensaje de inicio cuando se enciende el display. Parte 1*



Figura V.2 Mensaje de inicio cuando se enciende el display. Parte 2

### V.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL

En el programa principal se distinguen diferentes fragmentos que engloban todas las aplicaciones del sistema.

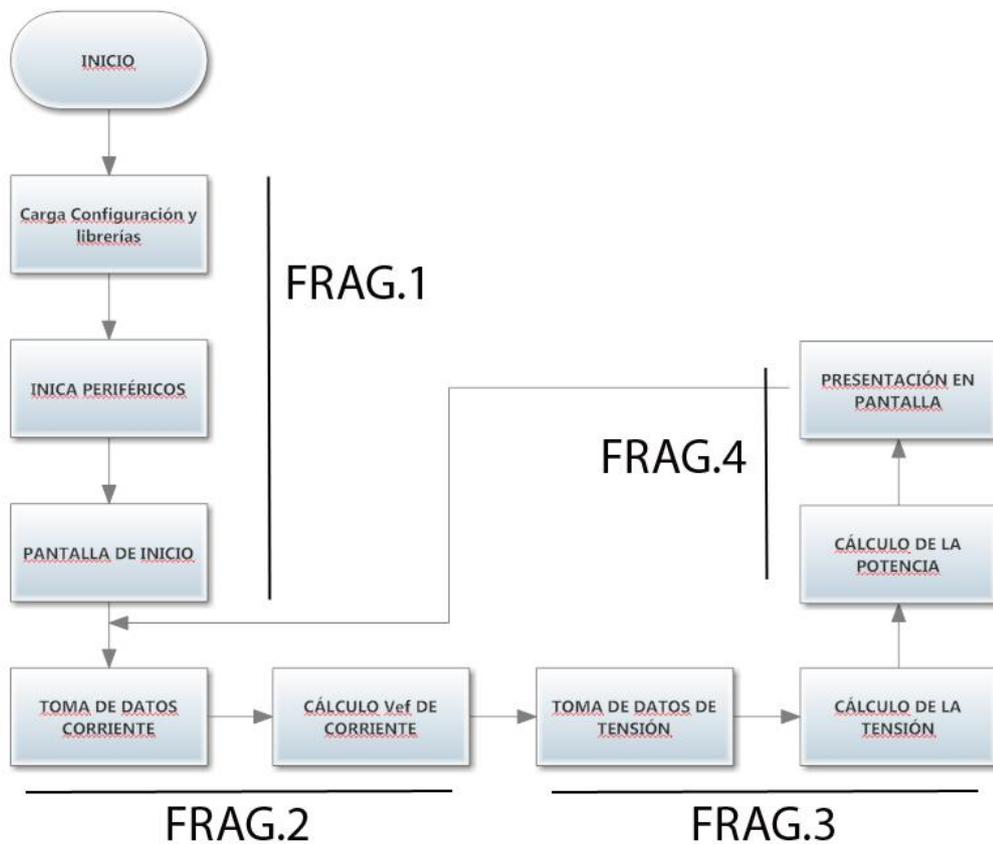


Figura V.3. Diagrama de flujo del programa principal

A continuación se hace una descripción de cada uno de los diferentes fragmentos del código principal, cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura anterior.

### V.1.1 FRAGMENTO 1

Este primer fragmento siempre se ejecutará al inicio del código cada vez que se ponga en marcha el sistema. Está dividido, a su vez, en dos fases:

- **Carga de la configuración y librerías:** se carga en el microcontrolador toda la información referente al código relacionado con la configuración de periféricos como, por ejemplo, la frecuencia del reloj y el modelo del microcontrolador. También se cargan las librerías que se han generado para el manejo de ciertos componentes como el display (LiquidCrystal.h).
- **Iniciación de periféricos:** se inicializan los diferentes periféricos, como pueda ser el display con su correspondiente `Lcd_begin ()`.
- **Pantalla de inicio:** en esta parte, se presenta un mensaje de inicio dando la bienvenida.

### V.1.2 FRAGMENTO 2

El sensor encargado de medir la intensidad generará una tensión de salida de alterna directamente proporcional a la primera. Dicha señal se introducirá por una entrada analógica del microcontrolador, donde se realizará su muestreo, al igual que se registrará el tiempo transcurrido entre la primera muestra tomada y cualquiera de las siguientes.

Como se sabe, el CAD convierte los valores de tensión muestreados en valores digitales. Es importante para los cálculos posteriores obtener la tensión que genera el sensor en vez de su valor digital, con el fin de relacionarlo con la intensidad eficaz. Para ello, con la siguiente expresión, realizamos la operación inversa al CAD:

$$Voltage = \frac{ValorDigital \cdot 5V}{1023}$$

Dónde:

- 5 V es el rango máximo del PIN de entrada analógica del CAD.
- 1023 equivale a  $2^{10} - 1$ , que es el número de estados que posee el CAD de 10 bits.

Antes de continuar con la explicación del código, es fundamental entender el planteamiento. El objetivo es obtener la intensidad eficaz que circula por una carga resistiva, por lo tanto, se debe de aplicar la expresión general para el valor eficaz de una señal:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt}$$

Dónde:

- $I_{ef}$  es el valor eficaz de la señal.
- $i$  es la señal de entrada generada por el circuito de medida de corriente.
- $T$  es el período de la señal.
- $t_0$  es el tiempo inicial o de referencia.

Seguidamente, para una mejor comprensión, se mostrará el diagrama de bloques funcional, Figura V.4.

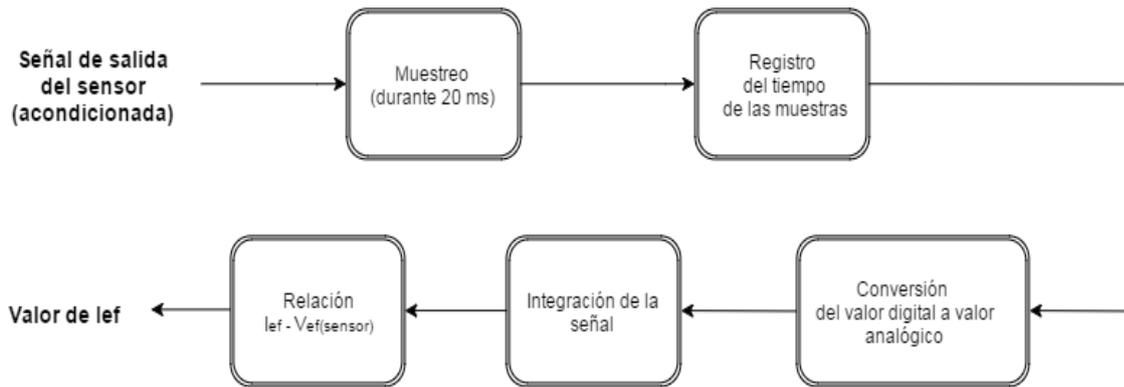


Figura V.4. Estructura de para la medida de la intensidad

La señal a medir posee una frecuencia de 50 hertzios debido a que el dispositivo se alimentará de la tensión de la red, es decir, la señal poseerá un período de  $T = 20$  ms. Por esta razón, para calcular la corriente eficaz se realizará el muestreo de la señal durante este intervalo de tiempo.

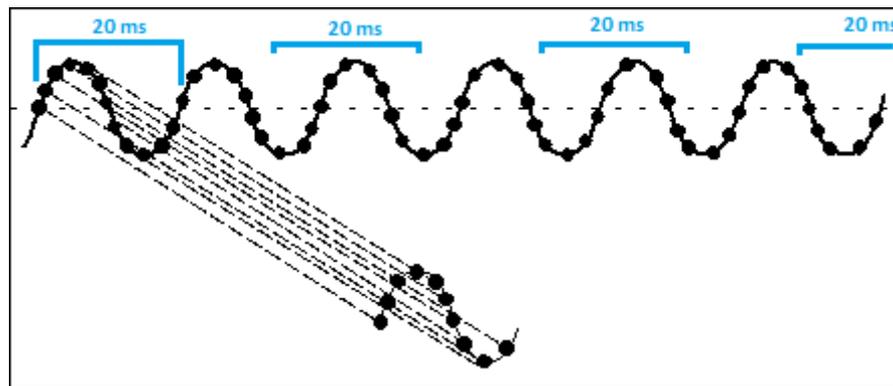


Figura V.5. Toma de muestras de un período

La frecuencia de muestreo es de 6.5 KHz, lo que supone 130 muestras tomadas por período. Para conseguir una mayor precisión, el código realiza el registro del tiempo que pasa entre la primera muestra y las posteriores, hasta llegar a las 130. De esta manera, se conocerá con exactitud cada uno de los intervalos de tiempo entre muestra y muestra. Suele ser aproximadamente de 0.155 ms.

Tras muestrear los valores de salida del sensor y registrar los tiempos de muestras, el siguiente paso es el de la integración de la señal muestreada, es decir, se operará la siguiente parte de la ecuación:

$$\int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt$$

En primer lugar, se calcula el área comprendida entre cada intervalo y se suman todas, haciendo uso de un método aproximado a partir de rectángulos. Por ejemplo, en el instante  $t_{i-1}$  la tensión es  $V_{i-1}$ , en el  $t_i$  la será  $V_i$ . La tensión media,  $V_i$ , en dicho intervalo ( $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ ) es:

$$Vm_{i-1} = \frac{V_i + V_{i-1}}{2}$$

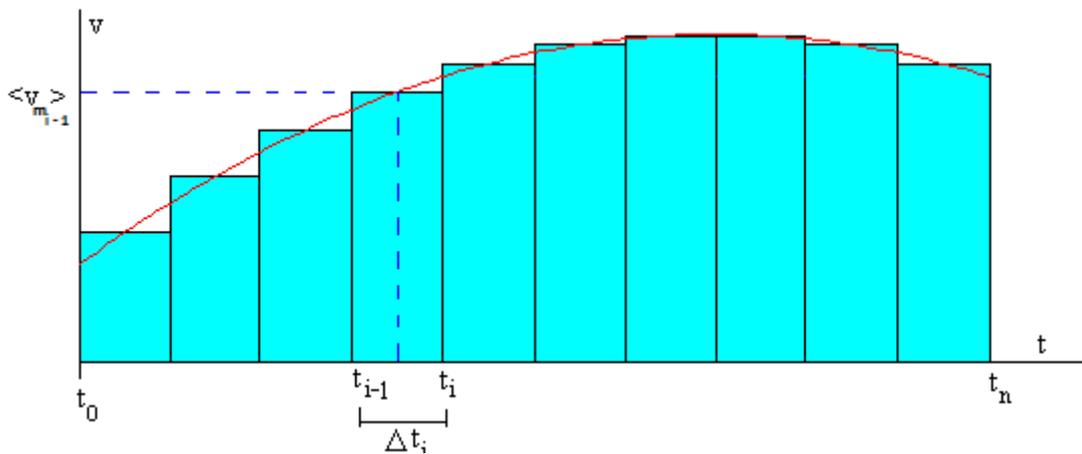


Figura V.6. Integración de la señal

Por tanto, el área encerrada durante un período ( $T = \sum \Delta t_i$ ), tras realizar las 130 muestras, viene por:

$$\sum_1^{130} Vm_{i-1} \cdot \Delta t_i$$

Finalmente, para completar la expresión se elevará al cuadrado el término de  $V_{m_{i-1}}$ , a continuación se dividirá todo el sumatorio por el período T (aproximadamente 20 ms) y se realizará la raíz cuadrada sobre toda la operación. La expresión quedaría de la siguiente manera:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_1^{130} \left(\frac{V_i + V_{i-1}}{2}\right)^2 \cdot (t_i - t_{i-1})}$$

Por último, tras haber calculado el valor eficaz de la señal acondicionada, éste se multiplicará por un factor que está determinado por la sensibilidad del sensor y por la ganancia del amplificador diferencial.

El método explicado en este apartado permite conocer en cada momento el valor de la corriente que circula en la carga, aunque se produzca un incremento de la temperatura en la misma, lo que quiere decir que no es necesario conocer el valor de la resistencia para obtener el resultado. Además, permite determinar la intensidad eficaz de cualquier señal, independientemente de su forma.

### V.1.3 FRAGMENTO 3

El siguiente paso para obtener la potencia entregada a la carga es determinar la tensión entre sus bornes. Esta vez, se ha optado por un calibrado en vez de aplicar la expresión de valor eficaz, por lo tanto, la señal que recibirá el CAD del microcontrolador es una tensión de tipo continua directamente proporcional al voltaje en la carga.

Previamente, para implementar la curva de calibración en el código, se ha realizado múltiples medidas de tensión en la carga y su equivalente valor digital. Luego a partir de estos puntos, se ha trazado la respectiva curva de calibración y deducido, gracias al software TableCurve 2D.

Para llevar a cabo este proceso se realizarán dos acciones: en primer lugar, se toma el valor de la muestra de tensión continua en un instante de tiempo; seguidamente, se relaciona con su respectivo valor calibrado, que equivaldrá al verdadero valor de tensión eficaz.

VALOR EFICAZ AC (V)	VALOR DIGITAL (adimensional)
205.6	142
194.7	121
182.3	104
164.5	85
142.7	66
124.2	52
108	41
82.6	27
69.8	18
61.3	13
47.4	4
43.1	2
38.4	0
0	0

*Tabla V.1. Toma de datos para calibración*

En la Figura V.7, se aprecia la curva de calibrado expuesta anteriormente.

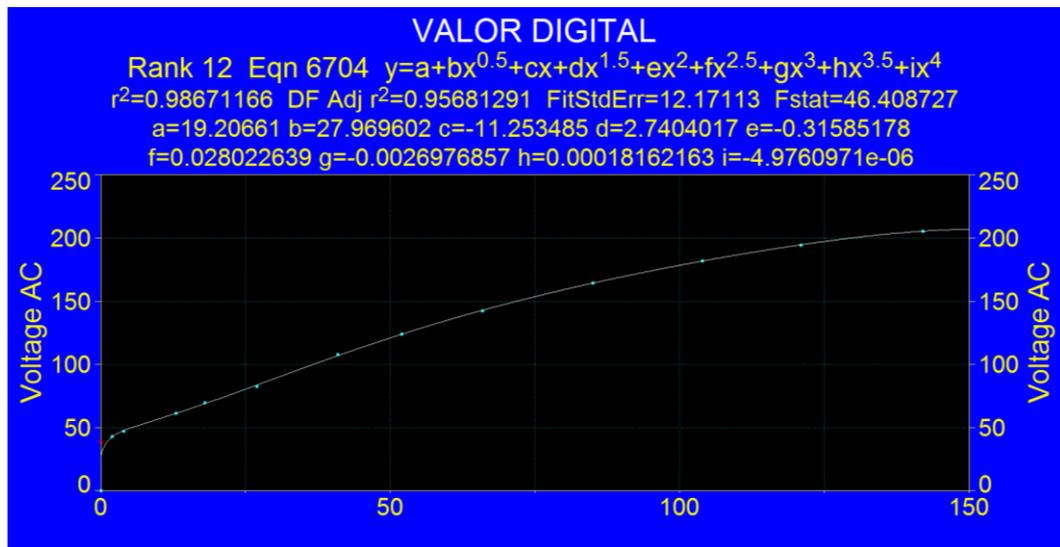


Figura V.7 Curva de Calibrado Table Curve 2D

La fórmula asociada a dicha curva corresponde con:

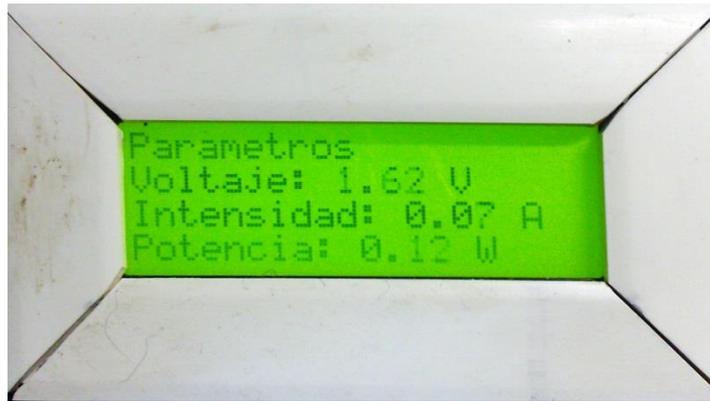
$$y = a + bx^{0.5} + cx^1 + dx^{1.5} + ex^2 + fx^{2.5} + gx^3 + hx^{3.5} + ix^4$$

Se observa la imposibilidad de obtener valores de tensiones inferiores a los 38.4V, el dispositivo los contemplará como 0, esto sucede cuando a dichos voltajes la carga no realiza consumos.

#### V.1.4 FRAGMENTO 4

En esta parte del código disponemos del voltaje y la intensidad, procediendo a multiplicar ambos valores y se los presentamos por pantalla.

- **Cálculo de la potencia:** se multiplica el voltaje e intensidad siguiendo la fórmula de  $P = V * I$ . Posteriormente se guarda en memoria.
- **Presentación en pantalla:** tras obtener la potencia final, ésta se presenta en pantalla a la vez que se presenta el voltaje y la intensidad (Figura V.8).



*Figura V.8 Presentación en pantalla del Consumo Eléctrico*

### V.1.5 AVISO INMEDIATO DEL LÍMITE DE POTENCIA

El sistema está dotado de un led que avisa al usuario que se está acercando a valores de potencia elevados y no soportables por el sistema.

La señal indicadora será de tipo lumínica con una frecuencia de parpadeo variable dependiendo del valor de la intensidad. Se ha diseñado para que la velocidad del parpadeo se produzca de la siguiente manera para un correcto aviso. Tabla V.2:

<b>Intensidad de funcionamiento del led (A)</b>	<b>Tiempo en alta (ms)</b>	<b>Tiempo en baja (ms)</b>
<b>Menos de 14 A</b>	No opera	No opera
<b>14A - 14,5A</b>	1000	1000
<b>14,5A - 15A</b>	500	500
<b>15A - 15,5A</b>	250	250
<b>15,5A - 16A</b>	125	125
<b>Superior a 16</b>	Permanente	-

*Tabla V.2. Frecuencia de parpadeo lumínico según intensidad*

### V.2 LIBRERÍAS

Debido al elevado número de líneas de código desarrolladas en el proyecto, en el código principal sólo se han dejado las funciones principales, almacenando el resto de sentencias usadas en archivos denominados librerías. Las librerías son archivos

ubicados en una determinada carpeta, que cuando se va hacer uso de alguna de sus sentencias es llamada desde el programa principal. De esta forma, se ahorra multitud de líneas en el programa principal llevando a un mejor entendimiento del mismo. Las librerías usadas en el proyecto han sido tres, dos de ellas para la implementación de fórmulas matemáticas, y otra para la unidad de salida (display).

### **V.2.1 LIBRERÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE FÓRMULAS MATEMÁTICAS**

Son archivos de cabecera de la biblioteca estándar del lenguaje de programación C diseñado para operaciones matemáticas básicas. El empleo de estas librerías está relacionado con las operaciones realizadas en la ecuación de calibrado para la medida de tensión y en la obtención de la intensidad eficaz. En determinados puntos del software es necesaria la resolución de una raíz cuadrada. Para dicho fin se utiliza una función de esta librería denominada `sqrt(x)`.

### **V.2.2 LIBRERÍA PARA EL DISPLAY**

Mediante este código, el display recibe las órdenes pertinentes para mostrar todo aquello que sea necesario en las diferentes funciones implementadas en el sistema. Entre todas las sentencias que incorpora, podemos destacar:

- **Lcd\_begin (caracteres, líneas):** Mediante esta función se inicializa el display, debe ir colocada en la función `setup()` de nuestro microcontrolador. Consiste en enviar una serie de comandos desde el microcontrolador para que el display se active, por ejemplo, si se quiere activar un display de 16 caracteres y 2 líneas, debo colocar la sentencia `Lcd_begin (16,2)`.
- **Lcd\_setCursor (carácter, línea):** esta función indica al display desde el microcontrolador, que debe situarse en el carácter y línea indicado para presentar en pantalla el texto enviado con comienzo en dicha posición.

Lcd\_setCursor (0,0) significa, por tanto, que empieza a escribir en el carácter 0 de la línea 0.

- **Lcd\_clear ()**: mediante esta función, se limpia la pantalla.

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS**  
**EXPERIMENTALES**

## Capítulo VI. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el presente capítulo se compara el funcionamiento del dispositivo proyecto con sistemas comerciales tales como multímetros y vatímetros.

Se realizan las comparaciones teniendo en cuenta distintas cargas as porcentajes de regulación del Triac. Ambas comparativas se realizan tanto tensión como de corriente, mientras que la de potencia se realiza con los datos V e I anteriores frente a los proporcionados por un Vatímetro.

### VI.1 COMPARATIVA EN LA MEDIDA DE LA TENSIÓN

Durante su implementación, se comprobó el funcionamiento del calibrado en tensión entre el dispositivo proyectado y un Multímetro True RMS Protek 506, Uso habitual en el laboratorio de Electrónica de la Universidad de La Laguna



Figura VI.1. Resultado Experimental Comparación con Voltaje True RMS

En la Figura VI.2, se muestra la comparación con un multímetro que no cumpla la condición de True RMS.



Figura VI.2. Resultado Experimental Comparación con Voltaje NO True RMS

Para estudiar la respuesta del dispositivo de forma comparativa con otros instrumentos en las medidas de tensión, se compararon éstas tanto para diferentes valores de la carga, como para distintos porcentajes de regulación del triac.

La Tabla VI.1 muestra una primera experiencia donde se pueden observar los valores de tensión medidos por los instrumentos para diferentes cargas.

<b>VOLTAJE PARA DIFERENTES RESISTENCIAS CON TRIAC AL 100%</b>			
$\Omega$	Dispositivo [V]	True RMS [V]	No True RMS [V]
239,2	202,85	213	206,3
190,2	202,85	213	205,7
142,2	205,7	209,8	203,5
49,3	205,5	208,4	201,2
36,8	206,22	206,8	197,7
21,1	206,96	203,4	196

Tabla VI.1. Tabla Comparativa para distintas resistencias de carga

A continuación se muestra una gráfica, Figura VI.3, de la correlación entre los distintos dispositivos y resistencias.

