

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA**

### **CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTÍNUA MEDIANTE EL USO DE UN MICROCONTROLADOR DOTADO DE OSCILADOR INTERNO**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO ELECTROMECAÁNICO**

**Diego Vinicio Sánchez Proaño  
Franklin Olmedo Ocampo Jiménez**

**Director: Ing. Alcívar Costales**

**Quito, 30 – 09 -- 06**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Diego Sánchez y Franklin Ocampo**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es completamente de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado a las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes de 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.

---

**Diego Sánchez**

---

**Franklin Ocampo**

### **CERTIFICACIÓN**

**Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Sánchez y Franklin Ocampo bajo mi supervisión.**

---

**Ing. Alcívar Costales  
Director de Proyecto**

## ÍNDICE

	Pág
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>1. Bases Fundamentales</b>	
Introducción	1
<b>1.1. La Conversión AC- DC</b>	1
<b>1.2. El Microcontrolador</b>	4
<b>1.2.1. Arquitectura Interna</b>	6
<b>1.2.1.1. El Procesador</b>	6
<b>1.2.1.2. Memoria del Programa</b>	8
<i>1.2.1.2.1. ROM con Máscara</i>	8
<i>1.2.1.2.2. EPROM</i>	9
<i>1.2.1.2.3. OTP</i>	9
<i>1.2.1.2.4. EEPROM</i>	9
<i>1.2.1.2.5 FLASH</i>	10
<i>1.2.1.2.6 Memoria de Datos</i>	10
<i>1.2.1.2.7. Líneas de entrada y salida para periféricos</i>	12
<i>1.2.1.2.8. Recursos auxiliares</i>	12
<b>1.3. El Motor de corriente continúa</b>	14
<b>1.3.1. Torque y Fuerza Electromagnéticos</b>	16
<b>1.3.2. Fuerza Contraelectromotriz</b>	18
<b>1.3.3. Potencia Desarrollada</b>	20
<b>1.3.4. Características del motor</b>	23
<b>1.4 Breve descripción de los elementos utilizados</b>	24
<b>1.4.1. Resistencias</b>	24
<b>1.4.2. Diodos</b>	26
<b>1.4.3. Optoacopladores</b>	28
<b>1.4.4. Regulador de voltaje</b>	30
<b>1.4.5. TRIAC</b>	31
<b>1.4.6. Relevadores</b>	32
<b>1.4.7. Transistores</b>	33

1.4.8. Transformadores	33
1.4.9. Condensadores	36
1.4.10. Pulsadores	37
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>2. Diseño del módulo</b>	
Introducción	38
<b>2.1. El hardware del módulo</b>	40
2.1.1. Entradas	40
2.1.2. Salidas a los actuadores y señalización	44
2.1.3. Freno dinámico	49
<b>2.2. El software del módulo</b>	54
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>3.1. Resultados, Conclusiones y Recomendaciones</b>	64
3.1.1. Pruebas al vacío	64
3.1.2. Pruebas con carga	64
<b>3.2. Conclusiones y Recomendaciones</b>	65
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	69
<b>ANEXOS</b>	70

## RESUMEN

Tradicionalmente dentro de la Escuela se ha tenido siempre la facilidad de contar con buenos profesores que utilizan todos los medios disponibles para poder de una manera lo mas pragmática posible explicar al alumnado todo lo referente a los temas tratados.

A pesar de sus evidentes esfuerzos por lograr esto, muchas de las ocasiones la falta de algunos de estos elementos de no muy elevada dificultad para conseguirlos, tienden en parte a limitar el avance del conocimiento en las instalaciones de la Escuela, por lo que hemos decidido conjuntamente con nuestro ingeniero Director de Tesis el iniciar con la implementación del pequeño módulo didáctico que hemos estado diseñando a lo largo de los meses pasados para de esta manera paliar en principio a pequeña escala con el problema descrito inicialmente.

Contando con este pequeño equipo dentro de las instalaciones de la Escuela, veremos en gran manera –o por lo menos a partir de ahora-, podremos observar que le enseñanza de los temas tratados se beneficiará gracias a la implementación de módulos como este que a pesar de no ser del tipo industrial o comercial, contienen la aplicación práctica de muchos de los temas que hemos podido recibir a lo largo de nuestro paso por la Escuela.

Es así que aplicando nuestros conocimientos referentes a la Electricidad, Máquinas Eléctricas, Instalaciones Eléctricas, Circuitos Digitales, Electrónica General, Electrónica de Potencia, Control y Automatismos Industriales II, se han conjugado para conseguir de esta forma plasmar el módulo didáctico que presentamos.

Nuestro módulo, además de ser el inicio de la solución a una problemática de la Escuela en general, se ha concebido teniendo en cuenta los conocimientos que nos han sido entregados en las materias enlistadas anteriormente, y por lo tanto, poniendo al alcance del resto del nuevo alumnado la aplicación práctica de todos aquellos conocimientos y la posibilidad de plasmarlos en dispositivos reales que

pueden contribuir, con un poco mas de esfuerzo e investigación, junto a un mayor desarrollo, a encontrar soluciones prácticas para la industria de hoy en día.

Nuestro diseño parte de buscar una aplicación de lo aprendido en el curso de Automatismos Industriales, curso en el cual se trató el tema de microcontroladores por vez primera para los alumnos de la Carrera de Tecnología Electromecánica, y es así como iniciamos nuestro diseño basándonos en el PIC16f628a, el cual viene dotado de varias características que resultan ser muy útiles y que describiremos oportunamente.

Se ha utilizado prácticamente todos los pines de los pódicos a y b tanto para el censado de señales como para permitir la actuación de los dispositivos que cumplen con su respectivo cometido.

Debe recordarse que las velocidades que se conseguirá son fijas, en número de tres solamente, se cuenta igualmente con un dispositivo incorporado para facilitar el frenado del motor y la inversión de giro. La implementación de algunas partes, - una minoría en realidad, como la inversión de giro por ejemplo-, se da gracias a la presencia de dispositivos electromecánicos como relés, pero cumpliendo con la variación de velocidad gracias a disparos comandados por el microcontrolador y sus respectivos dispositivos semiconductores, de mayor tendencia a uso en estos días por la gran cantidad de prestaciones que estos tienen comparativamente hablando al compararlos con los tradicionales medios puramente electromecánicos.

Al momento de energizar se activa el freno regenerativo, debe escogerse primeramente la velocidad y luego el sentido de giro deseados, y el módulo está programado para no permitir que se cambie de sentido de giro bruscamente, obligando al usuario a frenar el motor primeramente para luego proceder al cambio de giro, entre otras prestaciones.

## INTRODUCCIÓN

A través del desarrollo de este módulo didáctico estamos seguros de estar haciendo una contribución significativa para las instalaciones de la Escuela, y conociendo acerca de la necesidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos presentamos este proyecto de titulación.

Existen en el mercado dispositivos de control analógico a través de componentes electromecánicos, como los equipados con resistencias de arranque y otros, pero que están tendiendo a desaparecer debido a la gran novedad en optimización de recursos que significa el implementar los mismos por medio de componentes del tipo de semiconductores. Los dispositivos corrientes tienen desventajas como la pérdida de potencia por aumento de temperatura, puede ser relativamente poco exacto, consta en muchos de los casos de componentes demasiado costosos, de difícil y en ocasiones especializada reparación y mantenimiento, el cual debe proporcionársele de manera continua y apreciable.

Reducimos en gran manera estos inconvenientes cuando implementamos nuestro módulo, porque al dotarle de un microcontrolador se reducen muy considerablemente el tamaño y el costo de las partes, mejoramos la confiabilidad, y el rendimiento de este control, por esto podemos sin temor a exageración ni equivocación que este módulo tiene una potencialidad considerable ya que puede tomarse como base para posteriores estudios y desarrollarse en el futuro con otras características de funcionamiento o agregar inclusive nuevas funciones de control, como el control mas exacto de corriente, y vigilancia de otras funciones de control como aumento desmesurado de temperatura en el equipo sometido a prueba o incluso llegar al punto de elaborar un banco de pruebas para motores eléctricos en el que se pueda detectar fallas del tipo eléctrico y posiblemente hasta mecánico.

Para el módulo, el cual constituye, por llamarlo de alguna manera, un pequeño PLC con salidas tanto de contactos mecánicos como semiconductores, y que es capaz, a través de sus salidas de semiconductores de proporcionar órdenes de muy alta velocidad, del orden de los microsegundos, que es el tiempo que toma

un microcontrolador para ejecutar una orden dependiendo del tipo de oscilador con el que se le haya dotado. Así, en el módulo que hemos propuesto, iniciamos a partir de la alimentación monofásica fija proporcionada por la Empresa Eléctrica Quito, y, pasando por un puente rectificador dividimos esta alimentación en dos ramificaciones, la primera de estas dos derivaciones se dirige hasta un sensor de cruce por cero del tipo de diodo zener, el cual que proporcionará la señal para que el microcontrolador luego de él pueda tener esta pauta para retardar el disparo de los triacs que alimentan por la segunda derivación al motor con la energía dosificada que éste requiere para poder funcionar dentro de los parámetros que hemos establecido previamente.

Debe recordarse que el censado de la señal para proporcionársela al microcontrolador se realiza de manera indirecta, esto es a través de un optoacoplador, y la salida de la señal que este proporciona a los TRIACs se logra de la misma manera para así impedir que cualquier daño que pudiera sobrevenirle a la parte de fuerza del módulo esté absolutamente impedida de causar cualquier tipo de daño permanente en la parte de la tarjeta de control y específicamente en el microcontrolador y su programa, logrando mediante esto protegerlos.

