

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL ELECTRÓNICO DE POTENCIA UTILIZANDO UN GTO**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TAYRA GICELA REVELO TERÁN**  
tayragicela@hotmail.com

**WLADIMIR ALEXANDER MUÑOZ JARAMILLO**  
wlady\_077\_a@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. CARLOS ROMO**  
Cromo36@hotmail.com

**Quito, Diciembre 2012**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Tayra Gicela Revelo Terán y Wladimir Alexander Muñoz Jaramillo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Tayra Gicela Revelo Terán

---

Wladimir Muñoz Jaramillo

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Tayra Gicela Revelo Terán y Wladimir Alexander Muñoz Jaramillo, bajo mi supervisión.

---

Ing. Carlos Romo  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Para poder realizar esta tesis de la mejor manera posible fue necesario del apoyo de muchas personas a las cuales quiero agradecer:

En primer lugar a mis padres, Edgar Revelo y Bernardita Terán, quienes han sido un apoyo moral y económico para lograr este fin.

A mis hermanos, Javier y Anthony, por compartir lindos momentos y experiencias del diario vivir.

A mis sobrinas Sareth y Samira, que con su amor me dan las fuerzas necesarias para seguir adelante compartiendo sus travesuras.

Al Ing. Javier De la Torre por ser mi inspiración para la culminación de este proyecto, por su apoyo, cariño y amor que me brinda cada día.

A mi tutor de tesis el Ing. Carlos Romo, por su apoyo y por guiarnos en la elaboración de este proyecto.

A mis amigos y compañeros de aula por todas las experiencias que vivimos en esta etapa de nuestras vidas.

Tayra Revelo

## DEDICATORIA

A mis padres Edgar, Bernardita y mis hermanos Javier y Anthony quienes han sido la fuente de energía e inspiración en mi vida, enseñándome a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Tayra Revelo.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por siempre estar junto a mí, por nunca abandonarme y permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres por su apoyo y amor incondicional a lo largo de mi carrera y desarrollo de esta tesis.

A mis hermanos, tías y familiares cercanos que siempre me han ayudado y apoyado en toda mi vida.

A mis profesores que me han enseñado a ser mejor en la vida y a realizarme profesionalmente.

Gracias a todos ustedes.

Wladimir Muñoz

## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Rodrigo Muñoz y Mercy Jaramillo que han sido un ejemplo a seguir, por ser unos excelentes padres y siempre estar a mi lado en los buenos y malos momentos que he vivido en el desarrollo de mi carrera y de mi vida. Gracias a ellos he llegado a culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mi esposa Andrea y a mi princesa Doménica, por ser mi fortaleza y la luz de mi vida.

A mis hermanos Andrés, Alexandra, por enseñarme que no hay límites y que siempre me impulsaron para cumplir todas mis metas.

A todas mis tías que en mi vida me ayudaron a cumplir esta meta tan importante.

Wladimir Muñoz

## INDICE

CONTENIDO	PÁGINA.
CAPITULO I .....	1
1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS Y LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN. ....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.1 TIRISTORES .....	1
1.1.2 FUNCIONAMIENTO DE UN TIRISTOR .....	2
1.1.3 ACTIVACIÓN DE UN TIRISTOR.....	5
1.1.4 DESACTIVACIÓN DE UN TIRISTOR .....	6
1.1.5 TIPOS DE TIRISTORES.....	6
1.1.6 MOSFET .....	9
1.1.7 PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD) .....	11
1.1.8 MICROCONTROLADOR .....	12
1.1.9 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN .....	14
CAPÍTULO II .....	22
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO .....	22
2.1 INTRODUCCIÓN .....	22
2.2 DISEÑO DEL HARDWARE .....	22
2.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	23
2.2.2 DETECTOR DE CRUCE POR CERO.....	29
2.2.3 SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO .....	31
2.2.4 ETAPA DE CONTROL.....	38
2.2.5 DIAGRAMA LÓGICO.....	43



CAPÍTULO III .....	44
3. DISEÑO DEL SOFTWARE .....	44
3.1 INTRODUCCIÓN .....	44
3.2 DEMOSTRACIÓN MATEMÁTICA .....	44
3.3 EXPLICACIÓN DEL CÓDIGO FUENTE .....	47
3.3.1 INICIALIZACIÓN DEL PROGRAMA .....	47
3.3.2 INGRESO DE DATOS .....	48
3.3.3 INT0 .....	50
3.3.4 CÁLCULO DEL TIEMPO DE DISPARO DE ENCENDIDO Y APAGADO.....	50
3.3.5 DIAGRAMA DE FLUJO .....	53
3.4 PROGRAMA FUENTE.....	54
CAPÍTULO IV .....	65
4. FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO.....	65
4.1 DIAGRAMA CIRCUITAL.....	66
4.2 MATERIALES.....	67
CAPÍTULO V .....	69
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
5.1 CONCLUSIONES .....	69
5.2 RECOMENDACIONES.....	75
CAPÍTULO VI.....	77
6. BIBLIOGRAFÍA.....	77
7. ANEXOS .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipos de variables .....	17
Tabla 2.1 Función de cada PIN de la LCD .....	35
Tabla 2.2 Características de operación del GTO .....	41
Tabla 3.1 Tabla de valores .....	45
Tabla 4.1 Gastos realizados.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura de un tiristor.....	2
Figura 1.2 Bloqueo de un tiristor .....	2
Figura 1.3 Polarización directa de un tiristor .....	3
Figura 1.4 Curva I-V en polarización directa.....	3
Figura 1.5 Polarización inversa de un tiristor .....	4
Figura 1.6 Curva I-V en polarización indirecta.....	5
Figura 1.7 Símbolo del SCR .....	7
Figura 1.8 Símbolo del DIAC .....	7
Figura 1.9 Símbolo del TRIAC.....	7
Figura 1.10 Símbolo del Foto SCR.....	8
Figura 1.11 Símbolo del GTO.....	8
Figura 1.12 Característica estática (I – V) de un GTO. ....	9
Figura 1.13 Tipos de MOSFET.....	10
Figura 1.14 Módulo LCD.....	11
Figura 1.15 Esquema de un microcontrolador.....	12
Figura 1.16 CPU de los AVR.....	13
Figura 1.17 Diagrama de bloques de programación.....	14
Figura 1.18 Estructura de un programa .....	15
Figura 1.19 Condición lógica IF-ELSE .....	18
Figura 1.20 Condición de repetición FOR-NEXT .....	19
Figura 1.21 Condición de selección SELECT-CASE.....	19
Figura 1.22 Estructura básica de un programa.....	21
Figura 2.1 Diagrama de bloques .....	22
Figura 2.2 Diagrama de bloques de una fuente de alimentación AC-D .....	23
Figura 2.3 Fuente simétrica de +12 y -12 V .....	24
Figura 2.4 Fuente de voltaje de +5 V .....	26
Figura 2.5 Circuito del detector de cruce por cero .....	29
Figura 2.6 Formas de ondas.....	30
Figura 2.7 Tipos de encapsulamiento del Atmega164p.....	33

Figura 2.8 Diagrama de Bloques.....	34
Figura 2.9 Pantalla de cristal (LCD RT204-1) .....	35
Figura 2.10 Teclado.....	36
Figura 2.11 Teclado 4X4 .....	36
Figura 2.12 Circuito del sistema central de procesamiento.....	37
Figura 2.13 Circuito comparador del GTO.....	38
Figura 2.14 Formas de onda del comparador.....	40
Figura 2.15 GTO ECG-279 <sup>a</sup> .....	40
Figura 4.1 Módulo didáctico .....	65
Figura 4.2 Módulo didáctico internamente.....	65
Figura 4.3 Selección del ángulo de encendido .....	66
Figura 4.4 valores para el ángulo de encendido de 0° .....	66
Figura 4.5 Diagrama circuital del módulo .....	66
Figura 5.1 Formas de ondas de señal de la red y señal del detector del cruce por cero. ....	70
Figura 5.2 Formas de ondas obtenidas en el osciloscopio .....	700
Figura 5.3 Señales en el ánodo y compuerta GTO.....	71
Figura 5.4 Señal obtenida para un ángulo de encendido de 45°.....	703
Figura 5.5 Señal obtenida para un ángulo de encendido de 22°.....	74
Figura 5.6 Señal sin sincronismo.....	705

## RESÚMEN

La finalidad de este proyecto de titulación es realizar el diseño y construcción de un módulo didáctico para el Laboratorio de Electrónica, el mismo que permita controlar la potencia suministrada a una carga, para lo cual se diseñó un circuito conformado por un microcontrolador AVR que controle un tiristor GTO; este módulo permitirá a los estudiantes interactuar y comprender de una forma más sencilla el funcionamiento del mencionado tiristor.

En el Capítulo 1 se hace referencia a los conceptos básicos y dispositivos que permiten el control eléctrico de potencia en una carga.

Capítulo 2 se describen las características técnicas de cada uno de los elementos que conforman el módulo como son: GTO, microcontrolador, LCD, teclado; también se muestra el diseño circuital del módulo y un estimado del costo del mismo.

El Capítulo 3 contiene la elaboración del software y código fuente, que se utiliza en la programación del microcontrolador ATMEGA 164P para cumplir con los objetivos planteados.

En el Capítulo 4 se presentan las pruebas de funcionamiento que se realizaron al módulo didáctico.

Capítulo 5 se encuentran las conclusiones y recomendaciones que se obtuvo mediante el proceso del diseño y construcción del módulo didáctico.

## PRESENTACIÓN

El objetivo del proyecto es contribuir con la formación técnica y académica de los estudiantes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, mediante la implementación de un módulo didáctico que permita al estudiante interactuar y comprender de una mejor manera el funcionamiento y ventajas del tiristor GTO.

La implementación de este módulo permite dar solución al problema teórico-práctico que existe en el laboratorio y permitir un mejor desarrollo académico de los estudiantes, debido al poco tiempo que tienen asignado para realizar las prácticas correspondientes a la carrera.

El diseño y construcción del módulo didáctico permite a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos en lo largo de su carrera y de esta forma contribuir con los nuevos compañeros que tomen este laboratorio con su aprendizaje.

## CAPÍTULO I

### 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS Y LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad un control electrónico de potencia se refiere a la aplicación de dispositivos electrónicos, principalmente semiconductores, al control y transformación de potencia eléctrica. Esto incluye tanto aplicaciones en sistemas de control como de suministro eléctrico.

El objetivo es el procesamiento de energía con la máxima eficiencia posible, por lo que se evitan utilizar elementos resistivos, potenciales generadores de pérdidas. Los principales dispositivos utilizados por tanto son bobinas y condensadores, así como semiconductores trabajando en modo corte/saturación (on/off).

##### 1.1.1 TIRISTORES

Los tiristores son una familia de dispositivos semiconductores, que se utilizan en forma extensa en los circuitos electrónicos de potencia. Operan como conmutadores biestables, es decir, pasando de un estado no conductor a un estado conductor. Para muchas aplicaciones se puede suponer que los Tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y limitaciones.

Es un dispositivo semiconductor sólido de silicio formado por cuatro capas P y N, tiene tres terminales: ánodo, cátodo y compuerta.

En la figura 1.1 se puede observar la estructura interna de un tiristor

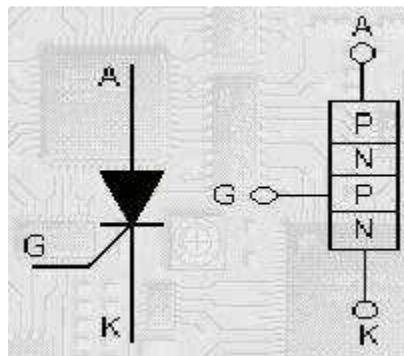


Figura 1.1 Estructura de un tiristor

## 1.1.2 FUNCIONAMIENTO DE UN TIRISTOR

### 1.1.2.1 Polarización Directa

La figura 1.2 muestra cómo se consigue la polarización directa de un tiristor

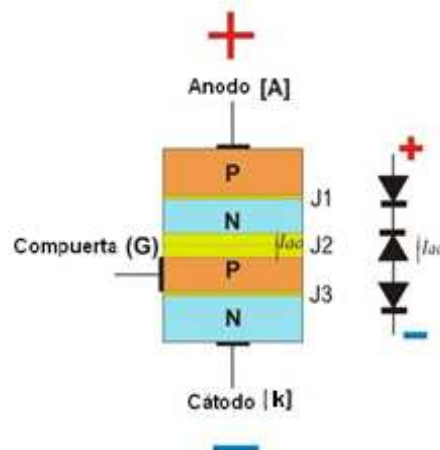


Figura 1.2 Bloqueo de un tiristor

Al aplicar una tensión positiva entre ánodo y cátodo se puede observar que la unión J1 y J3 se polariza directamente, y la unión J2 se polariza inversamente y solo fluirá una pequeña corriente de fuga del ánodo al cátodo. Se dice entonces que el tiristor está en condición de bloqueo directo o en estado desactivado llamándose a la corriente fuga corriente de estado inactivo  $I_D$ .



En la figura 1.3 se observa la polarización directa de un tiristor

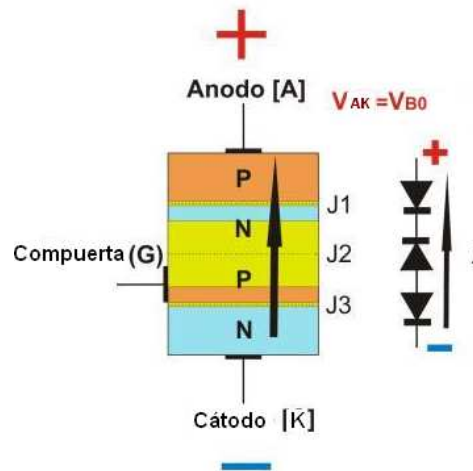


Figura 1.3 Polarización directa de un tiristor

Si el voltaje ánodo a cátodo  $V_{AK}$  se incrementa a un valor lo suficientemente grande la unión J2 polarizada inversamente entrará en ruptura. Esto se conoce como ruptura por avalancha y el voltaje correspondiente se llama voltaje de ruptura directa  $V_{BO}$ . Debido a que las uniones J1 y J3 ya tienen polarización directa, habrá un movimiento libre de portadores a través de las tres uniones que provocará una gran corriente directa del ánodo. Se dice entonces que el dispositivo está en estado de conducción o activado. En la figura 1.4 se observa la curva característica de un tiristor.

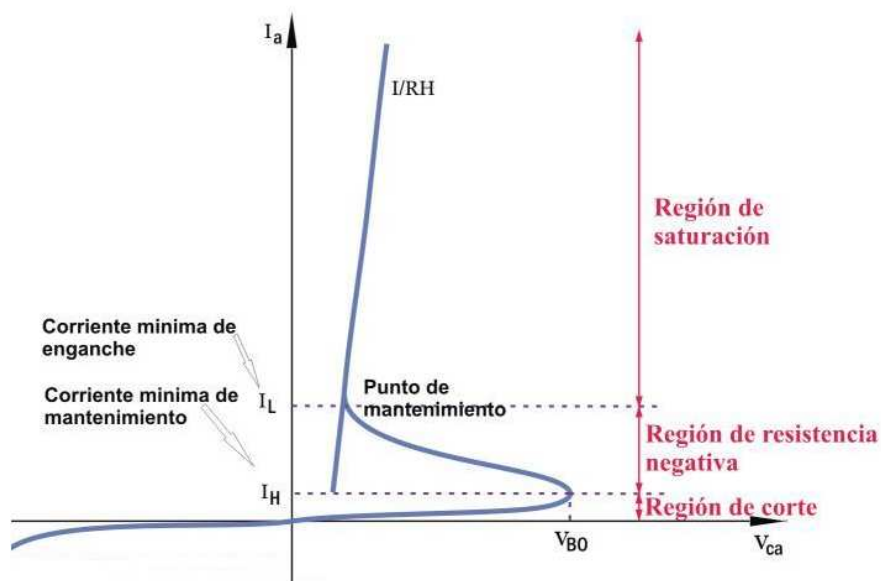


Figura 1.4 Curva I-V en polarización directa

### 1.1.2.2 Polarización Inversa

La figura 1.5 muestra la forma como se obtiene que un tiristor trabaje en polarización inversa

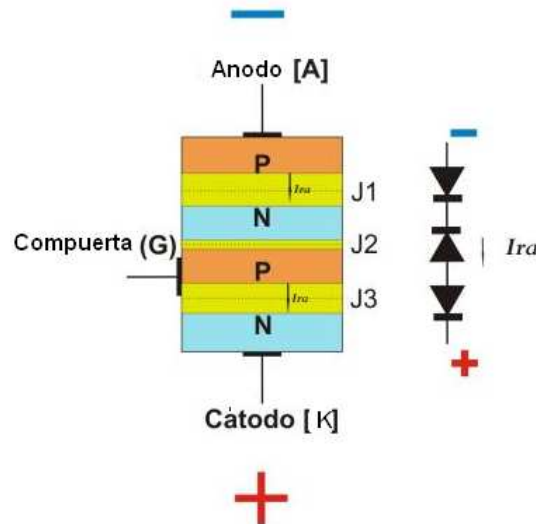


Figura 1.5 Polarización inversa de un tiristor

Cuando se aplica una tensión negativa en el ánodo respecto al cátodo, J1 y J3 se polarizan inversamente, y J2 se polariza directamente. En esta condición, las junturas J1 y J3, se comportan como dos diodos conectados en serie, soportando una tensión inversa, por lo que circulara una pequeña corriente de fuga entre ánodo y cátodo. Se dice que en esta condición, el tiristor está en estado de “bloqueo inverso”, similar a un diodo polarizado inversamente.

En la figura 1.6 se observa la curva característica de un tiristor en polarización inversa.

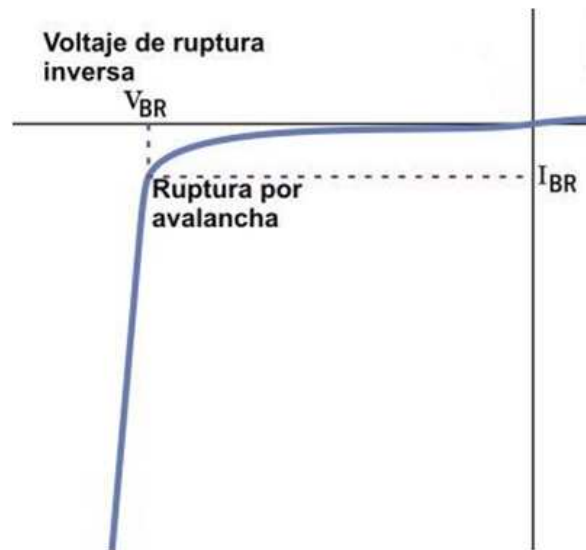


Figura 1.6 Curva I-V en polarización indirecta

### 1.1.3 ACTIVACIÓN DE UN TIRISTOR

Un tiristor se activa incrementando corriente al ánodo. Esto se puede llevar a cabo mediante una de las siguientes formas:

- a) **Activación por puerta.** El método más común para disparar un tiristor es la aplicación de una corriente en su puerta. Los niveles de tensión y corriente de disparo en la puerta deben tener un rango de valores comprendidos dentro de una zona de disparo de seguridad. Si se sobrepasa ese límite puede no dispararse el tiristor o puede deteriorarse el dispositivo.
- b) **Luz.** Un haz luminoso dirigido hacia una de las uniones del tiristor provoca su disparo.
- c) **Tensión de ruptura.** El aumento de la tensión ánodo-cátodo puede provocar fenómenos de ruptura que activa el tiristor.
- d) **Aumento de  $dv/dt$ .** Si la velocidad de elevación del voltaje ánodo-cátodo es alta, la corriente de carga de las uniones capacitivas puede ser suficiente para activar el tiristor. Un valor alto de corriente de carga puede dañar el tiristor por

lo que el dispositivo debe protegerse contra  $dv/dt$  alto. Los fabricantes especifican el  $dv/dt$  máximo permisible de los tiristores.