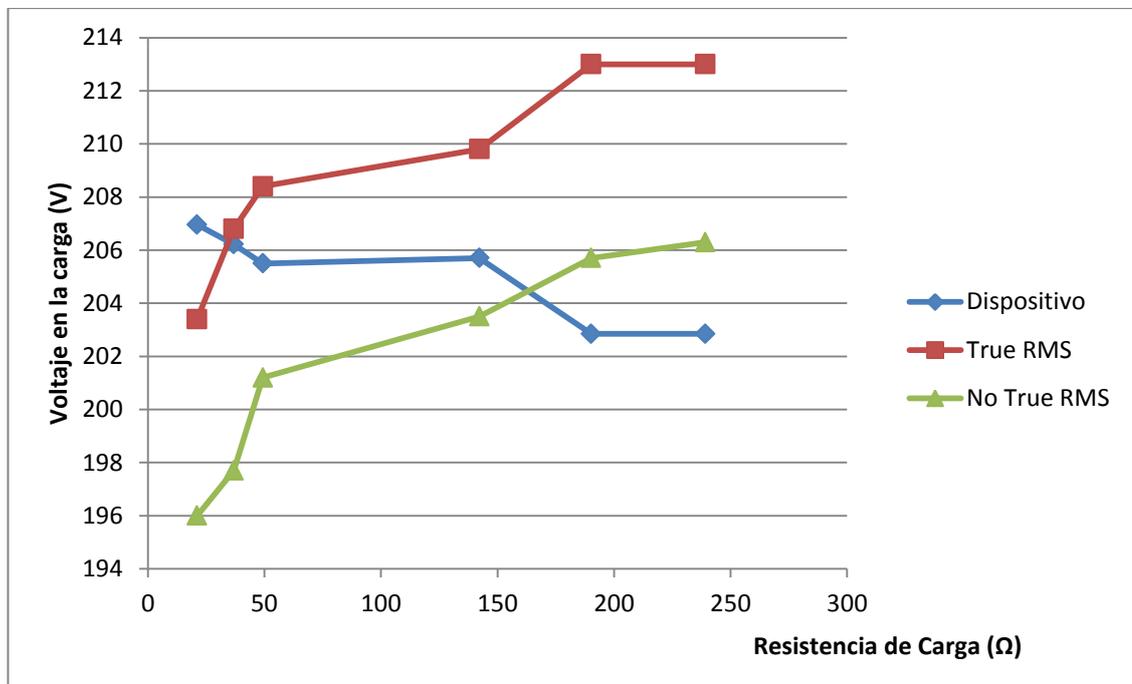


Figura VI.3. Gráfica de Correlación de Voltaje para Distintas resistencias

En la siguiente tabla, se compara la respuesta del dispositivo con la de los multímetros True RMS y No True RMS, mostrando su resultado en la Tabla VI.2 y Figura VI.4.

<b>VOLTAJE REGULANDO TRIAC. R=21.1Ω</b>			
<b>%</b>	<b>Dispositivo [V]</b>	<b>True RMS [V]</b>	<b>No True RMS [V]</b>
<b>10%</b>	0	0,24	0,225
<b>20%</b>	0	0,243	0,229
<b>30%</b>	38,4	30,3	1,6
<b>40%</b>	45,66	39,3	2,28
<b>50%</b>	70,62	60,5	25,06
<b>60%</b>	105,58	91,2	54,5
<b>70%</b>	148,02	135,5	95,2
<b>80%</b>	170,41	162,6	127
<b>90%</b>	198,11	191,6	170,8
<b>100%</b>	207,29	203,4	195,7

Tabla VI.2. Comparativa Voltaje Con Distintos Valores de Regulación del Triac.

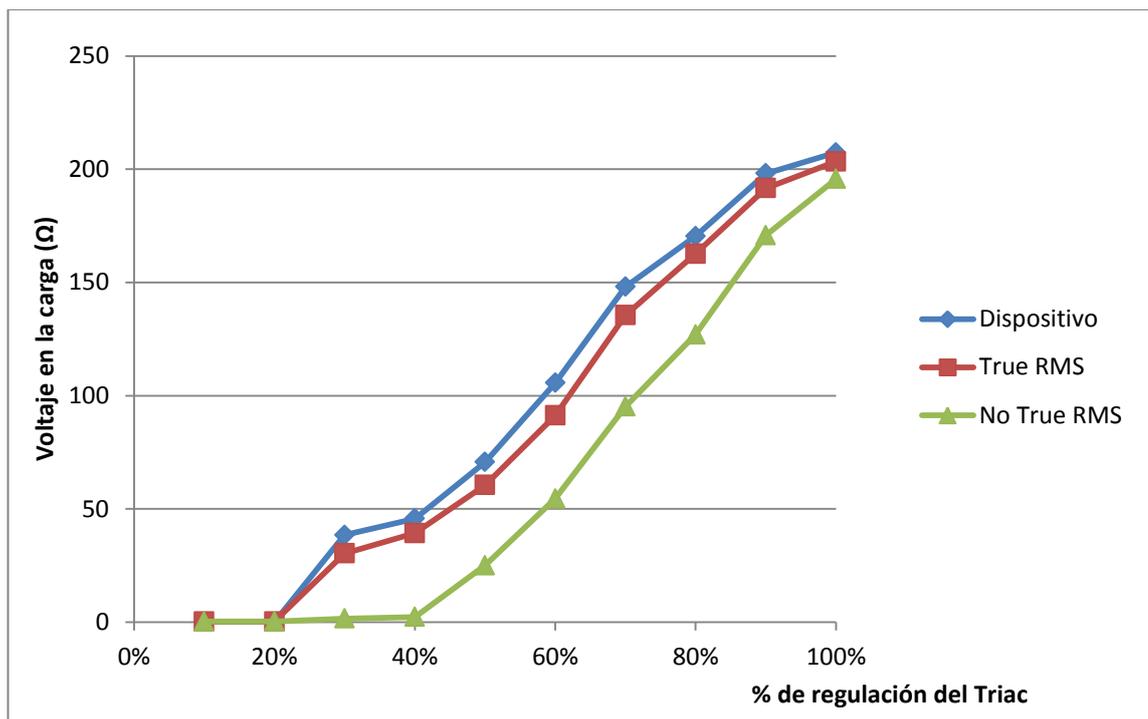


Figura VI.4. Gráfica de Correlación de Voltaje para Distintos Valores de Regulación del Triac

En la Tabla VI.3 y VI.4 se observa la diferencia en tanto por ciento que existen entre el dispositivo y los distintos multímetros.

<b>DIFERENCIAS ENTRE DISPOSITIVO Y MULTIMETRO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS CON TRIAC AL 100%</b>		
$\Omega$	Diferencia con True RMS	Diferencia con No True RMS
<b>239,2</b>	-5,00%	-1,70%
<b>190,2</b>	-5,00%	-1,40%
<b>142,2</b>	-1,99%	1,07%
<b>49,3</b>	-1,41%	2,09%
<b>36,8</b>	-0,28%	4,13%
<b>21,1</b>	1,72%	5,30%

*Tabla VI.3. Diferencias entre dispositivo y los distintos multímetros para resistencias de carga diferentes*

<b>DIFERENCIAS ENTRE DISPOSITIVO Y MULTIMETRO PARA RESISTENCIA FIJA DE 21,1<math>\Omega</math></b>		
%	Diferencia con True RMS	Diferencia con No True RMS
<b>10%</b>	-	-
<b>20%</b>	-	-
<b>30%</b>	21,09%	95,83%
<b>40%</b>	13,93%	95,01%
<b>50%</b>	14,33%	64,51%
<b>60%</b>	13,62%	48,38%
<b>70%</b>	8,46%	35,68%
<b>80%</b>	4,58%	25,47%
<b>90%</b>	3,29%	13,79%
<b>100%</b>	1,88%	5,59%

*Tabla VI.4. Diferencias entre dispositivo y los distintos multímetros para resistencia de carga fija y distintos valores de regulación del Triac.*

Los resultados comparativos para resistencias variables entre el dispositivo y el multímetro True RMS, oscilan entre un 1.72% a resistencias bajas y un -5% a resistencias altas. Mientras que la misma comparativa realizada con un multímetro No True RMS, presenta una oscilación de la diferencia del 5.30% al -1.70%, resistencias bajas y altas respectivamente.

Los resultados de la segunda comparativa, donde la resistencia es de 21.1 $\Omega$  y se realizan las variaciones en el Triac, oscilan entre el 1.88% al 21.09% para el Multímetro True RMS y de 5.59% al 95.83% para el otro Multímetro.

Estos resultados muestran la fiabilidad que produce el sistema a pesar de obtener un 19,158% de error frente a un multímetro True RMS, este error, implica una diferencia al obtener la potencia, más adelante se comprueba si el error es apreciable o despreciable.

## VI.2 COMPARATIVA EN LA MEDIDA DE LA CORRIENTE

A continuación, se comprueba el funcionamiento del cálculo de la intensidad del dispositivo implementado, comparando sus medidas con las obtenidas mediante los distintos multímetros.



Figura VI.5. Resultado Experimental Comparación Intensidad True RMS

En la Figura VI.6 se muestra su comparación con un multímetro que no cumple la condición de True RMS.



Figura VI.6. Resultado Experimental Comparación Intensidad NO True RMS

Para estudiar la respuesta del dispositivo de forma comparativa con otros instrumentos en las medidas de corriente, se compararon éstas tanto para diferentes valores de la carga, como para distintos porcentajes de regulación del triac.

La Tabla VI.5 muestra una primera experiencia donde se pueden observar los valores de corriente medidos por los instrumentos para diferentes cargas.

<b>CORRIENTE PARA DIFERENTES RESISTENCIAS CON TRIAC AL 100%</b>			
$\Omega$	Dispositivo [A]	True RMS [A]	No True RMS [A]
239,2	0,90	0,83	0,80
190,2	1,10	1,05	1,007
142,2	1,43	1,39	1,321
49,3	3,79	3,81	3,71
36,8	5,04	5,08	4,82
21,1	8,74	8,80	8,22

Tabla VI.5. Tabla Comparativa para distintas resistencias de carga

La Figura VI.7, muestra la correlación entre los distintos dispositivos y resistencias.

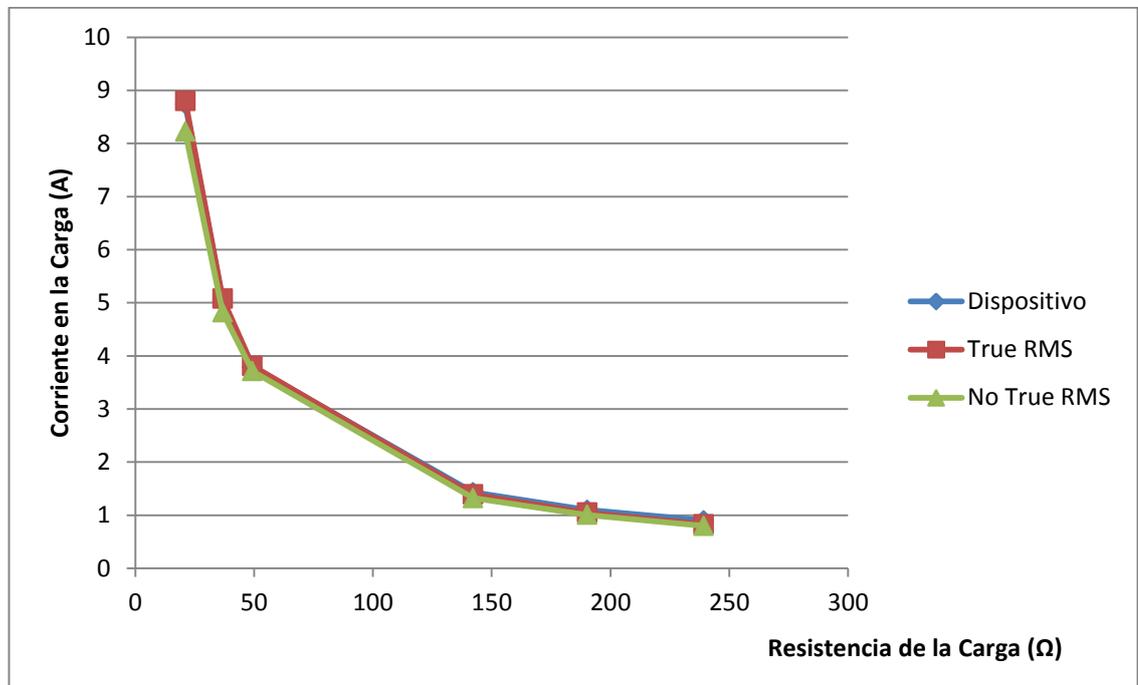


Figura VI.7. Gráfica de Correlación de Corriente para Distintas resistencias

En la siguiente tabla, se compara el dispositivo con los multímetros True RMS y No True RMS, mostrando la comparativa en la Tabla VI.6. En este caso la resistencia es fija y las variaciones son realizadas por el Triac.

INTENSIDAD REGULANDO TRIAC. R=21.1 $\Omega$			
%	Dispositivo [A]	True RMS [A]	No True RMS [A]
10%	0	0	0
20%	0	0	0
30%	0,07	0,08	0
40%	0,67	0,61	0,225
50%	2,39	2,35	1,153
60%	3,85	3,88	2,25
70%	5,11	5,18	3,416
80%	6,3	6,38	4,65
90%	7,82	7,93	6,84
100%	8,45	8,48	7,96

Tabla VI.6. Comparativa Corriente Con Distintos Valores de regulación del Triac.

La Figura VI.8, representa la correlación entre los distintos dispositivos y las variaciones del Triac.

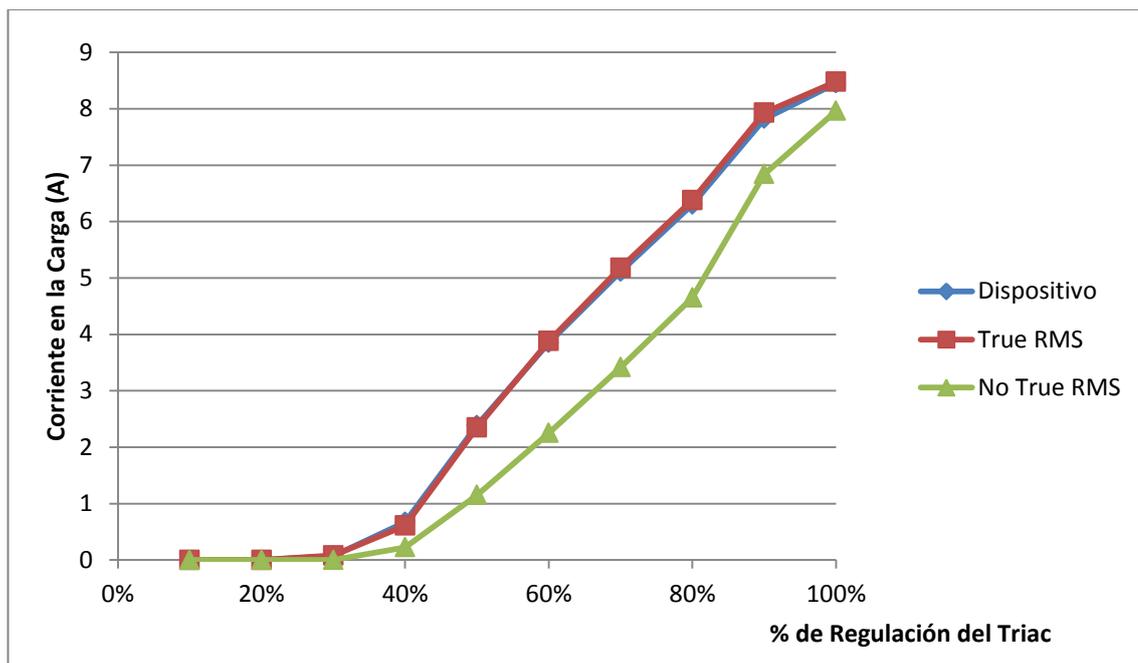


Figura VI.8. Gráfica de Correlación de Corriente para Distintos Valores del Triac

En la Tabla VI.7 y VI.8 se observa la diferencia en tanto por ciento que existen entre el dispositivo y los distintos multímetros.

**DIFERENCIAS ENTRE DISPOSITIVO Y MULTIMETRO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS  
CON TRIAC AL 100%**

$\Omega$	Diferencia con True RMS	Diferencia con No True RMS
239,2	7,78%	11,11%
190,2	4,55%	8,45%
142,2	2,80%	7,62%
49,3	-0,53%	2,11%
36,8	-0,79%	4,37%
21,1	-0,69%	5,95%

*Tabla VI.7. Diferencias entre dispositivo y los distintos multímetros para resistencias de carga diferentes*

**DIFERENCIAS ENTRE DISPOSITIVO Y MULTIMETRO PARA RESISTENCIA FIJA DE 21,1 $\Omega$**

%	Diferencia con True RMS	Diferencia con No True RMS
10%	-	-
20%	-	-
30%	-14,29%	100,00%
40%	8,96%	66,42%
50%	1,67%	51,76%
60%	-0,78%	41,56%
70%	-1,37%	33,15%
80%	-1,27%	26,19%
90%	-1,41%	12,53%
100%	-0,36%	5,80%

*Tabla VI.8. Diferencias entre dispositivo y los distintos multímetros para resistencia de carga fija y distintos valores de regulación del Triac.*

Los resultados comparativos para resistencias variables entre el dispositivo y el multímetro True RMS, oscilan entre un -0.36% a resistencias bajas y un 7.78% a resistencias altas. Mientras que la misma comparativa realizada con un multímetro No True RMS, presenta una oscilación de la diferencia del 5.95% al 11.11%, resistencias bajas y altas respectivamente.

Los resultados de la segunda comparativa, donde la resistencia es de 21.1 $\Omega$  y se realizan las variaciones en el Triac, oscilan entre el -0.36% al 8.96% para el Multímetro True RMS y de 5.80% al 100% para el otro Multímetro.

### **VI.3 COMPARATIVA EN LA OBTENCIÓN DE LA POTENCIA**

El Regulador de Potencia Gestionado Mediante Microcontrolador, funciona correctamente midiendo voltaje e intensidad. Este sistema se ha diseñado para funcionar con

cargas resistivas, por lo cual al operar con voltajes e intensidades en fase, el producto de ambos proporciona la potencia que consume la carga.

Para ello, se ha comparado el dispositivo del presente proyecto con un Vatímetro Meteix PX120. Sin embargo, éste vatímetro no es True RMS, lo que explicaría la diferencia de 118.75W que se observa en la Figura VI.9.



Figura VI.9. Resultado Experimental Comparación Potencia Meteix PX120

La Tabla VI.9 se compara el dispositivo con los multímetros True RMS y No True RMS, haciendo uso de distintas resistencias. Los resultados obtenidos se muestran en.

<b>POTENCIA PARA DIFERENTES RESISTENCIAS CON TRIAC AL 100%</b>				
$\Omega$	Dispositivo [W]	True RMS [W]	No True RMS [W]	Vatímetro [W]
<b>239,2</b>	176,17	176,79	165,04	170,30
<b>190,2</b>	216,70	223,65	207,1399	211,60
<b>142,2</b>	281,10	291,622	268,8235	275,50
<b>49,3</b>	785,34	794,004	746,452	785,40
<b>36,8</b>	1046,00	1050,544	952,914	1040,00
<b>21,1</b>	1751,00	1789,92	1611,12	1690,00

Tabla VI.9. Tabla Comparativa para Distintos Valores de Resistencias de Carga

A continuación, en la Figura VI.10, se muestra la correlación entre los distintos dispositivos y resistencias.

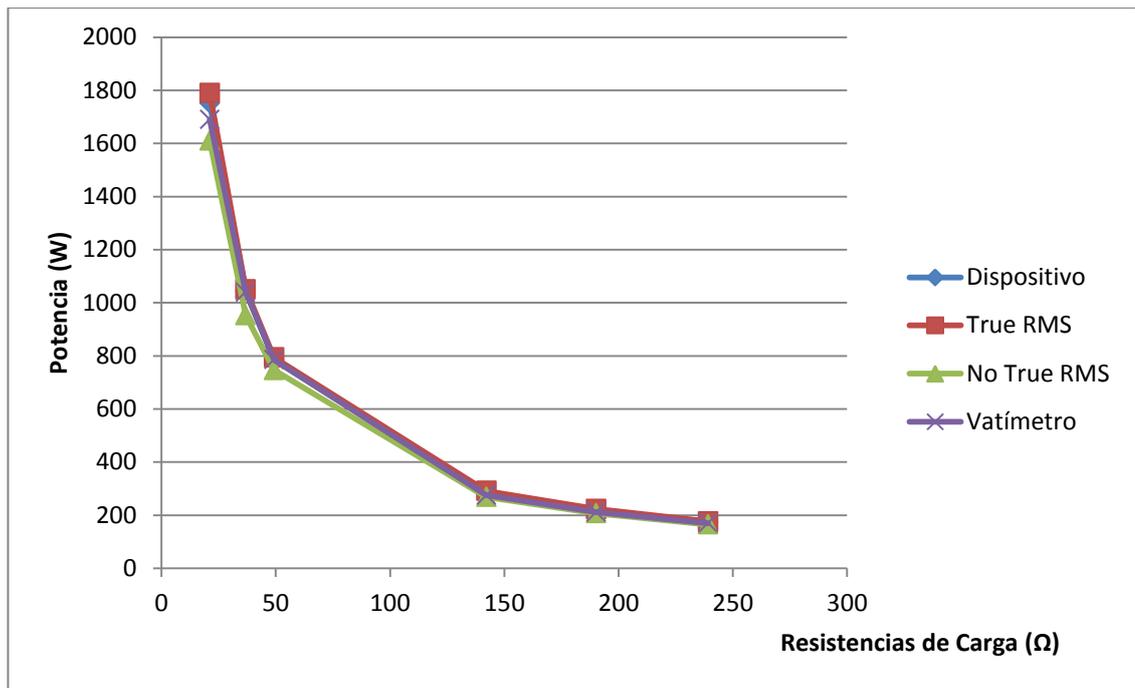


Figura VI.10. Gráfica de Correlación de Potencia para Distintas resistencias

La gráfica muestra como los resultados entre el dispositivo y el multímetro True RMS, se solapan, pasa igual con los datos obtenidos desde el Vatímetro, mientras que los obtenidos con el multímetro No True RMS, son muy diferentes. La gráfica se aproxima visualmente a lo observado en la Figura VI.7, Gráfica de Correlación de Corriente para Distintas resistencias.

En la siguiente tabla, se compara el dispositivo con los multímetros True RMS y No True RMS, mostrando la comparativa en la Tabla VI.10. En este caso la resistencia es fija y las variaciones son realizadas por el Triac.

POTENCIA REGULANDO TRIAC. R=21.1Ω				
%	Dispositivo [W]	True RMS [W]	No True RMS [W]	Vatímetro [W]
10%	0	0	0	0
20%	0	0	0	0
30%	0	2,42	0	0
40%	58,31	23,97	0,51	40,40
50%	175,50	142,17	28,89	124,10
60%	370,23	353,85	122,62	320,30
70%	670,91	701,89	325,20	633,90
80%	1050,00	1037,38	590,55	1030,00
90%	1554,00	1519,38	1168,27	1460,00
100%	1688,00	1724,83	1557,77	1670,00

Tabla VI.10. Comparativa Potencia Con Distintos Valores de Regulación del Triac.

A continuación se muestra una gráfica, Figura VI.11, de correlación entre los distintos dispositivos y las variaciones del Triac.