Recordamos igualmente que para nuestro módulo utilizamos diferentes voltajes en diferentes etapas del mismo, partiendo desde la señal TTL 0 lógico y 1 lógico, es decir de 0 y de 5 voltios, luego de 12 voltios para la alimentación de las bobinas de los relés, y por lo tanto de las salidas por contactos, y también de 100 a 110 voltios de corriente continua rectificadas no filtradas para conducirla a través de los TRIACs y llevarla hasta el motor.

## **CAPÍTULO 1**

### **BASES FUNDAMENTALES**

## CAPÍTULO 1

### 1. BASES FUNDAMENTALES

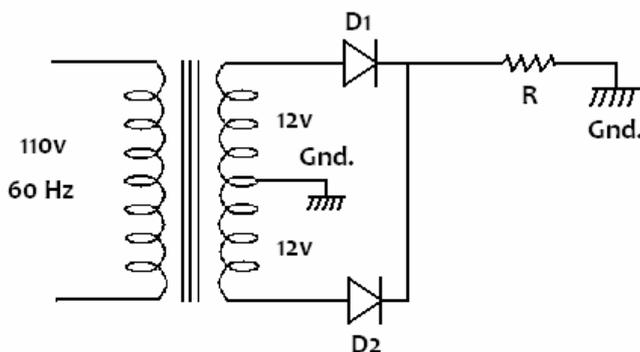
#### INTRODUCCIÓN

Para poder iniciar el desarrollo de este proyecto se vuelve necesario el describir ciertos componentes que serán utilizados a lo largo del mismo, y por lo tanto se presentarán las características de los que se utilizarán para aprovecharlas adecuadamente.

#### LA CONVERSIÓN AC – DC

Existen varios métodos a través de los cuales es posible convertir la señal de voltaje alterno de 60 hertzios que entrega la Empresa Eléctrica Quito en una señal de voltaje continua pulsante.

El primero de estos dos métodos y probablemente el más efectivo constituye el trabajar con un transformador de tap central, luego del cual se coloca en sus



**Figura 1.1**

*Rectificación de onda completa con Transformador de Tap Central*

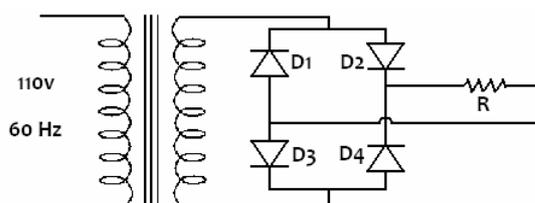
dos bobinados dos diodos que se conectan en un nodo común después del cual se toma la alimentación para la carga, y por el otro extremo de la carga se conecta a tierra en el mismo punto que el tap central del transformador.

Este tipo de rectificación que se observa en la figura número uno, tiene una excelente ventaja, debido a que la caída de voltaje que se da por el paso de corriente a través de los diodos se atenúa en comparación con la segunda forma de rectificación de la señal de voltaje alterno, pero por otro lado en ocasiones, por supuesto dependiendo de la potencia que el transformador necesite entregar al circuito, el aspecto negativo de este tipo de rectificación presenta el inconveniente de que un transformador de tap central suele costar un poco más que uno corriente sin taps.

El segundo método de rectificación es el mayormente utilizado, y consta de un transformador corriente pero sin tap central, cuyos terminales se conectan a un arreglo de puente de diodos comercial que puede encontrarse en el mercado, y se obtiene corriente continua pulsante.

Como se decía anteriormente, esta modalidad de rectificación que se muestra en la figura 2 tiene la deficiencia –obviamente no demasiado representativa- de que como la circulación de corriente se produce a través de dos diodos al mismo tiempo, se tiene una caída de voltaje mayor que la rectificación de tap central, que, según lo estudiado en clases puede ser del orden de los 0.6 voltios por cada uno de los diodos por los que la corriente tenga que circular, dependiendo si éstos son de silicio o germanio.

Por la razón anteriormente expuesta, se vuelve necesario que el transformador arroje un voltaje de por lo menos 2 voltios mayor al que se requiere obtener luego del puente rectificador, para luego alcanzar el voltaje más aproximado al que se desea obtener luego del puente rectificador.

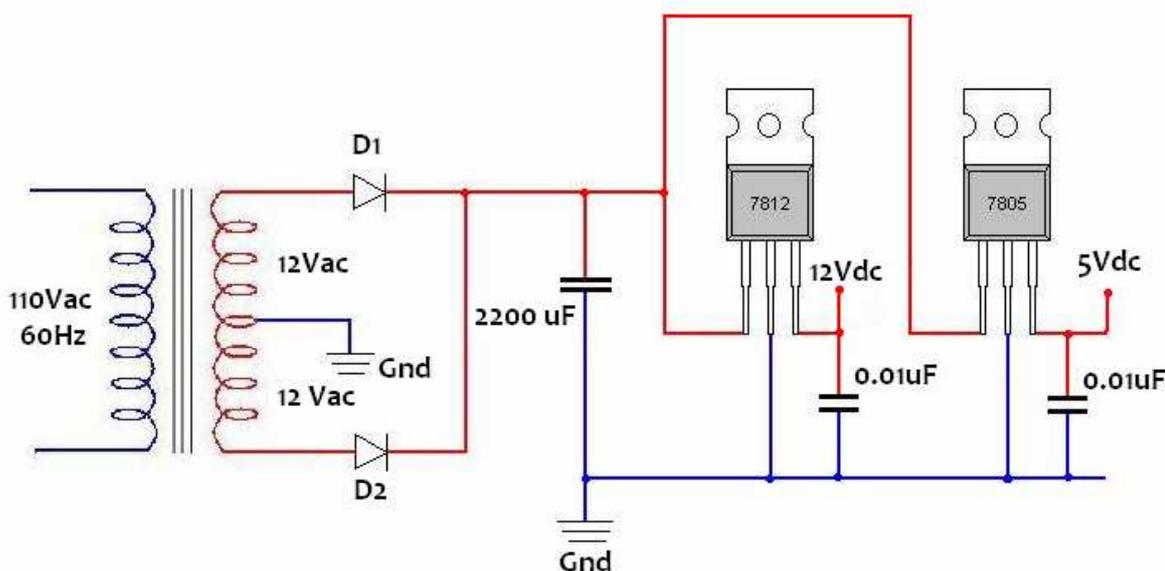


**Figura 1.2**

*Rectificación de onda completa con puente rectificador*

Por otro lado, para poder trabajar con la máxima seguridad posible, no se puede bajo ningún concepto exponer al microcontrolador, que es extremadamente sensible a cualquier tipo de sobrevoltaje, porque sería un daño fulminante que podría con facilidad averiarlo seriamente, por esta razón, el circuito de alimentación de corriente continua que se ha implementado dentro del módulo didáctico se ha trabajado como se explica a continuación:

Primeramente se utiliza un transformador reductor de 110 v a 12 v, 0 v, 12 v de tap central con salida de corriente de 3 amperios como el que muestra la figura número 3.



**Figura 1.3**

*Fuente de corriente continua utilizada usando el circuito 7805 y 7812 para alimentación al circuito digital del módulo didáctico.*

El primario del transformador se conecta a la línea de alimentación del módulo didáctico, obviamente entrada de corriente alterna, en el secundario se obtiene corriente alterna de 12v y 3 amperios, luego se alimenta con esta corriente dos diodos comerciales para alimentar el circuito, el cual está formado esencialmente por el microcontrolador PIC16F628a.

Luego de la rectificación se utiliza un filtro C, con un capacitor para disminuir significativamente el rizado con el que sale el voltaje rectificado desde el puente.

Una vez que se ha pasado por la etapa de rectificación y filtrado, se alimenta con este voltaje al integrado 7812, el cual puede arrojar 12 voltios de corriente continua pura, que es una señal que se puede utilizar para alimentar los relevadores, y con el 7805 se alimenta el circuito integrado conformado principalmente por el microcontrolador escogido para el proyecto didáctico.

## **1.2. EL MICROCONTROLADOR**

En la actualidad existen varias empresas que se encuentran fabricando microcontroladores, y fabrican una gran cantidad de modelos que facilitan la implementación de proyectos con microcontroladores. Una de estas empresas es la Microchip Technology, la cual lidera las ventas de este dispositivo, debido a ser barato, amplia gama de modelos, el lenguaje de programación es relativamente sencillo, por lo que en nuestra universidad y muchas más del mundo lo estudian a profundidad.

Un microcontrolador tiene la apariencia exterior de cualquier otro circuito integrado corriente, con la diferencia de que las funciones que es capaz de desempeñar pueden asignársele, es decir se lo puede programar según la necesidad del usuario para que ejecute las órdenes que se han grabado previamente en su memoria.

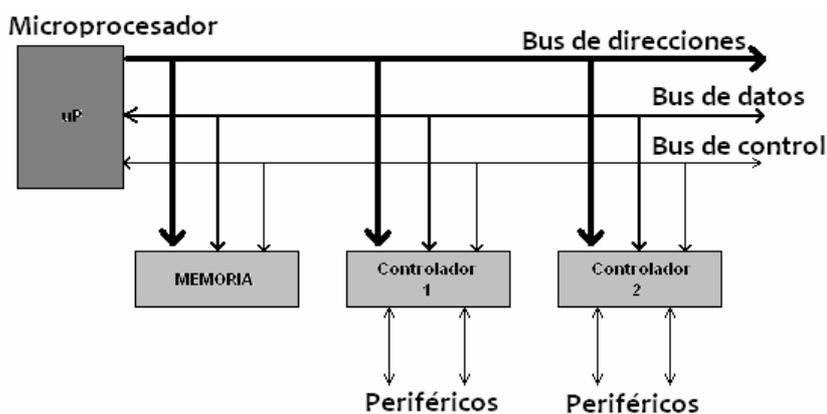
Para poder avanzar de la mejor manera en este punto se hace necesario estar en capacidad de poder responder satisfactoriamente ¿qué es un microcontrolador?