- e) **Térmica.** El efecto de temperatura sobre un transistor puede aumentar la corriente de deriva del colector, permitiendo que se alcance la corriente suficiente para iniciar la regeneración, el tiristor pasará a conducir.

#### 1.1.4 DESACTIVACIÓN DE UN TIRISTOR

- a) **Conmutación natural.**- Cuando la corriente del ánodo se reduce por debajo de un valor mínimo llamado corriente de mantenimiento.
- b) **Corte por polarización inversa.**- Una tensión inversa ánodo-cátodo interrumpe la corriente del ánodo. La tensión se invierte en un semi período de un circuito de alterna, por lo que un tiristor conectado a la línea tendrá una tensión inversa en un semi período y se cortará.
- c) **Corte por puerta.**- Algunos tiristores se bloquean con una corriente de puerta negativa. El tiempo de conmutación en corte es el tiempo que tardará en bloquearse un tiristor. Este proceso consiste en aplicar entre ánodo y cátodo una tensión inversa con el negativo sobre el ánodo y positivo sobre el cátodo.

#### 1.1.5 TIPOS DE TIRISTORES

##### 1.1.5.1 Rectificador Controlado de Silicio (SCR)

Es un tipo de tiristor que funciona básicamente como un diodo rectificador controlado, permitiendo circular la corriente en un solo sentido. Mientras no se aplique ninguna tensión en la puerta del SCR no se inicia la conducción y en el instante en que se aplique dicha tensión, el tiristor comienza a conducir. Una vez arrancado, podemos anular la tensión de puerta y el tiristor continuará conduciendo hasta que la corriente de carga disminuya por debajo de la corriente de mantenimiento. Cuando se produce una variación brusca de tensión entre ánodo y cátodo de un tiristor, éste puede dispararse y entrar en conducción aún sin corriente de puerta. Por ello se da como característica la tasa máxima de

subida de tensión que permite mantener bloqueado el SCR. En la figura 1.7 se observa el símbolo de este tiristor.

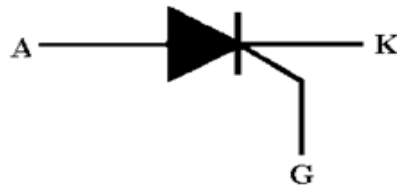


Figura 1.7 Símbolo del SCR

#### 1.1.5.2 DIAC

Es un diodo bidireccional que conduce la corriente sólo tras haberse superado su tensión de disparo, y mientras la corriente circulante no sea inferior al valor característico para ese dispositivo. La figura 1.8 muestra el símbolo correspondiente al DIAC.

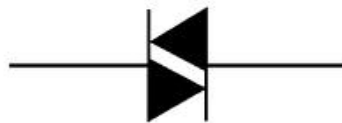


Figura 1.8 Símbolo del DIAC

#### 1.1.5.3 TRIAC

Es un dispositivo que se comporta como dos SCR conectados en contraposición, con una compuerta de paso común; puede ir en cualquier dirección desde el momento en que el voltaje de ruptura se sobrepasa. En la figura 1.9 se observa el símbolo de un TRIAC.

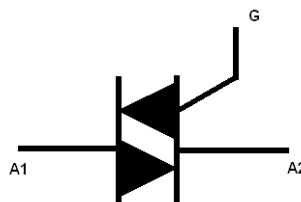


Figura 1.9 Símbolo del TRIAC

#### 1.1.5.4 Foto-SCR

Como su nombre propio lo indica es un SCR cuyo disparo es controlado por luz. Cuando la luz incidente es suficientemente intensa, el SCR se dispara y permanece en conducción aunque desaparezca esa luz.

En la figura 1.10 se puede apreciar el símbolo del foto SCR

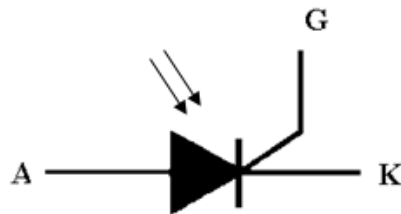


Figura 1.10 Símbolo del Foto SCR

#### 1.1.5.5 Tiristor apagado por compuerta (GTO)

Un Tiristor GTO (*Gate Turn-Off Thyristor*) es un dispositivo de electrónica de potencia que puede ser encendido por un solo pulso de corriente positiva en la terminal puerta o gate (G), al igual que el tiristor normal; pero en cambio puede ser apagado al aplicar un pulso de corriente negativa en el mismo terminal. Ambos estados, tanto el estado de encendido como el estado de apagado, son controlados por la corriente en la puerta (G), su símbolo se lo puede apreciar en la figura 1.11

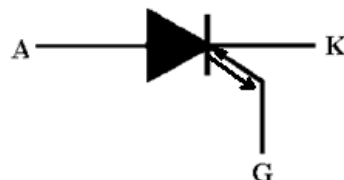
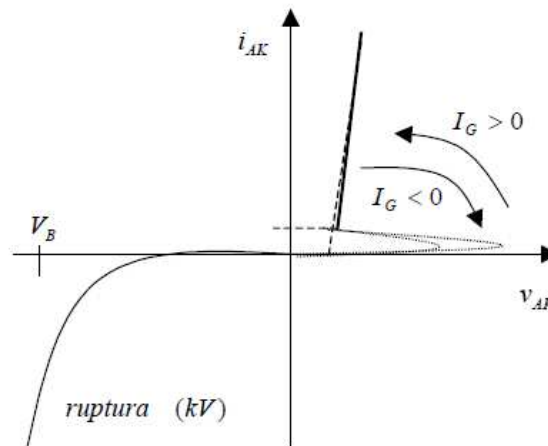


Figura 1.11 Símbolo del GTO

Como se observa en la Figura 1.12, si la corriente por la puerta es positiva, el semiconductor pasará del estado "OFF" al estado "ON". Por el contrario, si la corriente por la puerta es negativa, el semiconductor dejará de conducir, pasando

del estado de "ON" a "OFF". Con ello se tiene un control total del estado del semiconductor en cualquier momento.



**Figura 1.12** Característica estática (I – V) de un GTO.

#### 1.1.6 MOSFET

El transistor de efecto de campo es un transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. El MOSFET es un dispositivo de cuatro terminales llamadas surtidor (s), drenador (d), compuerta (g) y sustrato (b), el sustrato generalmente está conectado internamente a la terminal del surtidor, y por este motivo se pueden encontrar dispositivos de tres terminales similares a otros transistores de efecto de campo. El transistor MOSFET está basado en la estructura mos. Es el transistor más utilizado en la industria microelectrónica, ya sea en circuitos analógicos o digitales. Prácticamente la totalidad de los microprocesadores comerciales están basados en transistores MOSFET.

El MOSFET tiene una versión NPN y otra PNP. El NPN es llamado MOSFET de canal N y el PNP es llamado MOSFET de canal P, en el MOSFET de canal N, la parte "N" está conectado a la fuente (source) y al drenaje (drain), en cambio el MOSFET de canal P, la parte "P" está conectado a la fuente (source) y al drenaje (drain), como se puede observar en la figura No. 1.13

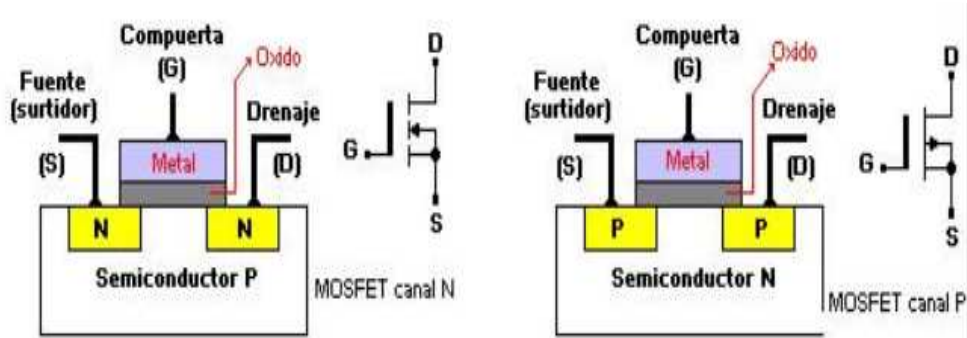


Figura 1.13 Tipos de MOSFET

#### 1.1.6.1 Funcionamiento del MOSFET

Los MOSFET de canal N o de canal P, cuando no se aplica tensión en la compuerta no hay flujo de corriente entre en drenaje (Drain) y la fuente (Source). (Ver figura No. 1.14)

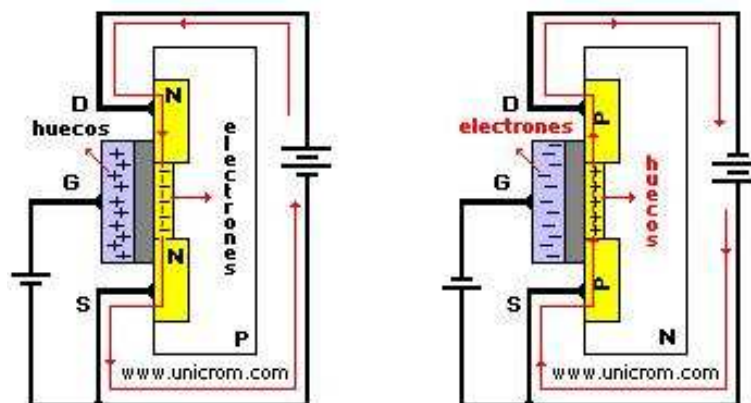


Figura 1.14 Funcionamiento del MOSFET

Para que circule corriente en un MOSFET de canal N, se debe aplicar una tensión positiva en la compuerta, para lograr que los electrones del canal N de la fuente (source) y el drenaje (Drain) sean atraídos a la compuerta (Gate) y pasen por el canal P entre ellos. El movimiento de estos electrones, crea las condiciones para que aparezca un puente entre el drenaje y la fuente, la amplitud o ancho de este puente depende de la tensión aplicada en la compuerta.

En el caso del MOSFET de canal P, se da una situación similar, cuando se aplica una



tensión negativa en la compuerta, los huecos (ausencia de electrones) del canal P del drenaje y de la fuente son atraídos hacia la compuerta y pasan a través del canal N que hay entre ellos, creando un puente entre drenaje y fuente, la amplitud o ancho del puente depende de la tensión aplicada en la compuerta.

#### 1.1.7 PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD)

A continuación se observa en la figura 1.14 el gráfico de un módulo LCD

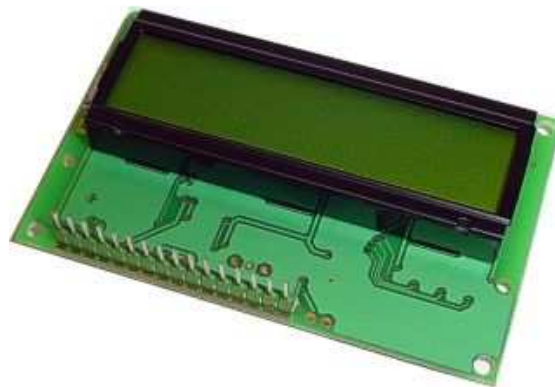


Figura 1.14 Módulo LCD

El LCD es un dispositivo electrónico que permite visualizar cualquier carácter alfanumérico. Estos dispositivos tienen su pantalla y la lógica de control pre-programada en la fábrica, el consumo de corriente es mínimo y no se tendrán que organizar tablas especiales como se hacía anteriormente con los displays de siete segmentos.

Las aplicaciones de los módulos LCD son infinitas ya que son aplicados en la informática, comunicaciones, telefonía, instrumentación, robótica, automóviles, equipos industriales, etc.

En la actualidad los módulos LCD están clasificados en dos grupos:

- El primer grupo está referido a los módulos LCD de caracteres (solamente se podrán presentar caracteres y símbolos especiales en las líneas predefinidas en el módulo LCD).

- El segundo grupo está referido a los módulos LCD matriciales (Se podrán presentar caracteres, símbolos especiales y gráficos).

Los módulos LCD varían su tamaño físico dependiendo de la marca; por lo tanto en la actualidad no existe un tamaño estándar para los módulos LCD.

### 1.1.8 MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es un circuito integrado de muy alta escala de integración que contiene las partes funcionales de un computador:

- CPU (Central Processor Unit o Unidad de Procesamiento Central)
- Memorias volátiles (RAM), para datos
- Memorias no volátiles (ROM, PROM, EPROM) para escribir el programa
- Líneas de entrada y salida para comunicarse con el mundo exterior.
- Algunos periféricos por ejemplo: comunicación serial, temporizador, convertidor A/D, etc.

A continuación en la figura 1.5 se puede observar el diagrama de bloque de un microcontrolador

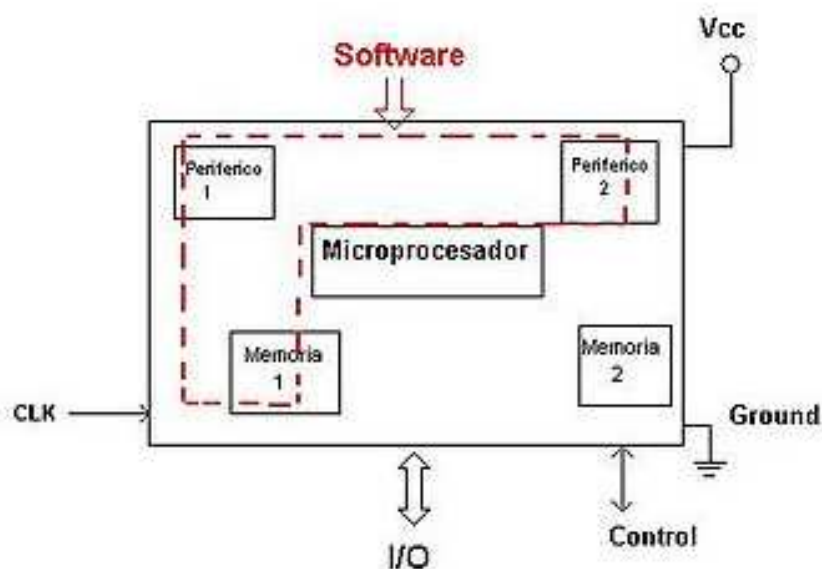


Figura 1.15 Esquema de un microcontrolador

En comparación con otras alternativas de control, los microcontroladores ofrecen las siguientes ventajas:

- Bajo Costo: Su precio puede empezar por debajo de los 5 a 10 dólares.

- Hardware Simple: Un microcontrolador no necesita de muchos elementos externo para funcionar correctamente.
- Facilidad de aprendizaje: Programar un microcontrolador es mucho más sencillo y accesible que otras opciones de control.
- Gran cantidad de marcas y arquitecturas disponibles: Lo que permite seleccionar el microcontrolador adecuado para la aplicación que se requiera.

#### 1.1.8.1 Microcontroladores AVR

Los AVR's son CPU con arquitectura Harvard. Tiene 32 registros de propósito general de 8 bits, estos registros de entrada-salida de datos y la memoria de datos forman un solo espacio de localidades, que acceden mediante operaciones de carga y almacenamiento, en la figura 1.16 se puede observar el esquema interno del AVR

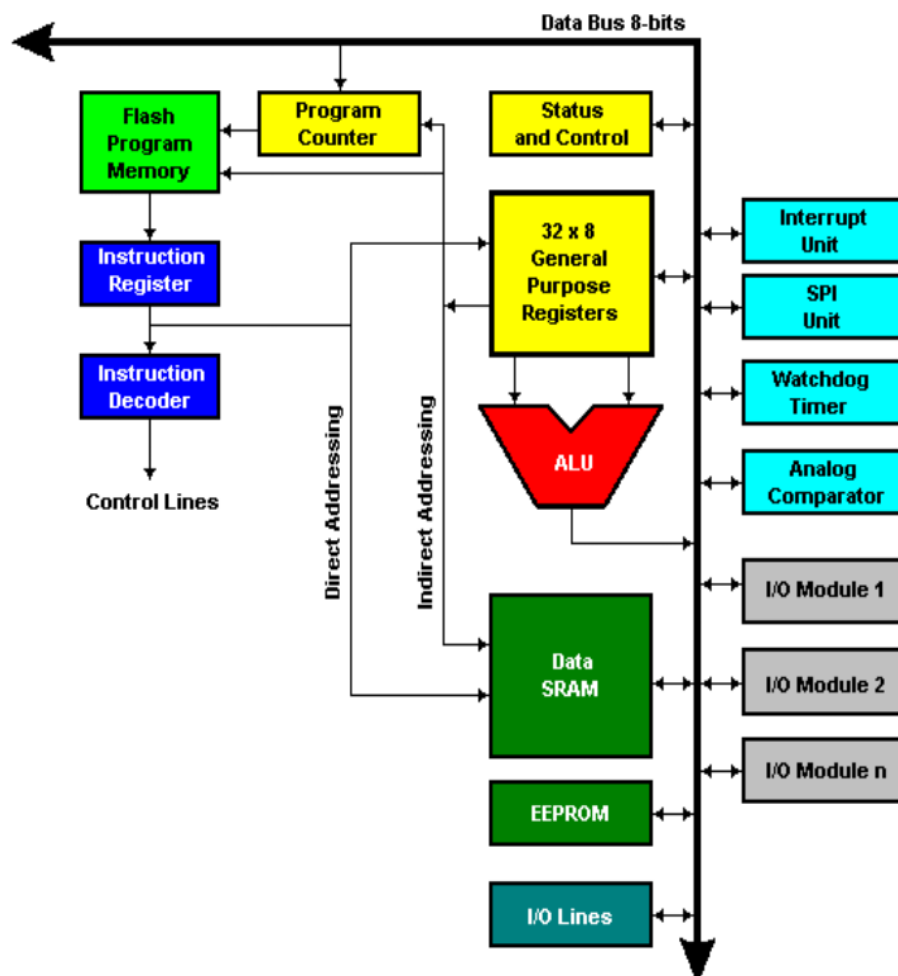


Figura 1.16 CPU de los AVR's

### 1.1.9 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Los microcontroladores AVR, soportan varios lenguajes de programación como por ejemplo: lenguaje Ensamblador, C, Basic, etc.

Para la realización de este proyecto se utiliza el lenguaje de programación Basic, este lenguaje es de alto nivel, para lo cual se programa una rutina que permita controlar la potencia de un foco por medio del GTO, para lo cual se utiliza el software BASCOM AVR.

#### 1.1.9.1 BASCOM AVR

BASCOM AVR 1.11.9.0 fue desarrollo por la empresa MCS Electronics, el cual permite realizar programas en alto nivel, lo que permite desarrollar sistemas inteligentes de una manera más fácil, también posee un compilador y un ensamblador que permite traducir las instrucciones a lenguaje máquina el mismo que entiende el microcontrolador.