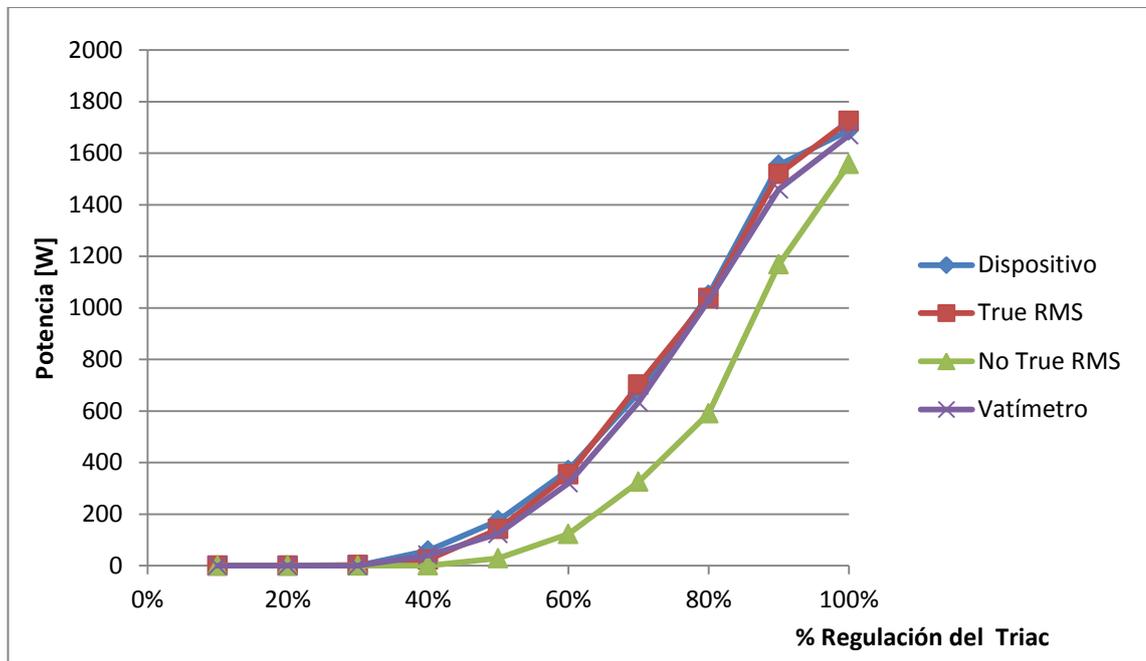


Figura VI.11. Gráfica de Correlación de Potencia para Distintos Valores del Triac

Al igual que en la anterior experiencia, las gráficas tanto del Vatímetro, Multímetro True RMS y el Dispositivo son muy iguales, sin embargo, no sucede igual con el multímetro No True RMS, donde la gráfica es muy diferente a las anteriores.

En la Tabla VI.11 y VI.12 se observa la diferencia en tanto por ciento que existen entre el dispositivo y los distintos multímetros.

<b>DIFERENCIAS ENTRE DISPOSITIVO Y MULTIMETRO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS CON TRIAC AL 100%</b>				
$\Omega$	Diferencia con True RMS	Diferencia con No True RMS	Vatímetro	
<b>239,2</b>	-0,35%	6,32%	3,33%	
<b>190,2</b>	-3,21%	4,41%	2,35%	
<b>142,2</b>	-3,74%	4,37%	1,99%	
<b>49,3</b>	-1,10%	4,95%	-0,01%	
<b>36,8</b>	-0,43%	8,90%	0,57%	
<b>21,1</b>	-2,22%	7,99%	3,48%	

Tabla VI.11. Diferencias entre dispositivo y los distintos multímetros para resistencias de carga diferentes

<b>DIFERENCIAS ENTRE DISPOSITIVO Y MULTIMETRO PARA RESISTENCIA FIJA DE 21,1Ω</b>			
<b>%</b>	<b>Diferencia con True RMS</b>	<b>Diferencia con No True RMS</b>	<b>Vatímetro</b>
<b>10%</b>	-	-	-
<b>20%</b>	-	-	-
<b>30%</b>	-	-	-
<b>40%</b>	59%	99%	31%
<b>50%</b>	19%	84%	29%
<b>60%</b>	4%	67%	13%
<b>70%</b>	-5%	52%	6%
<b>80%</b>	1%	44%	2%
<b>90%</b>	2%	25%	6%
<b>100%</b>	-2%	8%	1%

*Tabla VI.12. Diferencias entre dispositivo y los distintos multímetros para resistencia de carga fija y distintos valores de regulación del Triac.*

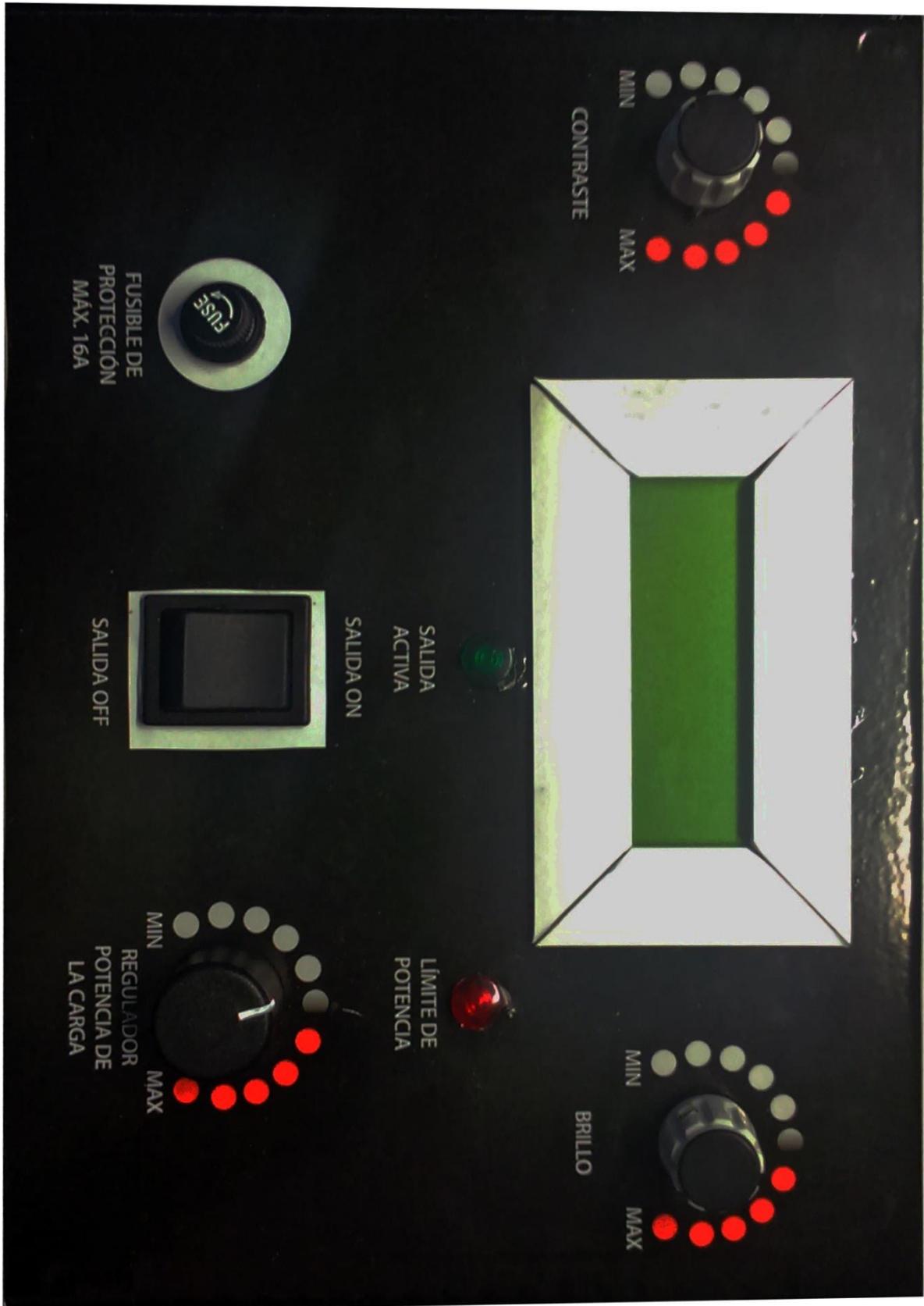
Los resultados comparativos para resistencias variables entre el dispositivo y el multímetro True RMS, oscilan entre un -0.43% a resistencias bajas y un -3.74% a resistencias altas. Mientras que la misma comparativa realizada con un multímetro No True RMS, presenta una oscilación de la diferencia del 4.37% al 8.90%, resistencias bajas y altas respectivamente.

Esta comparación realizada sobre el vatímetro es muy similar a la realizada con el multímetro True RMS, donde la diferencia se encuentra entre 0.57% a 3.48%.

Los resultados de la segunda comparativa, donde la resistencia es de 21.1Ω y se realizan las variaciones en el Triac, oscilan entre el -2% al 59% para el Multímetro True RMS y del 8% al 99% para el otro Multímetro. En el caso del vatímetro esta oscilación es mayor, desde el 1% hasta el 31%.

Por concluyente, el sistema presenta sus limitaciones de acuerdo al correcto funcionamiento del mismo cuando el Triac se encuentra al 50%. Sin embargo, el funcionamiento comienza a mejorar posteriormente y los resultados son adecuados al uso del que será destinado. Para conseguir mejor precisión en el sistema, la medida de voltaje no debe depender de un calibrado, como se explica en capítulos anteriores, sino de realizar las medidas directamente, permitiendo así conocer exactamente la forma de la señal y ajustarla como se realiza con la intensidad.

## Vi.4 IMAGEN DEL DISPOSITIVO



# **CAPÍTULO VII**

## **PRESUPUESTO**

## Capítulo VII. PRESUPUESTO

En este capítulo se detallará el presupuesto del proyecto dividido en gasto de materiales, mano de obra y coste de ejecución. Se cuenta que los precios de los componentes son orientativos debido a que éstos están en continuo cambio.

### VII.1 PLACA CONTROLADORA DE POTENCIA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
Condensador 100 nF 600V	3	0.40	1.20
Resistencias de Seguridad 1W 47 $\Omega$	1	0.40	0.40
Resistencias de Seguridad 1W 8200 $\Omega$	1	0.40	0.40
Resistencias de Seguridad 1W 3300 $\Omega$	1	0.40	0.40
Potenciómetro Vertical con Eje y Botón de mando 220 k $\Omega$	1	2.45	2.45
Diac DB9	1	0.30	0.30
Triac BTA 41-41A/700 V	1	3.85	3.85
Disipador de Calor 30mm Negro Acero	1	3.85	3.85
Arandela de Mica capsula TIP	1	0.10	0.10
Tornillo M4	7	0.02	0.14
Tuerca M4	15	0.01	0.15
Placa Fotosensible para Fabricación de PCBs 200cm <sup>2</sup>	1	7.20	7.20
Bote 250 gramos. Sosa Caustica	0.10	3.98	0.398
Ácido revelador placas fotosensibles, Bote de 3 litros	0.10	8.35	0.835
<b>TOTAL PLACA CONTROLADORA DE POTENCIA</b>			<b>21.64 €</b>

## VII.2 PLACA DE MEDICIÓN DE POTENCIA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
Resistencias de Seguridad 2W 12kΩ	2	0.40	0.80
Resistencias ¼ W 5000 Ω	2	0.10	0.20
Resistencias ¼ W 10000 Ω	8	0.10	0.80
Resistencias ¼ W 47000 Ω	1	0.11	0.11
Resistencias ¼ W 100 Ω	2	0.10	0.20
Regulador de Voltaje 7805	1	0.65	0.65
Regulador de Voltaje 7809	1	0.65	0.65
Disipador de Calor 15mm Cápsula TO220	2	3.85	7.70
Arandela de Mica TO220 18X12mm	2	0.17	0.34
Opto acoplador MCT6	1	4.80	4.80
Zócalo 8 Pines	4	1.49	5.96
Amplificador Operacional ua741	3	1.00	3.00
Diodo Silicio 1n4007	1	0.30	0.30
Diodo Germanio 1n60	3	0.80	2.40
Condensador 10 µf 36V Electrolítico	1	0.30	0.30
Condensador 100 µf Cerámico	1	0.30	0.30
Potenciómetro 2k Ω, para PCB	1	0.35	0.35
Potenciómetro 10k Ω, para PCB	1	0.35	0.35
Chip integrado ACS712	1	4.55	4.55
Chip Integrado Traco Power Tel 3- 0522	1	14.50	14.50
Tornillo M4	7	0.02	0.14
Tuerca M4	15	0.01	0.15
Placa Fotosensible para Fabricación de PCBs 200cm <sup>2</sup>	1	7.20	7.20
Bote 250 gramos. Sosa Caustica	0.10	3.98	0.398
Ácido revelador placas fotosensibles, Bote de 3 litros	0.10	8.35	0.835
<b>TOTAL PLACA DE MEDIDA</b>			<b>56.99 €</b>

### VII.3 PLACA SHIELD ARDUINO MEGA 2560 REV3

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
Pin Macho 2,54 mm	124	0.01	1.24
Conector PCB con tornillo 2 vías	1	1.85	1.85
Placa Fotosensible para Fabricación de PCBs 200cm <sup>2</sup>	1	7.20	7.20
Bote 250 gramos. Sosa Caustica	0.10	3.98	0.398
Ácido revelador placas fotosensibles, Bote de 3 litros	0.10	8.35	0.835
<b>TOTAL PLACA SHIELD ARDUINO MEGA 2560 REV 3</b>			<b>11.53 €</b>

### VII.4 MATERIALES ADICIONALES

Este subcapítulo detalla aquellos materiales que son necesarios para el montaje del sistema dentro de un soporte, y que no pueden ser incluidos dentro de ninguna de los apartados anteriores

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
Base Schuko + Tapa 16 A IP44	1	2.92	2.92
Potenciómetro c/eje plástico Lineal 10k $\Omega$ y botón de mando	1	2.45	2.45
Potenciómetro c/eje plástico Lineal 470 $\Omega$ y botón de mando	1	2.45	2.45
Display LCD	1	24.80	24.80
Placa Arduino Mega 2560 Rev3	1	49.95	49.95
Fuente de Alimentación 12 V Regulable 1,3A	1	15.50	15.50
Porta fusible 5x20 Chasis	1	0.95	0.95
Interruptor Bipolar Negro Faston	1	1.35	1.35
Ventilador 12V 92x92x30	1	9.90	9.90
Lámpara de Neón Verde/Rojo	2	2.85	5.70
Caja ABS a piezas 26x190x85mm	1	19.85	19.85
Varilla Lisa Blanca PVC	1	1.65	1.65
Arduino Cable Pin M/H 10 Uds.	2.6	1.80	4.68
Metro Cable Libre Halógenos 4mm <sup>2</sup>	2	0.50	1.00
Terminal Redondo 4mm <sup>2</sup>	20	0.14	2.80
M <sup>2</sup> Impresión Vinilo 250 Gramos A color, etiqueta.	0.20	22.00	4.40
<b>TOTAL MATERIALES ADICIONALES</b>			<b>150.35 €</b>

## VII.5 MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE HORAS	PRECIO / HORA (€)	PRECIO TOTAL (€)
Diseño, desarrollo y montaje de prototipo	120	42.50	5100.00

## VII.6 PRESUPUESTO TOTAL

DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)
Placa Controladora de Potencia	21.64
Placa de Medición	56.99
Placa Shield Arduino Mega 2560 Rev. 3	11.53
Materiales Adicionales	150.35
Mano de Obra	5100.00
<b>PRECIO FINAL DEL PROYECTO</b>	<b>5340.51 €</b>

# **APORTACIONES Y**

# **CONCLUSIONES**

## APORTACIONES Y CONCLUSIONES

Como resultado del presente Proyecto Fin de Grado, se indican las siguientes aportaciones y conclusiones:

- Se ha desarrollado un sistema de control y medida entregada a una carga, haciendo uso de un integrado ACS712 y de circuitos diseñados para tal fin, siendo enteramente gestionado por un microcontrolador AtMega 2560. Ello ha permitido regular valores de potencia entre 0 y 3680W..
- En todo momento, el sistema presenta en pantalla el voltaje y la intensidad que circula por la carga, así como la potencia entregada a la misma.
- Por otro lado, el sistema permite operar con intensidades de hasta 25 A, pero no se ha podido comprobar su funcionamiento para estos valores al no disponer en el laboratorio de tomas de corriente capaces de aportar corrientes superiores a los 16A. Por tanto, se ha limitado la intensidad máxima de funcionamiento a ese último valor.
- Se ha desarrollado el software correspondiente para el control integral del sistema implementado.

## Posibles mejoras

Respecto a la aplicación final obtenida, esta podría ser mejorada en aspectos tales como:

- Mejorar el dispositivo haciendo uso de tecnología SMD. Ello daría lugar a una disminución de las dimensiones y peso del dispositivo final, facilitando con ello su transporte, etc.
- Posibilidad de implementar un potenciómetro digital en vez del potenciómetro analógico de eje, gestionando el mismo desde el microcontrolador, incorporando para ello un teclado o pantalla táctil para obtener a la salida la potencia deseada directamente.
- Medición de la salida en la carga con detector de cruce por ceros, reduciendo también así el tamaño del circuito y obteniendo el resultado con rapidez. Solo sería necesario de disponer de un teclado numérico para introducir el valor de la carga.

# **BIBLIOGRAFÍA**

## Bibliografía

1. National Instruments. Multisim 12. Manual de Usuario. Actualizada: miércoles 8 de Diciembre de 2014. Disponible en: <http://www.ni.com/wh>
2. Circuitos Útiles. Regulador de Corriente Alterna 3800W. Actualizada: miércoles 26 de febrero de 2014. Disponible en: <http://100ciaencasa.blogspot.com.es/2014/02/circuitos-utiles-02-regulador-corriente.html>
3. HERMOSO Adoración. Circuitos con amplificadores Operacionales. Universidad de Huelva. Amplificador Diferencial (Restador). Disponible en: <http://www.uhu.es/adoracion.hermoso/Documentos/tema-5.pdf>  
Pág. 8.
4. DEPARTAMENTO de Electrónica y Tecnología de Computadores. Amplificadores Operacionales Rectificador. Universidad de Granada. Rectificador de Precisión, Onda Completa Salida Positiva. Disponible en [http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso08-09/ftc/temas/Tema\\_01F\\_AO\\_Rectificador.pdf](http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso08-09/ftc/temas/Tema_01F_AO_Rectificador.pdf) Pág. 10
5. DEPARTAMENTO de Física. Cinemática. Universidad del País Vasco. Movimientos Rectilíneos. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cinematica/rectilineo/rectilineo.htm>
6. ANDRÉS Luis. Ingeniero. Técnicas para la Elaboración de Placas de Circuito Impreso PCI. Disponible en: <http://es.slideshare.net/mcmax911/tecnicas-de-elaboracion-de-pci-pcb>

# **ANEXOS**

# **ANEXO I**

# **ESQUEMÁTICOS**

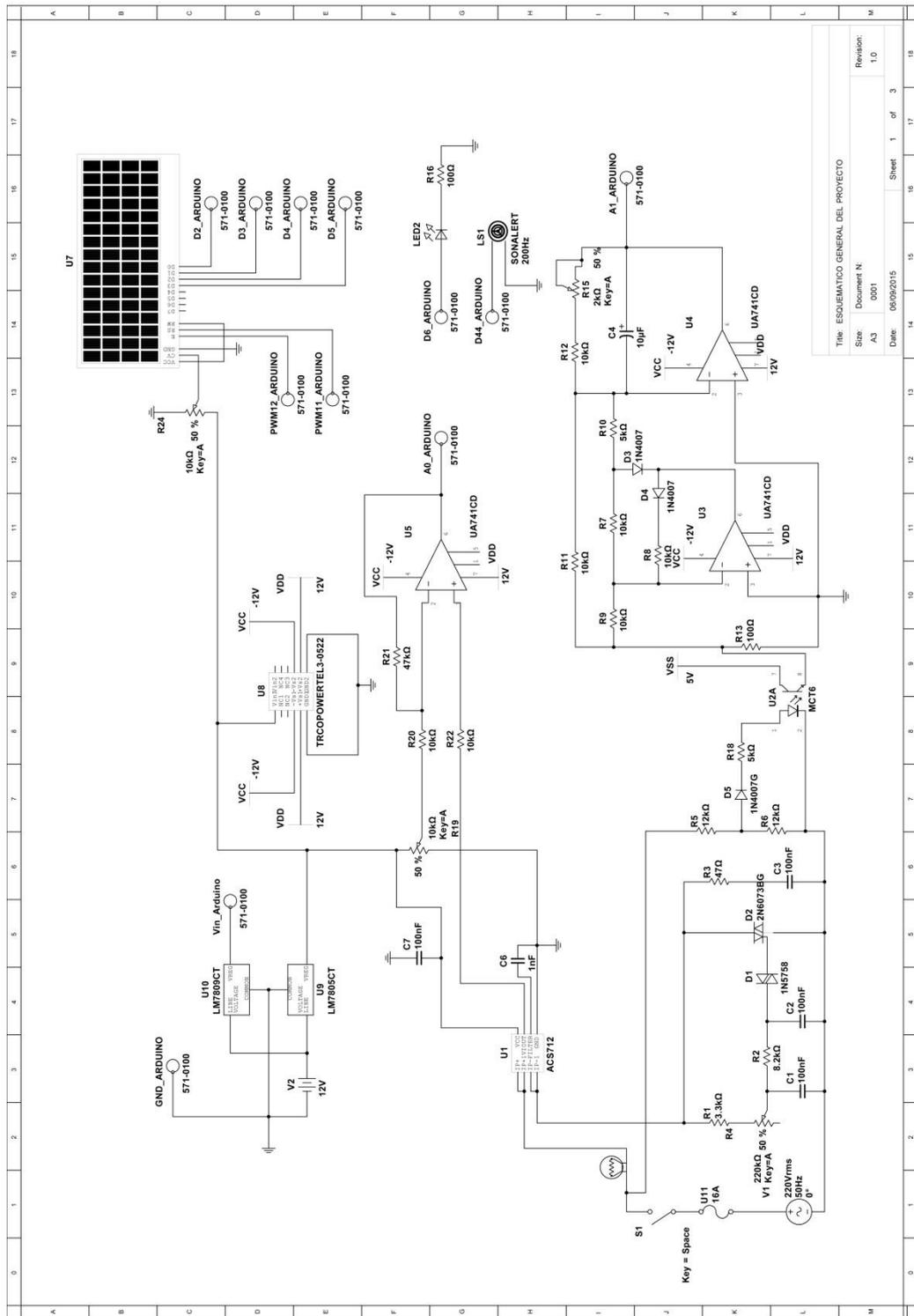
## Anexo I. Esquemáticos

En este apartado, se expone el esquema electrónico de los distintos componentes utilizados durante la realización del proyecto.