Para esto, en buenas cuentas y sin temor a equivocaciones podemos afirmar que un microcontrolador es un computador que se ha metido dentro de un circuito integrado. Por la idea anterior se puede igualmente afirmar que son computadores muy pequeños y baratos, por lo que se usan para controlar muchos dispositivos comunes, por lo que en ocasiones se halla incrustado dentro de los mismos, como es el caso de los celulares, el teclado, el ratón del computador, como son pequeños también sirven solo para una sola tarea a la vez y tienen una potencia limitada.

En este siglo la introducción de los microcontroladores en todos los artefactos industriales como el nuestro e incluso del hogar requerirá una gran cantidad de profesionales preparados para efectuar esta tarea.

El microcontrolador es un circuito integrado que contiene una Unidad Central de Proceso (UCP) a la cual se llama procesador. Esta UCP está constituida por la Unidad de Control, la cual interpreta las instrucciones y el Camino de Datos que las ejecuta. Los pines de un microprocesador comunican con el exterior del microprocesador las líneas de buses de direcciones, datos y control, para conectarle con la memoria y los módulos de entrada y salida y de esta manera terminar configurando un computador implementado por varios circuitos integrados, por esto, se dice que un microprocesador es un sistema abierto porque su configuración no es fija dependiendo de la aplicación con la que se le destine.

Por lo que se ha expuesto anteriormente permite afirmar que un microprocesador es un sistema abierto, porque puede construirse un computador con las características que se desee, siempre y cuando se le añada los módulos necesarios, mientras que un microcontrolador es un sistema cerrado que contiene un computador completo y de funciones limitadas que no pueden ser modificadas.



**Figura 1.4**

*Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador. La funcionalidad de los buses en el exterior permite que se configure la aplicación a la medida de la necesidad*

### **1.2.1. ARQUITECTURA INTERNA**

El microcontrolador posee todas las características de un computador, incluso sus mismas partes componentes, pero con ciertas características fijas que no pueden alterarse, aún así, se puede enlistar algunas de sus partes principales, entre las cuales se cuentan las siguientes:

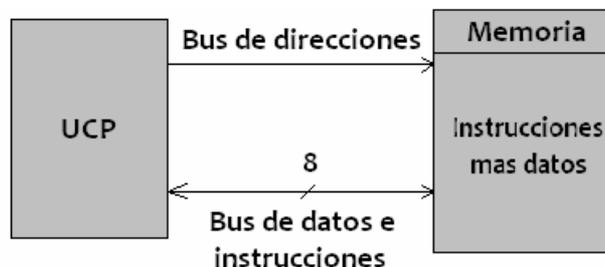
1. Procesador
2. Memoria no volátil para contener el programa
3. Memoria de lectura y escritura para guardar los datos
4. Líneas de entrada y salida para los controles periféricos, como:
  - a) Comunicación Paralelo
  - b) Comunicación Serie
  - c) Diversos pórtricos de comunicación como USB, bus, etc.
5. Recursos Auxiliares:
  - a) Circuito de Reloj
  - b) Temporizadores
  - c) Perro guardián (watchdog)
  - d) Conversores analógico – digital y digital – analógico
  - e) Comparadores analógicos
  - f) Protección ante fallos de alimentación
  - g) Estado de reposo o bajo consumo.

Y se continúa indicando algunas características generales acerca de cada una de las partes que se ha enlistado anteriormente:

#### **1.2.1.1. El Procesador**

Cuando se habla del procesador, la literatura existente coincide que para fines prácticos se tiene que hablar acerca de las arquitecturas existentes para el procesador, y es así como se ha llegado al empleo de procesadores de arquitectura Harvard, la cual se utiliza en los microprocesadores modernos y la tradicional arquitectura de von Neumann que se caracterizaba porque la UCP se

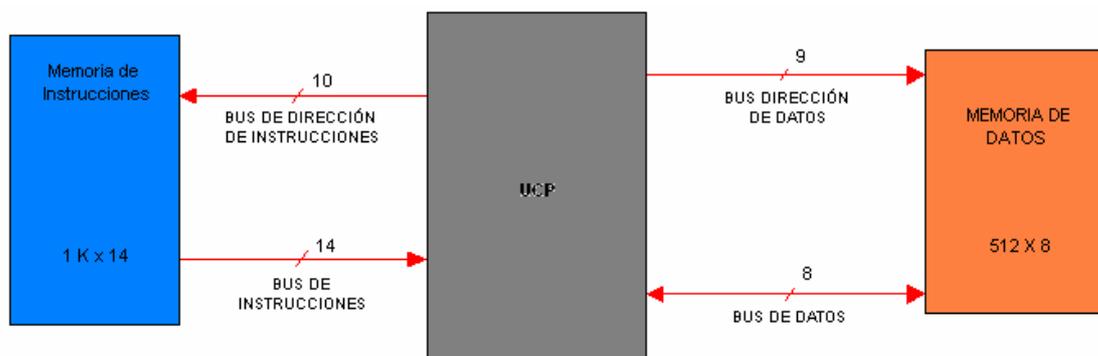
conectaba con una memoria única, en la que se encontraban tanto los datos como las instrucciones a través de un sistema de buses de comunicación, tal como se puede apreciar en la ilustración de la figura número 1.5.



**Figura 1.5**

*Esquema de la arquitectura tradicional de von Neumann usada anteriormente*

Por otro lado cuando se habla de la arquitectura Harvard, se encuentra la particularidad de que la memoria de datos y la de instrucciones son mutuamente excluyentes y que cada una de ellas tiene su propio sistema de buses independiente para su acceso. Esto tiene sus ventajas, pero probablemente la más importante de ellas puede ser que la capacidad de las memorias es diferente. A continuación mostramos en la figura 1.6 la arquitectura Harvard, la cual se utiliza hoy en día en los microprocesadores comerciales.



**Figura 1.6**

*Diagrama de arquitectura utilizada en la tecnología Harvard para microprocesadores modernos*

Y en caso de seguir investigando acerca de las arquitecturas, se puede encontrar que se están produciendo microcontroladores con una nueva arquitectura, la arquitectura RISC (Reduced Instructions Set Computers), que posee una colección de instrucciones pequeña y simple, a tal grado que la mayoría de las instrucciones pueden ejecutarse en un ciclo de instrucción.

Y a esto se añade que también se está generando la tendencia a segmentar el procesador, lo que tiene por objeto que cada segmento del mismo atienda a una instrucción, este método se llama en las fuentes bibliográficas paralelismo implícito.

Tanto el paralelismo implícito, la arquitectura Harvard, y el computador RISC logran que los microcontroladores modernos logren alcanzar velocidades de trabajo de microsegundos.

#### **1.2.1.2. Memoria para el Programa**

El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa se almacenen todas las instrucciones del programa que se ha cargado previamente para el control, pero en el microcontrolador no existe posibilidad de añadirle memorias externas de ampliación.

Una vez que se ha cargado el programa, las instrucciones del mismo no cambian, por lo cual podemos afirmar que el programa es fijo una vez cargado en el dispositivo, por esto, el programa debe estar grabado de manera permanente. Para soportar esta función en los microcontroladores se utilizan las siguientes versiones de memoria diferentes:

##### *1.2.1.2.1. ROM con máscara*

Cuando se trabaja con este tipo de memoria, el programa se graba en el chip durante el proceso de fabricación mediante el uso de "máscaras". Pero por supuesto, este tipo de memoria y de grabación del programa es muy costosa, así como el instrumental implicado para su elaboración, por lo que solamente se utiliza cuando se necesitan grandes lotes de producción.

##### *1.2.1.2.2. EPROM*

Para grabar esta memoria se necesita un dispositivo físico que se controla desde una computadora personal, este conjunto toma el nombre de grabador. Para el uso de este tipo de memoria, se utilizan microcontroladores que tienen en la superficie de su cápsula una pequeña ventana de cristal, que se utiliza para someter al chip de la memoria a luz ultravioleta para lograr borrarla y grabarla nuevamente, su costo por unidad es elevado igualmente.

#### *1.2.1.2.3. OTP ( Memoria programable una vez)*

Si el usuario trabaja con este tipo de memorias, solamente la podrá utilizar una vez, de la misma manera que la memoria EPROM, es decir con el conjunto grabador de computadora y el dispositivo grabador, pero a diferencia de la anterior, no se puede borrar. Tiene un precio bajo, y la grabación es relativamente sencilla, por esto, se utiliza este tipo de memorias para prototipos finales y series de producción cortas.

#### *1.2.1.2.4. EEPROM*

La grabación de este tipo de memorias se logra de la misma manera que las memorias OTP y EPROM, pero borrarlas es más sencillo que las anteriores, porque se necesita también el conjunto grabador, es decir computadora y el quemador de microcontroladores, es decir puede borrarse eléctricamente. Sobre el mismo zócalo del grabador puede ser programada y borrada tantas veces como se requiera, por esto, este tipo de memoria es ideal para la enseñanza de microcontroladores así como para utilizarla en la creación de nuevos proyectos, tiene por lo menos 1 k de palabras de memoria EEPROM para contener instrucciones y también tiene algunos bytes de memoria de datos para evitar que cuando se desconecta la alimentación se pueda perder la información.