En la figura 1.17 se puede observar el diagrama de bloque básico que se genera al programar un AVR

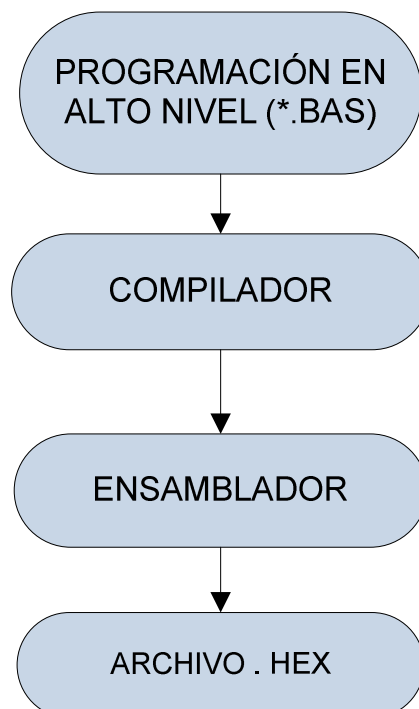


Figura 1.17 Diagrama de bloques de programación

La figura 1.18 muestra la pantalla principal del programa BASCOM AVR

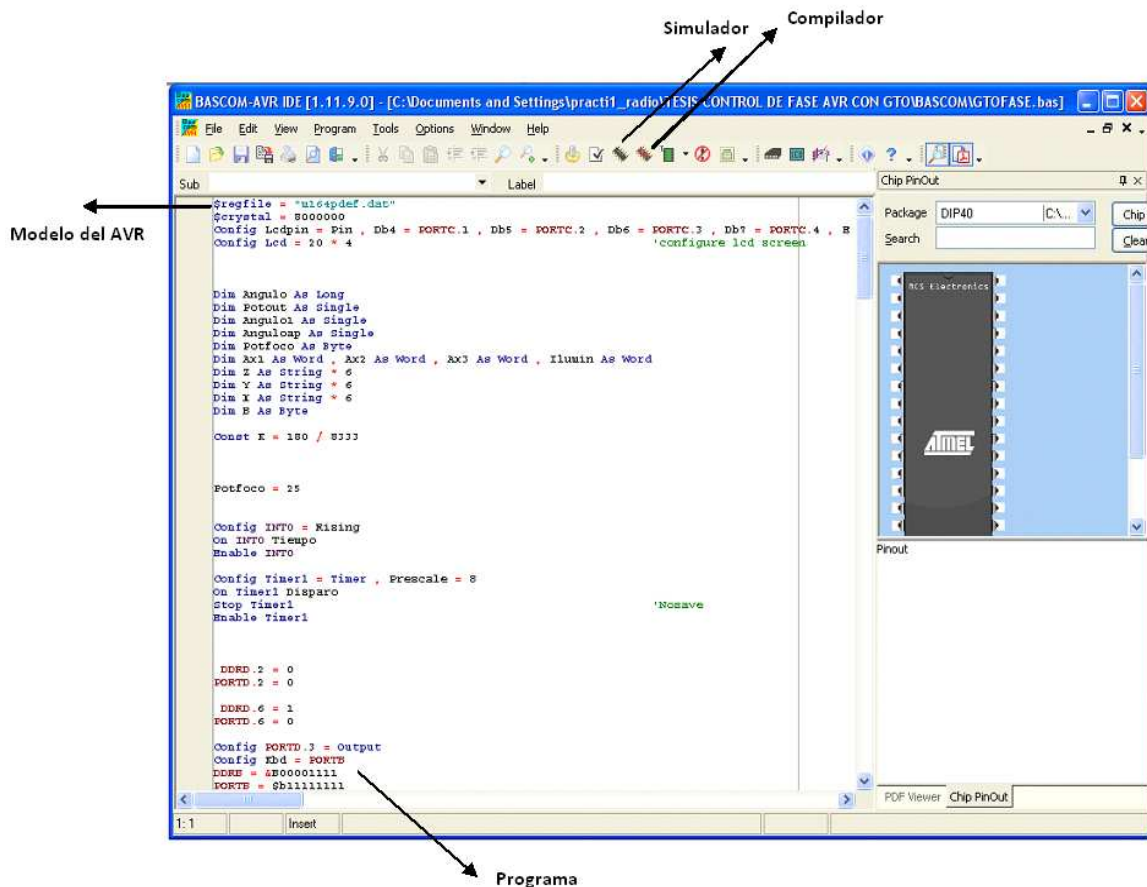


Figura 1.18 Estructura de un programa

### 1.1.9.2 Instrucciones básicas de BASCOM AVR

A continuación se describe algunas de las instrucciones básicas que posee este paquete computacional.

#### ➤ \$REGFILE

Esta instrucción siempre va al inicio de cada programa, debido a que es la encargada de direccionar el respectivo microcontrolador que vamos usar, para este proyecto se utiliza el microcontrolador Atmega164P para lo cual definimos \$regfile="m164p.dat".

#### ➤ CRISTAL

Esta instrucción especifica la frecuencia a la que va a trabajar el microcontrolador.

Por ejemplo:

\$crystal=1000000 para 1MHz

\$crystal=8000000 para 8MHz

\$crystal=11059200 para 11.0592 MHz

#### ➤ CONFIG

Esta instrucción configura una terminal, un p rtico, como entrada o salida de datos.

Por ejemplo:

Config porta=output      Se configura el p rtico A como salida

Config pind.0=input      Se configure pinD.0 como entrada

Config Lcd=16\*2          Lcd de 16 caracteres y 2 líneas

#### ➤ WAIT, WAITMS, WAITUS

Esta instrucción sirve para crear un retardo, ya sea en segundo, milisegundo y microsegundos.

Por ejemplo:

Wait 3                      Retardo 3 segundos

Waitms 700                Retardo de 700 milisegundos.

Waitus 500                Retardo de 500 microsegundos.

#### ➤ DO-LOOP

Esta instrucción es un lazo cerrado, en el cual se ejecuta un conjunto de instrucciones de forma indefinida.

#### ➤ DO-LOOP UNTIL

Es un lazo definido por la condición de una variable que est  dentro de lazo, la cual define cuando termine de ejecutarse.

Por ejemplo:

DO

Suma=suma+1

Loop until suma=25

➤ TOGGLE

Este comando hace complemento de alguna variable o terminal de un p rtico.

Por ejemplo:

Toggle Portb.2 Complementa el portb.2

➤ DIM

Dim sirve para dimensionar cualquier tipo de variable. A continuación en la tabla 1.1 se describe los tipos de variables:

Tabla 1.1 Tipos de variables

TIPO	DIMENSIÓN
Bit	0-1
Byte	0 a 255
Word	0 a 65535
Load	-2147483648 a 2147483647
Integer	-32768 a 32767
Single	$1.5 \times 10^{-45}$ a $3.4 \times 10^{38}$
String	Cadena de caracteres max. 254
Array	Matriz de 65535
Double	$5.0 \times 10^{324}$ a $1.7 \times 10^{308}$

➤ ALIAS

Se utiliza para definir un nombre general dentro del programa, este puede ser un p rtico o una terminal de p rtico.

Por ejemplo:

LCD Alias Portc.0 el portc.0 se llama LCD

➤ DDRx, PORTx, PINx

DDR, PORT y PIN se utiliza para definir un p rtico como entrada o salida de información.

DDRx: Configura al pin como entrada o salida

PORTx: Es el registro de salida de datos

PIN: Es el registro de entrada de datos

Es importante recalcar que cuando se configura un puerto como salida, se debe ocupar la palabra PORT y si se lo configura como entrada la palabra PIN.

➤ IF-THEN; ELSE

Son sentencias condicionales, en la figura 1.19 se aprecia el símbolo que se utiliza en un diagrama de flujo para dicha sentencia.

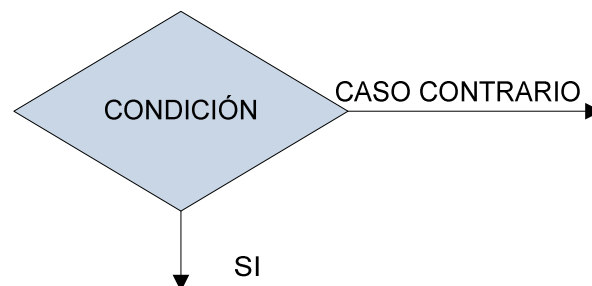


Figura 1.19 Condición lógica IF-ELSE

➤ FOR- NEXT

Son instrucciones de repetición, ya que ejecutan un conjunto de instrucciones, dependiendo de una variable incremental que se encuentra dentro del lazo.



La figura 1.20 muestra el diagrama correspondiente a esta sentencia.

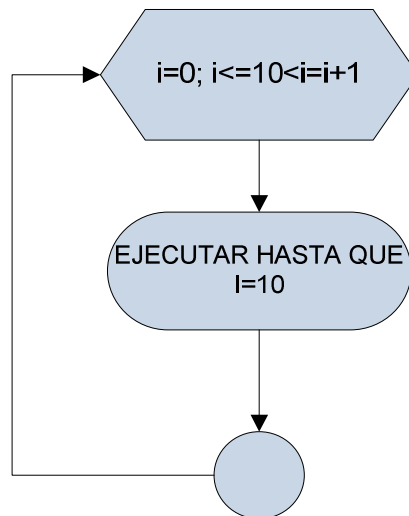


Figura 1.20 Condición de repetición FOR-NEXT

#### ➤ SELECT-CASE

Son sentencias que se pueden ejecutar, dependiendo del estado de una variable de selección, se puede tener un conjunto de casos que pueden ser ejecutados dependiendo de la variable, en la figura 1.21 se observa la representación de la sentencia.

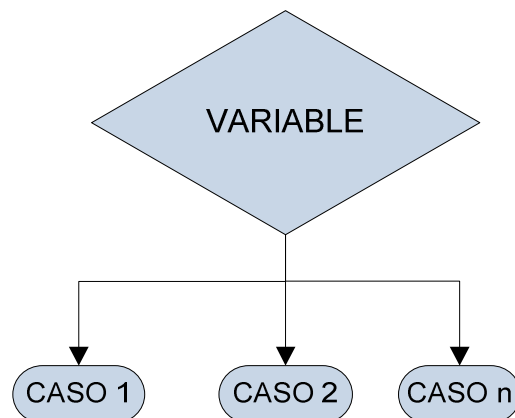


Figura 1.21 Condición de selección SELECT-CASE

### 1.1.9.3 Símbolos Operacionales

A continuación se describe algunos de operadores más comunes.

- OPERADORES MATEMÁTICOS

- Suma:  $a=b+c$
- Resta:  $a =b-c$
- Multiplicación:  $a=b*c$
- División:  $X= a\backslash b$
- Residuo:  $a \text{ MOD } b$

- OPERADORES DE RELACIÓN

- = igual  $X=Y$
- <> no es igual  $X<>Y$
- < menor que  $X<Y$
- > mayor que  $X>Y$
- <= menor igual  $X<=Y$
- >= mayor igual  $X>=Y$

- OPERADORES LÓGICOS

- NOT Complemento (Negación)
- AND Conjunción (Y)
- OR Disyunción (O)
- XOR OR Exclusiva

### 1.1.9.4 Representación de lógica digital

Para la representación de un número binario o hexadecimal, dentro de BASCOM AVR, se necesario anteponer el símbolo "&". Para el caso de los números decimales no es necesario anteponer ningún símbolo.

Por ejemplo:

Porta= &HF9	Número Hexadecimal
Portb=&b10001100	Número binario
Porta= 129	Número decimal

#### 1.1.9.5 Estructura de un programa en BASIC

Cuando se estructura un programa en alto nivel, es necesario llevar un orden y vinculación de las instrucciones que se realizan.

Es fundamental que el programa esté constituido de 4 partes (ver figura 1.22), que son las siguientes:

- Configuraciones y dimensionamientos de variables y subrutinas
- Programa principal
- Subrutinas
- Tabla de datos

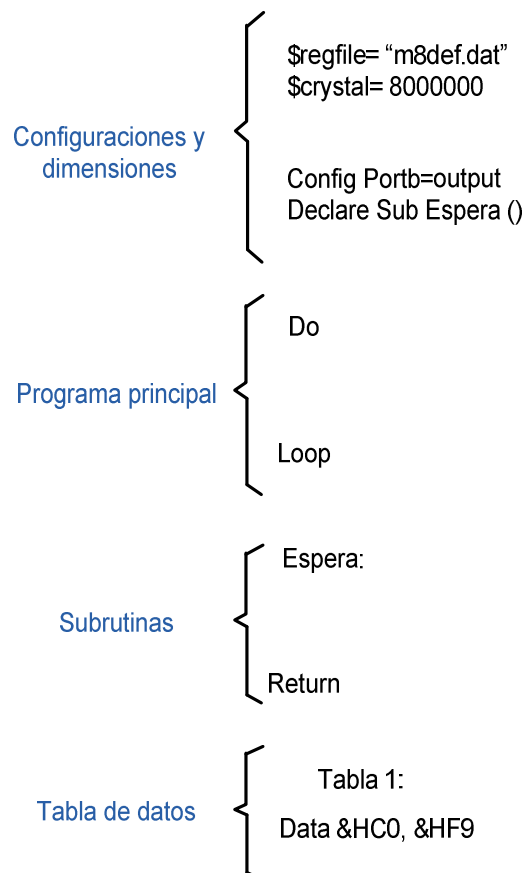


Figura 1.22 Estructura básica de un programa

## CAPÍTULO II

### 2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describirán las características técnicas de los elementos y los circuitos que constituyen el módulo didáctico, para la construcción del hardware; también consta del diseño del circuito y los diagramas lógico y circuital del mismo, además se da un estimado del costo de la elaboración del prototipo.

#### 2.2 DISEÑO DEL HARDWARE

El módulo permitirá controlar la potencia suministrada a una carga que soporta un rango de 0 a 15 W, por lo cual el diseño se dividió en etapas, que a continuación se detallan. (Ver figura No. 2.1)

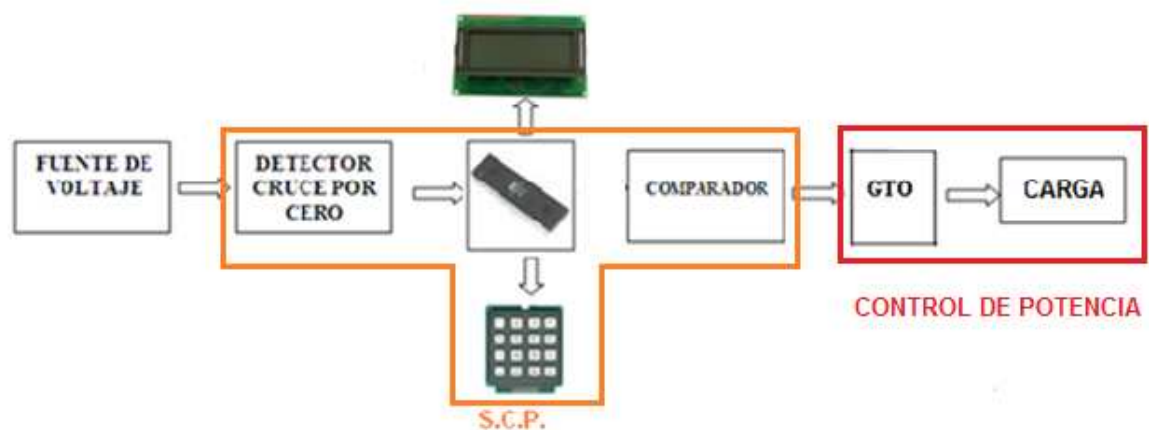


Figura 2.1 Diagrama de bloques

El módulo está constituido por las siguientes etapas:

- Fuente de alimentación.
- Detector de cruce por cero.
- Sistema central de procesamiento (Microcontrolador, LCD, teclado 4X4).
- Etapa de control (Comparador, GTO, Carga)

### 2.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Por definición, una fuente de alimentación es un dispositivo que convierte el voltaje de la línea AC en una salida estable DC o múltiples salidas DC. ( ver figura 2.2)

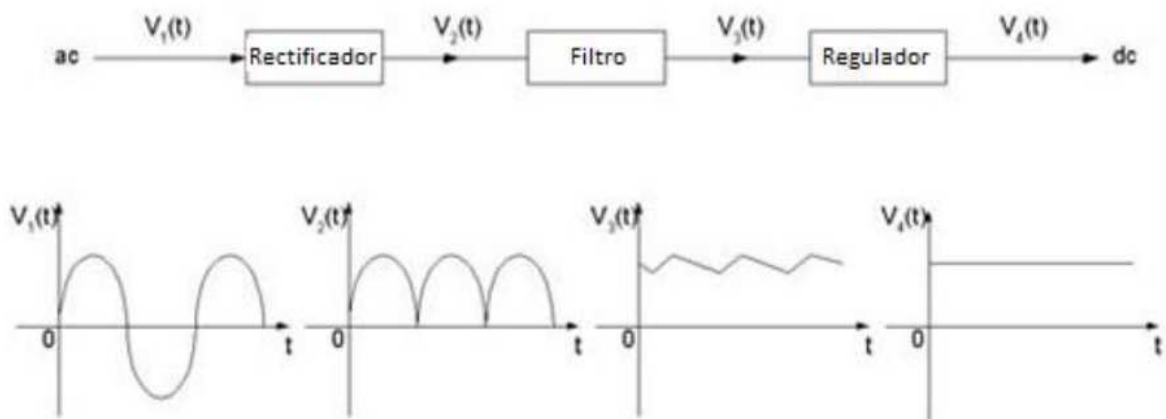


Figura 2.2 Diagrama de bloques de una fuente de alimentación AC-D

Para el diseño se requiere de dos fuentes de voltaje, la primera es una fuente dual o simétrica<sup>1</sup> de +12V y -12V, la cual se utiliza para alimentar el operacional que sirve como comparador, la otra fuente es de +5V la cual alimenta a los siguientes elementos: LCD, microcontrolador y optoacoplador. En la figura No. 2.3 se observa el diagrama circuital de la fuente simétrica.

<sup>1</sup> Fuente Dual o Simétrica se utilizan para alimentar circuitos que funcionan con voltajes positivo y negativo.

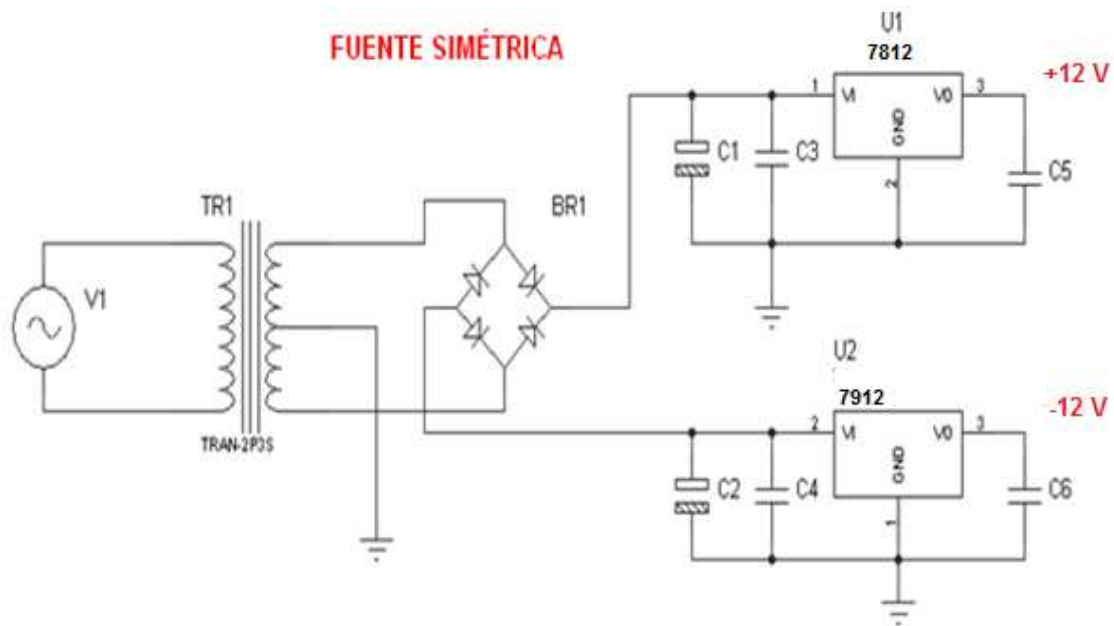


Figura 2.3 Fuente simétrica de +12 y -12 V

Para la fuente de +12 V y -12 V DC que alimenta al operacional (TL082) que trabaja con una corriente de 2 mA.

$$I_{\text{total}} = 2 \text{ mA}$$

Se considera que la corriente al regulador es 10 % más, la corriente de entrada es 2.2 mA

El regulador de voltaje 7812 y 7912 soporta una corriente de hasta 1 A, la cual es suficiente para el diseño.