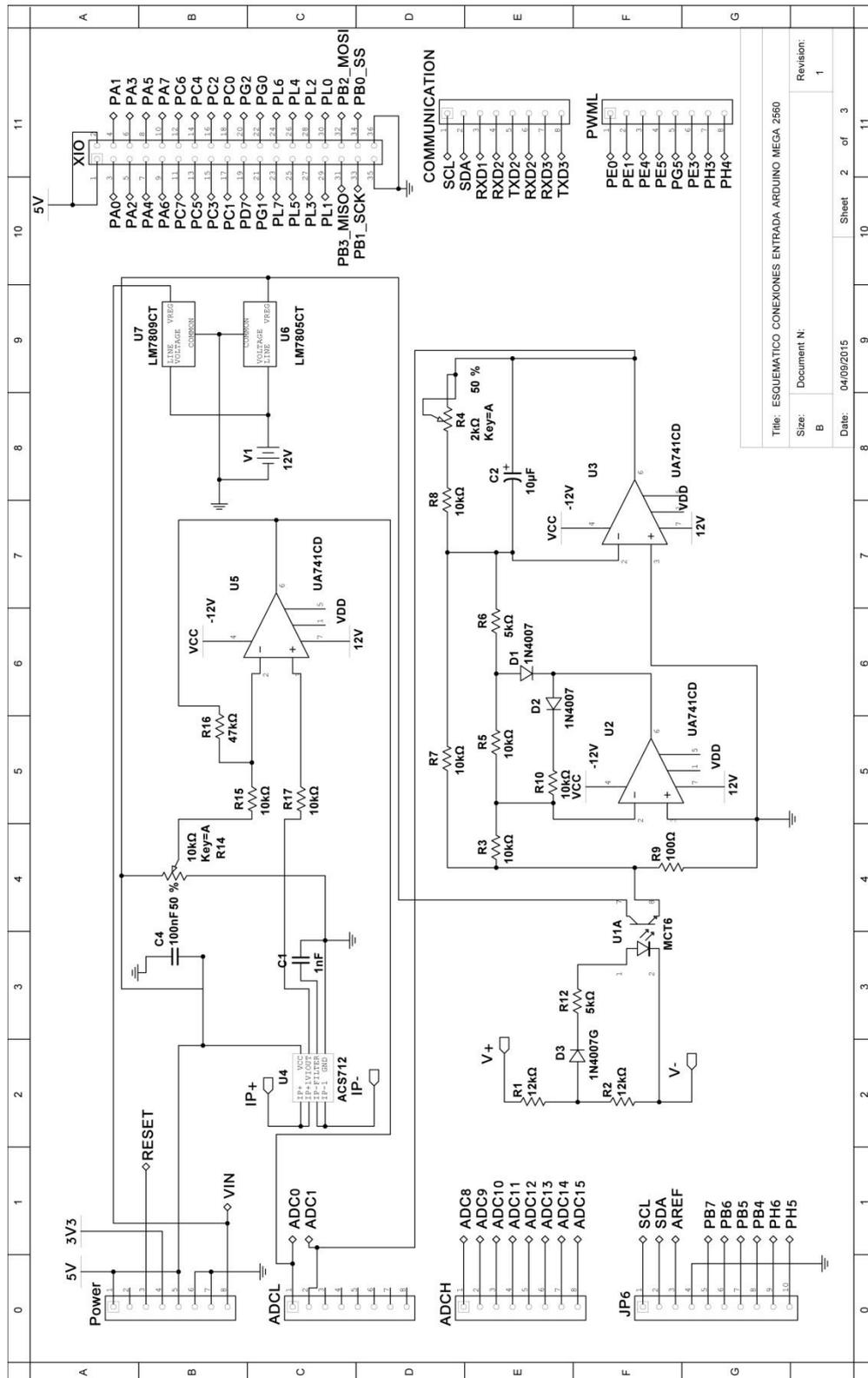
### Contenido:

- Esquemático General del Proyecto 94
- Esquemático Conexiones de Entrada a Arduino Mega 2560 Rev. 3 95
- Esquemático Conexiones de Salida de Arduino Mega 2560 Rev. 3 96

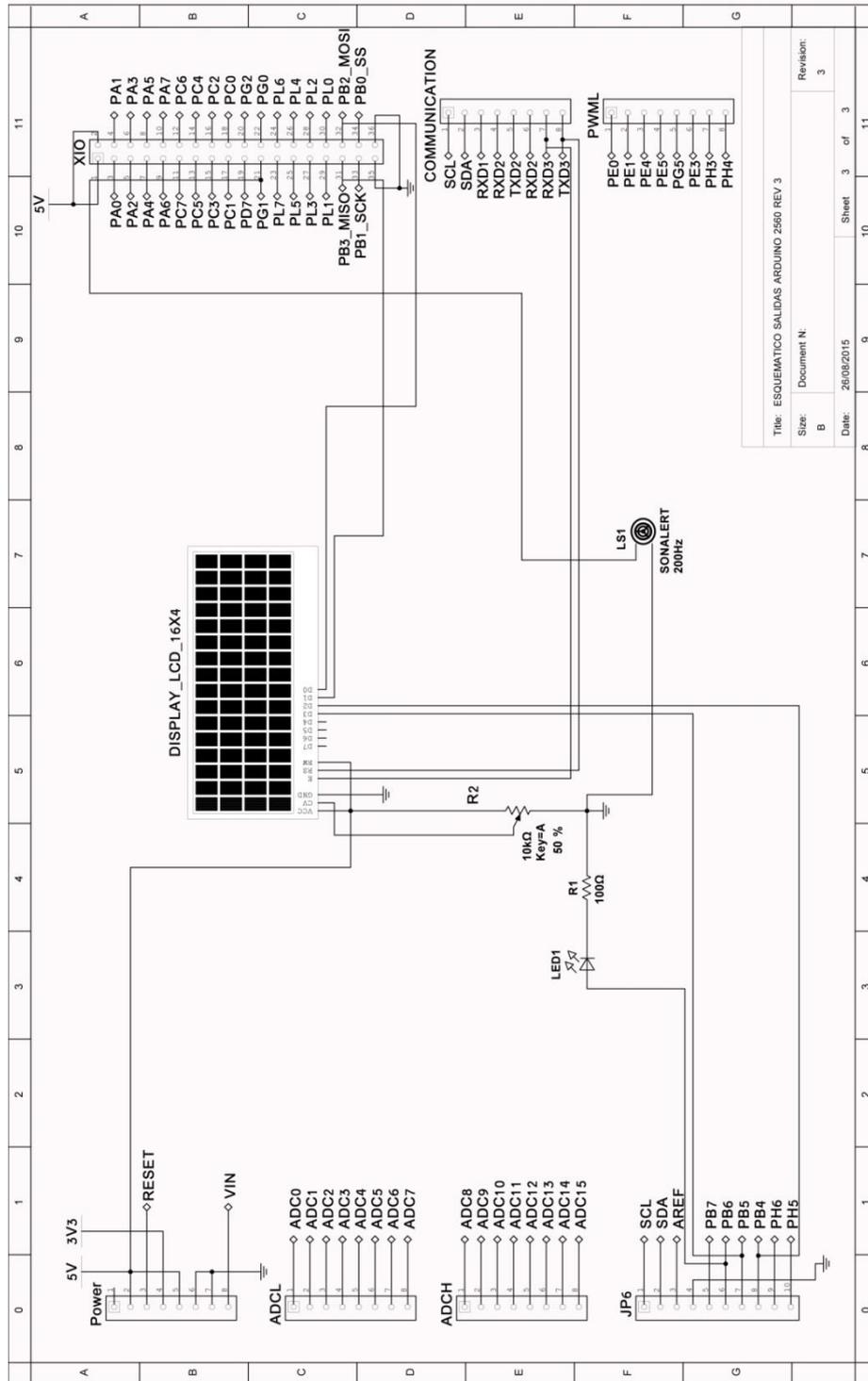
# I.1 Esquema General del Proyecto



## I.2 Esquemático Conexiones de Entrada a Arduino Mega 2560 Rev. 3



# I.3 Esquemático Conexiones de Salida de Arduino Mega 2560 Rev. 3



Title: ESQUEMATICO SALIDAS ARDUINO 2560 REV 3			
Size: B	Document N:	Sheet 3 of 3	Revision: 3
Date: 26/08/2015			

**ANEXO II**

**FOTOLITOS**

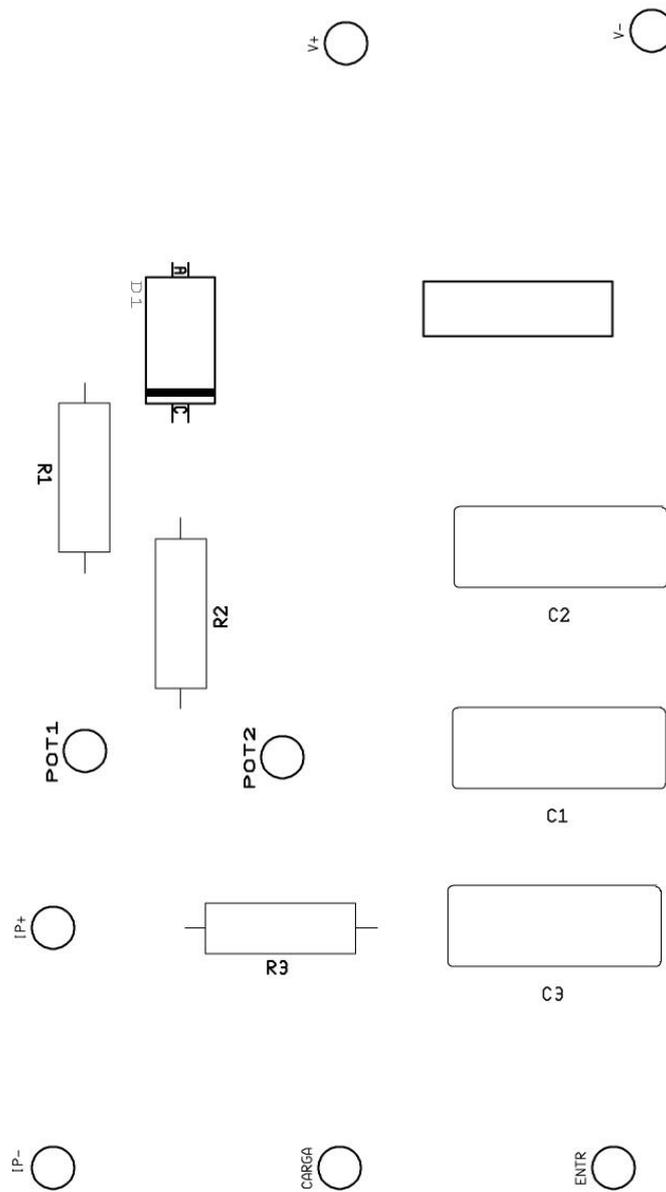
## Anexo II. FOTOLÍTOS

A continuación se adjuntan los fotolitos desarrollados para obtener las distintas placas de circuitos impresos contenidas en el proyecto.

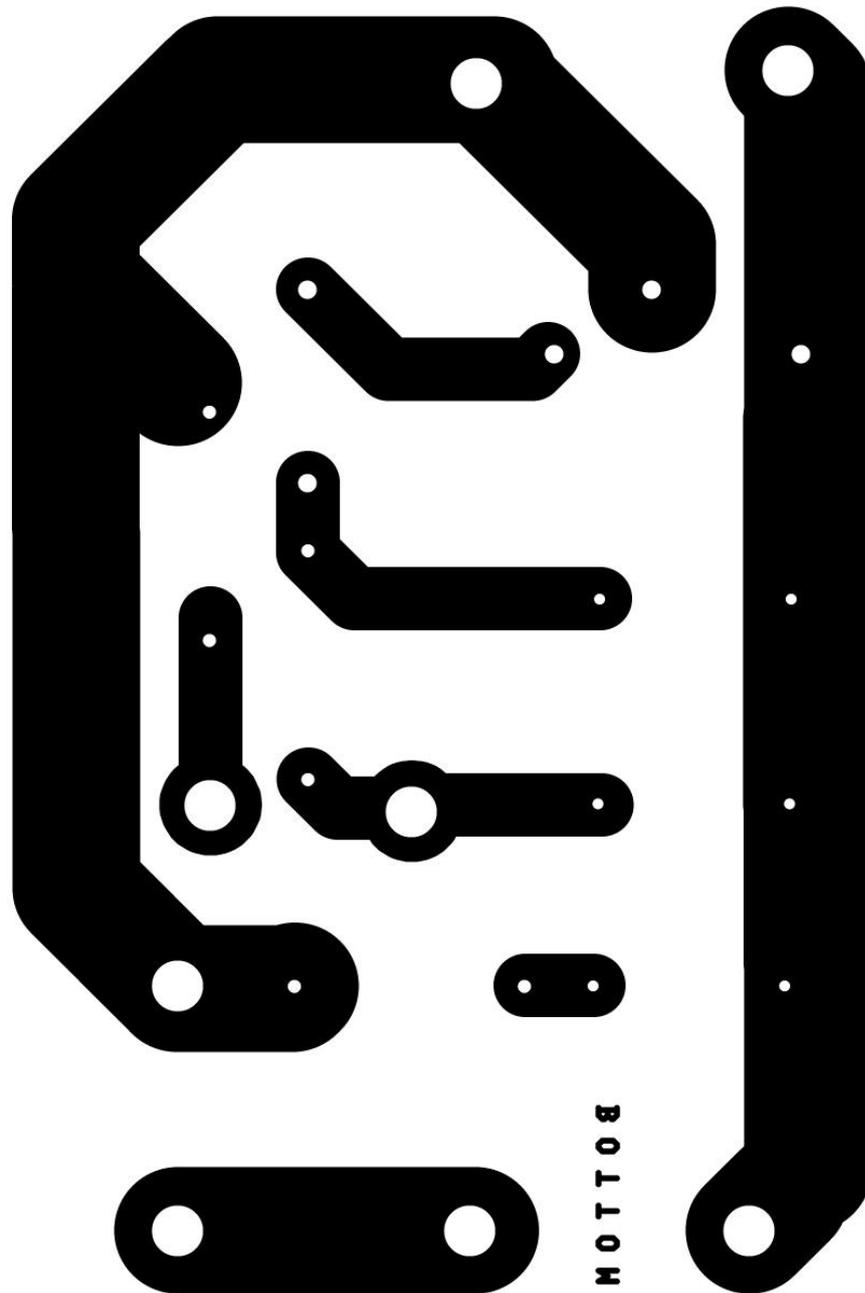
### Contenido:

- Capa Top (superior) – Serigrafía Placa de Control de Potencia 99
- Capa Bottom (inferior) – Capa de pistas de cobre y soldaduras Placa de Control de Potencia 100
- Capa Top – Serigrafía Placa de Medida de Potencia 101
- Capa Bottom – Capa de pistas de cobre y soldaduras Placa de Medida de Potencia 102
- Capa Top – Serigrafía Placa Shield Arduino Mega 2560 Rev3 103
- Capa Bottom – Capa de pistas de cobre y soldaduras Shield Arduino Mega 2560 Rev3 104

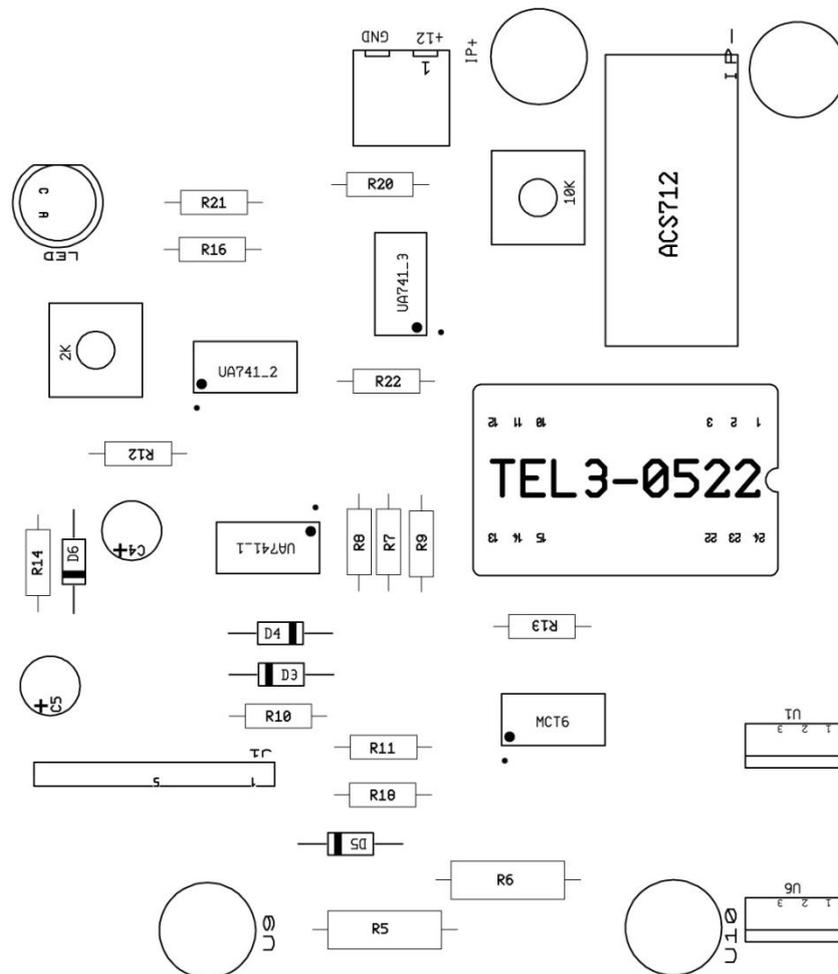
## II.1 Capa Top (superior) – Serigrafía Placa de Control de Potencia



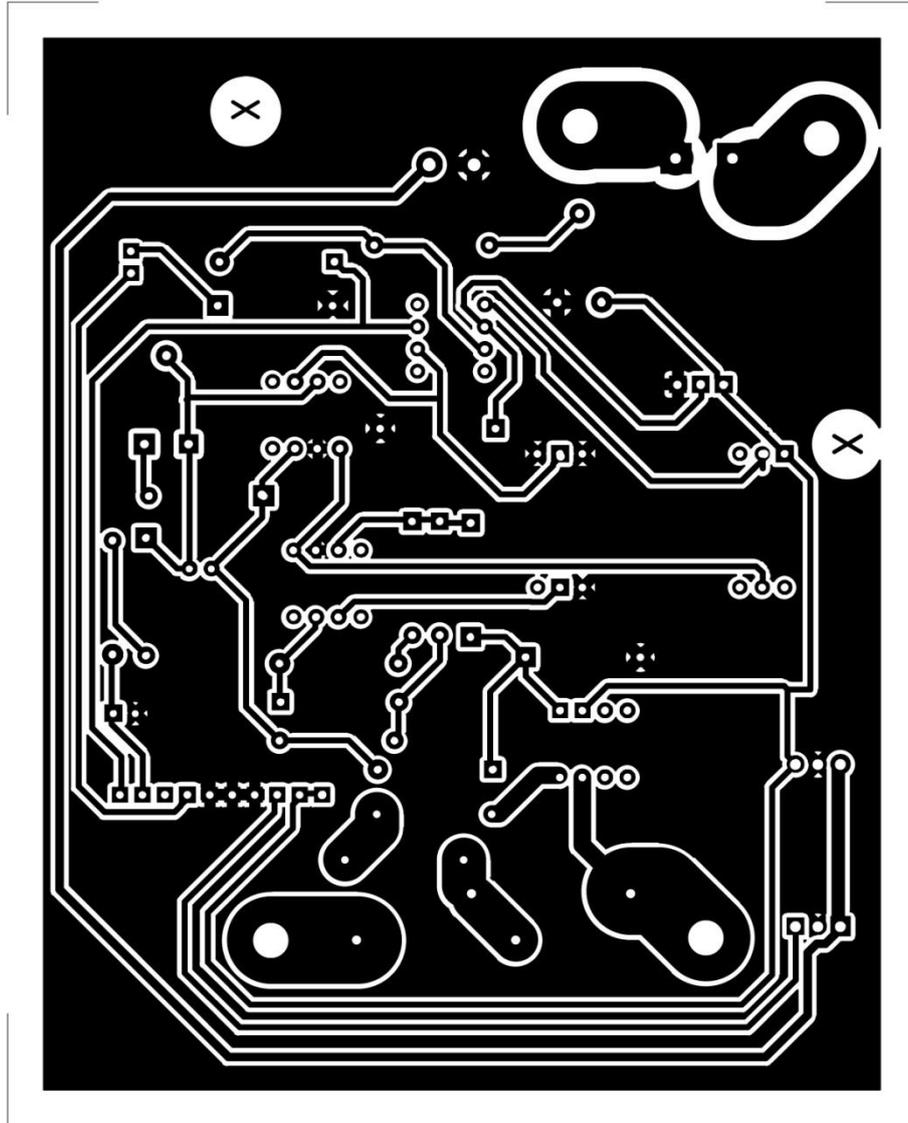
## II.2 Capa Bottom (superior) – Capa de pistas de cobre y soldaduras Placa de Control de Potencia



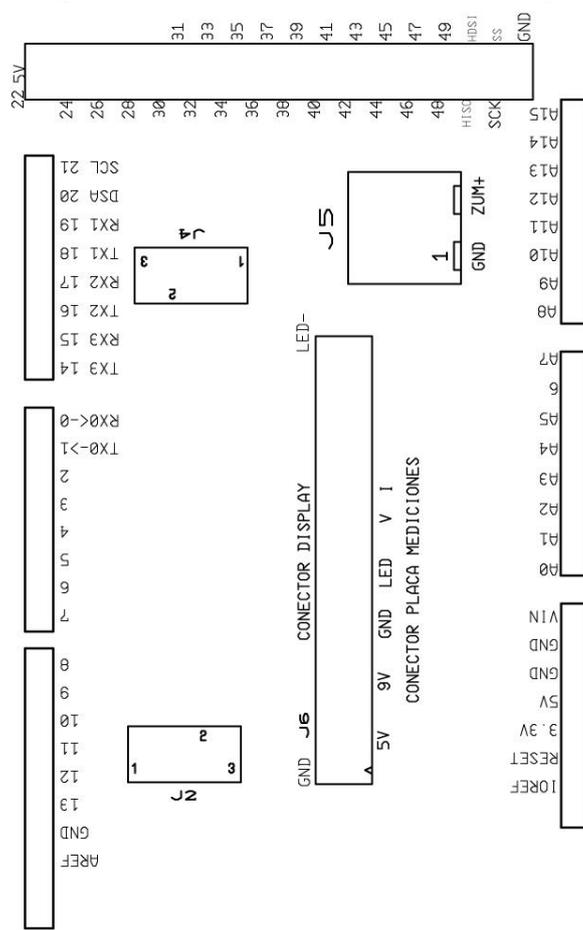
## II.3 Capa Top – Serigrafía Placa de Medida de Potencia



## II.4 Capa Bottom – Capa de pistas de cobre y soldaduras Placa de Medida de Potencia

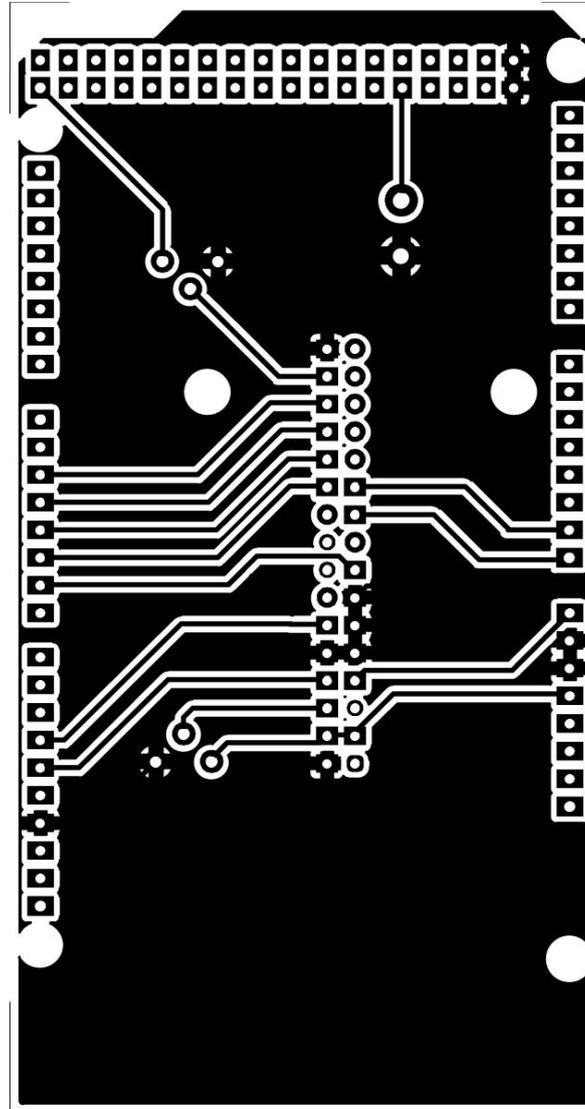


## II.5 Capa Top – Serigrafía Placa Shield Arduino Mega 2560 Rev3



ARDUINO MEGA 2560

## II.6 Capa Bottom – Capa de pistas de cobre y soldaduras Shield Arduino Mega 2560 Rev3



# **ANEXO III**

# **DATASHEETS**

## **Anexo III. DATASHEETS**

En este documento, se exponen los datasheets de los componentes más relevantes utilizados en el desarrollo