Teóricamente se puede grabar y borrar un millón de veces, pero la tecnología de fabricación tiene algunos problemas para alcanzar estas capacidades ideales, y el tiempo de escritura de las instrucciones es relativamente grande y con elevado consumo de energía, estos inconvenientes pueden achicarse, tanto es así que

una quemadura de memoria toma nada más unos cuantos segundos, y en muchos programas computacionales existe la opción de programación a bajo voltaje, como es nuestro caso.

#### *1.2.1.2.5 Flash*

Esta memoria es de tipo no volátil, de bajo consumo, se puede escribir en el zócalo grabador de la misma manera que las EPROM, pero a diferencia de éstas, tienen mayor capacidad. En este tipo de memoria sí se puede garantizar 1000 ciclos de grabación y borrado.

También son las más recomendables y usadas cuando a través de la vida útil del producto se vuelve necesario modificar ligera o profundamente el programa original en función de la vida útil del dispositivo o maquinaria controlada, como por ejemplo el desgaste, los cambios de piezas o adecuación de las no existentes, como sucede en el caso de vehículos.

Como se ve, tiene múltiples ventajas, superiores incluso a las de las memorias EEPROM, por lo que las están sustituyendo. Por esta razón, MICROCHIP, por ejemplo, presenta en el mercado dos microcontroladores prácticamente iguales, que solamente se diferencian en que la memoria del programa de uno de ellos es de tipo EEPROM y la del otro es de tipo FLASH, se trata del PIC16C84 y el PIC16F84, respectivamente, aunque como en nuestro caso, tienden a utilizarse en su mayoría los microcontroladores dotados con la memoria FLASH.

#### *1.2.1.2.6. Memoria de Datos*

Una vez que se ha grabado el programa en el microcontrolador y se lo ejecuta, los datos que recibe y por lo tanto maneja, están variando continuamente, esto es lo que obliga a que la memoria que los contiene deba ser de lectura y escritura, por lo que la memoria RAM estática (SRAM) es la más adecuada aunque sea volátil. En este tipo de memoria es donde residen los registros específicos (SFR) con 24 posiciones de tamaño byte, aunque dos de ellas no son operativas, y los registros de propósito general (GPR) de 68 posiciones.

Pero por lo general, los microcontroladores también disponen de una memoria de lectura y escritura no volátil, del tipo EEPROM, de tal forma que, si en un momento dado la energía se corta, el corte no producirá una pérdida de la información contenida al interior del microcontrolador. La memoria EEPROM es de 64 bytes donde, opcionalmente, se pueden almacenar datos que se necesita que no se pierdan.

En la figura que se adjunta a continuación se puede observar la memoria de datos con sus dos bancos. Y entre los recursos auxiliares están los circuitos de reloj que se utilizan en algunos de los proyectos de microcontroladores, ya que en algunos de ellos se necesita mayor velocidad de trabajo.

File Address			File Address
00h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	80h
01h	TMR0	OPTION	81h
02h	PCL	PCL	82h
03h	STATUS	STATUS	83h
04h	FSR	FSR	84h
05h	PORTA	TRISA	85h
06h	PORTB	TRISB	86h
07h			87h
08h	EEDATA	EECON1	88h
09h	EEADR	EECON2 <sup>(1)</sup>	89h
0Ah	PCLATH	PCLATH	8Ah
0Bh	INTCON	INTCON	8Bh
0Ch			8Ch
	68 General Purpose registers (SRAM)	Mapped (accesses) in Bank 0	
4Fh			CFh
50h			D0h
7Fh			FFh
	Bank 0	Bank 1	

**Figura 1.7**

*Memoria de Datos del microcontrolador visualizando los bancos de la misma*

### 1.2.1.2.7. Líneas de entrada y salida para controladores periféricos

En el caso del microcontrolador PIC16F628a que se usa, se tiene la opción de prescindir de los pines para conexión a cristal oscilador y el reset externo, por lo que a más de los dos pines de alimentación, se cuenta con pines que servirán para soportar la comunicación con los periféricos externos que gobernará.

Las líneas de entrada – salida que se adaptan con los periféricos manejan la información en paralelo y se agrupan en conjuntos de ocho, los cuales reciben el nombre de pórtricos. Hay modelos que soportan la comunicación en serie; otros disponen de conjuntos de líneas que implementan pórtricos de comunicación como el USB, etc.,.

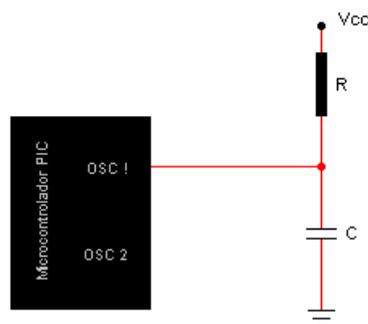
### 1.2.1.2.8. Recursos Auxiliares

Dependiendo de las aplicaciones para las que se oriente el fabricante, cada modelo de microcontrolador tiene incorporados una gran diversidad de complementos que aumentan la potencia y la flexibilidad del dispositivo. Entre los recursos más comunes a los modelos comerciales que se encuentran con facilidad se tienen los siguientes:

- a) *Circuito de Reloj*: que es el encargado de generar los impulsos que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema. Este circuito, que se conoce como oscilador o reloj, es muy simple pero de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema, ya que sin él no sería posible ejecutar las órdenes o las líneas de instrucción que se encuentran programadas en el mismo.

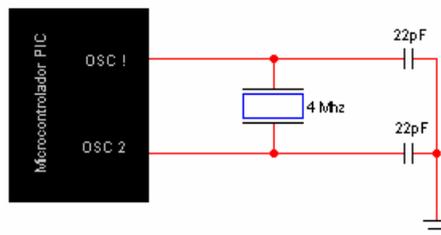
RC: oscilador con resistencia y condensador.

**Figura 1.8**  
Oscilador con resistencia y condensador



Y según las recomendaciones de Microchip, los valores de R pueden ser de entre 5k y 100k, y C superior a 20pF.

XT: Cristal



**Figura 1.9**

*Oscilador a partir de cristal de cuarzo que puede ser de hasta 20 Mhz*

HS: Cristal de alta velocidad

LP: Cristal para baja frecuencia y bajo consumo de potencia

Existen además varias configuraciones que, dependiendo de las necesidades que se requiera cubrir, se debe saber exactamente cuál tipo de oscilador se tiene que utilizar, ya que en ciertas aplicaciones no se puede el oscilador interno del PIC16F628a, de 4 Mhz, en ocasiones ni siquiera se puede utilizar cristales externos de 4 Mhz, sino de hasta 20 Mhz. Como por ejemplo para proyectos en los que se involucra las llamadas telefónicas.

Se añade una tabla en la que se especifican el tipo de oscilador que debe utilizarse en caso de requerir generar frecuencias de diferentes magnitudes, entre los que se añade la configuración Intr. I/O, que es el oscilador interno que se ha utilizado para el proyecto, el cual debe especificarse en el programa quemador para que el PIC utilice su oscilador interno incorporado de 4 Mhz.

Frecuencia	OSC1/ C1	OSC2/ C2	Tipo
4 Mhz	-----	-----	IntRC I/O
32 Khz	68 – 100 pF	68 – 100 pF	LP
200 Khz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	
100 Khz	68 – 150 pF	68 – 150 pF	XT
2 Mhz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	
4 Mhz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	HS
8 Mhz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	
10 Mhz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	
12 Mhz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	
16 Mhz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	
20 Mhz	15 – 30 pF	15 – 30 pF	

**Figura 1.10**

**Tabla de configuración de osciladores según el cristal a utilizar, en que también se indica los valores de los capacitores que se deben usar**

- b) *Temporizadores*: Son los auxiliares que se destinan para controlar los tiempos.
- c) *Perro Guardián*: (watchdog), el destinado a provocar la reiniciación cuando el programa queda bloqueado.
- d) *Convertidores análogo – digital, digital – análogo*: para poder recibir y enviar señales analógicas.
- e) *Comparadores analógicos*: Usados para verificar el valor de la señal analógica.
- f) *Sistema de protección ante fallos de alimentación*.
- g) *Estado de Reposo*: en el que el sistema queda suspendido, en este estado el consumo de energía se reduce al mínimo.

### 1.3. EL MOTOR DE CORRIENTE CONTÍNUA

Esta sección tiene por objeto describir brevemente ciertas características de los motores de corriente continua, lo cual se vuelve necesario a la hora de describir ciertos fenómenos que pueden darse al momento de trabajar con un motor particular como este, iniciaremos enunciando ciertas relaciones útiles para la comprensión del funcionamiento del motor que hemos empleado.

Cuando se habla de un motor de corriente continua, se pueden confirmar las siguientes aseveraciones:

1. El torque que se desarrolla produce y ayuda a la rotación del mismo

2. El voltaje que se genera en los conductores portadores de corriente, que es la fuerza contraelectromotriz, se opone a la corriente de armadura, lo cual se debe a la Ley de Lenz.

3. Se puede expresar la fuerza contraelectromotriz mediante la ecuación:

$$E_C = V_a - I_a R_a$$

Donde, debemos recordar que la fuerza contraelectromotriz es menor que el voltaje aplicado que origina el flujo de la corriente de armadura la.