Asumiendo un factor de rizado de 10% y un voltaje de entrada de 12 V, el valor del capacitor C1 (ver figura No. 2.3) que se utiliza como filtro, se calcula:

$$C1 = \frac{I_{DC}}{4\sqrt{3}fV_{DC}\gamma}$$

$$C1 = \frac{2.2 \text{ (mA)}}{4\sqrt{3} \times 60 \text{ (Hz)} \times 12 \text{ (V)} \times 0.1}$$

$$C1 = 4,4 \mu F$$

El valor del capacitor más cercano es de 10 uF.

$$V_m = V_{DC} (1 + \sqrt{3} \gamma)$$

$$V_m = 12 (V) (1 + \sqrt{3} \times 0,1)$$

$$V_m = 14,078 (V)$$

En el diseño se utiliza un rectificador de onda completa, con un puente de diodos, por lo que para cada semiciclo de la onda se tiene dos diodos, por tanto el voltaje pico que recibe el transformador es el voltaje pico en el capacitor más 1,4 V debido al voltaje de barrera de cada diodo que es de 0,7 voltios por lo que el voltaje pico del transformador es:

$$V_{pico} = V_m + 2V_{diodos}$$

$$V_{pico} = 14,078 (V) + 2 \times 0,7 (V)$$

$$V_{pico} = 15,478 (V)$$

El voltaje RMS que debe proporcionar el transformador es 10.94 V AC

La corriente que circula por el puente de diodos es la misma que sale del transformador es:

$$RL = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$RL = \frac{12 (V)}{2.2 (mA)}$$

$$RL = 5,45 \Omega$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{4fcRL - 1}{4fcRL + 1}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{4 \times 60 \text{ (Hz)} \times 10 \text{ (uF)} \times 5,45 \text{ (\Omega)} - 1}{4 \times 60 \text{ (Hz)} \times 10 \text{ (uF)} \times 5,45 \text{ (\Omega)} + 1}$$

$$\theta_1 = 76,9^\circ$$

$$i_{max} = Vm \left( \frac{\sin \theta_1}{RL} + 2\pi fC \cos wt \right)$$

$$i_{max} = 14,078 \left( \frac{\sin(76,9^\circ)}{5,45 \text{ (\Omega)}} + 2\pi \times 60 \text{ (Hz)} \times 10 \text{ (uF)} \cos(76,9^\circ) \right)$$

$$i_{max} = 2.5 \text{ A}$$

Para la fuente de +5 V DC sirve para alimentar los elementos antes mencionados; microcontrolador que tiene una corriente de 200 mA, la LCD de 100 mA, el optoacoplador de 10 mA. (Ver figura No. 2.4)

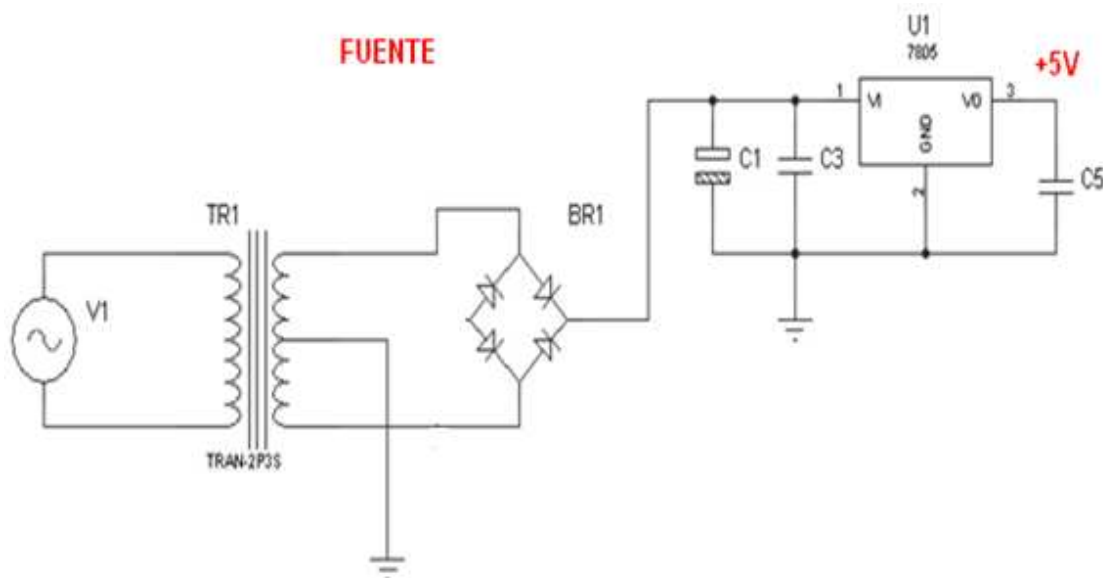


Figura 2.4 Fuente de voltaje de +5 V

Con los elementos considerados la corriente total es:

$$I_{total} = I_{micro} + I_{LCD} + I_{optoacoplador}$$



$$I_{\text{total}} = 200 \text{ mA} + 100 \text{ mA} + 10 \text{ mA}$$

$$I_{\text{total}} = 310 \text{ mA}$$

Se considera que la corriente al regulador es 10 % más, la corriente de entrada es 341 mA

El regulador de voltaje 7805 soporta una corriente de hasta 1 A, la cual es suficiente para el diseño.

Asumiendo un factor de rizado de 10% y un voltaje de entrada de 12 V, el valor del capacitor C1 (ver figura No. 2.4) que se utiliza como filtro, se calcula:

$$C1 = \frac{I_{DC}}{4\sqrt{3}fV_{DC}\gamma}$$

$$C1 = \frac{341 \text{ (mA)}}{4\sqrt{3} \times 60 \text{ (Hz)} \times 12 \text{ (V)} \times 0,1}$$

$$C1 = 683,59 \mu F$$

El valor del capacitor más cercano es de 1000 uF.

$$V_m = V_{DC} (1 + \sqrt{3} \gamma)$$

$$V_m = 12 \text{ (V)} (1 + \sqrt{3} \times 0,1)$$

$$V_m = 14,078 \text{ (V)}$$

En el diseño se utiliza un rectificador de onda completa, con un puente de diodos, por lo que para cada semiciclo de la onda se tiene dos diodos, por tanto el voltaje pico que recibe el transformador es el voltaje pico en el capacitor más 1,4 V

debido al voltaje de barrera de cada diodo que es de 0,7 voltios por lo que le voltaje pico del transformador es:

$$V_{pico} = V_m + 2V_{diodos}$$

$$V_{pico} = 14,078 (V) + 2 \times 0,7(V)$$

$$V_{pico} = 15,478 (V)$$

El voltaje RMS que debe proporcionar el transformador es 10.94 V AC

La corriente que circula por el puente de diodos es la misma que sale del transformador es:

$$RL = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$RL = \frac{12 (V)}{341 (mA)}$$

$$RL = 35,19 \Omega$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{4fcRL - 1}{4fcRL + 1}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{4 \times 60 (Hz) \times 1000 (\mu F) \times 35,19 (\Omega) - 1}{4 \times 60 (Hz) \times 1000 (\mu F) \times 35,19 (\Omega) + 1}$$

$$\theta_1 = 72,68^\circ$$

$$i_{max} = V_m \left( \frac{\sin \theta_1}{RL} + 2\pi fC \cos wt \right)$$

$$i_{max} = 14,078 \left( \frac{\sin(72,68^\circ)}{35,19 (\Omega)} + 2\pi \times 60 (Hz) \times 1000(\mu F) \cos(72,68^\circ) \right)$$

$$i_{max} = 1,96 A$$

### 2.2.2 DETECTOR DE CRUCE POR CERO

La fuente de +12V DC rectificadas, sirve para detectar el cruce por cero de la señal original, debido a que tiene la misma frecuencia de operación de la red. Se puede observar el circuito eléctrico de la fuente, la que está compuesta por un transformador y un rectificador de media onda.

Este circuito sirve para detectar cuando la tensión de la red cruza por cero, ésta señal se transforma a +12V AC y se la rectifica, para obtener 12V DC con la misma frecuencia de 60 Hz de la red, la que ingresa al optoacoplador MOC-3011. En la figura No. 2.5 se muestra el diagrama del circuito detector de cruce por cero.

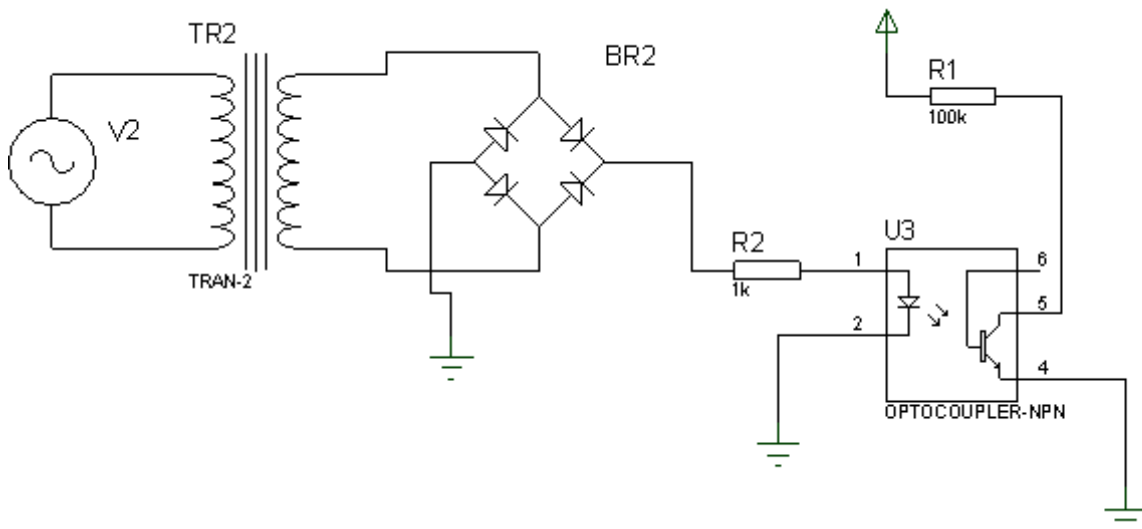


Figura 2.5 Circuito del detector de cruce por cero

El optoacoplador soporta una corriente de hasta 100mA, para un rectificador de onda completa se tiene:

$$V_{CD} = \frac{2V_m}{\pi}$$

$$V_{CD} = \frac{2V_{RMS} - (0,7) * 2}{\pi}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_{DC}}{2} * \pi + 1,4$$

$$V_{RMS} = \frac{12}{2} * \pi + 1,4$$

$$V_{RMS} = 20,24 [V]$$

$$I_{DC} = \frac{2I_{Lmax}}{\pi}$$

$$\frac{I_{DC}}{2} \times \pi = I_{Lmax}$$

$$I_{Lmax} = \frac{\pi(100(mA))}{2}$$

$$I_{Lmax} = 157,07 mA$$

Con lo cual un transformador de 0.5 A es suficiente para la fuente, que sirve para detectar el cruce por cero de la tensión de red.

Para utilizar el optoacoplador 2N25 como detector de cruce por cero es necesario colocar una resistencia 100KΩ a la salida del gate y una de 1KΩ a la entrada.

El optoacoplador está compuesto por un foto diodo que recibe la señal rectificada, cuando la señal es positiva emite 1 lógico hacia el foto transistor el cual se satura y transmite 0 lógico hacia el microcontrolador, en cambio cuando la señal cruza por cero el foto diodo transmite 0 lógico lo cual hace que el foto transistor trabaje en corte y transmita 1 lógico, en otras palabras cuando la señal este en cero lógico vamos a tener pulso positivos hacia el microcontrolador al terminal 16 el cual es la interrupción externa 0. En la figura No. 2.6 se muestra la señal rectificada y la señal que obtenemos a la salida del detector de cruce por cero hacia el microcontrolador.

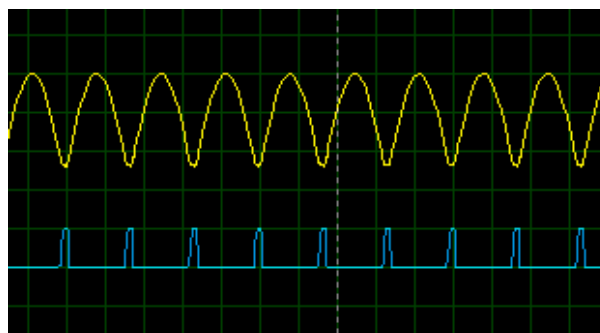


Figura 2.6 Formas de ondas

### 2.2.3 SISTEMA CENTRAL DE PROCESAMIENTO

Esta etapa se compone por los siguientes elementos: Microcontrolador, LCD 20x4 y un teclado 4x4. A continuación se describen cada uno de ellos.

#### 2.2.3.1 Microcontrolador ATMEGA164P

Para el diseño del módulo se utiliza el microcontrolador ATMEGA164P, debido a que satisface las necesidades requeridas para la elaboración del proyecto. A continuación se detallan sus características técnicas:

- Arquitectura Avanzada RISC
  - 131 instrucciones. La mayoría de un solo ciclo de reloj de ejecución.
  - 32 registros de trabajo de 8 bits para propósito general.
  - Multiplicador por hardware de 2 ciclos.
- Memorias de programa y de datos no volátiles de alta duración
  - 16 K bytes de FLASH auto programable en sistema
  - 512 K bytes de EEPROM
  - 1 K bytes de SRAM Interna
  - Ciclos de escritura/borrado: 10.000 en Flash / 100.000 en EEPROM
  - Retención de Datos: 20 años a 85°C / 100 años a 25°C
- Interfase JTAG
  - Capacidades de Boundary Scan de acuerdo con el estándar JTAG
  - Soporte Extendido Debug dentro del chip
  - Programación de FLASH, EEPROM, fusibles y bits de bloqueo a través de la interfaz JTAG.
- Características de los periféricos
  - Dos Timer/Contadores de 8 bits con prescalamiento separado y modo comparación.
  - Un Timer/Contador de 16 bits con prescalamiento separado, modo comparación y modo de captura.

- Contador en Tiempo Real con Oscilador separado
  - 6 Canales para PWM
  - ADC de 10 bits y 8 canales
  - Modo Diferencial con ganancia seleccionable a x1, x10 o x200.
  - Interface serie de dos hilos con byte orientado.
  - Dos puertos Seriales USART Programables
  - Interfaz Serial SPI maestro-esclavo
  - Watchdog Timer programable con oscilador independiente, dentro del mismo chip.
  - Comparador Analógico dentro del mismo Chip
- Características especiales del microcontrolador
    - Power-on Reset (en el encendido) y detección de Brown-out (pérdida de polarización) programable.
    - Oscilador RC interno calibrado.
- Encapsulados para Entradas/Salidas (E/S)
    - 32 líneas de E/S programables.
    - PDIP de 40 pines, TQFP y QFN/MLF de 44 pines.
- Voltajes de Operación
    - 1.8 – 5.5V para el ATMEGA 164P/324P/644PV
    - 2.7 – 5.5V para el ATMEGA 164P/324P/644P

En la figura 2.7 se puede observar el encapsulado correspondiente al microcontrolador Atmega 164p.

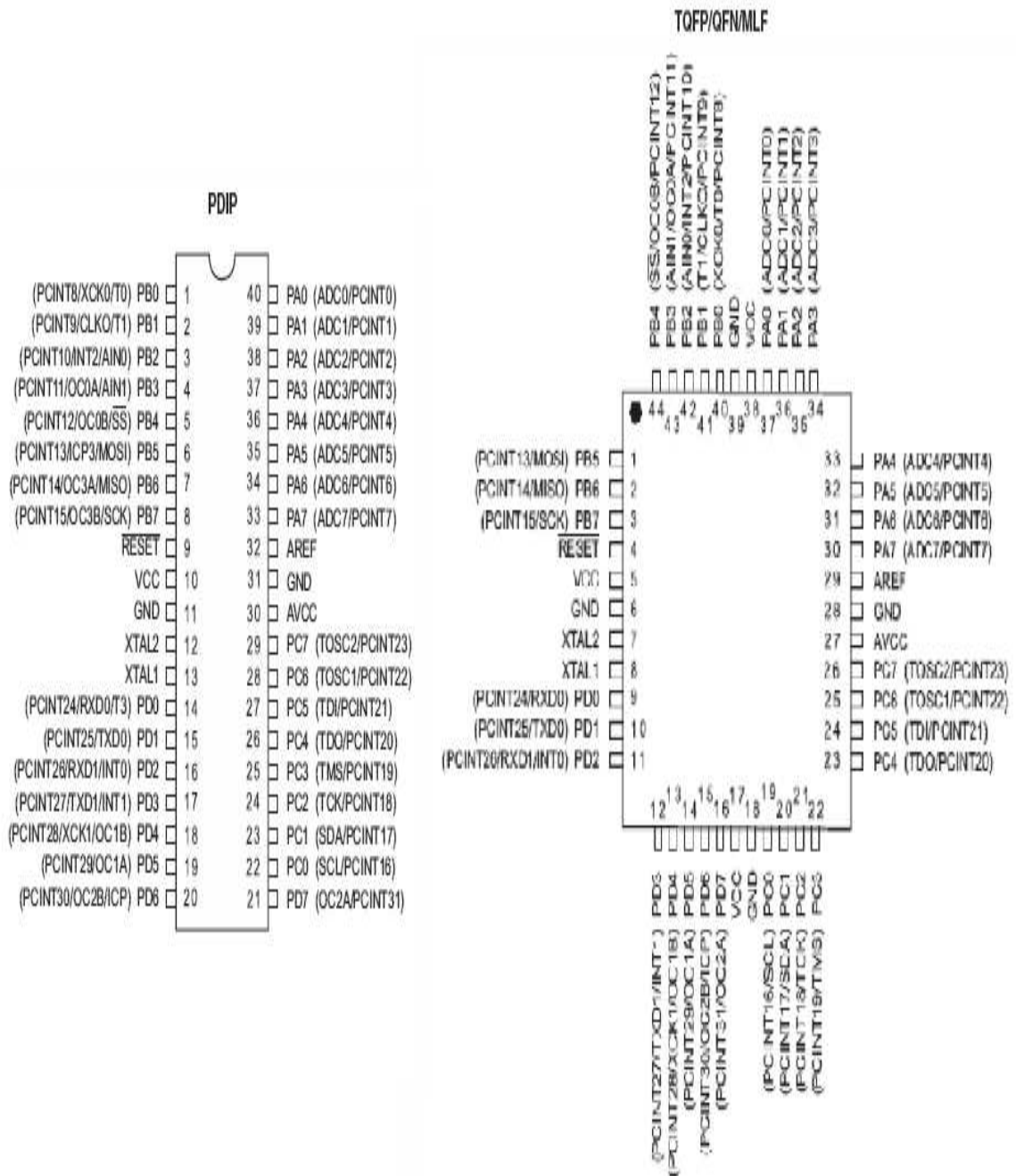


Figura 2.7 Tipos de encapsulamiento del Atmega164p

### 2.2.3.1.1 Diagrama de Bloques de ATMEGA164P

La figura 2.8 muestra el diagrama de bloques correspondiente al microcontrolador

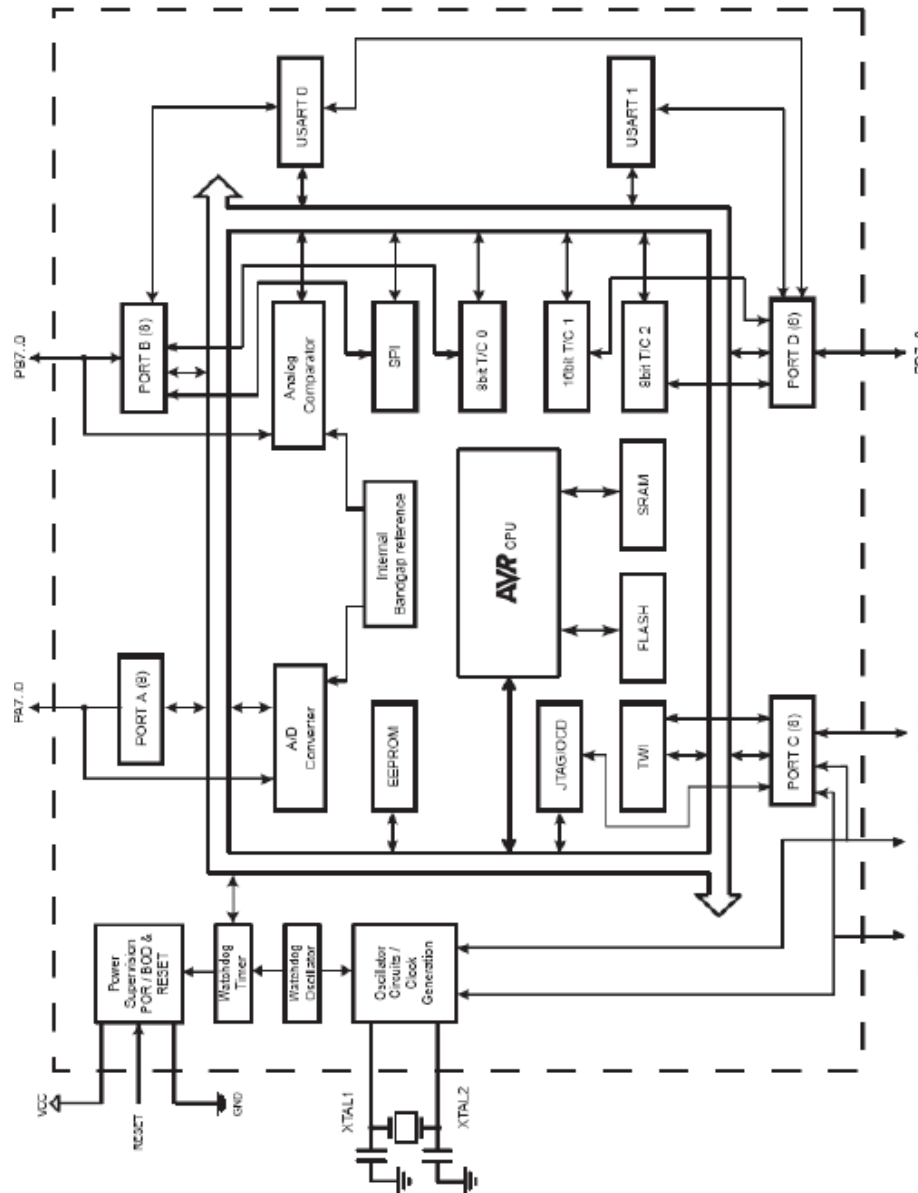


Figura 2.8 Diagrama de Bloques

### 2.2.3.2 LCD (20x4)

Se utiliza una LCD de 20x4, la misma que se conecta con el microcontrolador para poder observar la información que se procesa, de esta forma facilitar al usuario visualizar el nivel de potencia, ángulo de disparo, tiempo de activación y



desactivación del GTO, previamente seleccionados mediante el teclado. En la figura No. 2.9 se puede observar la LCD (20x4) RT204-1.