### **Contenido:**

- Datasheets AtMega 2560 Rev3 106
- Datasheets Triac BTA 41 600V 114
- Datasheets ACS 712 118
- Datasheets Opto acoplador MCT6 128
- Datasheets TEL -3 0522 132

# III.1 Datasheet AtMega 2560 Rev3

## 1. Pin Configurations

Figure 1-1. TQFP-pinout ATmega640/1280/2560

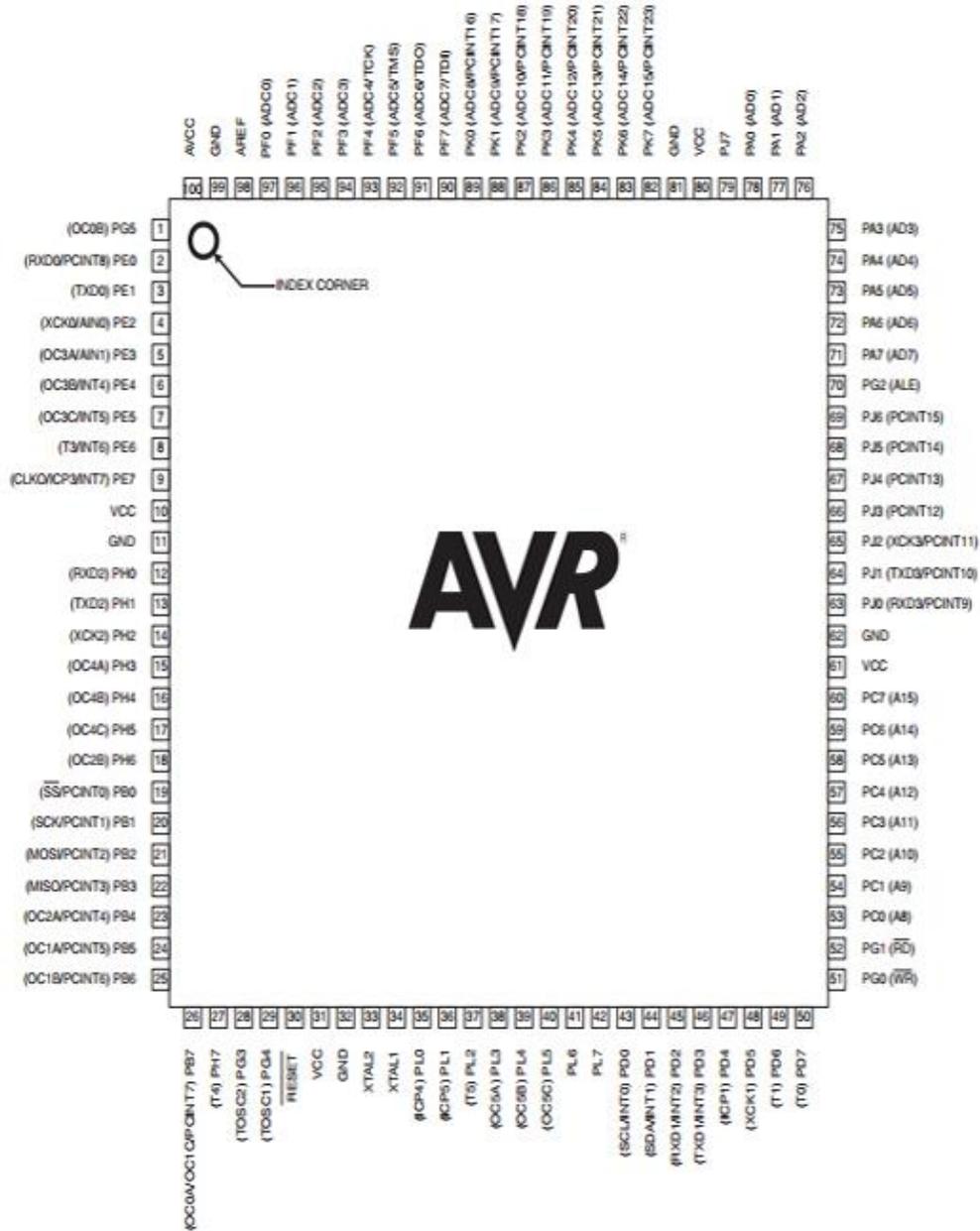


Figure 1-2. CBGA-pinout ATmega640/1280/2560

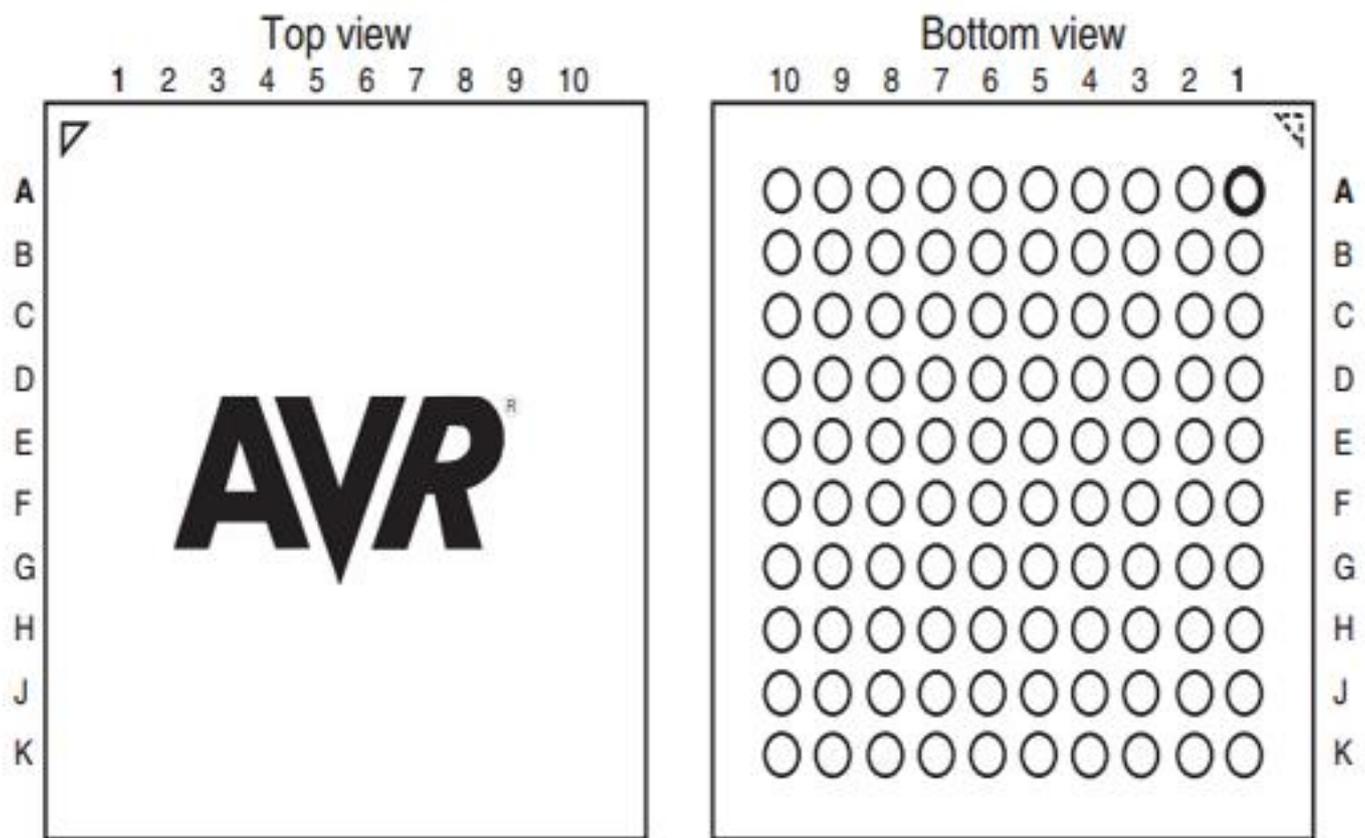


Table 1-1. CBGA-pinout ATmega640/1280/2560

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	GND	AREF	PF0	PF2	PF5	PK0	PK3	PK6	GND	VCC
B	AVCC	PG5	PF1	PF3	PF6	PK1	PK4	PK7	PA0	PA2
C	PE2	PE0	PE1	PF4	PF7	PK2	PK5	PJ7	PA1	PA3
D	PE3	PE4	PE5	PE6	PH2	PA4	PA5	PA6	PA7	PG2
E	PE7	PH0	PH1	PH3	PH5	PJ6	PJ5	PJ4	PJ3	PJ2
F	VCC	PH4	PH6	PB0	PL4	PD1	PJ1	PJ0	PC7	GND
G	GND	PB1	PB2	PB5	PL2	PD0	PD5	PC5	PC6	VCC
H	PB3	PB4	RESET	PL1	PL3	PL7	PD4	PC4	PC3	PC2
J	PH7	PG3	PB6	PL0	XTAL2	PL6	PD3	PC1	PC0	PG1
K	PB7	PG4	VCC	GND	XTAL1	PL5	PD2	PD6	PD7	PG0

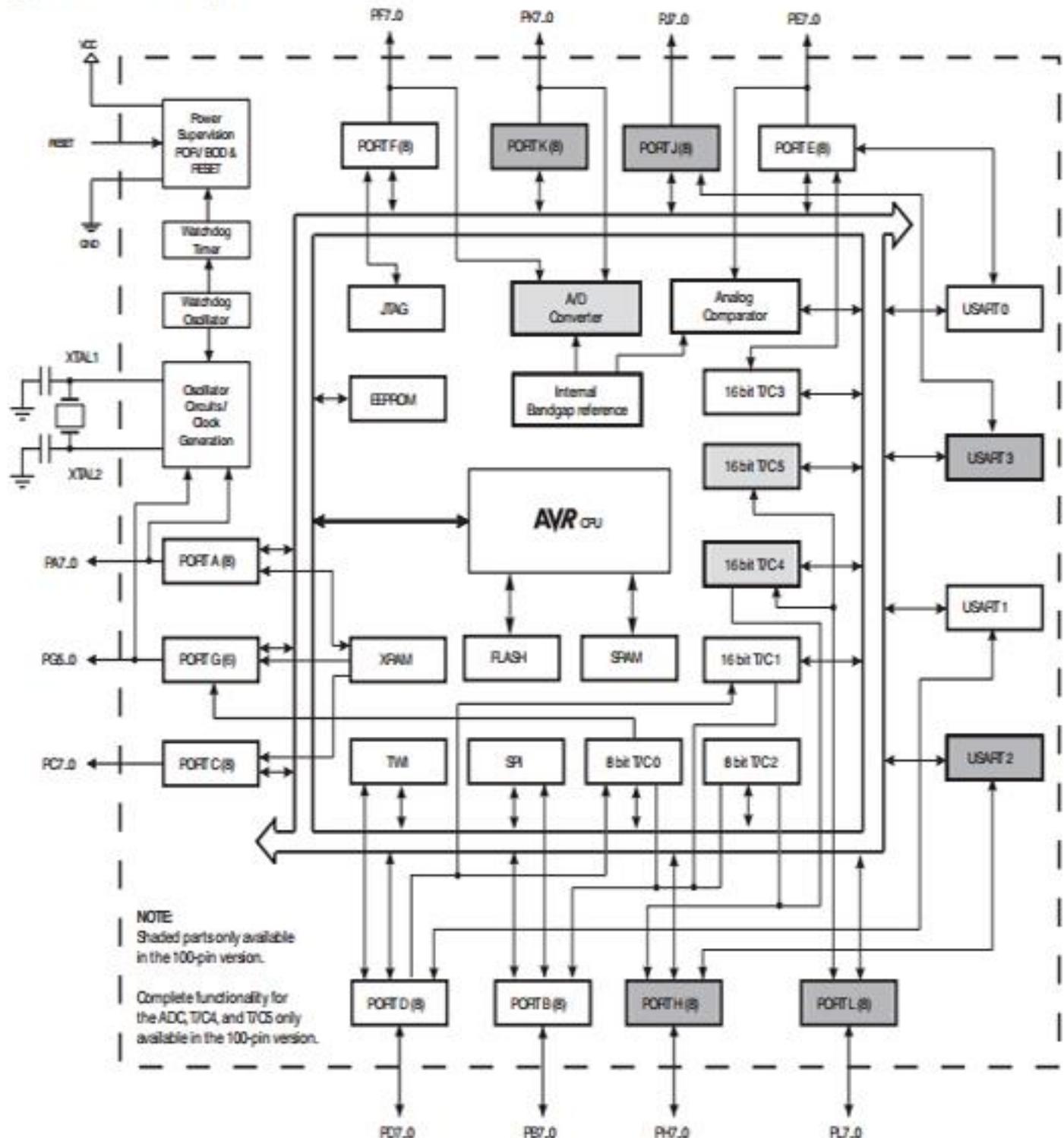
Note: The functions for each pin is the same as for the 100 pin packages shown in [Figure 1-1 on page 2](#).

## 2. Overview

The ATmega640/1280/1281/2560/2561 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega640/1280/1281/2560/2561 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

### 2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



## 2.2 Comparison Between ATmega1281/2561 and ATmega640/1280/2560

Each device in the ATmega640/1280/1281/2560/2561 family differs only in memory size and number of pins. [Table 2-1](#) summarizes the different configurations for the six devices.

**Table 2-1.** Configuration Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	General Purpose I/O pins	16 bits resolution PWM channels	Serial USARTs	ADC Channels
ATmega640	64KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1280	128KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega1281	128KB	4KB	8KB	54	6	2	8
ATmega2560	256KB	4KB	8KB	86	12	4	16
ATmega2561	256KB	4KB	8KB	54	6	2	8

## 2.3 Pin Descriptions

### 2.3.1 VCC

Digital supply voltage.

### 2.3.2 GND

Ground.

### 2.3.3 Port A (PA7..PA0)

Port A is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port A pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port A also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 75](#).

### 2.3.4 Port B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B has better driving capabilities than the other ports.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 76](#).

### 2.3.5 Port C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port C also serves the functions of special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 79](#).

### 2.3.6 Port D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 80](#).

### 2.3.7 Port E (PE7..PE0)

Port E is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port E output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port E pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port E pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port E also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 82](#).

### 2.3.8 Port F (PF7..PF0)

Port F serves as analog inputs to the A/D Converter.

Port F also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port F output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port F pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port F pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PF7(TDI), PF5(TMS), and PF4(TCK) will be activated even if a reset occurs.

Port F also serves the functions of the JTAG interface.

### 2.3.9 Port G (PG5..PG0)

Port G is a 6-bit I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port G output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port G pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port G pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port G also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/1281/2560/2561 as listed on [page 86](#).

### 2.3.10 Port H (PH7..PH0)

Port H is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port H output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port H pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port H pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port H also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 88](#).

### 2.3.11 Port J (PJ7..PJ0)

Port J is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port J output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port J pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port J pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. Port J also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 90](#).

### 2.3.12 Port K (PK7..PK0)

Port K serves as analog inputs to the A/D Converter.

Port K is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port K output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port K pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port K pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port K also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 92](#).

### 2.3.13 Port L (PL7..PL0)

Port L is a 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port L output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port L pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port L pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port L also serves the functions of various special features of the ATmega640/1280/2560 as listed on [page 94](#).

### 2.3.14 $\overline{\text{RESET}}$

Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in "System and Reset Characteristics" on [page 360](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

### 2.3.15 XTAL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

### 2.3.16 XTAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

### 2.3.17 AVCC

AVCC is the supply voltage pin for Port F and the A/D Converter. It should be externally connected to  $V_{CC}$ , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to  $V_{CC}$  through a low-pass filter.

### 2.3.18 AREF

This is the analog reference pin for the A/D Converter.

## 9.4 ATmega2560

Speed [MHz] <sup>(2)</sup>	Power Supply	Ordering Code	Package <sup>(1)(3)</sup>	Operation Range
8	1.8V - 5.5V	ATmega2560V-8AU	100A	Industrial (-40°C to 85°C)
		ATmega2560V-8AUR <sup>(4)</sup>	100A	
		ATmega2560V-8CU	100C1	
		ATmega2560V-8CUR <sup>(4)</sup>	100C1	
16	4.5V - 5.5V	ATmega2560-16AU	100A	
		ATmega2560-16AUR <sup>(4)</sup>	100A	
		ATmega2560-16CU	100C1	
		ATmega2560-16CUR <sup>(4)</sup>	100C1	

- Notes:
1. This device can also be supplied in wafer form. Contact your local Atmel sales office for detailed ordering information and minimum quantities.
  2. See "Speed Grades" on page 357.
  3. Pb-free packaging, complies to the European Directive for Restriction of Hazardous Substances (RoHS directive). Also Halide free and fully Green.
  4. Tape & Reel.

Package Type	
<b>100A</b>	100-lead, Thin (1.0mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
<b>100C1</b>	100-ball, Chip Ball Grid Array (CBGA)

## III.2 Datasheets Triac BTA 41 600V



### BTA40, BTA41, BTB41

40 A standard TRIACs

#### Features

- High current TRIAC
- Low thermal resistance with clip bonding
- High commutation capability
- BTA series UL1557 certified (File ref: 81734)
- Packages are RoHS (2002/95/EC) compliant

#### Applications

- On/off function in static relays, heating regulation, induction motor starting circuits
- Phase control operations in light dimmers, motor speed controllers, and similar

#### Description

Available in high power packages, the BTA/BTB40-41 series is suitable for general purpose AC switching.

The BTA series provides an insulated tab (rated at 2500 V rms).

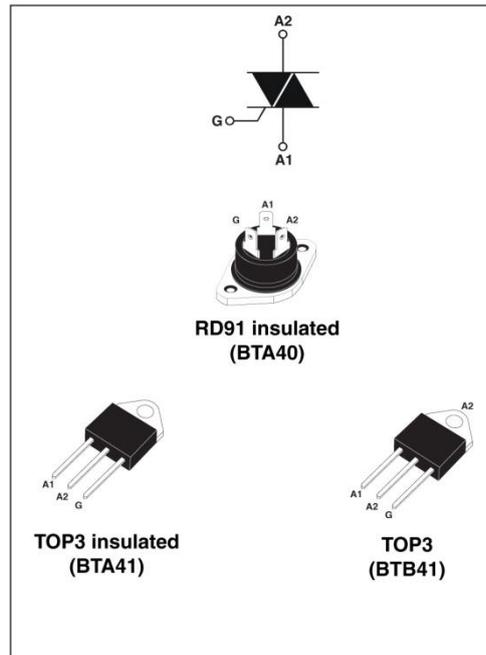


Table 1. Device summary

Symbol	Parameter	BTA40 <sup>(1)</sup>	BTA41 <sup>(1)</sup>	BTB41	Unit
$I_{T(RMS)}$	On-state rms current	40	41	41	A
$V_{DRM}/V_{RRM}$	Repetitive peak off-state voltage	600 and 800	600 and 800	600 and 800	V
$I_{GT}$	Triggering gate current	50	50	50	mA

1. Insulated package

# 1 Characteristics

**Table 2. Absolute maximum ratings**

Symbol	Parameter			Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	On-state rms current (full sine wave)	TOP3	$T_c = 95\text{ °C}$	40	A
		RD91 / TOP ins.	$T_c = 80\text{ °C}$		
$I_{TSM}$	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, $T_j$ initial = $25\text{ °C}$ )	F = 50 Hz	t = 20 ms	400	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	420	
$I^2t$	$I^2t$ Value for fusing	$t_p = 10\text{ ms}$		1000	$A^2s$
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$ , $t_r \leq 100\text{ ns}$	F = 120 Hz	$T_j = 125\text{ °C}$	50	A/ $\mu s$
$V_{DSM}/V_{RSM}$	Non repetitive surge peak off-state voltage	$t_p = 10\text{ ms}$	$T_j = 25\text{ °C}$	$V_{DSM}/V_{RSM} + 100$	V
$I_{GM}$	Peak gate current	$t_p = 20\text{ }\mu s$	$T_j = 125\text{ °C}$	8	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125\text{ °C}$		1	W
$T_{stg}$ $T_j$	Storage junction temperature range Operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	$^{\circ}C$

**Table 3. Electrical characteristics ( $T_j = 25\text{ °C}$ , unless otherwise specified)**

Symbol	Parameter			Value	Unit
$I_{GT}^{(1)}$	$V_D = 12\text{ V}$ $R_L = 33\text{ }\Omega$	I - II - III IV	MAX.	50 100	mA
		ALL	MAX.	1.3	
$V_{GT}$		ALL	MIN.	0.2	V
$V_{GD}$	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3\text{ k}\Omega$ $T_j = 125\text{ °C}$	ALL	MIN.	0.2	V
$I_H^{(2)}$	$I_T = 500\text{ mA}$		MAX.	80	mA
$I_L$	$I_G = 1.2 I_{GT}$	I - III - IV	MAX.	70	mA
		II		160	
$dV/dt^{(2)}$	$V_D = 67\% V_{DRM}$ gate open	$T_j = 125\text{ °C}$	MIN.	500	V/ $\mu s$
$(dV/dt)^c^{(2)}$	$(dI/dt)^c = 20\text{ A/ms}$	$T_j = 125\text{ °C}$	MIN.	10	V/ $\mu s$

1. Minimum  $I_{GT}$  is guaranteed at 5% of  $I_{GT}$  max.
2. for both polarities of A2 referenced to A1

**Table 4. Static characteristics**

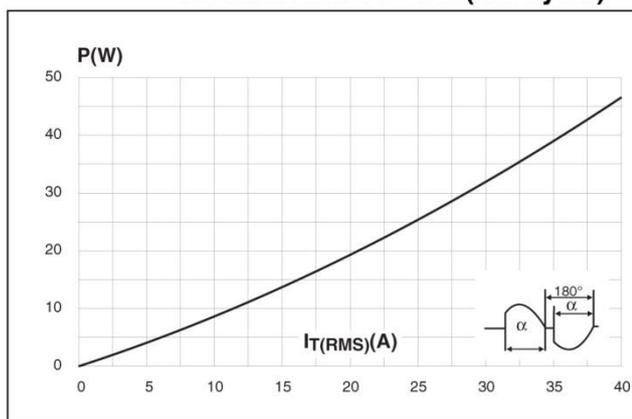
Symbol	Test conditions			Value	Unit	
$V_T^{(1)}$	$I_{TM} = 60\text{ A}$	$t_p = 380\ \mu\text{s}$	$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$	MAX.	1.55	V
$V_{t0}^{(2)}$	Threshold voltage		$T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	MAX.	0.85	V
$R_d^{(2)}$	Dynamic resistance		$T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$	MAX.	10	m $\Omega$
$I_{DRM}$ $I_{RRM}$	$V_{DRM} = V_{RRM}$		$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$	MAX.	5	$\mu\text{A}$
			$T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$		5	mA