Debe recordarse que esta ecuación puede escribirse en función de cualquiera de las variables, como la corriente, el voltaje aplicado o la resistencia de armadura.

Otra de las ecuaciones necesarias para poder comprender el funcionamiento de un motor de corriente continua es la relación correspondiente a la fuerza, la cual se expresa de la forma:

$$F = B I L$$

También llamada la Ley de Biot-Savart, ecuación en la que se demuestra la relación entre B (densidad de flujo magnético en webers por metro cuadrado o teslas), I (corriente en amperios) y L (longitud activa de conductor en metros).

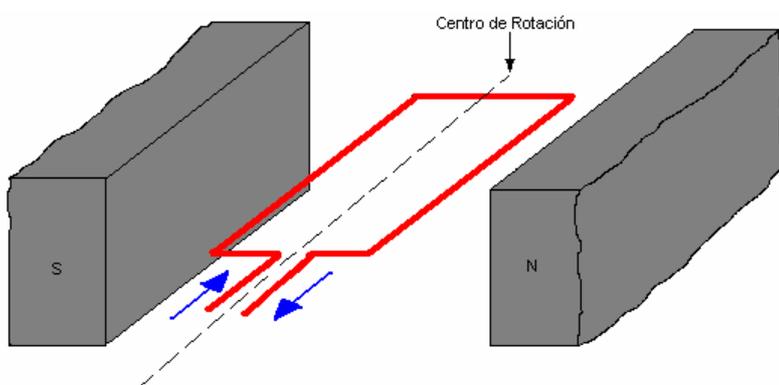
Y por último, también es necesario conocer hacia qué lado girará nuestro motor desde el momento que está energizado, para lo cual utilizamos la regla de la mano izquierda.

Las ecuaciones que hemos escrito anteriormente son aplicables universalmente para toda clase de motores de corriente continua que se utilizan en el mercado.

### 1.3.1. TORQUE Y FUERZA ELECTROMAGNÉTICOS

No hace falta elaborar un gran estudio para llegar a la conclusión de que no es lo mismo hablar de torque y de fuerza, aunque el un término sí tiene que ver con el otro.

Para lograr observar este fenómeno, se muestra y explica lo que se da en el caso de contar con una armadura dotada de una sola espira, tal como se expone en el gráfico:



**Figura 1.11**

*Bobina de una sola espira conduciendo corriente en un campo magnético*

Si se tratara de una bobina de una sola espira, que sea capaz de girar dentro de un campo magnético, entonces se desarrolla una fuerza perpendicular en el lado izquierdo de la bobina, y una magnitud de fuerza exactamente igual aunque de sentido contrario a la anterior del lado derecho de la espira, de esta manera, estas dos fuerzas, combinadas con las distancias que las separan del centro de rotación, producen un giro de la espira en el sentido de las manecillas del reloj y alrededor del centro de rotación.

Por otro lado, podemos añadir que se define el torque como la tendencia de un acoplamiento mecánico (de una fuerza y su distancia al eje de rotación) a producir un giro. Recordando lo estudiado en niveles básicos, se define principalmente como una fuerza por una distancia, especialmente en el sistema internacional en newtons – metro.

Un detalle digno de ser mencionado es la necesidad de obtener una conmutación para de esta manera lograr invertir la corriente en un conductor cuando se mueve bajo un polo de polaridad invertida, debido a que los conductores que se encuentran en la región interpolar, es decir exactamente en la parte central que separa los dos polos norte y sur, no son capaces de generar ningún torque útil, y los conductores que están conmutando pierden poco torque.

Pero por supuesto, lo anterior es aplicable a este caso particular en que la región interpolar es de un tamaño considerable, lo cual en el campo no se encontrará, sobre todo cuando se esté tratando con motores para uso industrial en los que el porcentaje de armadura (o rotor) que no se encuentre sumergido dentro del campo magnético generado sea verdaderamente pequeña, por esto, para tener en cuenta este detalle y aunarlo con los anteriores, al momento de encontrar una expresión del torque desarrollado por un motor, se tiene la expresión matemática que se describe a continuación:

$$T = \frac{B I_a L Z r}{a} \times \%S.A.$$

Que es la ecuación utilizada para cuantificar el torque generado por un motor de corriente continua, en donde B es la densidad de flujo en testlas o weber por metro cuadrado,  $I_a$  es la corriente de armadura, L es la longitud activa, es decir sumergida dentro del campo magnético de conductor en metros, Z es el número de conductores activos de la armadura, r es la distancia radial al eje de rotación, dada en metros, a es el número de trayectorias en el devanado de armadura, que depende de que sea imbricado u ondulado, y por último %S.A. es el porcentaje de superficie de armadura que cubren los polos y por lo tanto se encuentra bajo la influencia de las líneas de flujo magnético.

Debe anotarse ciertos detalles a la hora de encontrar literatura referente a los motores eléctricos, entre los cuales se puede anotar los siguientes: El torque electromagnético que se describió anteriormente ayuda a la rotación o está en la misma dirección de ésta. Otro detalle que debe tenerse en cuenta es que el

torque es una función del flujo y de la corriente de armadura, por lo tanto es independiente de la velocidad de un motor, la velocidad sí depende del torque, pero no al revés, por esto no pueden usarse torque y velocidad como sinónimos, porque si se bloquea el rotor de un motor, la velocidad desaparece pero existe torque para poder detenerlo.

El torque desarrollado se origina en los conductores de la armadura, es decir internamente, pero debe tenerse en cuenta que no es equivalente al torque disponible en el eje, ya que una parte del desarrollado es ligeramente mayor al del eje debido a que algo del desarrollado disminuye por razón de la existencia de pérdidas rotacionales específicas debidas a los rodamientos y se consumen en los mismos.

### **1.3.2. FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ**

Este fenómeno debe tenerse muy en cuenta, ya que tiene mucha importancia a la hora de poner en funcionamiento el mecanismo. Para resumirlo de una manera sencilla se puede decir que la fuerza contraelectromotriz de un motor se da debido a que tal como en un generador aparecen tanto el efecto generador como el efecto motor, también cuando se trabaja con un motor aparecen simultáneamente tanto el efecto motor como el efecto generador, es decir, se tiene que se aplican tanto la regla de la mano derecha como la regla de la mano izquierda, y recordando un poco la ecuación que se había anotado anteriormente tenemos:

$$E_c = V_a - I_a R_a$$

Donde se puede apreciar que los principales limitantes de la corriente de armadura son en primer lugar la resistencia de la armadura, y en segundo lugar la fuerza contraelectromotriz.

Resulta sencillo caer en cuenta que la fuerza contraelectromotriz del motor en ningún momento puede igualarse al voltaje aplicado a los terminales del motor, porque la dirección en la que viaja la corriente determina la dirección de rotación,

y que es precisamente ésta rotación la que crea la fuerza contraelectromotriz. Por esto, para poder limitar la magnitud de la corriente que pasa por los conductores del bobinado de armadura el motor cuenta con la fuerza contraelectromotriz primeramente y en segundo lugar la resistencia de armadura junto con la caída de voltaje debida a las escobillas.

Si se incluye la fuerza contraelectromotriz de un motor, a mas la caída de voltaje en las escobillas simbolizado por CE se tiene:

$$E_c = V_a - (I_a R_a + CE)$$

Y conociendo que la velocidad de un motor es también una función de la fuerza contraelectromotriz según la expresión que sigue:

$$E_c = K \varnothing \omega$$

Sabiendo que  $\varnothing$  es el flujo en webers,  $\omega$  es la velocidad del motor en radianes por segundo, K es la representación de los factores que se mantienen constantes dentro del motor, como son: la longitud activa de cada conductor de armadura, el número de conductores de armadura, la distancia radial al eje de rotación, el número de trayectorias en el devanado de armadura, y el porcentaje de superficie de la armadura que está sumergido dentro del campo magnético.

Entonces, al combinar las dos ecuaciones anteriores, se puede escribir una sola ecuación en la que se expresen ambas simultáneamente tal como sigue:

$$\omega = \frac{V_a - (I_a R_a + CE)}{k\varnothing}$$

Es a esta ecuación a la que se llama la ecuación fundamental de la velocidad del motor de corriente continua, porque permite predecir el desempeño de estos motores.

Por ejemplo, si disminuyera el flujo magnético, el motor se desbocará, es decir se “embalará” debido a perder el flujo de campo, porque si el denominador de la ecuación tiende a cero, la velocidad de motor tiende al infinito. Si no cambiara la corriente de armadura ni el flujo magnético de campo, pero se aumenta el voltaje aplicado a los terminales de la armadura, aumentará la velocidad en la misma proporción. Por otro lado si se mantienen constantes el flujo magnético y el voltaje de armadura, pero se aumenta la corriente debido a que se ha incrementado la carga por ejemplo, la velocidad del motor disminuirá al igual que la fuerza contraelectromotriz.

### 1.3.3. POTENCIA DESARROLLADA

Por todo lo que se ha dicho antes, es realmente sencillo notar que a plena carga, la fuerza contraelectromotriz es menor que la electromotriz si la carga fuera menor que la plena, y dependiendo del tamaño del motor puede ser del 80% del voltaje de armadura en motores pequeños, llegando hasta el 95% en motores grandes.

Si se lograra determinar la relación que hay entre la fuerza contraelectromotriz y el voltaje de armadura, podríamos también la potencia mecánica que desarrolla la armadura.