Figura 2.9 Pantalla de cristal (LCD RT204-1)

#### 2.2.3.2.1 Descripción de Pines

A continuación en la tabla 2.1 se observan la distribución de pines de la LCD RT204-1.

Tabla 2.1 Función de cada PIN de la LCD

PIN	NOMBRE DEL PIN	DESCRIPCIÓN
1	Vss	Tierra de alimentación
2	Vdd	Alimentación +5V
3	Vo	Ajuste del contraste del cristal líquido (0 a +5V)
4	RS	Selección del registro de control / datos RS=0 Reg.Control RS=1 Reg. Datos
5	R/W	Lectura / escritura en LCD R/W=0
6	E	Habilitación de la señal E=0 módulo desconectado E=1 módulo conectado
7	DB0	Línea de datos (bit de menos peso)
8	DB1	Línea de datos
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	

PIN	NOMBRE DEL PIN	DESCRIPCIÓN
13	DB6	
14	DB7	Línea de datos (bit de más peso)
15	A	Alimentación del backlight +3.5V o +5VCC (según especificación técnica)
16	K	Tierra GND del backligh

### 2.2.3.3 Teclado 4x4

Un teclado matricial es un arreglo de botones conectados en filas y columnas (ver figura 2.10). Un teclado matricial 4x4 solamente ocupa 4 líneas de un puerto para las filas y otras 4 líneas para las columnas, de este modo se pueden leer 16 teclas utilizando solamente 8 entradas (un solo puerto) de un microcontrolador.

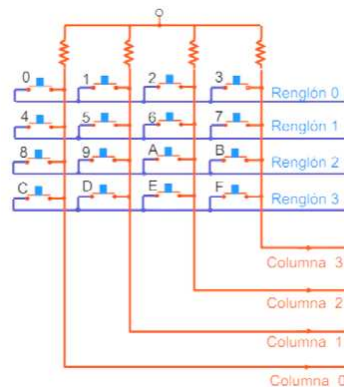


Figura 2.10 Teclado

El teclado es un elemento pasivo, que sirve para la introducción de información al microcontrolador; en el diseño se utiliza para ingresar el porcentaje de la potencia a la cual se quiere controlar la luminosidad del foco (ver figura No. 2.11).



Figura 2.11 Teclado 4X4

### 2.2.3.4 Esquema del Sistema Central de Procesamiento

En la figura No. 2.12 se observa la interconexión del microcontrolador con la LCD y el teclado.

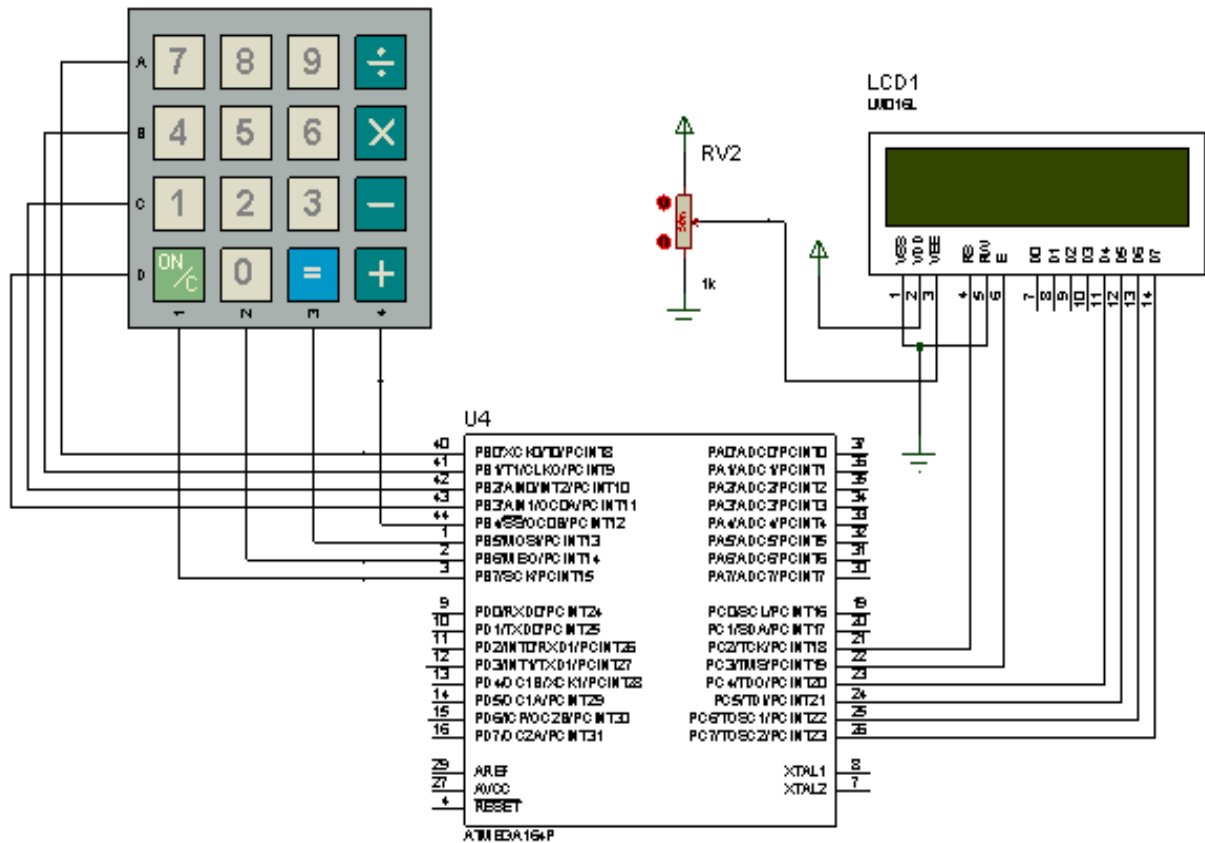


Figura 2.12 Circuito del sistema central de procesamiento

Para realizar la conexión del teclado 4X4 con el microcontrolador se utiliza los cuatro primeros pines 0, 1, 2 y 3 del pÓrtico B para el ingreso de la tecla presionada y los pines 4, 5, 6, 7 es para el barrido del teclado el cual va hacer por 0 lÓgico.

En el caso de la LCD los pines D4-D7 se conectan a las terminales 4, 5, 6 y 7 del pÓrtico C de microcontrolador, la terminal E va conectada al PINC 3, el terminal R/W se conecta a tierra, RS al PINC 2, VEE se utiliza para el ajuste de contraste por lo que se conecta a un potenciÓmetro de 10KΩ; VDD y VSS se utilizan para la

polarización de la LCD por lo cual van conectadas a VCC y GND respectivamente.

## 2.2.4 ETAPA DE CONTROL

### 2.2.4.1 Circuito Comparador

Se utiliza el circuito integrado TL-082, el cual es un operacional, que en el diseño del módulo se lo utiliza como comparador, para determinar cuál de las señales de entrada es mayor. A la salida del operacional se pone un MOSFET (IRF 9610) que sirve para apagar el GTO cuando viene un pulso negativo del comparador y de la misma salida del operacional se coloca un diodo que va a transmitir el pulso positivo que activa el GTO. (Ver Figura No. 2.13)

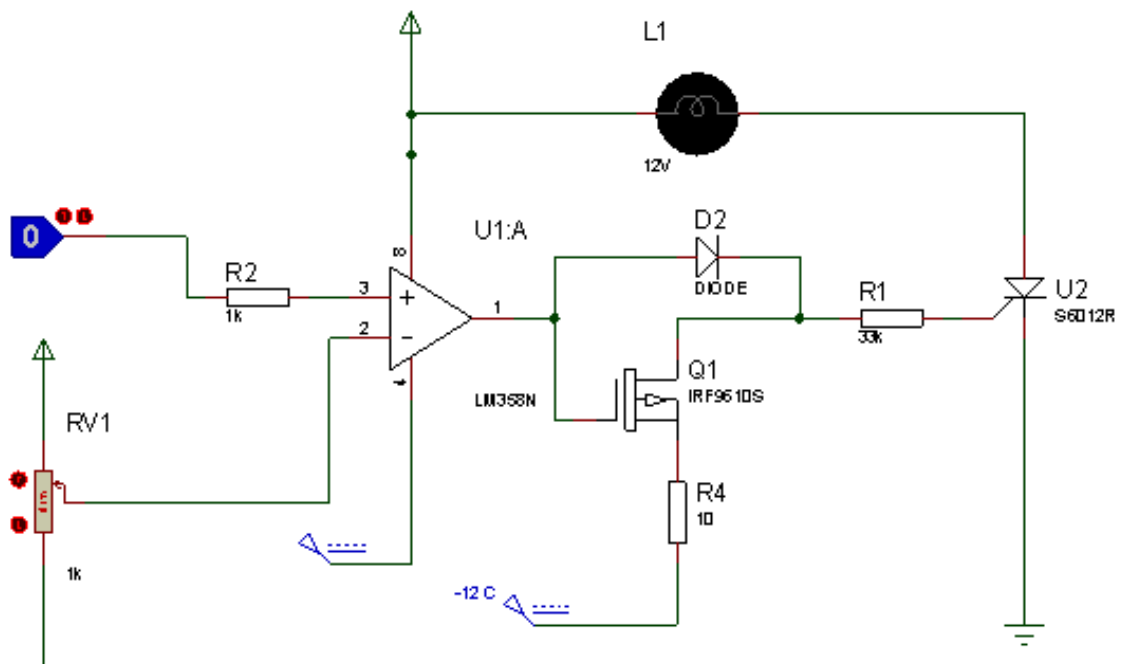


Figura 2.13 Circuito comparador del GTO

A la salida del drenaje del MOSFET se coloca una resistencia que se calcula de la siguiente manera:

$$V_{entrada} = -12 V$$

$$V_{sd} = 0.6 V$$

$$I_{max} = 1.8 A$$

$$R = \frac{V_{entrada} - v_{sd}}{I_{max}}$$

$$R = \frac{12 - 0.6 V}{1.8 A}$$

$$R = 6.3 \Omega$$

Entonces la resistencia a la entrada del drenaje de MOSFET es de 10Ω.

Para el cálculo de la resistencia a la entrada de la compuerta del GTO es de la siguiente manera:

$$V_{entrada} = 12 V$$

$$V_{GT} = 0.6 V$$

$$I_{MAX G} = 0.38 m A$$

$$R = \frac{V_{entrada} - v_{GT}}{I_{MAX G}}$$

$$R = \frac{12 - 0.6 V}{0.38 m A}$$

$$R = 30 K\Omega$$

Entonces la resistencia a la entrada de la compuerta del GTO es de 33 KΩ.

El funcionamiento es el siguiente, cuando la entrada proveniente desde el microcontrolador (PIND 6) es mayor al voltaje de referencia, que es de 2V, el mismo que es controlado por medio de un potenciómetro de precisión de 1K Ω, a la salida del operacional se obtiene un voltaje positivo de +12V que desactiva el MOSFET y pasa a través del diodo para activar el GTO (Ver figura No. 2.13), y cuando tenemos una señal inferior al voltaje de referencia, obtenemos a la salida un voltaje negativo de -12V que activa al MOSFET de canal P para que conduzca la corriente negativa y apague al GTO. En la figura No. 2.14 podemos observar la forma de onda a la salida del comparador.

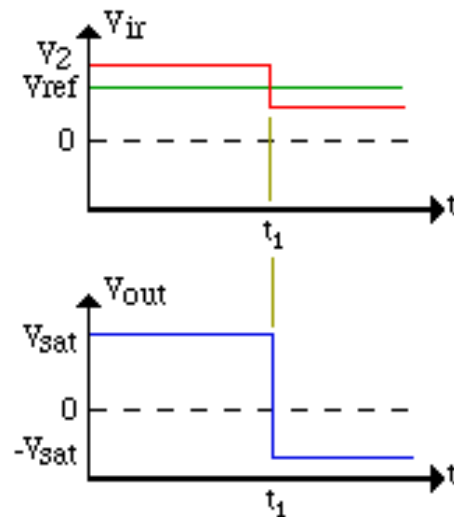


Figura 2.14 Formas de onda del comparador

#### 2.2.4.2 Tiristor controlado por compuerta (GTO)

El GTO utilizado para el diseño del módulo es el GTO ECG-279A, tiene una conducción de corriente unidireccional, y puede ser apagado en cualquier instante por un pulso de corriente negativa, para lo cual se diseña un circuito comparador para controlar el disparo de GTO. ( Ver figura No. 2.15)



Figura 2.15 GTO ECG-279<sup>a</sup>

Sus principales características se pueden apreciar en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Características de operación del GTO

SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
$I_{GT}$	0.38	mA
$I_H$	30	mA
$I_{T(RMS)}$	0.25	A
$V_{DRM}$	350	V

- $V_{DRM}$  (Tensión de pico repetitivo en estado de bloqueo): Es el máximo valor de tensión admitido de tensión inversa, sin que el GTO se dañe.
- $I_{T(RMS)}$  (Corriente en estado de conducción): es el máximo valor de corriente eficaz en estado de conducción que puede ser aplicado al dispositivo.
- $I_H$  (Corriente de mantenimiento): El mínimo valor de corriente necesario para mantener la conducción.
- $I_{GT}$  (Corriente máxima de compuerta): La cantidad de corriente de compuerta necesaria para que el dispositivo empiece a conducir.

#### 2.2.4.2.1 Funcionamiento del GTO

Para controlar el GTO, primero detectamos cuando la señal de la red cruza por cero, con lo se obtiene un pulso positivo (ver figura No. 2.16), está información ingresa al PIND7 (INT0) del microcontrolador el cual analiza y procesa de acuerdo al nivel de luminosidad deseada, la cual es ingresada por teclado; el microcontrolador a través del PIND 6 envía un lógico hacia el circuito comparador dependiendo del tiempo de disparo de encendido que calcula el microcontrolador de acuerdo al ángulo de encendido que se quiere tener, este ingresa al circuito comparador antes explicado el cual al ingresar uno lógico (+5V) que es mayor al voltaje de referencia, a la salida del comparador tenemos un voltaje positivo el cual activa el GTO, el mismo que conduce cuando esta polarizado en el ciclo positivo de la señal de la red y actúa como un interruptor cerrado por el tiempo que se desea para que la carga trabaje a la potencia deseada.

En la figura No. 2.16 se puede ver el proceso que lleva la onda para tener un 50% de potencia, desde la onda de la red pasando por el detector por cruce de cero, los pulsos que da el microcontrolador para controlar el GTO y la señal sobre la carga.

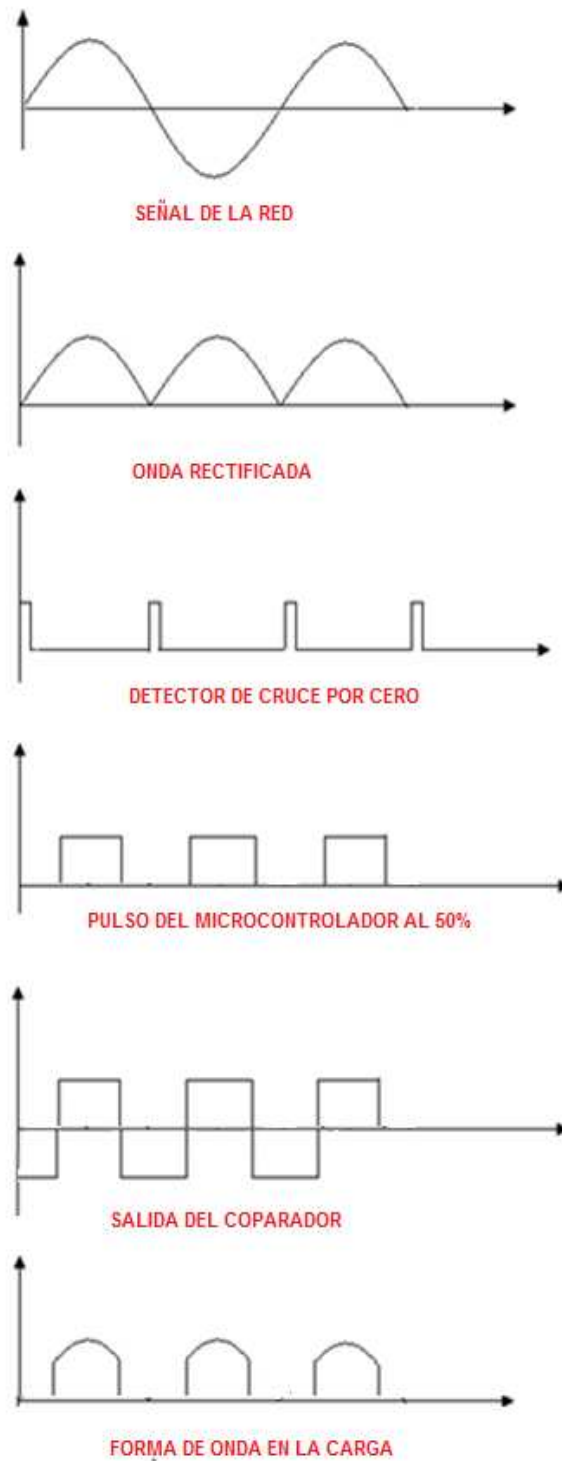


Figura 2.16 Formas de onda



En la figura No. 2.17 se puede observar finalmente la onda al 50% de potencia en la carga obtenida en un osciloscopio.