1. Minimum  $I_{GT}$  is guaranteed at 5% of  $I_{GT}$  max.
2. for both polarities of A2 referenced to A1

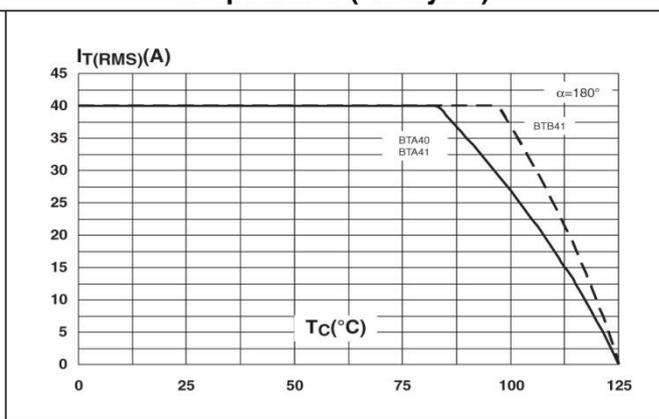
**Table 5. Thermal resistance**

Symbol	Test conditions		Value	Unit
$R_{th(j-c)}$	Junction to case (AC)	RD91 (insulated) / TOP3 insulated	0.9	$^\circ\text{C/W}$
		TOP3	0.6	
$R_{th(j-a)}$	Junction to ambient	TOP3 / TOP3 insulated	50	$^\circ\text{C/W}$

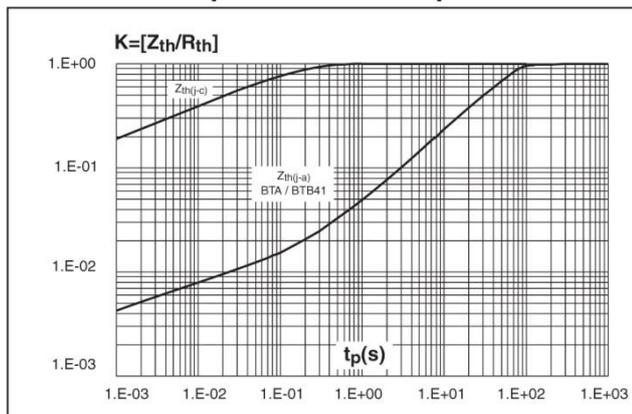
**Figure 1. Maximum power dissipation versus on-state rms current (full cycle)**



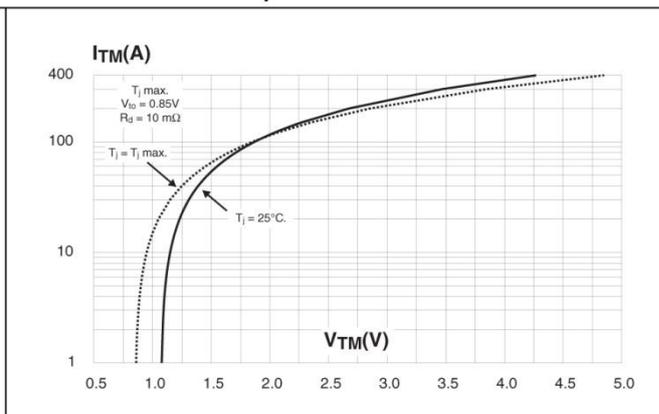
**Figure 2. On-state rms current versus case temperature (full cycle)**



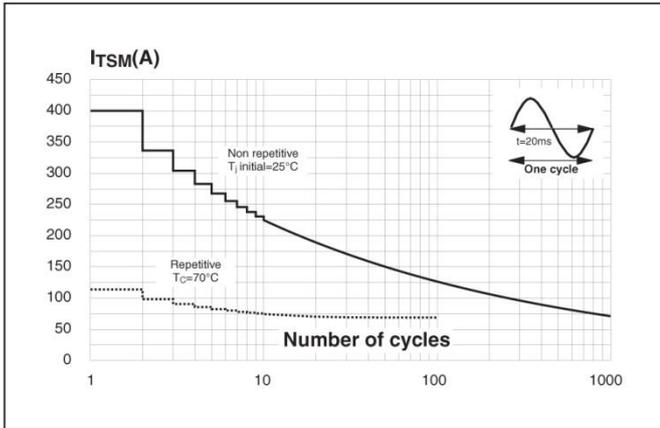
**Figure 3. Relative variation of thermal impedance versus pulse duration**



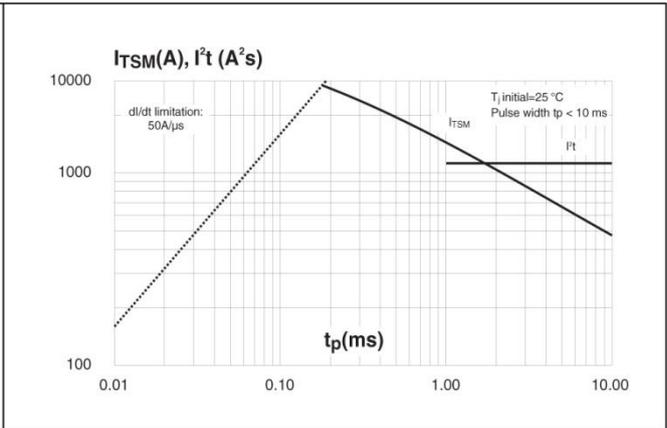
**Figure 4. On-state characteristics (maximum values)**



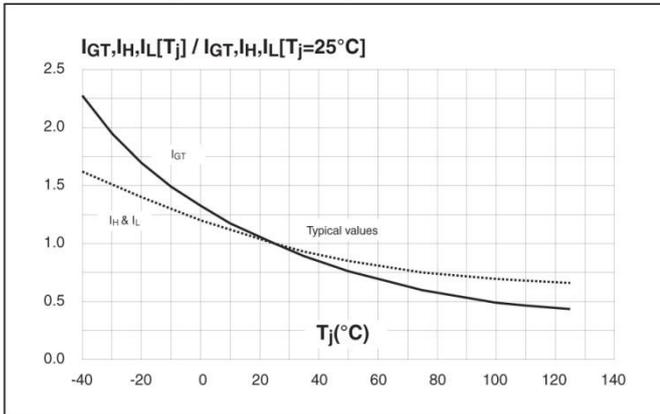
**Figure 5. Surge peak on-state current versus number of cycles**



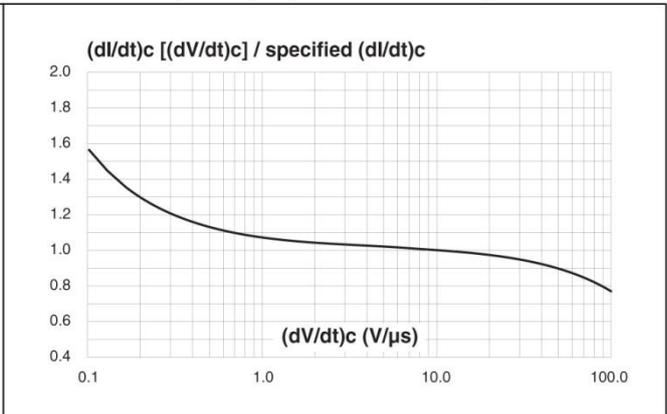
**Figure 6. Non-repetitive surge peak on-state current for a sinusoidal pulse and corresponding value of I<sup>2</sup>t**



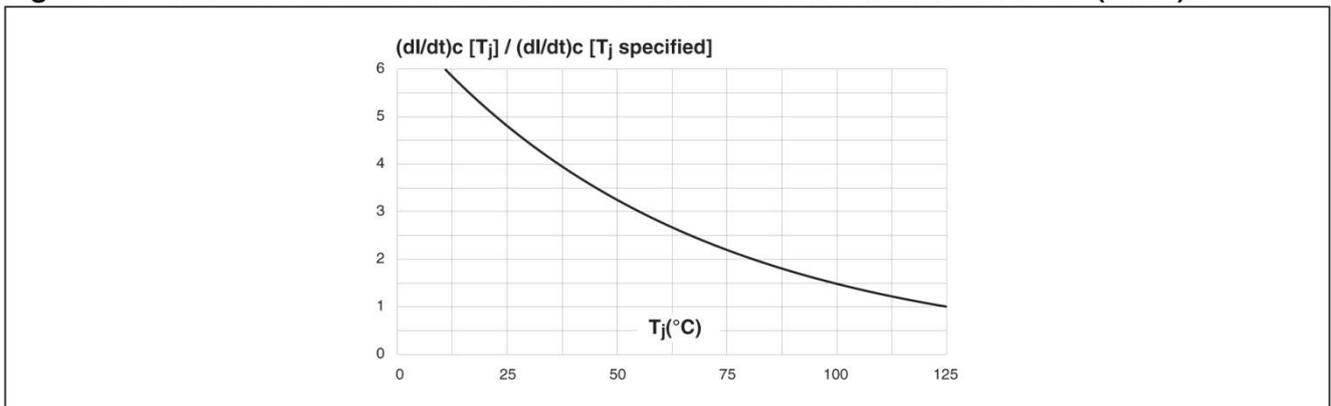
**Figure 7. Relative variation of gate trigger, holding and latching current versus junction temperature**



**Figure 8. Relative variation of critical rate of decrease of main current versus (dV/dt)c (typical values)**



**Figure 9. Relative variation of critical rate of decrease of main current versus (dV/dt)c**



## III.3 Datasheet ACS 712



ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### Features and Benefits

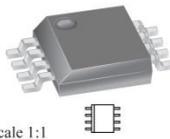
- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TÜV America  
Certificate Number:  
UBV 06 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

#### Description

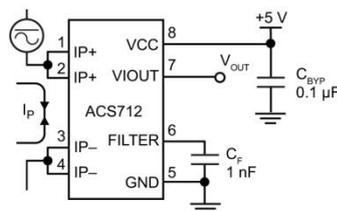
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

*Continued on the next page...*

#### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_P$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

### Selection Guide

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

### Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOUT</sub>		-0.1	V
Output Current Source	I <sub>IOUT(Source)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>IOUT(Sink)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>P</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C

### Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V <sub>ISO</sub>	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V <sub>WFSI</sub>	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V <sub>pk</sub>
Working Voltage for Reinforced Isolation	V <sub>WFRI</sub>	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V <sub>pk</sub>

\* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

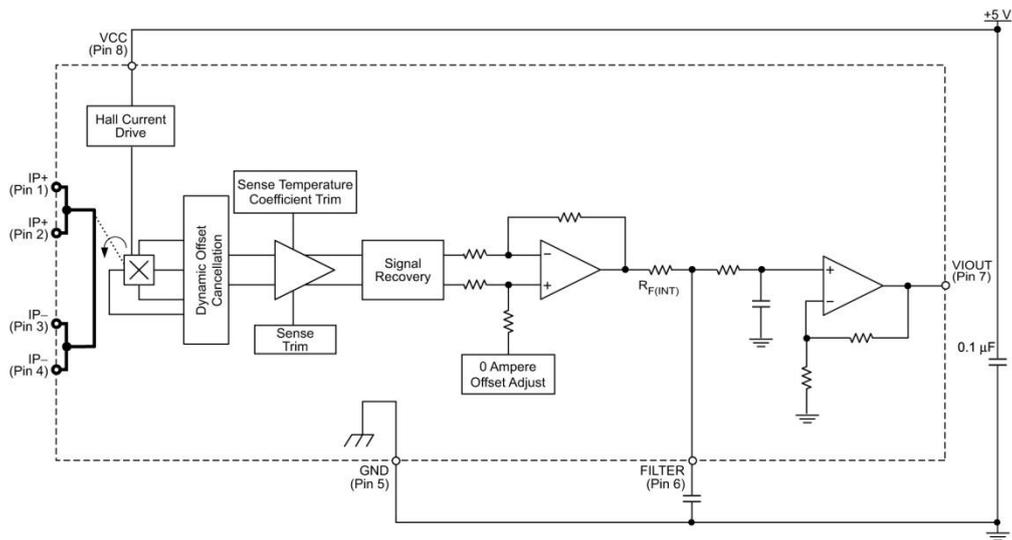


Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

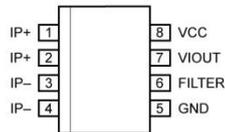
# ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### COMMON OPERATING CHARACTERISTICS<sup>1</sup> over full range of $T_A$ , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	VIOUT to GND	4.7	–	–	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	$f$	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling <sup>2</sup>			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance <sup>3</sup>	$R_{F(INT)}$			1.7		k $\Omega$

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>1G = 0.1 mT.

<sup>3</sup> $R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

### COMMON THERMAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance <sup>2</sup>	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

<sup>1</sup>Additional thermal information is available on the Allegro website.

<sup>2</sup>The Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

4

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.26	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.054	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.008	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 5\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 5\text{ A}$ . Output filtered.

### x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.34	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.07	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 20\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 20\text{ A}$ . Output filtered.

### x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.35	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 30\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 30\text{ A}$ . Output filtered.

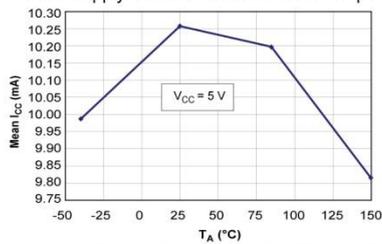


Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

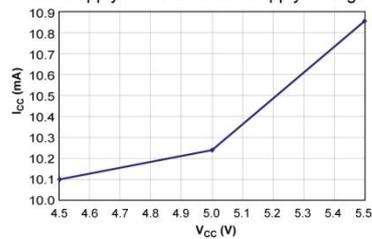
### Characteristic Performance

$I_p = 5\text{ A}$ , unless otherwise specified

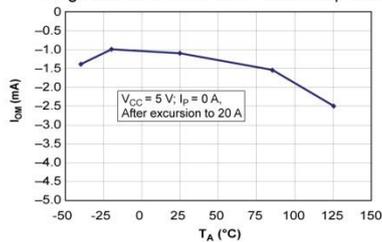
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



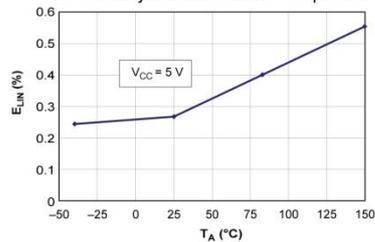
Supply Current versus Supply Voltage



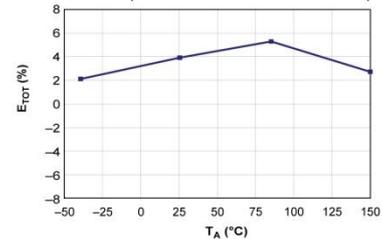
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



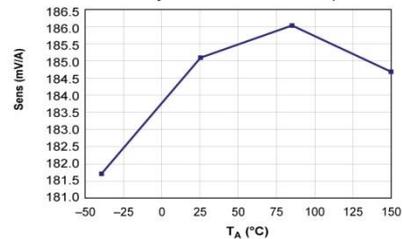
Nonlinearity versus Ambient Temperature



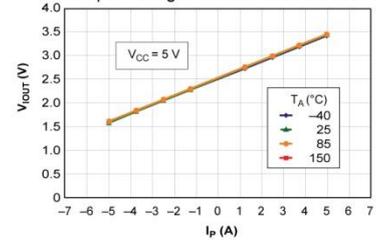
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



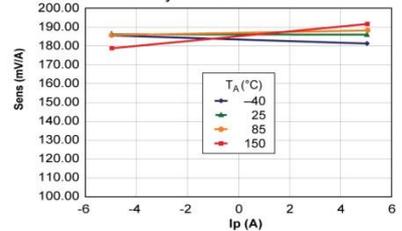
Sensitivity versus Ambient Temperature



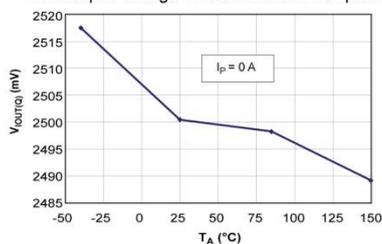
Output Voltage versus Sensed Current



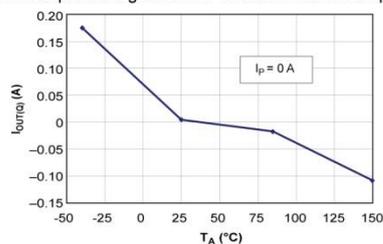
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature

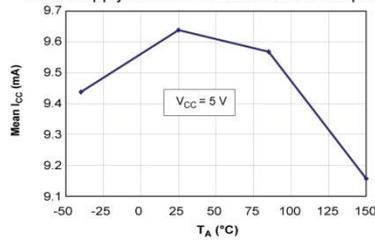


Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

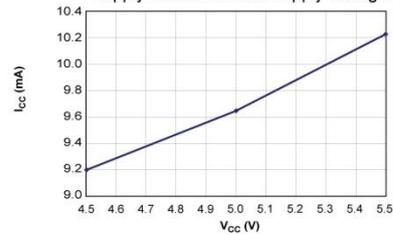
### Characteristic Performance

$I_p = 20\text{ A}$ , unless otherwise specified

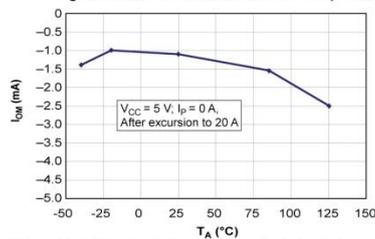
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



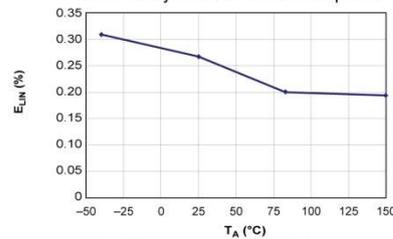
Supply Current versus Supply Voltage



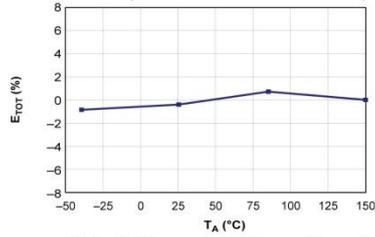
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



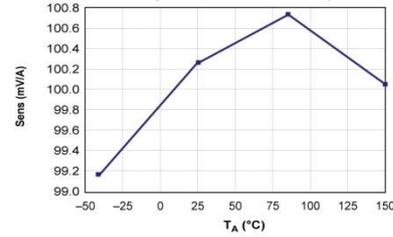
Nonlinearity versus Ambient Temperature



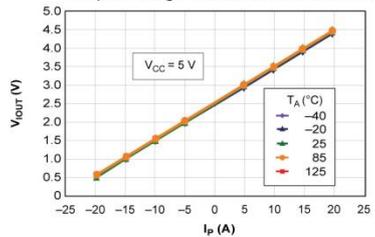
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



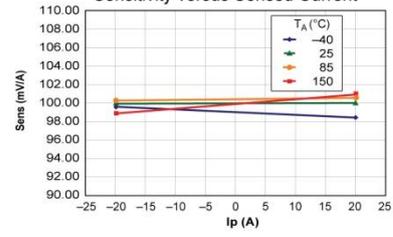
Sensitivity versus Ambient Temperature



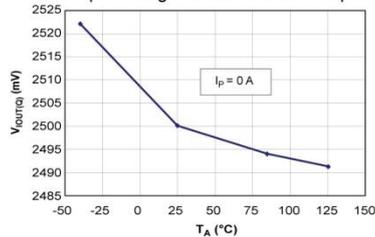
Output Voltage versus Sensed Current



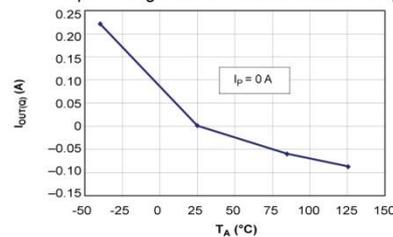
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature

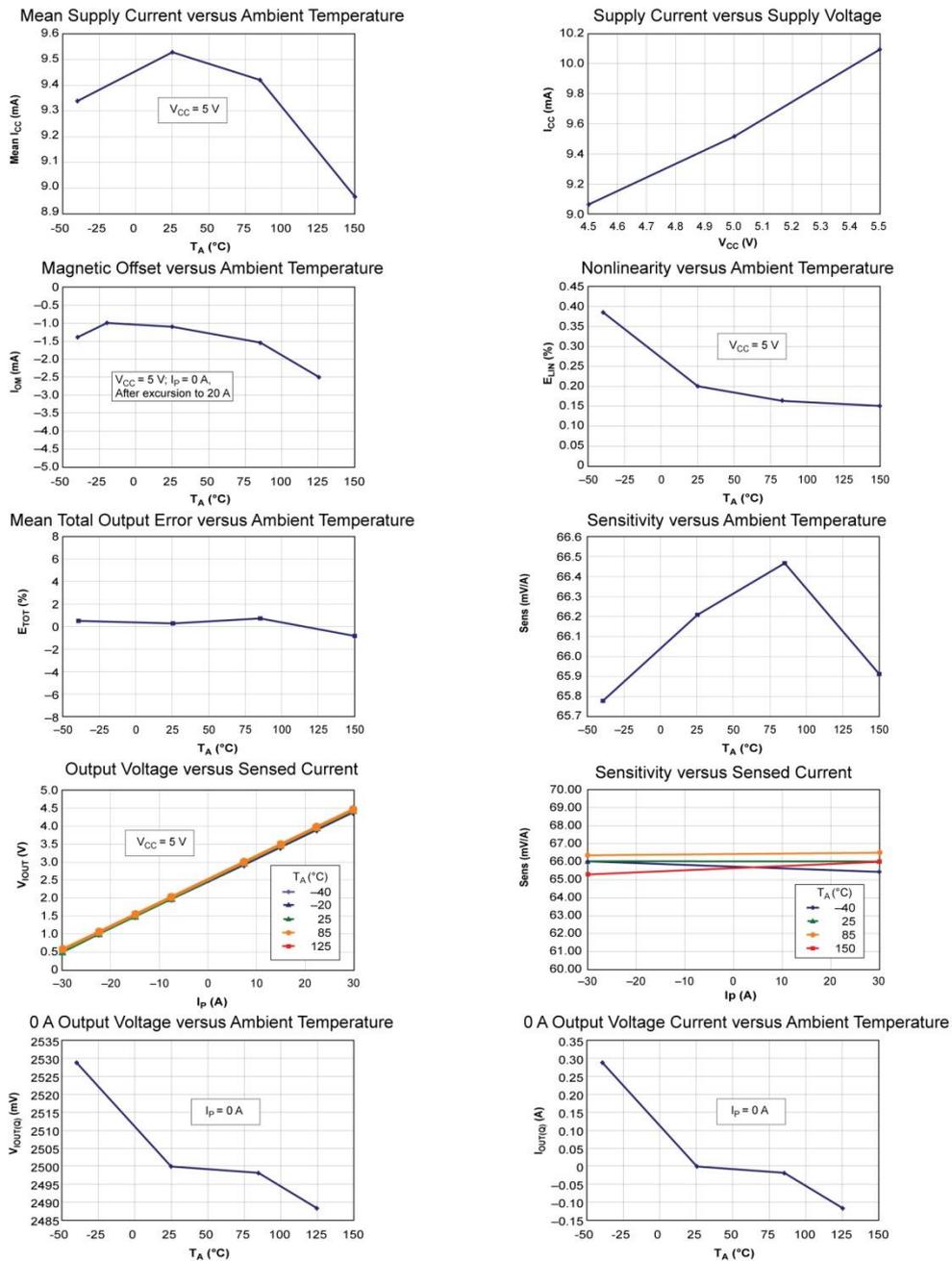


0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



### Characteristic Performance

$I_p = 30$  A, unless otherwise specified



### Definitions of Accuracy Characteristics

**Sensitivity (Sens).** The change in device output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

**Noise (V<sub>NOISE</sub>).** The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC ( $\approx 1$  G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

**Linearity (E<sub>LIN</sub>).** The degree to which the voltage output from the IC varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[ \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat} (V_{\text{IOUT\_full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})}{2 (V_{\text{IOUT\_half-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where  $V_{\text{IOUT\_full-scale amperes}}$  = the output voltage (V) when the sampled current approximates full-scale  $\pm I_p$ .