Sabemos, por tanto, que la caída de voltaje en la armadura se puede escribir:

$$I_a R_a = V_a - E_c$$

Pero si a ambos lados de esta ecuación se multiplica por  $I_a$  debido a que estamos conectando el motor a la fuente de voltaje, y despejando  $E_c I_a$ , obtendremos lo siguiente:

$$E_c I_a = V_a I_a - I_a^2 R_a$$

Si se analiza la ecuación anterior, decimos que al suministrar  $V_a I_a$  al motor, una parte de esta energía suministrada se pierde en algunas de las partes como la resistencia del bobinado de la armadura, a ésta precisamente se le llama la pérdida debida al cobre de la armadura  $I_a^2 R_a$  o sea, cuadrado de la corriente de

armadura multiplicada por la resistencia del bobinado del motor, se tiene una potencia constante  $E_{cla}$  que es la que necesita la armadura para producción de torque desarrollado o interno.

Para obtener la relación entre potencia desarrollada y potencia suministrada al motor se escribe como sigue:

$$\frac{\text{Potencia desarrollada}}{\text{Potencia suministrada}} = \frac{E_{cla}}{V_{a}}$$

Pero como a ambos lados de esta expresión se tiene la corriente de armadura  $I_a$ , entonces nuestra ecuación puede fácilmente reducirse a:

$$\frac{\text{Potencia desarrollada}}{\text{Potencia suministrada}} = \frac{E_c}{V_a}$$

Por lo que ahora ya se tiene la expresión que ayudará a identificar cuál sería el funcionamiento más óptimo posible para motores, porque mientras mayor es el porcentaje de fuerza contraelectromotriz con respecto al voltaje a través de la armadura, mayor será la eficiencia del motor.

Entonces puede resumirse que si aumenta la corriente de armadura y el torque de carga del motor, entonces disminuye la fuerza contraelectromotriz, disminuye la velocidad, y aumenta la potencia desarrollada por la armadura del motor. Mientras que si disminuye la corriente de campo y por lo tanto el flujo de campo generado por esta fuerza magnetomotriz, esto se traduce en un aumento de velocidad.

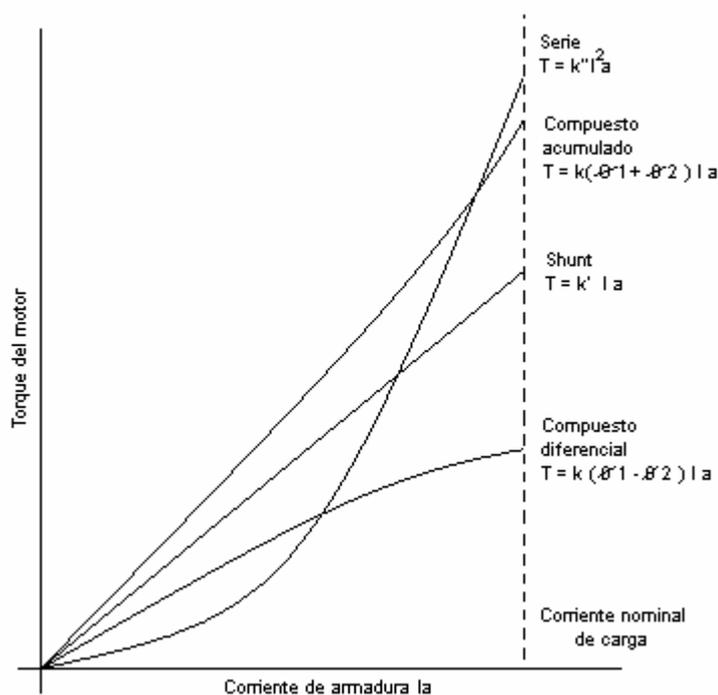
Cuando se trabaja con motores derivación (también llamados como shunt o motores paralelo) se debe tener cuidado de nunca dejar sin alimentación de corriente de campo, lo cual ocasionaría un desbocamiento (o embalamiento) del motor y éste se autodestruiría por la fuerza centrífuga que se generaría desalojando de las ranuras del rotor al bobinado del mismo, pero se trabaja siempre, primero, con conductores limitados en cuanto a su corriente en lo que se refiere al motor, segundo, las protecciones de los mismos actúan evitando muy

alta corriente que podría destruir los conductores del motor, y la fuente de continua es limitada, e incapaz de suministrar corriente infinita.

En los motores serie, las corrientes de armadura y del campo en serie son las mismas, por lo que el flujo producido por el campo es proporcional a la corriente  $I_a$  de armadura. Y, ya que el flujo es función de la corriente de armadura, la ecuación que describe el comportamiento del torque quedaría:

$$T = K'' I_a^2$$

Y por otro lado, debe observarse la siguiente gráfica, que es la representación del torque en función o versus la corriente de armadura:



**Figura 1.12**

*Figura que muestra la comparación entre el torque del motor y la corriente de armadura en los motores de corriente continua*

Donde se ha colocado una comparación cualitativa entre los diferentes tipos de motores de corriente continua comerciales, y donde se puede observar el comportamiento del torque en función de la corriente de armadura.

Usando la definición de saturación del hierro, lo cual significa que llega un punto en el que no importa cuánto más aumente la corriente que excita la magnetización de un núcleo de hierro, los dominios magnéticos de este núcleo no pueden orientarse más de lo que la corriente de saturación lo hicieron.

Y es precisamente esta corriente la que origina una curva de magnetización en los núcleos magnéticos de todas las máquinas eléctricas, la cual para el caso de un motor serie origina la curva de la gráfica que se presenta antes, en donde se puede observar que mientras el núcleo del campo magnético no se sature, es decir en la parte lineal de la curva de magnetización, la relación entre el torque del motor y la corriente de armadura es exponencial, se debe notar que para el caso de un motor serie, cuando trabaja a plena carga, el torque que desarrolla en comparación con un motor shunt o paralelo es bastante mayor según muestra la ecuación incluida en la propia figura, ya que el torque es una relación que trabaja con el cuadrado de la corriente en el caso de un motor serie.

#### **1.3.4. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR**

Para el caso del motor utilizado, se tienen las siguientes características:

**STYLE**  
**AC- DC**  
**100 – 120 volts**  
**0 – 60 cycles**  
**200 watts**  
**N.C.R. fuse**  
**3 amps**  
**N.C.R. Co.**  
**DAYTON OHIO**

Que son datos que se han tomado de la placa del motor, de lo que se desprende que es un motor que puede trabajar en el rango comprendido entre los 100 a los 120 voltios tanto de corriente alterna como de corriente continua, en caso de trabajar con corriente alterna, puede hacerlo hasta 60 ciclos, su potencia de salida

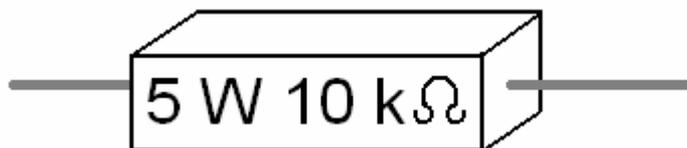
es de 200 vatios, la circulación de corriente en funcionamiento normal es de 3 amperios, fabricado en la casa "DAYTON", estado de OHIO, Estados Unidos.

## 1.4. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS

### 1.4.1. RESISTENCIAS

Se define brevemente a una resistencia eléctrica como la característica de ciertos dispositivos eléctricos y electrónicos que tienen de dificultar el paso de corriente eléctrica, esta característica se mide en ohmios, es directamente proporcional a la longitud de un conductor e inversamente proporcional a su sección y a su resistencia específica o resistividad.

Para el módulo didáctico se ha utilizado principalmente seis resistencias, es decir resistencias de seis magnitudes, la primera de ellas, en la etapa de censado para cruce por cero, una resistencia de potencia de cierto grado de disipación, de 5 vatios, 10 kilohmios, cuyo funcionamiento en el circuito se explicará más adelante.



**Figura 1.13**

*Resistencia utilizada para el sensor de cruce por cero*

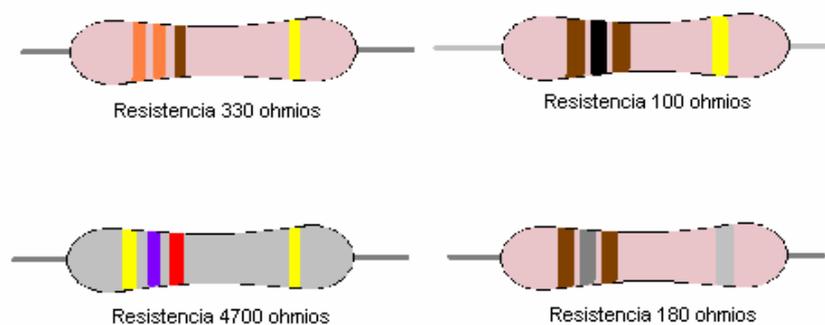
La segunda de ellas es utilizada para activar las entradas de los pórtilos programados para trabajar con bajas activas del microcontrolador, su magnitud es de 4700 ohmios, conectadas como se ha dicho antes entre la fuente de corriente continua de 5 voltios y el respectivo terminal de entrada del microcontrolador.

La tercera de ellas es utilizada al igual que las anteriores en más de una ocasión principalmente para fines de señalización, utilizada en serie con un diodo emisor de luz entre la salida alta de 5 voltios y tierra, y su magnitud es de 330 ohmios.