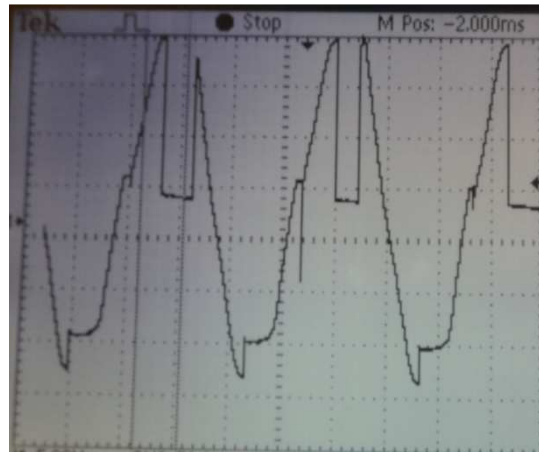


Figura 2.17 Salida de onda a un ángulo de encendido de  $38^\circ$

## 2.2.5 DIAGRAMA LÓGICO

En la figura No. 2.18 se observa el diagrama lógico de módulo.

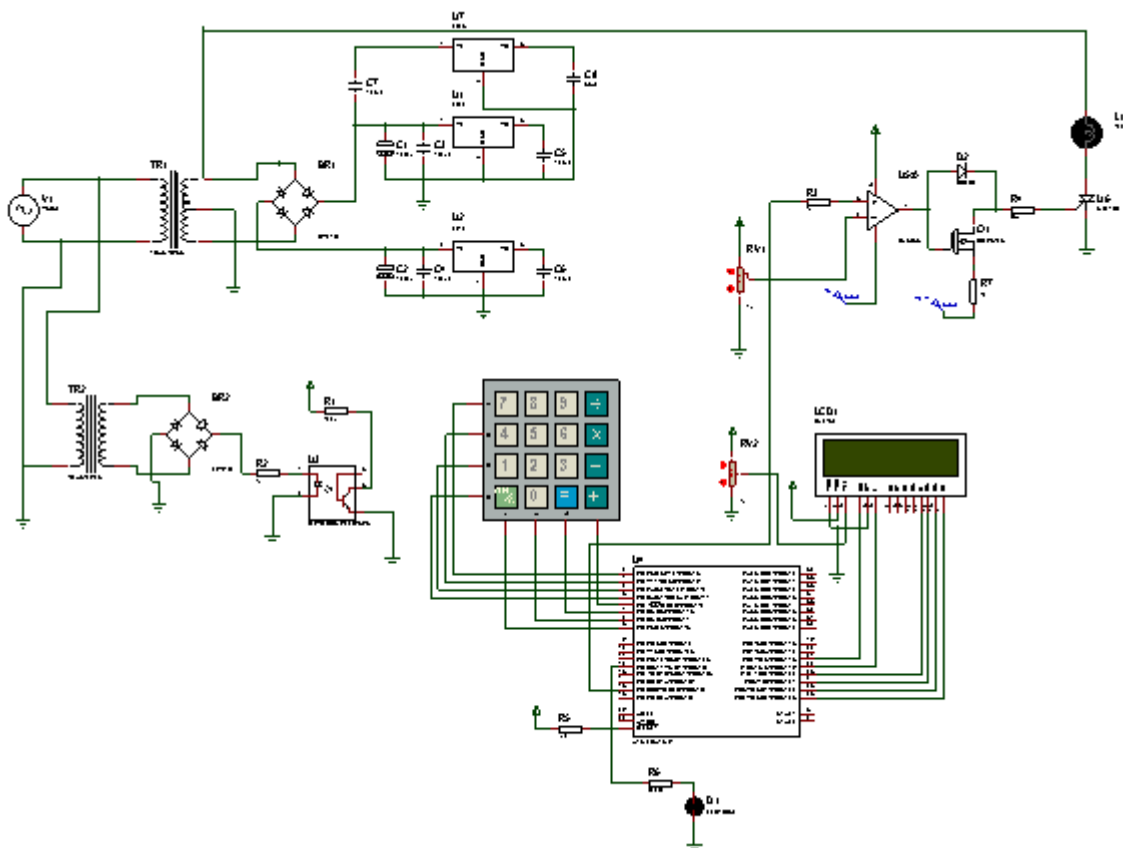


Figura 2.18 Módulo

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DEL SOFTWARE

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el código fuente del software que permite controlar el módulo didáctico, para lo cual se utiliza un foco de 15 W alimentado con un voltaje eficaz 110 V, debido a que por razones de diseño del GTO se utiliza un MOSFET que soporta una corriente de 1,8 A. Para calcular el ángulo de disparo de encendido y apagado de dicha carga, se realiza un programa utilizando el software BASCOM AVR.

#### 3.2 DEMOSTRACIÓN MATEMÁTICA

A continuación se realiza la demostración de la ecuación del voltaje eficaz en función del ángulo de encendido de la carga que se desea obtener.

$$V_{rms}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} (V_{max} \text{Sen } \theta)^2 d\theta$$

$$V_{rms}^2 = \frac{V_{max}^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \text{Sen } \theta^2 d\theta$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \left( \frac{1 - \text{Cos } 2\theta}{2} \right) d\theta$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \frac{1}{2} d\theta - \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} \frac{\text{Cos } 2\theta}{2} d\theta$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\theta}{2} \Big|_{\alpha}^{\pi-\alpha} - \left( \frac{\text{Sen } 2\theta}{4} \right) \Big|_{\alpha}^{\pi-\alpha} \right]$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\pi - \alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} - \left( \frac{\text{Sen}(2\pi - 2\alpha)}{4} \right) - \frac{\text{Sen } 2\alpha}{4} \right]$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\pi - 2\alpha}{2} - \left( \frac{\text{Sen } 2\pi \text{ Cos } 2\alpha - \text{Cos } 2\pi \text{ Sen } 2\alpha}{4} - \frac{\text{Sen } 2\alpha}{4} \right) \right]$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\pi - 2\alpha}{2} - \left( -\frac{\text{Sen } 2\alpha}{4} - \frac{\text{Sen } 2\alpha}{4} \right) \right]$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\pi - 2\alpha}{2} + \frac{2 \text{Sen } 2\alpha}{4} \right]$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{4\pi} (\pi - 2\alpha + \text{Sen } 2\alpha)$$

$$\frac{V_{rms}}{V_{max}} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} (\pi - 2\alpha + \text{Sen } 2\alpha)^{\frac{1}{2}} \times 2$$

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} (\pi - 2\alpha + \text{Sen } 2\alpha)^{\frac{1}{2}} \times V_{max}$$

A partir de esta ecuación se calcula el valor de  $V_{rms}$  de acuerdo al ángulo de encendido. En la tabla No. 3.1 se observa dichos valores.

**Tabla 3.1** Tabla de valores

$\alpha$	Vrms/Vmax	Vrms	Potencia
0	1,0000000000	77,78174593	15,00000124
1	0,9969656670	77,54573022	14,90910935
3	0,9824023404	76,41296924	14,47671657
4	0,9803325917	76,25198057	14,41578105
5	0,9702690889	75,46922376	14,12133274
6	0,9645477555	75,02420846	13,95528674
7	0,9631851309	74,91822114	13,9158851
8	0,9536832012	74,17914445	13,64267585
9	0,9464818269	73,61900899	13,43741884
10	0,9454950063	73,54225236	13,40941321
11	0,9368717115	72,87151743	13,16593015
12	0,9282433279	72,20038669	12,9245362
13	0,9272496920	72,12309996	12,89688094
14	0,9197551177	71,54015889	12,6892432
15	0,9098594775	70,77045871	12,41766506
16	0,9084523674	70,66101123	12,37928658
17	0,9022474491	70,17838185	12,2107579
18	0,8913417512	69,33011763	11,91735275
19	0,8891205661	69,15734997	11,85803169
20	0,8842608752	68,77935473	11,7287604
21	0,8726825771	67,87877449	11,42362415
22	0,8692835553	67,61439264	11,33480943
23	0,8657103324	67,33646113	11,24181662
24	0,8538531793	66,41419106	10,93597968
25	0,8489785534	66,03503414	10,81146966

$\alpha$	Vrms/Vmax	Vrms	Potencia
26	0,8465177940	65,84363198	10,74888652
27	0,8348027410	64,9324147	10,45343511
28	0,8282459679	64,42241744	10,2898716
29	0,8266158339	64,29562278	10,2494069
30	0,8154589348	63,42781968	9,974599939
31	0,8071239038	62,77950642	9,77173575
32	0,8059501847	62,6882125	9,743336308
33	0,7957297449	61,89324885	9,497788189
34	0,7856422437	61,10862539	9,258506792
35	0,7844810411	61,01830502	9,23115832
36	0,7755063699	60,32023943	9,021152692
37	0,7638166364	59,41099155	8,751238535
38	0,7621829309	59,28391909	8,713843023
39	0,7546668818	58,69930766	8,542832244
40	0,7416427387	57,68626708	8,250509961
41	0,7390430328	57,48405741	8,192769742
42	0,7330802227	57,02025963	8,06109986
43	0,7190910217	55,93215515	7,756379104
44	0,7150578776	55,61845016	7,669617159
45	0,7106100535	55,27249064	7,574500348
46	0,6961023788	54,14405837	7,268378428
47	0,6902284164	53,68717132	7,146229592
48	0,6871179251	53,44523188	7,081966231
49	0,6725846420	52,31480774	6,785552071
50	0,6645534606	51,69012843	6,624470077
51	0,6624652058	51,52770032	6,582902777
52	0,6484099252	50,43445606	6,306531988
53	0,6380214969	49,62642597	6,106071963
54	0,6365131512	49,50910421	6,077235378
55	0,6234124608	48,49010963	5,829646925
56	0,6106008170	47,49359761	5,592500828
57	0,6091204059	47,37844865	5,565415492
58	0,5973862579	46,46574613	5,353055559
59	0,5822277515	45,28669104	5,084837739
60	0,5801370106	45,12406956	5,048384683
61	0,5700814423	44,3419299	4,874893166
62	0,5527924717	42,99716358	4,58369313
63	0,5493935587	42,7327902	4,52749961
64	0,5411974260	42,09528069	4,393420172
65	0,5221211761	40,61149666	4,089158175
66	0,5166832448	40,18852488	4,004423963
67	0,5103698268	39,6974562	3,907160724
68	0,4899521904	38,10933679	3,60079753

$\alpha$	Vrms/Vmax	Vrms	Potencia
69	0,4817326814	37,47000903	3,480995933
70	0,4771456781	37,1132239	3,415020254
71	0,4559008481	35,46076394	3,117684007
72	0,4441532419	34,54701461	2,959081778
73	0,4409363092	34,29679597	2,916372672
74	0,4194021314	32,62183003	2,638472435
75	0,4033548450	31,37364407	2,440427166
76	0,4009247680	31,18462844	2,411110243
77	0,3796056409	29,52638951	2,161506817
78	0,3583776359	27,87523822	1,926518108
79	0,3558700145	27,68019105	1,899652165
80	0,3351568891	26,069088	1,684952244
81	0,3075128692	23,91888786	1,418462588
82	0,3036347658	23,61724221	1,382911179
83	0,2836595334	22,06353376	1,206941063
84	0,2472383770	19,23063262	0,916902302
85	0,2397527599	18,64838825	0,862220859
86	0,2199578134	17,10870276	0,725721655
87	0,1677222907	13,0457326	0,421961537
88	0,1503838096	11,69711527	0,339229381
89	0,1264378489	9,834556642	0,239797964

Para el proyecto se utiliza 5 valores de ángulos de encendido, los cuales están señalados de amarillo en la tabla anterior, para demostrar la aplicación del GTO.

### 3.3 EXPLICACIÓN DEL CÓDIGO FUENTE

#### 3.3.1 INICIALIZACIÓN DEL PROGRAMA

Para comenzar a programar primeramente se debe declarar el tipo de microcontrolador que se va a utilizar, para el proyecto va a ser el ATMEGA 164P, el cual va a trabajar a una velocidad máxima del oscilador interno de 8MHz.

```
$regfile = "m164pdef.dat"
```

```
$crystal = 8000000
```

El p rtico C del microcontrolador se utiliza para el manejo de la LCD, los bits de datos est n asignados a los pines 1, 2, 3 y 4, en cambio los pines de control enable y Rs a los pines 0 y 7 respectivamente y se configura el tamaño de la LCD a utilizar.

```
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.1 , Db5 = Portc.2 , Db6 = Portc.3 , Db7 = Portc.4
, E = Portc.0 , Rs = Portd.7
Config Lcd = 20 * 4
```

### 3.3.2 INGRESO DE DATOS

Se necesita que el usuario seleccione el ángulo de encendido, desplegado en la LCD, presionado la tecla correspondiente, para lo cual se desarrolla una subrutina llamada MENU en la cual se muestra dicho menú.

#### **'PANTALLA PARA LA SELECCION DEL ÁNGULO DE ENCENDIDO'**

Menu:

Cls

Reset Foco

Disable Interrupts

Locate 1 , 1

Lcd "SELECCIONES EL ANGULO DE DISPARO:"

Locate 2 , 1

Lcd "0 

Locate 2 , 4

Lcd "25 

Locate 2 , 8

Lcd "45 

Locate 2 , 12

Lcd "70 

Locate 2 , 16

Lcd "89 

```

Locate 3 , 1
Lcd "PRESIONE LA TECLA:"
Locate 4 , 1
Lcd "1"
Locate 4 , 4
Lcd "2"
Locate 4 , 8
Lcd "3"
Locate 4 , 12
Lcd "4"
Locate 4 , 16
Lcd "5"
Wait 2

```

Para la entrada del dato se utiliza la Subrutina del teclado para seleccionar el valor del ángulo de encendido que se desea observar sobre la carga, el cual se guarda en la variable Ax1 y así saltar a la subrutina correspondiente de cada ángulo.

Ejemplo de código fuente para el ingreso del dato del ángulo de encendido.

```

Gosub Teclado ' LLAMA A LA SUBRUTINA DE TECLADO

Locate 3 , 8

Ax1 = B      ' OBTIEN EL VALOR DEL TECLADO

If Ax1 = 1 Then 'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 0° DE ENCENDIDO
Goto Muestra1
End If

If Ax1 = 2 Then 'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 25° DE ENCENDIDO
Goto Muestra2
End If

If Ax1 = 3 Then 'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 45° DE ENCENDIDO
Goto Muestra3
End If

If Ax1 = 4 Then 'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 70° DE ENCENDIDO

```

Muestra4  
End If

If Ax1 = 5 Then **'SALTA A LA SUBROUTINA DE ÁNGULO 89° DE ENCENDIDO**  
Goto Muestra5  
End If

### 3.3.3 INT0

Los pulsos de cruce por cero ingresan a la interrupción 0, debido a esto se inicializa la INT0 por flanco de bajada, entonces cuando tenemos un pulso se activa la interrupción y ésta salta a la subrutina TIEMPO, la cual hace el retardo necesario para tener el porcentaje de potencia deseado de acuerdo al ángulo de encendido ingresado por el teclado, para enviar hacia el circuito de control el pulso para activar o desactivar la carga.

Config Int0 = Rising  
On Int0 Tiempo **' SALTA A LA SUBROUTINA DE TIEMPO (RETARDO PARA EL DISPARO) '**

Enable Int0

La subrutina TIEMPO lo primero que realiza es enviar cero lógico por el pin 6 del pòrtico D, el cual se lo nombra Foco, luego se ejecuta la función WAITUS con el tiempo adecuado de retardo de encendido y apagado calculado.

Tiempo:

Reset Foco

Waitus Periodo1 **'TIEMPO DE ENCENDIDO'**

Set Foco

Waitus Periodo2 - Periodo1 **'TIEMPO DE APAGADO'**

Reset Foco

Return

### 3.3.4 CÁLCULO DEL TIEMPO DE DISPARO DE ENCENDIDO Y APAGADO

Para el cálculo del tiempo de disparo de encendido y apagado se necesita saber cuánto tiempo se demora la onda en pasar por cada grado, para lo cual se divide



el periodo de esta señal que es de 8333 us, debido a que la frecuencia de la red es de 60Hz, para el total de grados en pasar dicho periodo.

$$\text{Const K} = 8333/180$$

Para este cálculo debemos tener el ángulo deseado de encendido sobre la carga, entonces se calcula el tiempo correspondiente a dicho ángulo multiplicando la constante K (f/°) por el ángulo de encendido para obtener el tiempo correspondiente y para el tiempo de apagado se obtiene multiplicando la misma constante K por 180° menos el ángulo de encendido.

$$\text{Anguloap} = 180 - \text{Anguloenc}$$

$$\text{Periodo1} = \text{Anguloenc} * K$$

$$\text{Periodo2} = \text{Anguloap} * K$$

Para este proyecto los valores de potencia y Vrms en la carga se calculan con anterioridad de acuerdo a los ángulos de encendido y apagado seleccionados, utilizando la ecuación de Vrms en función del ángulo de encendido para almacenarlos en la memoria FLASH de microcontrolador y así desplegarlos en la LCD de acuerdo sea el caso.

Estos valores se utilizan para la demostración del control de una carga mediante un GTO. A continuación se presenta un ejemplo de dichos cálculos.

$$\frac{V_{\text{rms}}}{V_{\text{max}}} = \left( \frac{1}{2\sqrt{\pi}} (\pi - 2\alpha + \text{Sen } 2\alpha)^{\frac{1}{2}} \right) \times 2$$

Sabiendo que Vmax es  $110/\sqrt{2}$  y el ángulo de encendido es de 22 ° se tiene un relación de Vrms/Vmax de 0,8692, con este valor se calcula el valor de Vrms.

$$\frac{v_{rms}}{v_{max}} = 0,8692$$

$$v_{rms} = 0,8692 \times \frac{110}{\sqrt{2}}$$

$$v_{rms} = 67.60 V$$

Sabiendo que la carga tiene una potencia de 15W y un voltaje de eficaz de 110V, la resistencia de la carga se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P = V \times I$$

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

$$R = \frac{(110/\sqrt{2})^2}{15W}$$

$$R = 403,33 \Omega$$

Conociendo la resistencia de la carga 403,33  $\Omega$  y el Vrms para un ángulo de conducción de 22 ° de 67,60 V, se calcula la potencia para dicho ángulo.

$$P = V \times I$$

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

$$P = \frac{(67,60)^2}{403,33\Omega}$$

$$P = 11,33 W$$

## 3.3.5 DIAGRAMA DE FLUJO

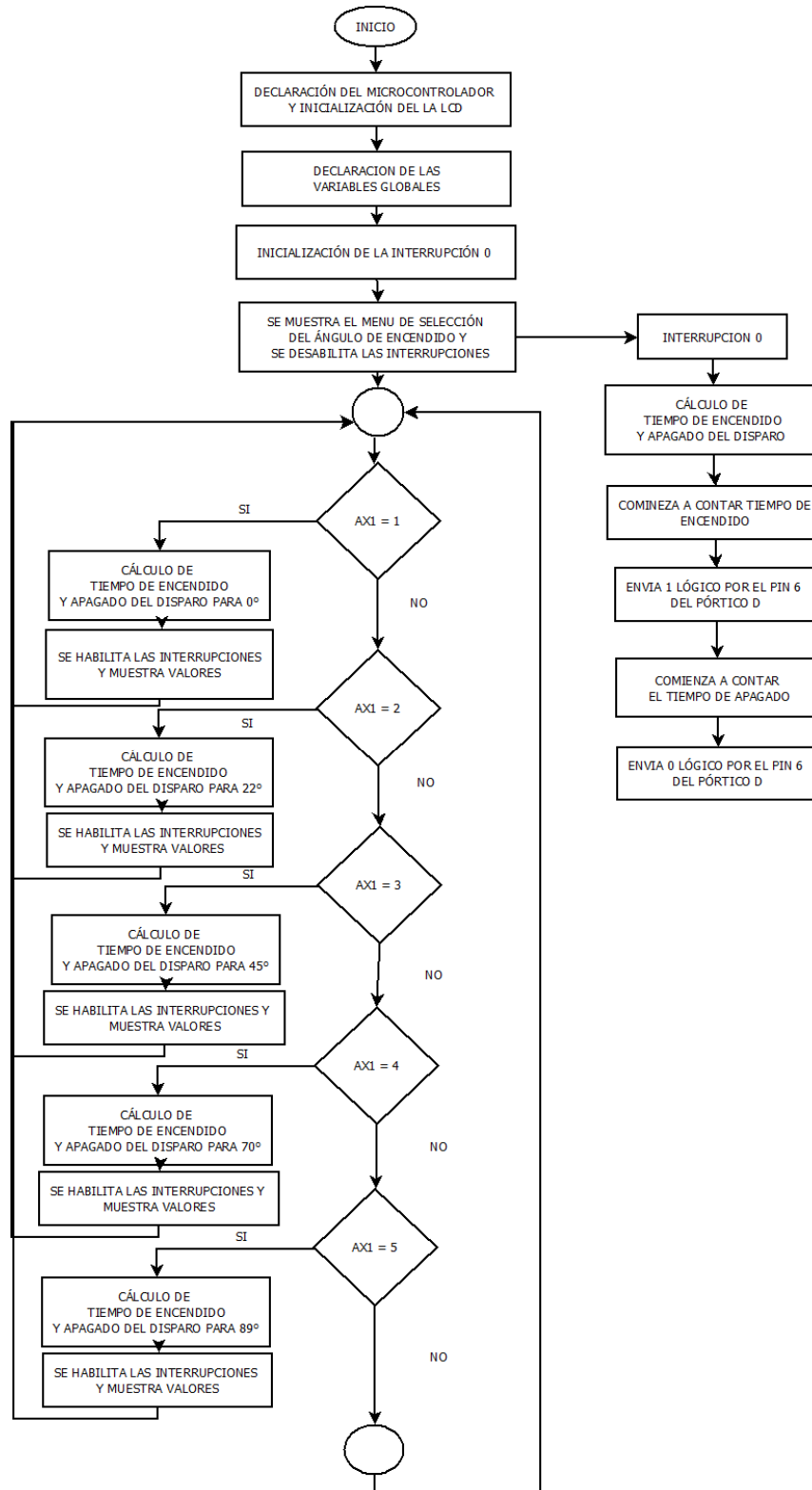


Figura 3.1 Diagrama de flujo del programa

### 3.4 PROGRAMA FUENTE

A continuación se muestra el código fuente del software que controla el módulo didáctico de control de potencia:

**'ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**'PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
TECNOLOGO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES'**

**'INTEGRANTES: TAYRA REVELO'  
'WLADIMIR MUÑOZ'**

**'TITULO: SOFTWARE PARA EL MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE  
POTENCIA POR MEDIO DE UN GTO'**

**'MCU: ATMEGA164P**

**'DECLARACIÓN DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA 164P Y LCD'**

```
$regfile = "m164pdef.dat"
$crystal = 8000000
Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.1 , Db5 = Portc.2 , Db6 = Portc.3 , Db7 = Portc.4 , E =
Portc.0 , Rs = Portd.7
Config Lcd = 20 * 4                                'configure lcd screen
```

**'DECLARACION DE VARIABLES'**

```
Dim Periodo As Long
Dim Periodo1 As Single
Dim Periodo2 As Single
Dim Periodo3 As Single
Dim Potout As Single
Dim Anguloenc As Single
Dim Anguloap As Single
Dim Vrms As Single
Dim Potfoco As Byte
```

```
Dim Ax1 As Word , Ax2 As Word , Ax3 As Word , Pot As Word , Muestra1 As Word ,
Muestra2 As Word , Muestra3 As Word , Muestra4 As Word , Muestra5 As Word
```

**'DECLARACION DE CADENAS DE CARACTERES'**

```
Dim Z As String * 6
Dim Y As String * 6
```

Dim X As String \* 6  
 Dim W As String \* 6  
 Dim B As Byte

**Dim M As Integer**

**'CÁLCULO DE LA CONSTANTE K**

Const K = 8333 / 180    **' SE DIVIDE 180 GRADOS POR EL VALOR (T=1/f) '**

Potfoco = 15            **' VALOR INICIAL DE LA POTENCIA (W) DEL FOCO'**

**'INICIALIZACIÓN DE LA INTERRUPCION 0 POR FLANCO DE BAJADA'**

Config Int0 = Rising  
 On Int0 Tiempo        **' SALTA A LA SUBROUTINA DE TIEMPO (RETARDO  
 PARA EL DISPARO)**

Enable Int0

**'INICIALIZACIÓN DEL PIN 2 COMO ENTRADA'**

Ddrd.2 = 0  
 Portd.2 = 0

**'INICIALIZACIÓN DEL PIN 6 COMO SALIDA'**

Ddrd.6 = 1  
 Portd.6 = 0

**'COMPROBAR QUE SE CARGO EL AVR'**

Config Portd.3 = Output  
 Config Kbd = Portb  
 Ddrb = &B00001111  
 Portb = \$b11111111

Foco Alias Portd.6    **' SE LE DA EL NOMBRE DE FOCO AL PIN 6 DEL  
 PÓRTICO D'**

Portd.3 = 1

Cls  
 Cursor Off

**'MOSTRAR PANTALLAS EN LA LCD'**

Locate 1 , 1  
 Lcd "ESCUELA POLITECNICA"  
 Locate 2 , 7  
 Lcd "NACIONAL"  
 Locate 3 , 5  
 Lcd "ESFOT - E/T"  
 Wait 4  
 Cls

Locate 1 , 3  
 Lcd "MODULO DIDACTICO"  
 Locate 2 , 4  
 Lcd "PARA EL CONTROL"  
 Locate 3 , 5  
 Lcd "DE POTENCIA"  
 Locate 4 , 3  
 Lcd "UTILIZANDO UN GTO"  
 Wait 5  
 Cls

Locate 1 , 1  
 Lcd "INTEGRANTES:"  
 Locate 2 , 3  
 Lcd "TAYRA REVELO"  
 Locate 3 , 3  
 Lcd "WLADIMIR MUNOZ"  
 Wait 4  
 Cls

**'PANTALLA PARA EL SELECCION DEL ÁNGULO DE ENCENDIDO'**

Menu:  
 Cls  
 Reset Foco  
 Disable Interrupts  
 Locate 1 , 1  
 Lcd "SELECCIONES EL ANGULO DE DISPARO:"  
 Locate 2 , 1  
 Lcd "0°"  
 Locate 2 , 4  
 Lcd "25°"  
 Locate 2 , 8  
 Lcd "45°"  
 Locate 2 , 12

```

Lcd "70°"
Locate 2 , 16
Lcd "89°"
Locate 3 , 1
Lcd "PRESIONE LA TECLA:"
Locate 4 , 1
Lcd "1"
Locate 4 , 4
Lcd "2"
Locate 4 , 8
Lcd "3"
Locate 4 , 12
Lcd "4"
Locate 4 , 16
Lcd "5"
Wait 2
Gosub Teclado          ' LLAMA A LA SUBRRUTINA DE TECLADO'
Locate 3 , 8
Ax1 = B                ' OBTIEN EL VALOR DEL TECLADO'

If Ax1 = 1 Then        'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 0° DE
                        ENCENDIDO'

Goto Muestra1
End If
If Ax1 = 2 Then        'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 22° DE
                        ENCENDIDO'

Goto Muestra2
End If
If Ax1 = 3 Then        'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 45° DE
                        ENCENDIDO'

Goto Muestra3
End If
If Ax1 = 4 Then        'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 70° DE
                        ENCENDIDO'

Goto Muestra4
End If
If Ax1 = 5 Then        'SALTA A LA SUBRUTINA DE ÁNGULO 89° DE
                        ENCENDIDO'

Goto Muestra5
End If

Goto Menu              ' CONTROL DEL VALOR INGRESADO DE POTENCIA'

'SUBRUTINA PARA EN ANGULO 0°

Muestra1:
Cls

```

Disable Interrupts

Set Foco

Potout = 15.00  
 Anguloenc = 0  
 Anguloap = 180  
 Vrms = 77 . 781

**'SE MUESTRA EN LA LCD LA P. DE SALIDA, VRMS, EL ÁNGULO DE ENCENDIDO Y APAGADO'**

Y = Fusing(potout , "###.##")  
 Z = Fusing(anguloenc , "###.##")  
 X = Fusing(anguloap , "###.##")  
 W = Fusing(vrms , "###.##")

**' IMPRIME EL T DE DISPARO, LA POTENCIA , VRMS, ÁNGULO DE DISPARO DE ENCENDIDO Y APAGADO'**

Locate 1 , 1  
 Lcd "ANG. ENCENDIDO: "  
 Lcd Z  
 Locate 2 , 1  
 Lcd "ANG. APAGADO: "  
 Lcd X  
 Locate 3 , 1  
 Lcd "POTENCIA (W): "  
 Lcd Y  
 Locate 4 , 1  
 Lcd "WRMS (V):"  
 Lcd W

Goto Control2

**' SUBROUTINA DE CONTROL**

Control2:  
 B = Getkbd()

**' SI SE PRESIONA LA TECLA Y SE OBTINE B=1 REGRESA A MENU**

If B = 11 Then  
 Cls  
 Goto Menu  
 End If  
 Goto Control2



**'SUBROUTINA DEL ANGULO 22°**

Muestra2:

Cls

Disable Interrupts

Reset Foco

Potout = 11.334

Anguloenc = 22

Anguloap = 180 - Anguloenc

Vrms = 67.614

**' CÁLCULO DEL TIEMPO DE ENCENDIDO Y APAGADO'**

Periodo1 = Anguloenc \* K

Periodo2 = Anguloap \* K

**'SE MUESTRA EN LA LCD LA P. DE SALIDA, VRMS, EL ÁNGULO DE ENCENDIDO Y APAGADO'**

Y = Fusing(potout , "###.##")

Z = Fusing(anguloenc , "###.##")

X = Fusing(anguloap , "###.##")

W = Fusing(vrms , "###.##")

**' IMPRIME EL T DE DISPARO, LA POTENCIA , ÁNGULO DE DISPARO DE ENCENDIDO Y APAGADO**

Locate 1 , 1

Lcd "ANG. ENCENDIDO: "

Lcd Z

Locate 2 , 1

Lcd "ANG. APAGADO: "

Lcd X

Locate 3 , 1

Lcd "POTENCIA (W): "

Lcd Y

Locate 4 , 1

Lcd "VRMS (V):"

Lcd W

Enable Interrupts

Goto Control1

**' SUBROUTINA DE CONTROL**

Control1:

B = Getkbd()

**' SI SE PRESIONA LA TECLA Y SE  
OBTINE B=2 REGRESA A MENU'**

If B = 11 Then

Cls

Goto Menu

End If

Goto Control1

**'SUBROUTINA DEL ANGULO 45°**

Muestra3:

Cls

Disable Interrupts

Reset Foco

Potout = 7 . 574

Anguloenc = 45

Anguloap = 180 - Anguloenc

Vrms = 55.272

**'CÁLCULO DEL TIEMPO DE ENCENDIDO Y APAGADO**

Periodo1 = Anguloenc \* K

Periodo2 = Anguloap \* K

**'SE MUESTRA EN LA LCD LA P. DE SALIDA, VRMS, EL ÁNGULO DE  
ENCENDIDO Y APAGADO**

Y = Fusing(potout , "###.##")

Z = Fusing(anguloenc , "###.##")

X = Fusing(anguloap , "###.##")

W = Fusing(vrms , "###.##")

**'IMPRIME EL T DE DISPARO, LA POTENCIA, VMRS, ÁNGULO DE DISPARO  
DE ENCENDIDO Y APAGADO**

Locate 1 , 1

Lcd "ANG. ENCENDIDO: "

Lcd Z

Locate 2 , 1

Lcd "ANG. APAGADO: "

Lcd X

Locate 3 , 1

Lcd "POTENCIA (W): "

Lcd Y

Locate 4 , 1

Lcd "VRMS (V):"

Lcd W

Enable Interrupts

Goto Control3

**' SUBROUTINA DE CONTROL**

Control3:

B = Getkbd()

**' SI SE PRESIONA LA TECLA Y SE  
OBTINE B=3 REGRESA A MENU'**

If B = 11 Then

Cls

Goto Menu

End If

Goto Control3

**'SUBROUTINA DEL ANGULO 70°**

Muestra4:

Cls

Disable Interrupts

Reset Foco

Potout = 3.415

Anguloenc = 70

Anguloap = 180 - Anguloenc

Vrms = 37.113

**'CÁLCULO DEL TIEMPO DE ENCENDIDO Y APAGADO'**

Periodo1 = Anguloenc \* K

Periodo2 = Anguloap \* K

**'SE MUESTRA EN LA LCD LA P. DE SALIDA, VRMS, EL ÁNGULO DE  
ENCENDIDO Y APAGADO**

Y = Fusing(potout , "###.##")

Z = Fusing(anguloenc , "###.##")

X = Fusing(anguloap , "###.##")

W = Fusing(vrms , "###.##")

**'IMPRIME EL T DE DISPARO, LA POTENCIA, VRMS, ÁNGULO DE DISPARO  
DE ENCENDIDO Y APAGADO**

Locate 1 , 1

Lcd "ANG. ENCENDIDO: "

Lcd Z

Locate 2 , 1

```
Lcd "ANG. APAGADO: "
Lcd X
Locate 3 , 1
Lcd "POTENCIA (W): "
Lcd Y
Locate 4 , 1
Lcd "WRMS (V): "
Lcd W
```

```
Enable Interrupts
```

```
Goto Control4
```

```
' SUBROUTINA DE CONTROL
```

```
Control4:
```

```
B = Getkbd()
```

```
' SI SE PRESIONA LA TECLA Y SE  
OBTINE B=4 REGRESA A MENU
```

```
If B = 11 Then
```

```
Cls
```

```
Goto Menu
```

```
End If
```

```
Goto Control4
```

```
'SUBROUTINA DEL ANGULO 89°
```

```
Muestra5:
```

```
Cls
```

```
Disable Interrupts
```

```
Reset Foco
```

```
Potout = 0 . 239
```

```
Anguloenc = 89
```

```
Anguloap = 180 - Anguloenc
```

```
Vrms = 9.834
```

```
'CÁLCULO DEL TIEMPO DE ENCENDIDO Y APAGADO
```

```
Periodo1 = Anguloenc * K
```

```
Periodo2 = Anguloap * K
```

```
'SE MUESTRA EN LA LCD LA P. DE SALIDA, VRMS, EL ÁNGULO DE  
ENCENDIDO Y APAGADO
```

```
Y = Fusing(potout , "###.##")
```

```
Z = Fusing(anguloenc , "###.##")
```

```
X = Fusing(anguloap , "###.##")
```

```
W = Fusing(vrms , "###.##")
```

**'IMPRIME EL T DE DISPARO, LA POTENCIA , VRMS, ÁNGULO DE DISPARO DE ENCENDIDO Y APAGADO**

```
Locate 1 , 1
Lcd "ANG. ENCENDIDO: "
Lcd Z
Locate 2 , 1
Lcd "ANG. APAGADO: "
Lcd X
Locate 3 , 1
Lcd "POTENCIA (W): "
Lcd Y
Locate 4 , 1
Lcd "WRMS (V):"
Lcd W
```

Enable Interrupts

Goto Control5

**' SUBRUTINA DE CONTROL**

Control5:

B = Getkbd()

**' SI SE PRESIONA LA TECLA Y SE  
OBTINE B=5 REGRESA A MENU**

If B = 11 Then

Cls

Goto Menu

End If

Goto Control5

**'SUBRRUTINA DE TECLADO**

Teclado:

B = Getkbd()

If B < 16 Then

Select Case B

Case 0 :

B = 1

Return

Case 1 :

B = 2

Return

Case 2 :

B = 3

Return

Case 3 :

B = 10

Return

Case 4 :

B = 4

Return

Case 5 :

B = 5

Return

Case 6 :

B = 6

Return

Case 8 :

B = 7

Return

Case 9 :

B = 8

Return

Case 10 :

B = 9

Return

Case 13 :

B = 0

Return

End Select

**'RETORNA EL VALOR DE LA TECLA PRESIONADA'**

End If

Goto Teclado

**'HABILITA LAS INTERRUPCIONES'**

**'SUBROUTINA ENVIAR EL DISPARO DE ENCENDIDO Y APAGADO'**

Tiempo:

Reset Foco

Waitus Periodo1

Set Foco

Waitus Periodo2 - Periodo1

Reset Foco

**' TIEMPO DE ENCENDIDO'**

**' TIEMPO DE APAGADO'**

Return

## CAPÍTULO IV

### 4. FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO

El módulo funciona conectado a la red eléctrica de 110V / 60Hz, en el cual se conecta un foco de 15 W. A continuación en la figura 4.1 se puede apreciar el módulo.



Figura 4.1 Módulo didáctico

En la figura 4.2 se puede observar cómo está constituido el módulo internamente

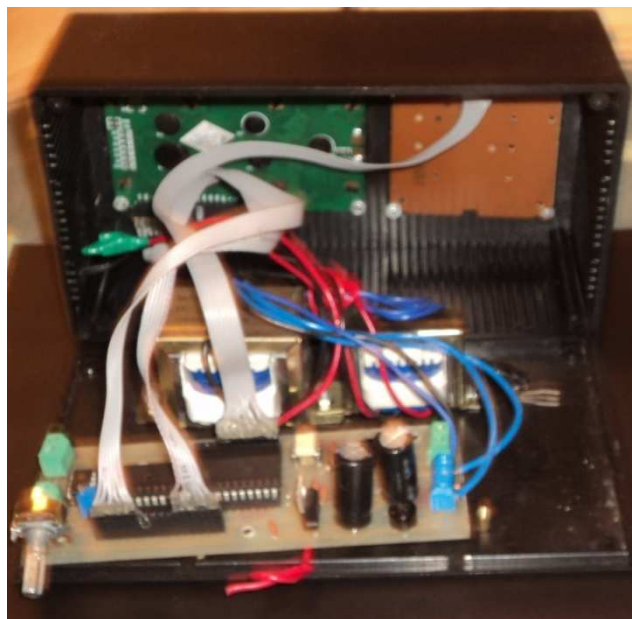


Figura 4.2 Módulo didáctico internamente

Como se puede observar en la figura No. 4.3 se obtiene el menú para seleccionar el valor del ángulo de encendido:



Figura 4.3 Selección del ángulo de encendido

Luego se muestra el valor de potencia, Vrms y ángulos de encendido y apagado (ver figura 4.4)

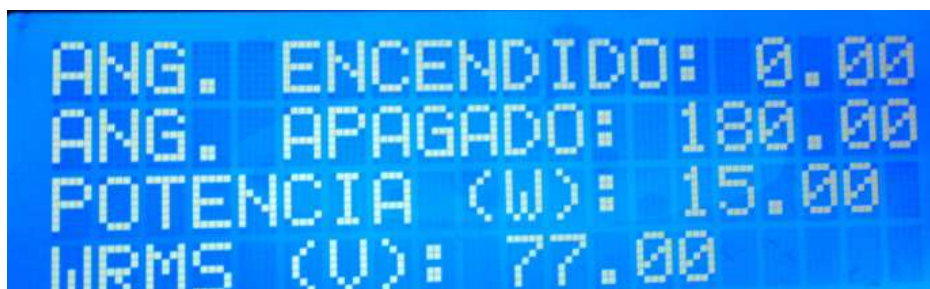


Figura 4.4 valores para el ángulo de encendido de 0°

#### 4.1 DIAGRAMA CIRCUITAL

En la figura No. 4.6 muestra el circuito impreso del módulo.