**Symmetry (E<sub>SYM</sub>).** The degree to which the absolute voltage output from the IC varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left( \frac{V_{\text{IOUT\_+ full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}}}{V_{\text{IOUT(Q)}} - V_{\text{IOUT\_full-scale amperes}}} \right)$$

**Quiescent output voltage (V<sub>IOUT(Q)</sub>).** The output of the device when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at  $V_{CC}/2$ . Thus,  $V_{CC} = 5$  V translates into  $V_{\text{IOUT(Q)}} = 2.5$  V. Variation in  $V_{\text{IOUT(Q)}}$  can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

**Electrical offset voltage (V<sub>OE</sub>).** The deviation of the device output from its ideal quiescent value of  $V_{CC}/2$  due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

**Accuracy (E<sub>TOT</sub>).** The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy at the zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy at the the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over  $\Delta$  temperature.** Accuracy at the full-scale current flow including temperature effects.

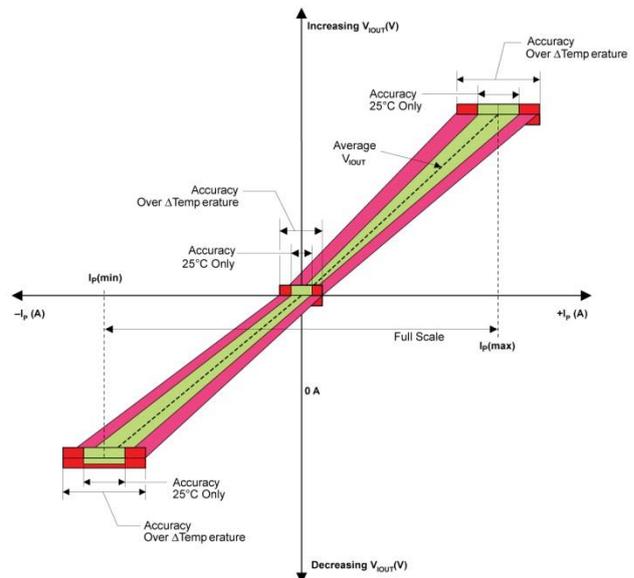
**Ratiometry.** The ratiometric feature means that its 0 A output,  $V_{\text{IOUT(Q)}}$ , (nominally equal to  $V_{CC}/2$ ) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage,  $V_{CC}$ . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage,  $\Delta V_{\text{IOUT(Q)RAT}}$  (%).

$$100 \left( \frac{V_{\text{IOUT(Q)VCC}} / V_{\text{IOUT(Q)5V}}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity,  $\Delta \text{Sens}_{\text{RAT}}$  (%), is defined as:

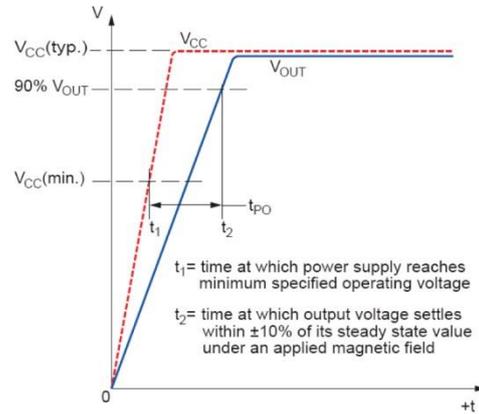
$$100 \left( \frac{\text{Sens}_{V_{CC}} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

**Output Voltage versus Sampled Current**  
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current

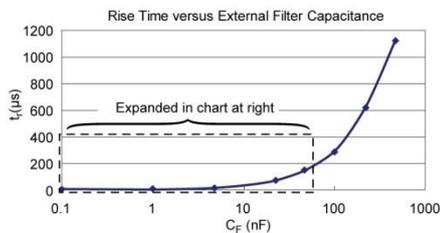
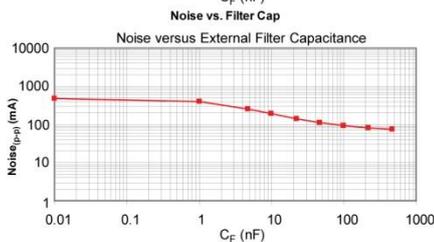
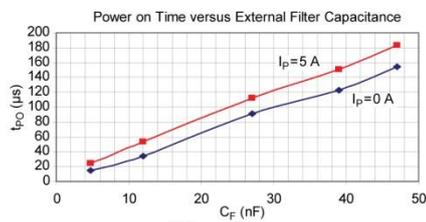
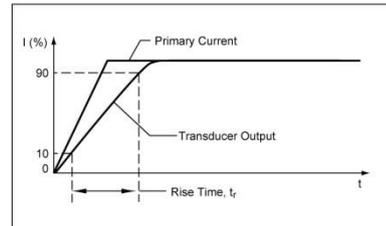


### Definitions of Dynamic Response Characteristics

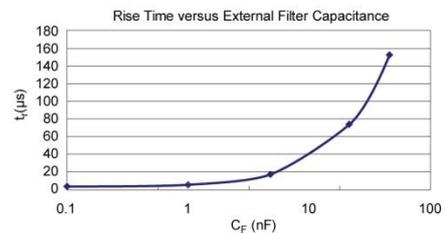
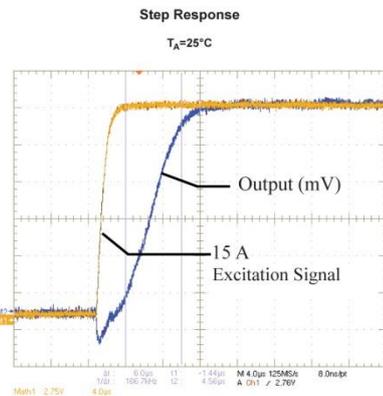
**Power-On Time ( $t_{PO}$ ).** When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time,  $t_{PO}$ , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within  $\pm 10\%$  of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage,  $V_{CC}(\text{min.})$ , as shown in the chart at right.



**Rise time ( $t_r$ ).** The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which  $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$ . Both  $t_r$  and  $t_{\text{RESPONSE}}$  are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



$C_F$ (nF)	$t_r$ ( $\mu\text{s}$ )
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	291.3
220	623
470	1120



Allegro MicroSystems, LLC  
 115 Northeast Cutoff  
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
 1.508.853.5000; www.allegromicro.com

# III.4 Datasheet Opto acoplador MCT6



February 2010

## MCT6, MCT61, MCT62 Dual Phototransistor Optocouplers

### Features

- Two isolated channels per package
- Two packages fit into a 16 lead DIP socket
- Choice of three current transfer ratios
- Underwriters Laboratory (U.L.) recognized File E90700
- VDE approved for IEC60747-5-2

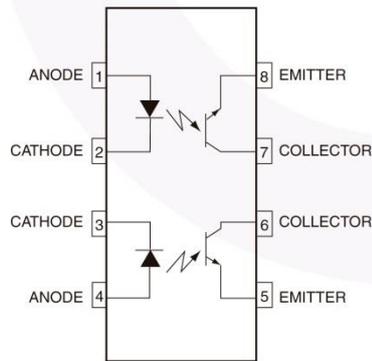
### Applications

- AC line/digital logic – isolate high voltage transients
- Digital logic/digital logic – eliminate spurious grounds
- Digital logic/AC triac control – isolate high voltage transients
- Twisted pair line receiver – eliminate ground loop feedthrough
- Telephone/telegraph line receiver – isolate high voltage transients
- High frequency power supply feedback control – maintain floating grounds and transients
- Relay contact monitor – isolate floating grounds and transients
- Power supply monitor – isolate transients

### Description

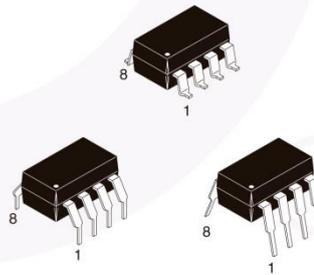
The MCT6X Optocouplers have two channels for density applications. For four channel applications, two-packages fit into a standard 16-pin DIP socket. Each channel is an NPN silicon planar phototransistor optically coupled to a gallium arsenide infrared emitting diode.

### Schematic



Equivalent Circuit

### Package Outlines



## Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only.

Symbol	Rating	Value	Unit
<b>TOTAL DEVICE</b>			
T <sub>STG</sub>	Storage Temperature	-55 to +150	°C
T <sub>OPR</sub>	Operating Temperature	-55 to +100	°C
T <sub>SOL</sub>	Lead Solder Temperature (Refer to Reflow Temperature Profile)	260 for 10 sec	°C
P <sub>D</sub>	Total Device Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C	400	mW
	Derate above 25°C	5.33	mW/°C
<b>EMITTER (Each channel)</b>			
I <sub>F</sub>	Forward Current – Continuous	60	mA
I <sub>F(pk)</sub>	Forward Current – Peak (PW = 1μs, 300pps)	3	A
V <sub>R</sub>	Reverse Voltage	3.0	V
P <sub>D</sub>	LED Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C	100	mW
	Derate above 25°C (Total Input)	1.3	mW/°C
<b>DETECTOR (Each channel)</b>			
I <sub>C</sub>	Collector Current – Continuous	30	mA
P <sub>D</sub>	Detector Power Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C	150	mW
	Derate above 25°C	2.0	mW/°C

**Electrical Characteristics** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)**Individual Component Characteristics**

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.*	Max.	Units
<b>EMITTER</b>						
$V_F$	Input Forward Voltage	$I_F = 20\text{mA}$		1.2	1.5	V
$V_R$	Reverse Voltage	$I_R = 10\mu\text{A}$	3.0	25		V
$I_R$	Reverse Current	$V_R = 5\text{V}$		0.001	10	$\mu\text{A}$
$C_J$	Junction Capacitance	$V_F = 0\text{V}$ , $f = 1\text{MHz}$		50		pF
<b>DETECTOR</b>						
$BV_{CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{mA}$ , $I_F = 0$	30	85		V
$BV_{ECO}$	Emitter-Collector Breakdown Voltage	$I_E = 100\mu\text{A}$ , $I_F = 0$	6	13		V
$I_{CEO}$	Collector-Emitter Dark Current	$V_{CE} = 10\text{V}$ , $I_F = 0$		5	100	nA
$C_{CE}$	Capacitance	$V_{CE} = 0\text{V}$ , $f = 1\text{MHz}$		8		pF

**Transfer Characteristics**

Symbol	Characteristic	Test Conditions	Min.	Typ.*	Max.	Units
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS (AC)</b>						
$t_{on}$	Non-Saturated Turn-on Time	$R_L = 100\Omega$ , $I_C = 2\text{mA}$ , $V_{CC} = 10\text{V}$		2.4		$\mu\text{s}$
$t_{off}$	Non-Saturated Turn-off Time			2.4		$\mu\text{s}$
<b>CURRENT TRANSFER RATIO, COLLECTOR-EMITTER (DC)</b>						
CTR	MCT6	$I_F = 10\text{mA}$ , $V_{CE} = 10\text{V}$	20			%
	MCT61	$I_F = 5\text{mA}$ , $V_{CE} = 5\text{V}$	50			
	MCT62		100			
$V_{CE(sat)}$	Saturation Voltage	$I_F = 16\text{mA}$ , $I_C = 2\text{mA}$		0.15	0.40	V

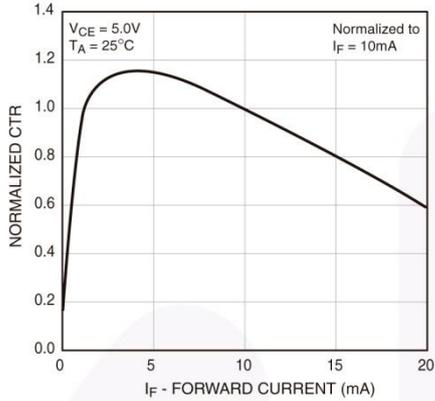
**Isolation Characteristics**

Symbol	Characteristic	Test Conditions	Min.	Typ.*	Max.	Units
$V_{ISO}$	Input-Output Isolation Voltage	$I_{I-O} \leq 10\mu\text{A}$ , $t = 1\text{min.}$	5000			Vac(rms)
$R_{ISO}$	Isolation Resistance	$V_{I-O} = 500\text{VDC}$	$10^{11}$			$\Omega$
$C_{ISO}$	Isolation Capacitance	$f = 1\text{MHz}$		0.5		pF

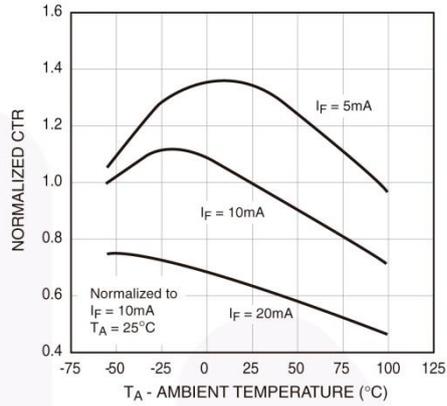
\*All typicals at  $T_A = 25^\circ\text{C}$

### Typical Performance Curves

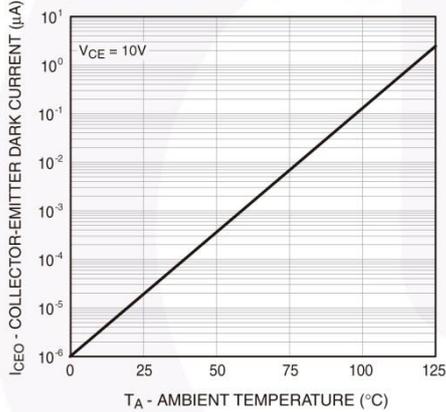
**Fig. 1 Normalized CTR vs. Forward Current**



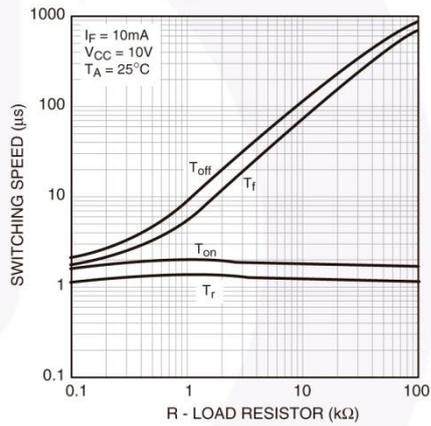
**Fig. 2 Normalized CTR vs. Ambient Temperature**



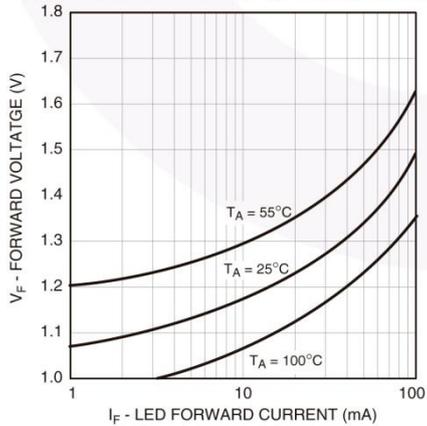
**Fig. 3 Dark Current vs. Ambient Temperature**



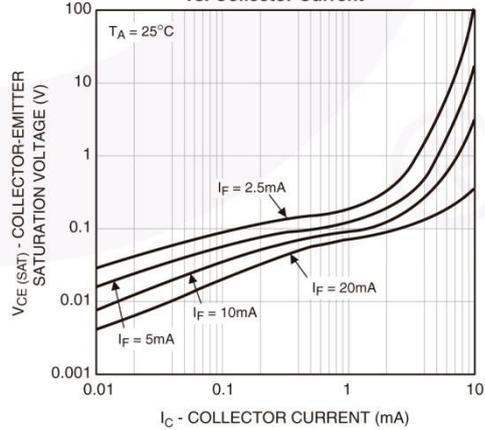
**Fig. 4 Switching Speed vs. Load Resistor**



**Fig. 5 LED Forward Voltage vs. Forward Current**



**Fig. 6 Collector-Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current**



## III.5 Datasheet TEL -3 0522

**TRACO  
POWER**

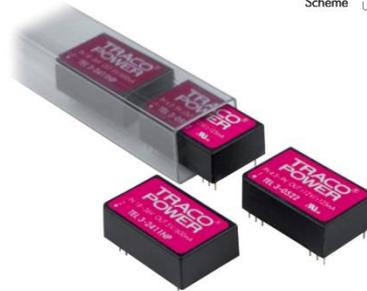
### DC/DC Converters

TEL 3 Series, 3 Watt

CB Scheme UL 60950-1

#### Features

- ◆ Wide 2:1 and 3:1 input range
- ◆ High efficiency up to 81%
- ◆ DIL-24 plastic package
- ◆ Indefinite short-circuit protection
- ◆ I/O isolation 1500 VDC
- ◆ Operating temperature range -40°C to +85°C
- ◆ 3-year product warranty



The TEL 3 series is a range of isolated 3 Watt converters in DIL-24 package offering wide 2:1 and 3:1 input voltage ranges. Further features are high efficiency which allows operation temperature up to +71°C at full load and low output noise.

This product series provides an economical solution for many cost critical applications in industrial and consumer electronics.

Models				
Ordercode	Input voltage range	Output voltage	Output current max.	Efficiency typ.
* TEL 3-0511	<b>4.5 – 9.0 VDC</b> (nominal 5 VDC)	5 VDC	600 mA	70 %
* TEL 3-0512		12 VDC	250 mA	74 %
TEL 3-0513		15 VDC	200 mA	74 %
* TEL 3-0522		±12 VDC	±125 mA	74 %
* TEL 3-0523		±15 VDC	±100 mA	74 %
* TEL 3-1211	<b>9 – 18 VDC</b> (nominal 12 VDC)	5 VDC	600 mA	76 %
* TEL 3-1212		12 VDC	250 mA	80 %
TEL 3-1213		15 VDC	200 mA	80 %
* TEL 3-1222		±12 VDC	±125 mA	80 %
* TEL 3-1223		±15 VDC	±100 mA	80 %
TEL 3-2011	<b>10 – 30 VDC</b> (nominal 20 VDC)	5 VDC	600 mA	76 %
TEL 3-2012		12 VDC	250 mA	80 %
TEL 3-2013		15 VDC	200 mA	80 %
TEL 3-2022		±12 VDC	±125 mA	80 %
TEL 3-2023		±15 VDC	±100 mA	80 %
* TEL 3-2411	<b>18 – 36 VDC</b> (nominal 24 VDC)	5 VDC	600 mA	77 %
* TEL 3-2412		12 VDC	250 mA	81 %
TEL 3-2413		15 VDC	200 mA	81 %
* TEL 3-2422		±12 VDC	±125 mA	81 %
* TEL 3-2423		±15 VDC	±100 mA	81 %
TEL 3-4811	<b>36 – 75 VDC</b> (nominal 48 VDC)	5 VDC	600 mA	77 %
TEL 3-4812		12 VDC	250 mA	81 %
TEL 3-4813		15 VDC	200 mA	81 %
TEL 3-4822		±12 VDC	±125 mA	81 %
TEL 3-4823		±15 VDC	±100 mA	81 %

\* add suffix -NP for models with industry standard pinout

<http://www.tracopower.com>

Page 1 of 3

### Input Specifications

Input current (no load)	5 Vin models	40 mA typ.
	12 Vin models	20 mA typ.
	20 Vin models	15 mA typ.
	24 Vin models	5 mA typ.
	48 Vin models	3 mA typ.
Input current (full load)	5 Vin models	820 mA typ.
	12 Vin models	320 mA typ.
	20 Vin models	190 mA typ.
	24 Vin models	155 mA typ.
	48 Vin models	80 mA typ.
Surge voltage (1 sec. max.)	5 Vin models	11 VDC
	12 Vin models	25 VDC
	20 Vin models	50 VDC
	24 Vin models	50 VDC
	48 Vin models	100 VDC
Reverse voltage protection		1.0 A max.

### Output Specifications

Voltage set accuracy		±1 %
Regulation	– Input variation Vin min. to Vin max.	0.5 % max.
	– Load variation 10 – 100 %	
	single output models	0.5 % max.
	dual output models balanced load	1.0 % max.
	dual output models unbalanced load	2.0 % max.
Ripple and noise (20 MHz Bandwidth)		<60 mVpk-pk typ.
Temperature coefficient		±0.02 %/°K
Output current limitation		>110 % I <sub>out</sub> max., constant current
Short circuit protection		indefinite (automatic recovery)
Capacitive load	single output models	2000 µF max.
	dual output models	1000 µF max.

### General Specifications

Temperature ranges	– Operating	–40°C to +85°C
	– Case	+95°C max.
	– Storage	–40°C to +125°C
Load derating		3.3 %/K above 70°C
Humidity (non condensing)		95 % rel H max.
Reliability, calculated MTBF (MIL-HDBK-217F at +25°C, ground benign)		>1 Mio. h
Isolation voltage (60 sec.)	– Input/Output/Case	1500 VDC
Isolation capacitance	– Input/Output	500 pF typ.
Isolation resistance	– Input/Output (500 VDC)	>1'000 M Ohm
Switching frequency		300 kHz typ. (Pulse frequency modulation PFM)
Safety standards		UL 60950-1, IEC/EN 60950-1 Compliance up to 60 VDC input voltage (SELV limit)
Safety approvals		CSA File No. 226037 <a href="http://directories.csa-international.org">http://directories.csa-international.org</a>
Environmental compliance	– Reach	<a href="http://www.tracopower.com/overview/tel3">www.tracopower.com/overview/tel3</a>
	– RoHS	RoHS directive 2011/65/EU

All specifications valid at nominal input voltage, full load and +25°C after warm-up time unless otherwise stated.

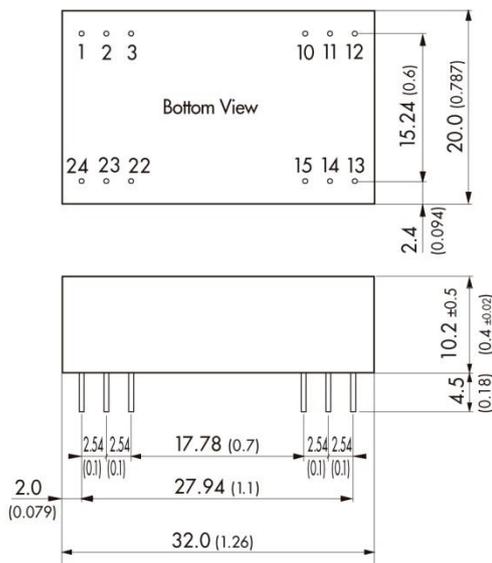
**Physical Specifications**

Casing material	non conductive black plastic
Potting material	epoxy (UL94V-0 rated)
Weight	12 g (0.42 oz)
Soldering temperature	max. 265°C / 10 sec.