La cuarta de las resistencias usadas es la resistencia de freno, que se ha calculado mediante la definición de fuerza contraelectromotriz y que tiene como objeto el disipar el voltaje generado y su respectiva corriente remanente una vez que se ha desconectado al motor de su fuente de alimentación para conseguir que éste se detenga lo más rápidamente posible. Esta última resistencia ingresa al circuito cuando así se lo requiere una vez que el operador le ha dado el mando de hacerlo a través del microcontrolador y el programa que se ha cargado en el mismo.

La quinta es la resistencia de 100 ohmios, que se utiliza para poder accionar los dispositivos optoacopladores en la entrada misma del pin que corresponde al diodo emisor, que tiene el fin de no exigir demasiada corriente al microcontrolador que es el que generalmente acciona otros dispositivos a través de los optoacopladores.

La sexta de las resistencias usadas es la resistencia de 180 ohmios, la cual trabaja en conjunto con otro de los optoacopladores, el optotriac para ser específicos, y tiene el fin de detectar la presencia de voltaje en la línea a accionar o permitir el paso de la corriente y de esta manera el cruce por cero interno instalado en el encapsulado del pequeño integrador optotriac, esto se explicará y visualizará con más detalle más adelante.



**Figura 1.14**

*Cuatro de las seis magnitudes de resistencias utilizadas*

### 1.4.2. DIODOS

Los diodos son los más sencillos de los dispositivos semiconductores, pero es esencial en los circuitos electrónicos. Es un dispositivo de dos terminales, idealmente debería conducir o permitir el paso de la corriente eléctrica en solamente un sentido, actuando como un cortocircuito en el sentido en que permite el paso de corriente, pero como circuito abierto cuando la corriente intenta circular en sentido contrario al permitido.

Los materiales usados para los diodos son dos usualmente, el silicio y el germanio, los cuales ante un incremento de temperatura, disminuyen su resistencia, es decir tienen, - a diferencia de los elementos conductores- un coeficiente de temperatura negativo.

En el modulo se ha utilizado los diodos a la entrada misma de alimentación, la primera de ellas como ya se mostró anteriormente se utiliza como un arreglo de puente de diodos a la salida del transformador de alimentación para proporcionar corriente continua a los circuitos lógicos digitales.

La segunda de ellas es un segundo arreglo de puente de diodos que proporciona la alimentación al motor serie de corriente continua, por lo que se trata de un puente de diodos de mayor potencia que el de la fuente anterior, y que también proporciona señal para el detector de cruce por cero. También esta parte se explicará con mayor detalle más adelante y puede ser observada en el anexo número uno, en el que se muestra el circuito con su diseño final.

Se utiliza igualmente un diodo zener, el diodo zener es un diodo similar al diodo semiconductor, pero éste tiene ciertas particularidades, por ejemplo una de ellas es que se comercializa con un dato de voltaje adicional, y puede utilizarse para estabilizar ciertas medidas de voltaje.

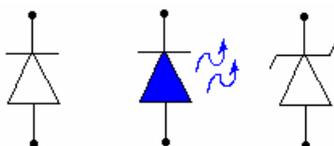
Lo anterior significa que cuando se polariza inversamente y bajo ciertos parámetros, puede comportarse como una pequeña fuente de corriente continua,

y bajo cierto rango se comporta como un diodo común, con su respectivo impedimento al paso de la corriente o permitiéndola si se lo polariza directamente.

Hemos utilizado uno de estos dispositivos en la etapa del cruce por cero, y nos sirve para poder enviar la señal del cruce por cero de la señal recién rectificadas del puente de diodos y reducida por la resistencia acoplada hasta el optotransistor que envía la señal baja activa con la que el microcontrolador trabaja para poder hacer correr el tiempo de retraso con que disparará los semiconductores que alimentan la carga.

También se ha dotado de cierto número de diodos semiconductores conectados en paralelo con las bobinas de los relevadores del puente "H" de inversión de polaridad de la armadura del motor para proteger de contracorrientes que pudieran averiar seriamente al microcontrolador, ya que el accionamiento de los mismos no es optoacoplado, ya que los optoacopladores optotransistores no son capaces de trabajar con la cantidad de corriente que se requiere para el accionamiento de las bobinas.

Lo anterior también se detallará más adelante junto con el gráfico que se ha añadido en el primer anexo y ciertas otras especificaciones que se muestran en el anexo 4 donde se encuentran las características de algunos de los dispositivos que hemos empleado.



**Figura 1.15**

*Diodos utilizados: diodos semiconductor; emisor de luz, zener*

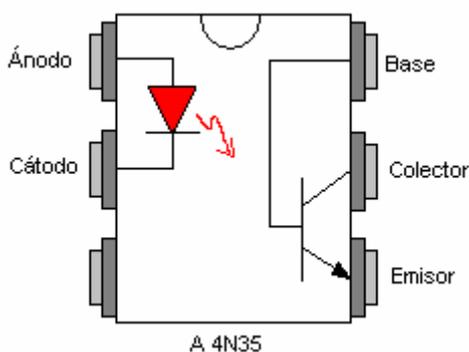
### 1.4.3. OPTOACOPLADORES

Los optoaisladores u optoacopladores son otros de los dispositivos que se han utilizado para el funcionamiento del módulo.

Un optoacoplador es un dispositivo que incorpora muchas características que resultan prácticas, sobretodo a la hora de trabajar con circuitos incluyen una etapa de control junto con una de potencia.

Los optoacopladores son pequeños dispositivos que contienen encapsulado un diodo emisor de luz infrarroja y un fotodetector de silicio que puede ser un transistor, en el cual el diodo infrarrojo actúa como base además de la que viene añadida en el mismo encapsulado. Otra opción es que en lugar de tener un transistor se tenga un SCR, o inclusive un TRIAC, lo cual sucede en este caso.

Para este caso se ha utilizado dos optoacopladores, el primero de ellos es el dispositivo A 4N35, que corresponde a un optotransistor u optoTBJ, el cual tiene internamente la disposición de pines que se bosqueja a continuación:



**Figura 1.16**

*Diagrama de pines del optotransistor A 4N35*

El optotransistor A 4N35 funciona en el momento en que se ha inyectado una corriente reducida producto de un voltaje de 5v a través de una resistencia en serie con el ánodo, de 100 ohmios, tal como se había dicho anteriormente, y esto

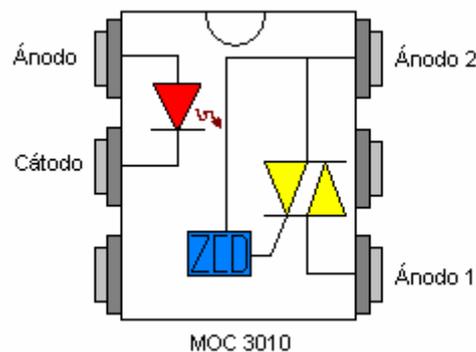
permite que la corriente del colector circule a partir del mismo en el pin 5 hasta el emisor del pin 4.

Es digno de ser tomado en cuenta que el pin 6 del encapsulado posee otra base, pero ésta es propia del transistor, y puede trabajar exactamente de la misma manera en que lo hace el diodo emisor ubicado entre los pines 1 y 2.

El segundo de los optoacopladores empleado es el difundido MOC 3010, en cuyo encapsulado se ha empaquetado el diodo emisor infrarrojo antes mencionado y un TRIAC junto a un pequeño circuito detector de cruce por cero.

El TRIAC se acciona en el momento en que el emisor está encendido, es decir cuando se ha enviado una señal de 5 voltios a través de una resistencia de 100 ohmios que se mencionó antes, y se puede permitir el paso de corriente alterna desde el ánodo 2 al ánodo 1 y viceversa, es decir el paso de corriente alterna, ya que precisamente para esto ha sido diseñado este circuito.

La distribución de pines de este dispositivo se muestra a continuación:



**Figura 1.17**

*Diagrama circuital del MOC 3010 optoTRIAC para 120 voltios*

Por supuesto que tal como se ha mencionado antes y oportunamente, el uso de este pequeño optoacoplador se logra mediante un pequeño arreglo, en otras palabras, éste dispositivo no puede de ninguna manera trabajar solo con equipos de 120 voltios directamente, el TRIAC con que viene equipado sirve solamente para poder disparar un TRIAC externo, el cual si puede trabajar en promedio con

un máximo de 10 amperios continuamente si se le ha equipado con la ventilación mínima requerida. El arreglo para los disparos de los TRIACS externos se detallará más adelante, se recomienda también revisar el anexo 3, en el que se ha presentado el datasheet del MOC 3010.

#### 1.4.4. REGULADORES DE VOLTAJE

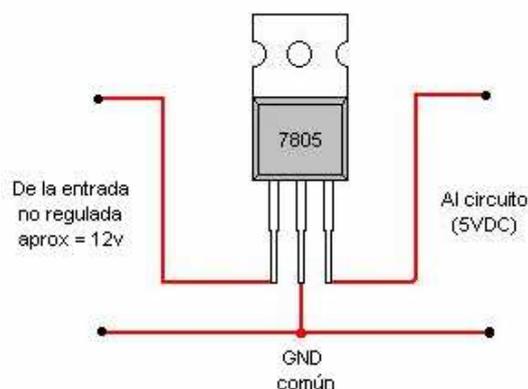
Hablaremos brevemente de algunos detalles acerca del regulador de voltaje usado en el módulo didáctico.

El regulador de voltaje es un circuito integrado de tres terminales. Este tipo de regulador es muy utilizado, internamente tiene la circuitería de la fuente de referencia, un amplificador comparador, un dispositivo de control y la protección de sobrecarga. Ofrece una regulación de voltaje positivo, porque los hay también de negativo fijo o voltaje regulable.