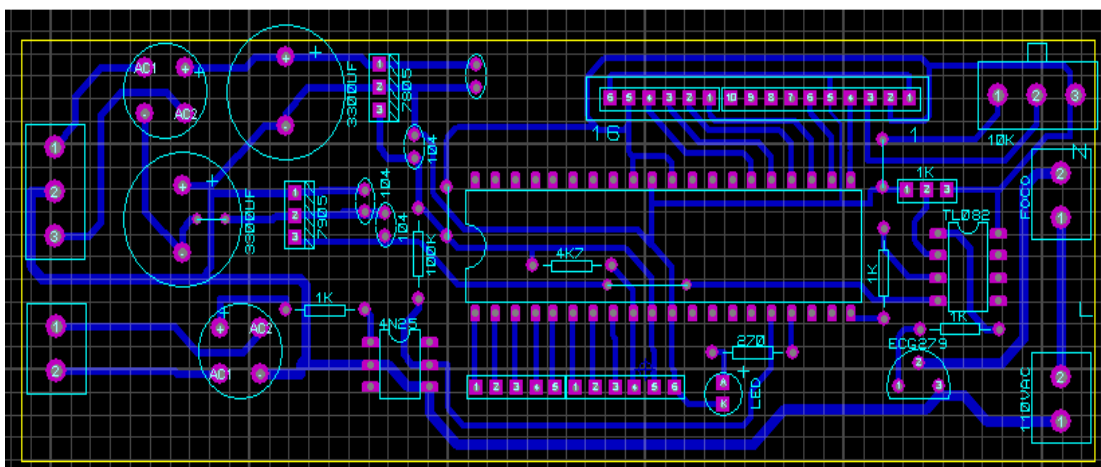


Figura 4.5 Diagrama circuital del módulo



## 4.2 MATERIALES

A continuación en la tabla 4.1 se presenta una lista general de todos los elementos que se utiliza para la elaboración del presente proyecto y sus costos respectivos.

Tabla 4.1 Gastos realizados

ELEMENTOS	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Microcontrolador Atmega164P	1	6,50	6,50
Regulador de voltaje 7812	1	0,55	0,55
Regulador de voltaje 7912	1	0,55	0,55
Regulador de voltaje 7805	1	0,49	0,49
Amplificador operacional TL081	1	0,49	0,49
Puente rectificador	2	0,38	0,76
Potenciómetro de precisión	1	0,65	0,65
Borneras de 3 contactos	3	0,28	0,84
GTO-ECG 279 <sup>a</sup>	1	5,00	5,00
Capacitores 3300 uF de 16 V	2	0,37	0,74
Capacitores cerámicos 0.1 uF	4	0,08	0,32
Mosfet IRF9610	1	2,20	2,20
Bornera de 3 contactos	1	0,35	0,35
Resistencia de 1K $\Omega$	4	0,02	0,08
Resistencia de 100 $\Omega$	1	0,02	0,02
Optoacoplador MOC-3011	1	0,70	0,70
Led	1	0,25	0,25
Sócalo de 8 pines	1	0,14	0,14
Sócalo de 6 pines	1	0,14	0,14
Sócalo de 40 pines	1	0,39	0,39
Sócalo de 16 pines	1	0,18	0,18
Sócalo de 11 pines	1	0,20	0,20
Potenciómetro de 10K $\Omega$	1	0,25	0,25

ELEMENTOS	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Teclado matricial 4x4	1	8,50	8,50
Base de 8 pines	1	0,20	0,20
Transformadores	2	4,10	8,20
Boquilla de 110 V	1	0,60	0,60
Foco de 110 V	1	0,80	0,80
Cable AC	1	1,70	1,70
Baquelita	1	9,80	9,80
LCD 20x4	1	19,00	19,00
Cable plano	1	5,00	5,00
		TOTAL	75,59

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Con el diseño y construcción del módulo didáctico permite al estudiante visualizar la variación de potencia en la carga dependiendo del ángulo de encendido seleccionado por teclado.
- El módulo didáctico está compuesto por el microcontrolador Atmega 164P el cual es el encargado de procesar los datos provenientes desde el circuito de cruce por cero y los ingresados por el teclado, el mismo que envía el disparo de encendido y apagado hacia el circuito del control del GTO para controlar la carga.
- El módulo está compuesto por un GTO que sirve de interruptor controlado por corriente, que puede ser encendido por un solo pulso de corriente positiva en la terminal puerta o gate (G); pero en cambio puede ser apagado al aplicar un pulso de corriente negativa en el mismo terminal, siendo esto una ventaja sobre otros tiristores.
- El módulo didáctico permite controlar la potencia de un foco que va del rango de 0 a 15 W, para demostrar el correcto funcionamiento del GTO, debido que trabajando para estos valores se puede aplicar para controlar equipos de mayor potencia.
- Este proyecto tiene un enfoque para que el estudiante pueda visualizar el control de potencia sobre una carga, el mismo que tiene otras aplicaciones tales como: control del aire acondicionado, refrigeración, control de motores asíncronos, etc.

- En la figura 5.1 se puede observar la señal de la red (F1) y los pulsos generados por el detector cruce por cero, los cuales sirven para identificar el inicio de la onda para obtener un sincronismo entre la onda y el pulso de encendido y apagado de la misma, esta información es procesada el microcontrolador ATMEGA 164P.

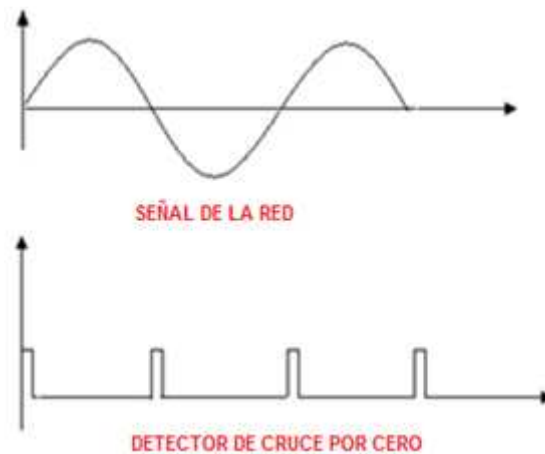


Figura 5.1 Formas de ondas de señal de la red y señal del detector del cruce por cero.

En la siguiente figura 5.2 se puede observar las señales detalladas en el osciloscopio del laboratorio.



Figura 5.2 Formas de ondas obtenidas en el osciloscopio

- En la foto No. 5.3 se observa las dos señales de onda, la primera (F1) entre el ánodo y tierra del GTO, es de ahí que se observa la señal invertida a la de la carga; la segunda señal (F2) son los pulsos calculados por el microcontrolador que ingresan al circuito que controla al GTO, esta lectura se toma desde la compuerta del GTO a tierra.

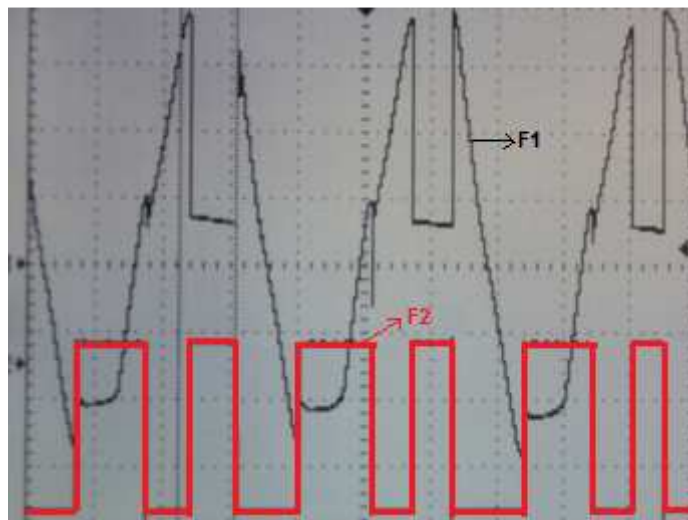


Figura 5.3 Señales en el ánodo y compuerta GTO.

A continuación se realiza los cálculos respectivos con los datos obtenidos en el laboratorio para los ángulos de encendido de  $45^\circ$  y  $22^\circ$  para comprobar la potencia sobre la carga.

### Ejemplo 1:

En la figura 5.4 se observa los pulsos de encendido y apagados provenientes del circuito de control del GTO que ingresan a la compuerta del mismo, para un ángulo de  $45^\circ$  teniendo el pulso de encendido a los  $2083\mu\text{s}$  (+12V) y a los  $6250\mu\text{s}$  tenemos el pulso de apagado (-12V).

$$V_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} (V_{max} \text{Sen } \omega t)^2 dt \quad \omega = 2\pi f x$$

$$V_{rms}^2 = \frac{V_{max}^2}{T} \int_{t_1}^{t_2} \text{Sen}^2\left(\frac{2\pi t}{T}\right) dt$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{T} \left[ \frac{t}{2} - \frac{\text{Sen}(wt) \times \text{Cos}(wt)}{2w} \right]_{t_1}^{t_2}$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{T} \left[ \frac{6250 \times 10^{-6}}{2} - \frac{\text{Sen}\left(\frac{2\pi(6250 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}}\right) \times \text{Cos}\left(\frac{2\pi(6250 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}}\right)}{2\left(\frac{2\pi}{8333 \times 10^{-6}}\right)} \right] - \left[ \frac{2083 \times 10^{-6}}{2} - \frac{\text{Sen}\left(\frac{2\pi(2083 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}}\right) \times \text{Cos}\left(\frac{2\pi(2083 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}}\right)}{2\left(\frac{2\pi}{8333 \times 10^{-6}}\right)} \right]$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{(8333 \times 10^{-6})} (3124 \times 10^{-6} - 1041 \times 10^{-6})$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = (0,24997) \times 2$$

$$\frac{V_{rms}}{V_{max}} = \sqrt{0,4994}$$

$$\frac{V_{rms}}{V_{max}} = 0,707064$$

$$V_{rms} = 0,707064 \times V_{max}$$

$$V_{rms} = 0,760514 \times \left(\frac{110}{\sqrt{2}}\right)$$

$$V_{rms} = 54,997 \text{ V}$$

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R_l}$$

$$P = \frac{(54,997)^2}{403,33}$$

$$P = 7,499 \text{ w}$$

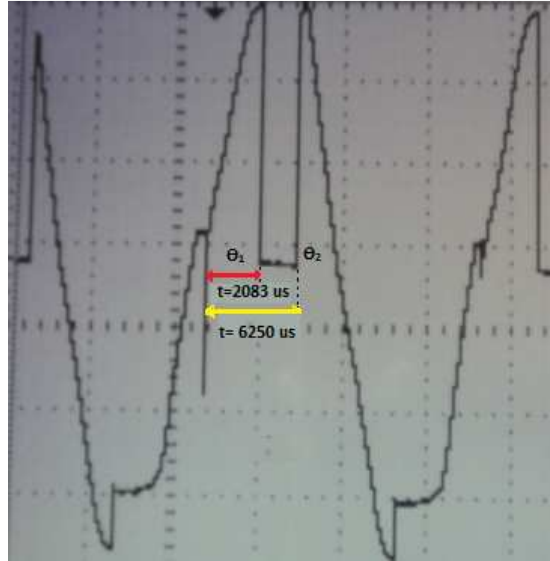


Figura 5.4 Señal obtenida para un ángulo de encendido de 45°

### Ejemplo 2:

En la figura 5.5 se observa la forma de onda obtenida para un ángulo de disparo de 22° con un tiempo de encendido de 1018  $\mu\text{s}$  y un tiempo de apagado de 7315  $\mu\text{s}$ .

$$V_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} (V_{max} \text{Sen } \omega t)^2 dt \quad \omega = 2\pi f$$

$$V_{rms}^2 = \frac{V_{max}^2}{T} \int_{t_1}^{t_2} \text{Sen}^2 \left( \frac{2\pi t}{T} \right) dt$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{T} \left[ \frac{t}{2} - \frac{\text{Sen}(\omega t) \times \text{Cos}(\omega t)}{2\omega} \right]_{t_1}^{t_2}$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{T} \left[ \frac{7315 \times 10^{-6}}{2} - \frac{\text{Sen} \left( \frac{2\pi(7315 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}} \right) \times \text{Cos} \left( \frac{2\pi(7315 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}} \right)}{2 \left( \frac{2\pi}{8333 \times 10^{-6}} \right)} \right] - \left[ \frac{1018 \times 10^{-6}}{2} - \frac{\text{Sen} \left( \frac{2\pi(1018 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}} \right) \times \text{Cos} \left( \frac{2\pi(1018 \times 10^{-6})}{8333 \times 10^{-6}} \right)}{2 \left( \frac{2\pi}{8333 \times 10^{-6}} \right)} \right]$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = \frac{1}{(8333 \times 10^{-6})} (4320 \times 10^{-6} - 178 \times 10^{-6})$$

$$\frac{V_{rms}^2}{V_{max}^2} = (0,4573) \times 2$$

$$\frac{V_{rms}}{V_{max}} = \sqrt{0,914724}$$

$$\frac{V_{rms}}{V_{max}} = 0,956412$$

$$V_{rms} = 0.956412 \times V_{max}$$

$$V_{rms} = 0.956412 \times \left(\frac{110}{\sqrt{2}}\right)$$

$$V_{rms} = 74.3914 \text{ V}$$

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R_l}$$

$$P = \frac{(74.3914)^2}{403.33}$$

$$P = 13.72 \text{ w}$$

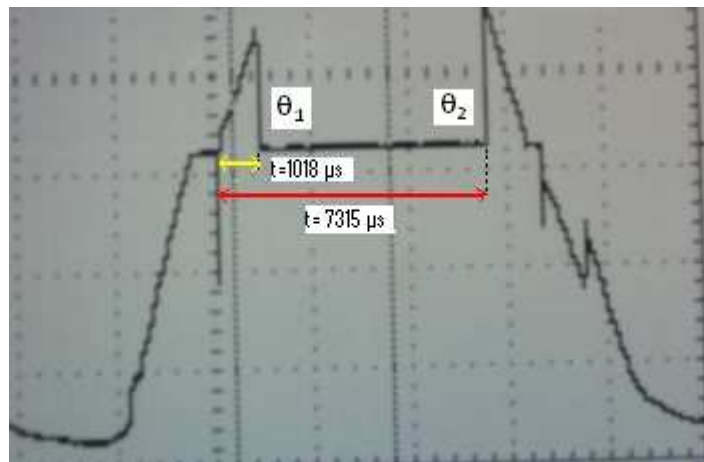


Figura 5.5 Señal obtenida para un ángulo de encendido de  $22^\circ$

Del análisis anterior se comprueba que los valores calculados teóricamente se asemejan a los obtenidos en la práctica, esto quiere decir que se tiene una correlación correcta del funcionamiento del prototipo y el análisis matemático.

- El GTO es un dispositivo que su principal característica es de un interruptor que permite controlar la potencia sobre cualquier carga, con sincronismo y sin sincronismo, esto permite que su utilización no solo se fije en obtener



una solo valor potencia sobre la carga si no tener una variación de valores en intervalos de tiempo.

A continuación se puede observar que los pulsos pueden ser sin sincronismo obteniendo variación de potencia sobre la carga.

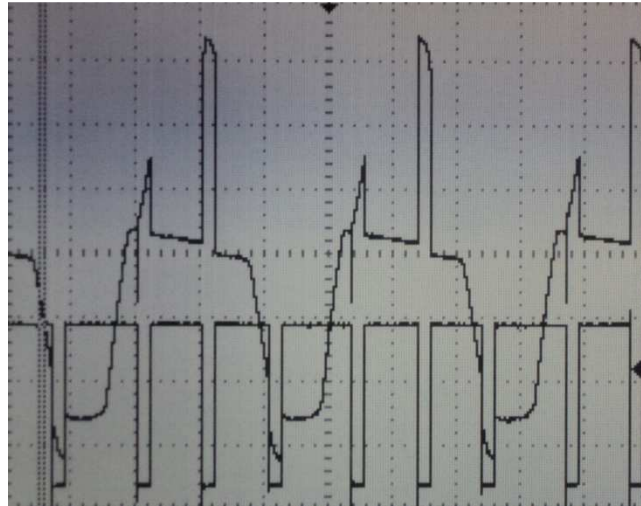


Figura 5.6 Señal sin sincronismo

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se sugiere que al estudiante debe tener conocimiento del lenguaje de programación Basic, debido a sus características de programación comparado con otros lenguajes de programación como el Ensamblador, C, C++, y así realizar aplicaciones inteligentes que puedan equipar el Laboratorio de Electrónica.
- Este proyecto utiliza como interruptor el tiristor GTO para controlar la carga, pero se puede utilizar cualquier otro tiristor del mercado dependiendo de la aplicación, esto puede ser un estudio futuro para otros proyectos de titulación.
- El módulo está compuesto por el microcontrolador Atmega 164P, el mismo que al procesar los datos tales como: la señal de cruce por cero, el ángulo

de encendido, este proceso producen retados, debido a esto se recomienda que se utilice un microprocesador con una mayor velocidad de procesamiento, para que no haya inconveniente en la sincronización de la tensión de la red con los pulsos de encendido y apagado que controlan la carga.

- El módulo está diseñado para trabajar con la tensión comercial de red de 110V/60 Hz, pero se puede diseñar para controlar cualquier valor de voltaje.

## CAPÍTULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] RASHID, Muhammad H, “Electrónica de Potencia”, Prentice Hall.- México.- 1993.
- [2] GRANIZO, Evelio, “Lenguaje C Teoría y Ejercicios”, Editorial ESPE, Ecuador, 1999.
- [3] VALENCIA, Ramiro, Aplicaciones Electrónicas con Microcontroladores.
- [4] PARDUE, Joe, “Programming for Microcontrollers”, Editorial Smiley Micros, Knoxville, 2005.
- [5] ATEMEGA 164P,  
<http://www.atmel.com/Images/8011S.pdf>
- [6] REGULADOR DE VOLTAJE 7805 Y 7812  
<http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/9037/NSC/LM78XX.html>
- [7] AMPLIFICADOR OPERACIONAL TL082  
[http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/CD00000492.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000492.pdf)
- [8] OPTOACOPLADOR 4N25  
<http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>
- [9] GTO-ECG 279A  
<http://www.datasheetarchive.com/ECG279A-datasheet.html>
- [10] MOSFET IRF 9610  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/irf9610.pdf>
- [11] REGULADOR DE VOLTAJE 7912  
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/9042/NSC/LM79XX.html>.

# ANEXO 1

FOTOS DEL MÓDULO DIDÁCTICO



Figura a. Diseño de la caja del módulo



Figura b. Parte frontal de la caja del módulo

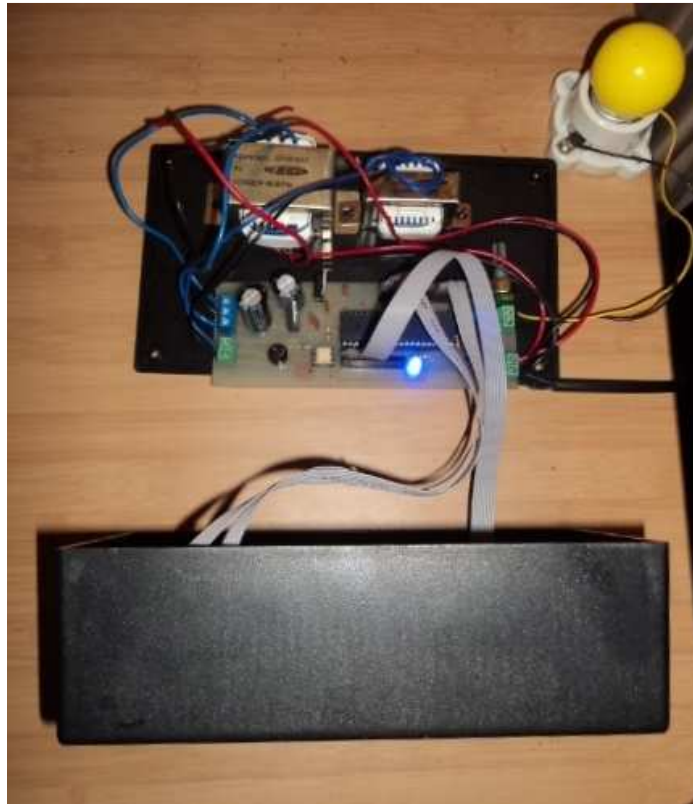


Figura c. Módulo internamente



Figura d. Módulo completo



Figura d. Vista frontal del módulo didáctico



Figura d. El módulo en su funcionamiento

# ANEXO 2

MICROCONTROLADOR ATMEGA164P



# ANEXO 3

REGULADOR DE VOLTAJE 7805 Y 7812

# ANEXO 4

REGULADOR DE VOLTAJE 7912

# ANEXO 5

AMPLIFICADOR OPERACIONAL TL082

# ANEXO 6

GTO-ECG 279A

# ANEXO 7

OPTOACOPLADOR 4N25

# ANEXO 8

MOSFET IRF 9610