**Outline Dimensions mm (inches)**

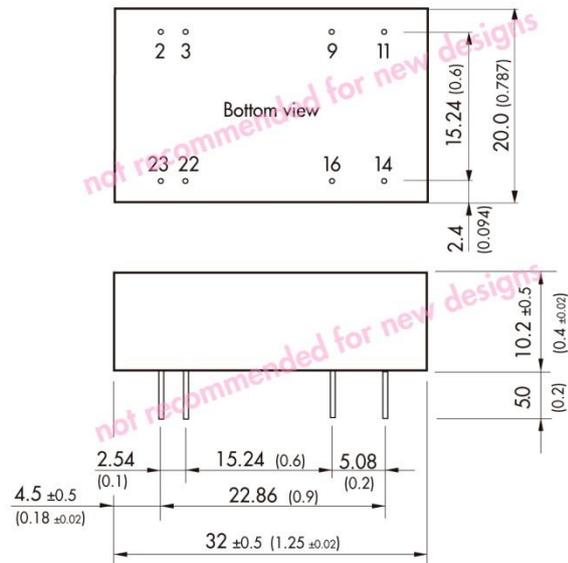
**Standard Pinout:**

compatible with TED / TEM-3 Series)



Pin-Out		
Pin	Single	Dual
1	+Vin (Vcc)	+Vin (Vcc)
2	NC	-Vout
3	NC	Common
10	-Vout	Common
11	+Vout	+Vout
12	-Vin (GND)	-Vin (GND)
13	-Vin (GND)	-Vin (GND)
14	+Vout	+Vout
15	-Vout	Common
22	NC	Common
23	NC	-Vout
24	+Vin (Vcc)	+Vin (Vcc)

**Pinout NP Version:**



Pin diameter  $\varnothing 0.5 \pm 0.05$  (0.02)  $\pm 0.002$   
Tolerances  $\pm 0.5$  ( $\pm 0.02$ )

Pin-Out		
Pin	Single	Dual
2	-Vin (GND)	-Vin (GND)
3	-Vin (GND)	-Vin (GND)
9	No pin	Common
11	NC	-Vout
14	+Vout	+Vout
16	-Vout	Common
22	+Vin (Vcc)	+Vin (Vcc)
23	+Vin (Vcc)	+Vin (Vcc)

NC = not to connect

Specifications can be changed without notice! Make sure you are using the latest documentation, downloadable at [www.tracopower.com](http://www.tracopower.com)

**ANEXO IV**  
**CÓDIGO DEL**  
**MICROCONTROLADOR**

## Anexo IV. Código del Programa del Microcontrolador

A continuación, se añade el código en lenguaje C (compilador Arduino IDE), del programa cargado en el microcontrolador AtMega 2560. Se adjunta el código del programa principal

### IV.1 PROGRAMA PRINCIPAL

```

////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////
////          TRABAJO FIN DE GRADO          ////
////                                          ////
////          CÓDIGO DEL PROYECTO          ////
////                                          ////
////          REGULADOR DE POTENCIA EN AC  ////
////          MEDIANTE MICROCONTROLADOR    ////
////                                          ////
////          GREGORIO TORRES FARIÑA      ////
////          ELYOENAY RODRIGUEZ PÉREZ   ////
////          ALEJANDRO JOSÉ AYALA ALFONSO ////
////          BEATRIZ RODRIGUEZ MENDOZA  ////
////                                          ////
////          Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología  ////
////          Universidad de La Laguna, España              ////
////          Septiembre de 2015                               ////
////////////////////////////////////////////////////////////////
////////////////////////////////////////////////////////////////

```

**//-----COMIENZO DEL PROGRAMA PRINCIPAL -----//**

**//////////////////////////////// INICIALIZACION DE VARIABLES //////////////////////////////////**

//TAMAÑO DE ARRAY PARA MUESTRAS DE INTENSIDAD

#define arraytam 130

//TAMAÑO DE ARRAY PARA MUESTRAS DE VOLTAJE

#define arraytam2 500

```

//TIEMPO DE MUESTREO

unsigned long Tmuestras;

unsigned long mytime[arraytam];

//VARIABLES ENTERAS

int pinvoltaje=A0;    //PIN DE ENTRADA DEL VALOR DE TENSIÓN

int sensorPin = A1;    // PIN DE ENTRADA DEL VALOR DE INTENSIDAD

int pinled=6;        //PIN DE SALIDA DEL LIMITADOR DE POTENCIA

//VARIABLES ENTERAS INICIALIZADAS

int mitamano=arraytam;

int mitamano2=arraytam2;

int contador2=-1;

int i=-1;

int contador=-1;

int cont=-1;

//VARIABLES DE COMA FLOTANTE

float voltajeraw,intensidadraw;

float voltajefinal,voltajeac,intensidadac,intensidadfinal;

//VARIABLE DE CALIBRACIÓN DE VOLTAJE

float a1,b1,c1,d1,e1,f1, g1, h1, i1, j1,a2,b2,c2,d2,e2,f2,g2,h2,i2,j2;

//VARIABLES DOUBLE

```

```

double Vef_dt[arraytam];

double Vef_dt_temp=0.0;

double Vef_final=0.0;

double Vef_dt2[arraytam];

double Vef_dt_temp2=0.0;

double Vef_final2=0.0;

double muestras[arraytam]; // inicia un array con (Tsenal/Tmuestreo)
                             posiciones para guardar el valor que viene del
                             sensor

double muestras2[arraytam2];

double periododelamuestra; // periodo de la muestra (a 50 Hz es 20ms)

//INCLUCIÓN E INICIALIZACIÓN DE LA PANTALLA LCD

#include <LiquidCrystal.h>

// initialize the library with the numbers of the interface pins

LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2);

                //////////////////////////////////// SETUP ////////////////////////////////////

                //////////////////////////////////// CONFIGURA Y CARGA LOS PINES ////////////////////////////////////

void setup () {

    pinMode(pinled,OUTPUT);

    Serial.begin (115200); //inicia comunicacion serial (monitor serie).
                           Establece la velocidad de datos en bits por
                           segundo (baudios) para la transmisión de datos en
                           serie

    lcd.begin(16, 4); //Inicia el LCD de 16 caracteres y 4 filas

```

```

//MENSAJE DE BIENVENIDA

lcd.print("Bienvenidos"); // Bienvenidos durante 1 segundo, limpia
delay(10000); // pantalla para mostrar el siguiente mensaje
lcd.clear();
lcd.print("Inicializando"); // Inicializando durante 1 segundo, limpia
delay(10000); // pantalla para mostrar el siguiente mensaje
lcd.clear();

//MENSAJE CONSTANTE

lcd.print("Parametros");

} // Cierre setup ()

//////////////////// LOOP //////////////////////

////////// PROGRAMA PRINCIPAL FUNCIONAMIENTO CONSTANTE //////////

void loop(){

//REALIZAMOS LA TOMA DE MUESTRAS DE VOLTAJE E INTENSIDAD

tomarmuestrasintensidad();

tomarmuestrasvoltaje();

// REALIZAMOS EL CÁLCULO DE MUESTRAS

intensidad();

voltaje(1);

// AQUI JUGAMOS CON LA VELOCIDAD DE PARPADEO DEL LED, DEPENDIENDO
DE LA POTENCIA, EN ESTE CASO, CON SABER LA INTENSIDAD ES SUFICIENTE

intensidadfinal=Vef_final/(0.066*3.934955795);

funcion1(intensidadfinal);

```

```
funcion2(intensidadfinal);
```

```
funcion3(intensidadfinal);
```

```
funcion4(intensidadfinal);
```

```
funcion5(intensidadfinal);
```

```
//AQUÍ GUARDAMOS EN LAS VARIABLES EL VALOR DE VOLTAJE E INTENSIDAD  
CON SUS GANANCIAS Y CALIBRADOS CORRESPONDIENTES
```

```
float voltajefinalizado=Vef_final2;
```

```
float intensidadfinalizado=Vef_final/(0.066*3.934955795);
```

```
////////// IMPRESIÓN POR PUERTO SERIE ///
```

```
Serial.print("Voltaje: ");
```

```
Serial.print(voltajefinalizado); //EL VALOR DE VOLTAJE, SE GESTIONA A  
TRAVÉS DEL CALIBRADO, EL ULTIMO  
VALOR CONSEGUIDO DA COMO  
RESULTADO UN VALOR DE VOLTAJE QUE  
DEBE SER CALIBRADO CON LOS  
PARAMETROS ADECUADOS
```

```
Serial.print(" V");
```

```
Serial.print("Intensidad: ");
```

```
Serial.print(intensidadfinalizado); //LA INTENSIDAD SE CONSIGUE,  
OBTENIENDO EL VALOR DEL VOLTAJE  
EFICAZ QUE ENTRA EN ARDUINO, LUEGO  
ES NECESARIO DIVIDIR ENTRE LA  
RESOLUCIÓN DEL CHIP ACS712 (66 mV/A Y  
LA GANANCIA DEL RESTADOR (3.26369863)
```

```
Serial.print(" A");
```

```
Serial.print("Potencia: ");
```

```
Serial.print(intensidadfinalizado*voltajefinalizado);
```

```
Serial.print(" W");
```

**////////// IMPRESIÓN POR LCD /////**

```
lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("Voltaje: ");

lcd.print(voltajefinalizado);           //EL VALOR DE VOLTAJE, SE GESTIONA A
                                        TRAVÉS DEL CALIBRADO, EL ULTIMO
                                        VALOR CONSEGUIDO DA COMO
                                        RESULTADO UN VALOR DE VOLTAJE QUE
                                        DEBE SER CALIBRADO CON LOS
                                        PARAMETROS ADECUADOS

lcd.print(" V");

lcd.setCursor(0,2);

lcd.print("Intensidad: ");

lcd.print(intensidadfinalizado);       //LA INTENSIDAD SE Consigue,
                                        OBTENIENDO EL VALOR DEL VOLTAJE
                                        EFICAZ QUE ENTRA EN ARDUINO, LUEGO
                                        ES NECESARIO DIVIDIR ENTRE LA
                                        RESOLUCIÓN DEL CHIP ACS712 (66 mV/A Y
                                        LA GANANCIA DEL RESTADOR (3.26369863)

lcd.print(" A");

lcd.setCursor(0,3);

lcd.print("Potencia: ");

lcd.print(intensidadfinalizado*voltajefinalizado);

lcd.print(" W");

delay(1000);

} //FIN DEL LOOP
```

**////////// PARPADEO DE LÍMITE DE POTENCIA EN 14 AMPERIOS //**

```
void funcion1(float x) {  
  if(x > 14.00) {  
    if(x < 14.5) {  
      digitalWrite(pinled, HIGH);  
      delay(1000);  
      digitalWrite(pinled,LOW);  
      delay(1000);  
    }  
  }  
}
```

**////////// PARPADEO DE LÍMITE DE POTENCIA EN 14,5 AMPERIOS //**

```
void funcion2(float x) {  
  if(x > 14.50) {  
    if(x < 15.00) {  
      digitalWrite(pinled, HIGH);  
      delay(500);  
      digitalWrite(pinled,LOW);  
      delay(500);  
    }  
  }  
}
```

**////////// PARPADEO DE LÍMITE DE POTENCIA EN 15 AMPERIOS //**

```
void funcion3(float x) {  
  if(x > 15.00) {  
    if(x < 15.50) {  
      digitalWrite(pinled, HIGH);  
      delay(250);  
    }  
  }  
}
```

```
digitalWrite(pinled,LOW);  
delay(250);  
}}
```

**////////// PARPADEO DE LÍMITE DE POTENCIA EN 15,5 AMPERIOS //**

```
void funcion4(float x) {  
  if(x > 15.50) {  
    if(x < 16.00) {  
      digitalWrite(pinled, HIGH);  
      delay(125);  
      digitalWrite(pinled,LOW);  
      delay(125);  
    }  
  }  
}
```

**////////// PARPADEO DE LÍMITE DE POTENCIA EN 16 AMPERIOS //**

```
void funcion5(float x) {  
  if(x > 16.00) { digitalWrite(pinled, HIGH); }  
  }  
}
```

**////////// OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE LAS SEÑALES //**

```
void tomarmuestrasintensidad() {  
  for(int i=0; i<mitamano; i++) {  
    mytime[i]=micros();  
    muestras[i]=analogRead(sensorPin);  
    delayMicroseconds (39);  
  }  
}
```

```

}}
void tomarmuestrasvoltaje() {
    for(int i=0; i<mitamano2; i++) {
muestras2[i]=analogRead(pinvoltaje);
delayMicroseconds (39);
    }
}

```

**////////// CALCULO DEL VALOR DE LA INTENSIDAD EFICAZ //**

```

void intensidad() {
    for (int i=0; i<mitamano; i++){
muestras[i]=muestras[i]*5.0/1023.0;
    if (i==0){ Vef_dt[0]=0.0; } else{
    if ((i >= 1) && (i < mitamano)) {
        Tmuestras=mytime[i]-mytime[i-1];
        double L=(muestras[i]+muestras[i-1])/2;
        double a2=L*L*Tmuestras;
Vef_dt_temp=a2;
        Vef_dt[i]= Vef_dt[i-1]+Vef_dt_temp;//VALOR ANTERIOR + VALOR TEMPORAL
        if (i == (mitamano-1)){
periododelamuestra=mytime[arraytam-1] - mytime[0];
Vef_final = sqrt(Vef_dt[i]/periododelamuestra);
        cont ++;
        if (cont== (mitamano-1)){
            intensidadfinal=Vef_final/(0.066*3.26369863);
cont=-1;
        } //Fin del if
    }
}

```

```
    } // Fin del if } // FIN DEL ELSE  
} //FIN DEL FOR }
```

```
////////// CALCULO DEL VALOR DEL VOLTAJE EFICAZ ///
```

```
void voltaje(int u) {  
  
    if(u=1) {  
        Vef_final2=0;  
    }  
    for (int i=0; i<mitamano2; i++){  
muestrasuperior=muestras2[i];  
        if(muestrasuperior > Vef_final2) {  
            Vef_final2=muestras2[i];  
        } else {  
            Vef_final2 = Vef_final2;  
        }  
    } //FIN DEL FOR*/
```

```
//VARIABLES DEL CALIBRADO
```

```
a1=19.20661;  
b1=27.969602;  
c1=-11.253485;  
d1=2.7404417;  
e1=-0.31585178;  
f1=0.028022639;
```

```
g1=-0.0026976857;
```

```
h1=0.00018162163;
```

```
i1=-0.000004976097;
```

```
//POTENCIAS DE CALCULO
```

```
float uno = pow(Vef_final2,0.5);
```

```
float dos = pow(Vef_final2,1);
```

```
float tres = pow(Vef_final2,1.5);
```

```
float cuatro = pow(Vef_final2,2);
```

```
float cinco = pow(Vef_final2,2.5);
```

```
float seis = pow(Vef_final2,3);
```

```
float siete = pow(Vef_final2,3.5);
```

```
float ocho = pow(Vef_final2,4);
```

```
//FORMULA
```

```
/*y=a+bx+cx2+dx3+ex4+fx5+gx6+hx7+iz8*/
```

```
if(Vef_final2 <= 0){
```

```
    Vef_final2 = 0; } else {
```

```
Vef_final2=a1+b1*uno+c1*dos+d1*tres+e1*cuatro+f1*cinco+g1*seis+h1*siete+i1*oc  
ho;
```

```
}
```

```
}
```

# **ANEXO V**

## **MANUAL DEL USUARIO**

**MANUAL DE**  
**USUARIO**  
**REGULADOR DE**  
**POTENCIA EN AC**  
**GESTIONADO**  
**MEDIANTE**  
**MICROCONTROLA**  
**DOR**

## CONTENIDO

1. Visión general del dispositivo	150
a. Potenciómetro de control de potencia	150
b. Interruptor Habilita Salida	150
c. Fusible de Protección	150
d. Potenciómetro Control de Brillo	150
e. Potenciómetro Control de Contraste	151
f. Indicador Luminoso Salida Activa	151
g. Indicador Luminoso Límite de Potencia	151
h. Enchufe Schuko De Conexión De Carga	151
i. Conector USB para la comunicación serie	151
j. Conector enchufe Schuko para la entrada	151
2. Empezar	152
3. Mantenimiento	152
4. Garantía	152

## 1 VISIÓN GENERAL DEL DISPOSITIVO



### POTENCIÓMETRO DE CONTROL DE POTENCIA

Con este controlador usted puede realizar las variaciones de potencia a la salida desde un mínimo de 0W hasta un máximo de 3800 W, ya que el dispositivo se encuentra limitado a dicha potencia.

### INTERRUPTOR HABILITA SALIDA

Este interruptor habilita que la carga consuma o no, y de esta manera no es necesario tener que apagar el dispositivo cuando se quiera desconectar la carga

### FUSIBLE DE PROTECCIÓN

Este fusible está limitado a 16 A, la implementación de un fusible de mayor dimensión acarrea el mal funcionamiento del dispositivo y la rotura de los elementos interiores.

### POTENCIÓMETRO DE CONTROL DE BRILLO

Con este controlador usted puede realizar las variaciones de brillo en la pantalla, display

## **POTENCIÓMETRO DE CONTROL DE CONTRASTE**

Con este controlador usted puede realizar las variaciones de contraste en la pantalla, display

## **INDICADOR LUMINOSO SALIDA ACTIVA**

Esta lámpara le indica que la carga puede estar funcionando aunque usted no lo contemple, por ejemplo, con el potenciómetro de control de potencia al mínimo, la carga no presenta ninguna señal de que se encuentra en tensión, sin embargo, lo está. Antes de realizar cualquier manipulación sobre la carga, compruebe que el indicador de carga activa esté desactivado.

## **INDICADOR LUMINOSO LÍMITE DE POTENCIA**

Este indicador le muestra cuando la carga está siendo superior o acercándose a los límites establecidos. A partir de los 14 A de intensidad, el led empezará a parpadear, si se llega a los 16 A de intensidad, el indicador se encenderá continuamente.

## **ENCHUFE SCHUKO DE CONEXIÓN DE CARGA**

Este enchufe presenta una protección IP44. La caída de líquidos sobre el enchufe cuando la tapa se encuentra cerrada no afectará a su funcionamiento. Recomendamos encarecidamente cuidar que no se manipulen líquidos mientras el dispositivo esté funcionando, para su manipulación es aconsejable la desconexión.

## **CONECTOR USB PARA LA COMUNICACIÓN SERIE**

Este conector permite la conexión del dispositivo con un ordenador a través de una comunicación serie USB, el dispositivo imprime los mismos datos que en pantalla por dicha comunicación, lo cual permite su implementación en Matlab o software similares.

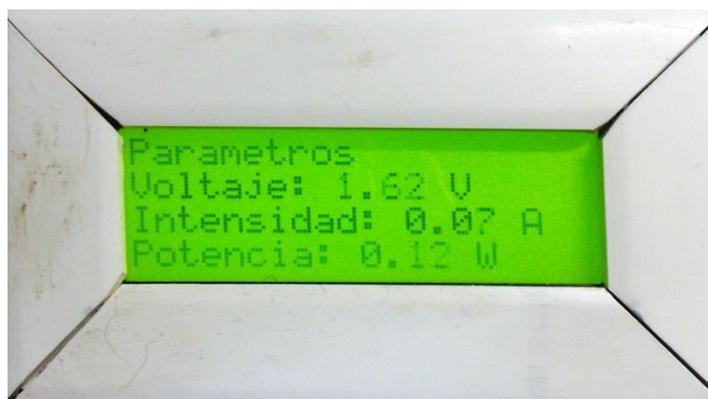
## **CONECTOR ENCHUFE SCHUKO PARA LA ENTRADA**

Este conector alimenta todo el circuito, solo puede ser conectado sobre una toma que permita 16 A, y tenga mismo tipo de conexión.

## 2 EMPEZAR

Para el comienzo del funcionamiento solo debe conectar el conector de entrada previsto a la red eléctrica, comprobar que el interruptor de salida activa este desactivada y el potenciómetro de control de potencia al mínimo.

Al conectar el dispositivo a la red eléctrica la pantalla se encenderá con dos mensajes de iniciación, y posteriormente presentará este aspecto.



*Presentación en pantalla del Consumo Eléctrico*

En dicho momento el dispositivo ya se encuentra preparado para realizar las mediciones de potencia necesarias.

## 3 MANTENIMIENTO

El sistema no presenta problemas de mantenimiento más que los habituales, cuidar la entrada de polvo en su interior, limpieza de los componentes exteriores con frecuencia. El plan de mantenimiento del dispositivo en su totalidad es un mantenimiento correctivo, ya que se recomienda la no apertura del dispositivo para realizar mantenimientos preventivos o predictivos.

## 4 GARANTÍA

El dispositivo cuenta con dos años de garantía de fabricante, no es aplicable sobre roturas de pantalla o componentes por su uso continuado, ni a la quemadura del sistema por sobrepasar los límites establecidos.

Condiciones de pérdida de garantía:

1. Fusible de protección superior a 16 A

2. Fusible cortocircuitado
3. Pantalla con rotura aparente en el cristal
4. Desgaste de los elementos visuales por caída de elementos corrosivos

**ANEXO VI**  
**SUMMARY AND**  
**CONCLUSIONS**

## VI.1 SUMMARY

Throughout human existence, it has constantly changed the world and interact with it. To this sense, we have always sought different effort when performing a job. To this end, during the Industrial Revolution the first machines emerged.

Over the years and the increasing technological evolution, electric motors appeared. The operator had control on the motor production from a small control room. Currently, with the innovations in the world of electricity and electronics, there are power regulators for motors that fit in the palm of your hand. An example of electronic regulator are triacs which control the power delivered to the motor or device. The triac acts as a switch on the input signal at different points in time in order to regulate power.

Today, power regulators have several uses in industrial production machinery: washing machines that operate with different speeds, variable lighting home for different environments, etc.

Another crucial technological advance was the discovery of processors. Sixty years ago, computers were machines that occupied several rooms and several workers were needed to control them correctly. In today's technological age, computers, phones, tablets, etc. are systems that are composed of general-purpose processors, which are very small sized and perform many different tasks (reading and writing documents, video editing, 3D modeling, etc.) However, 98% of processors which are manufactured each year are special-purpose processors, called microcontrollers. On the market there are many types of microcontrollers with different characteristics: processing speed, memory size, inputs and outputs possible, etc.

This project aims to design and implement a power regulator controlled by a triac. Furthermore, a microcontroller ATmega2560 is used aiming that the user sees the power that is being delivered to a resistive load in real time through an LCD display.

Initially, the device was made with the aim of providing precise measurements in the use of heating blankets in the towers pilot scale grinding found in the laboratories of the Faculty of Chemistry. The device allows to obtain power values with a measurement accuracy of two decimals, within a range of 0 to 3680W.

## **VI.2 CONTRIBUTIONS AND CONCLUSIONS**

In this Final Project we can indicate the following contributions and conclusions:

- It has been developed a control system and measuring the power delivered to a load by using an ACS712 integrated and several rectifying circuits managed by a AtMega 2560 microcontroller, in this way, it is obtained a power value of 0-3680 W with an accuracy of 2 digits.
- The system displays on the screen, at all times, the voltage and current consumption, and of course, the power delivered.
- In addition, the system has been designed to resist currents up to 25 A, but has not been proven in operation because there are no circuits in the laboratory to check. Therefore, the maximum operating current is limited to 16 A, with LED indicator and buzzer operation.

## **VI.3 POSSIBLE IMPROVEMENTS**

The device could be improved in areas such as:

- Using SMD technology. This application would decrease the size and weight of the device which would facilitate its transport and storage.
- Replacing a digital potentiometer for analog potentiometer. With this change, it would be possible to manage the device from the microcontroller, and also it would be necessary to incorporate a keyboard or touch screen to obtain the desired power in the load directly.
- Measuring power in the load with zero-crossing detector, in this way, the circuit size is reduced and the result is obtained quickly.