Este tipo de reguladores, tal como el usado 7805, tiene un voltaje de entrada sin regular aplicado a una terminal de entrada, un voltaje de salida regulado y un tercer terminal conectado a tierra.

La familia de reguladores de voltaje 78 pueden trabajar desde 5 a 25 voltios, su utilización ya se bosquejó en parte cuando se habló acerca de la rectificación de voltaje AC – DC en las primeras partes de este documento, donde puede verificarse que ingresa un voltaje no regulado en el primer terminal del dispositivo, el segundo es el terminal de tierra común tanto para el circuito de 12 voltios de continua como para el de 5 voltios de salida continua regulada que se proporciona a partir del terminal tres del integrado regulador:

**Figura 1.18**  
*Regulador de Voltaje de circuito integrado 7805*



También se ha utilizado un regulador de voltaje 7812 para poder alimentar las bobinas de ciertos relevadores que requieren este tipo de voltaje para accionarse. Su implementación se logra de la misma manera que se muestra en la figura 18 con regulador de voltaje de 5 voltios, pero lógicamente su salida es del orden de los 12 voltios de corriente continua.

#### **1.4.5. TRIAC**

Tal como se había dicho el momento de la propuesta del trabajo, se usarán semiconductores en lugar de los tradicionales reóstatos para optimizar la corriente utilizada, ni desperdiciar la tan preciada energía, por esto, se trabaja con los triacs, para poder ajustar el ángulo de disparo y por lo tanto la cantidad de energía suministrada.

Los triacs son dispositivos con posibilidad de control de paso de corriente bilateral, o, dicho de otra manera, en cualquiera de las dos direcciones, especialmente adecuado para corriente alterna.

En el módulo didáctico se ha trabajado con triacs para la dosificación de la corriente entregada, por supuesto, sus disparos dependen en primer lugar del usuario y la cantidad de potencia que este requiera entregar a la carga, la cual se controlará por medio del programa cargado en el microcontrolador, el cual a través de los optotriacs disparará a los triacs propiamente dichos, aislando así el delicado control digital de la riesgosa etapa de potencia.

Como ya se ha mencionado anteriormente, se ha tenido que investigar cuál es la correcta disposición de trabajo en la que tienen que configurarse el TRIAC conjuntamente con el optotriac, pero estos detalles se indican oportunamente más adelante, cuando se hable acerca del hardware del módulo y la disposición de los elementos.

#### 1.4.6. RELEVADORES

Se ha utilizado relevadores, también llamados relés, la razón de hacerlo es precisamente porque con el diseño del módulo didáctico se ha logrado el objetivo principal de evitar el desperdicio de energía al que se llega cuando se usa arrancadores a base de reóstatos que desperdician la energía a la hora de variar el voltaje de alimentación del motor, pero para este caso, al trabajar con una carga no muy representativa o si cabe “derrochadora”, es evidente la necesidad de dotar al equipo de este pequeño arreglo ya que en esta parte en que se utiliza un relevador que es la de inversión de giro, prácticamente no existe mejor manera de asegurar que no vaya a haber ningún tipo de inconveniente en lo relacionado con el accidental accionamiento de uno u otro par de contactos.

Los relés usados no son un significativo sinónimo de pérdida de energía, y no se los reemplazó con un puente “H” de triacs ya que para este caso los relés son más seguros ya que, o solamente permiten la una polaridad o la otra e incluso ninguna, pero jamás permitirán dos a la vez, lo cual puede ser peligroso al convertirse en cortocircuito franco que dañaría toda la instalación no aislada aunque sí protegida.

Por otro lado, el uso de puentes de inversión de polaridad con semiconductores requieren de cuidados bastante significativos desde su misma etapa de diseño, lo cual para la programación del microcontrolador no representa ningún tipo de dificultad, porque de hecho se intentó elaborar este paso en un pequeño prototipo anterior, pero la particularidad de que no es posible trabajar con SCRs que permitan ser optoaislados puede convertirse en un real inconveniente.

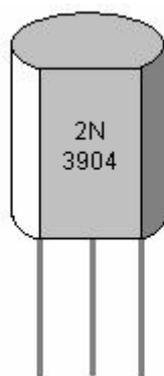
Se ha usado por esto relés de bobinas de 12 voltios, cuyos contactos son capaces de trabajar con 10 amperios tanto para la inversión de giro como para la conexión del circuito de frenado dinámico a través de la resistencia de freno que ha sido convenientemente instalada.

### 1.4.7. TRANSISTORES

La cantidad de literatura existente en lo referente al transistor bipolar de juntura es realmente sorprendente, en todas las fuentes bibliográficas es sencillo encontrarse con mucha información, pero siendo esta una tesis dedicada a los automatismos, la característica más sobresaliente de este dispositivo que se aprovechará es la de interruptor.

Bajo esta característica, en el momento de administrarle una corriente a la base de un transistor bipolar de juntura (TBJ), la cual puede deberse precisamente a un voltaje pequeño, como los 5 voltios del microcontrolador por ejemplo, y que pase a través de una resistencia de 4700 ohmios que impida que el microcontrolador sea exageradamente exigido, se logra conducción desde el colector hasta el emisor, lo cual fácilmente puede ayudar a la hora de accionar dispositivos pequeños de corriente continua como lo son los relés.

Esta configuración se muestra también más adelante, en la que se aprovecha esta especial característica del TBJ, además de en el anexo 1.



**Figura 1.19**

*Transistor Bipolar de Juntura (TBJ)*

### 1.4.8. TRANSFORMADORES

Un transformador es un dispositivo electromagnético de conversión de energía, el cual trabaja de acuerdo al principio de la inductancia mutua entre dos o más

bobinas o circuitos acoplados magnéticamente, más no físicamente, es decir, no hay conducción eléctrica entre ellos.

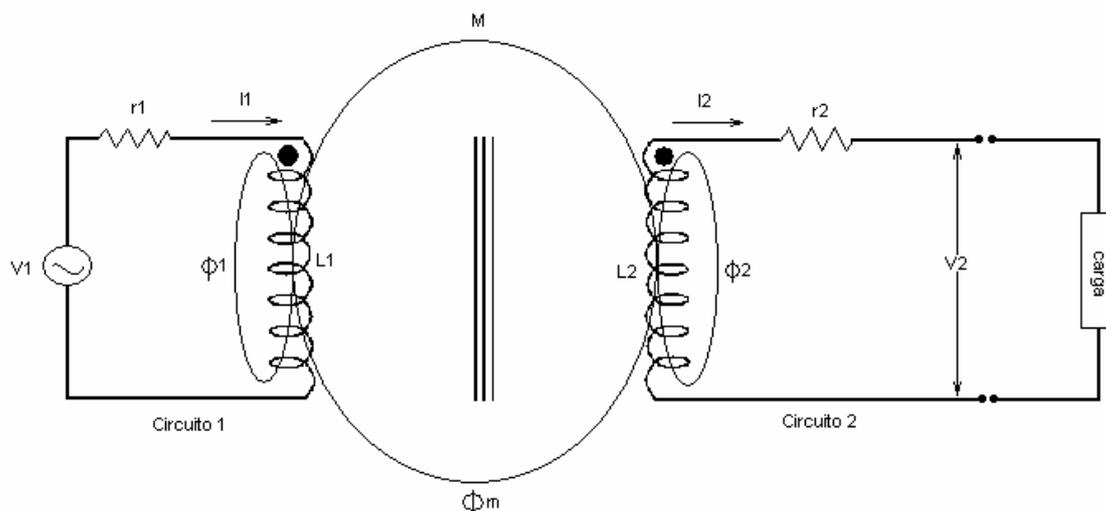
Como puede verse en la figura que se muestra en las líneas inferiores, al primer bobinado, llamado primario, se alimenta con voltaje alterno. El primario recibe energía de la fuente de corriente alterna. Se produce un acoplamiento magnético entre los dos circuitos y se transfiere energía desde el circuito 1 al circuito 2. Si las dos bobinas o circuitos se devanan sobre un núcleo común de hierro, se produce un acoplamiento fuerte, lo cual significa que casi toda la energía que recibe el primario desde la fuente se transfiere por acción del transformador al secundario.

Suele también utilizarse la convención del punto, el cual representa el positivo instantáneo en ése terminal de la bobina. Igualmente el punto colocado en la otra bobina (del secundario o circuito que recibe la energía), representa también el positivo instantáneo que se genera gracias al flujo magnético.

Por otro lado, el flujo magnético que enlaza a las dos bobinas, no toma en cuenta al flujo que se fuga de la bobina 1 y el de fuga de la bobina 2.

También se define a  $M$  como la inductancia mutua (que es una medida de acoplamiento magnético) entre dos bobinas o circuitos, que se produce por el flujo mutuo, del cual se trató anteriormente.

$L_1$  y  $L_2$  son, respectivamente las inductancias del circuito primario y la inductancia del secundario, ambas medidas en henrios.



**Figura 1.20**

*Algunos de los símbolos que se utilizan en los transformadores con núcleo de hierro*

Una vez que se conoce éstos términos, se puede definir el coeficiente de acoplamiento ( $k$ ) entre las dos bobinas como una relación del flujo mutuo al flujo total:

$$k = \frac{\Phi_m}{\Phi_m + \Phi_1} = \frac{M}{\sqrt{L1 * L2}}$$

Casi todos los transformadores de acoplamiento débil (con núcleo de aire, por ejemplo), se utilizan en circuitos de comunicación de alta frecuencia. Sin embargo, prácticamente todos los transformadores que se usan en potencia y maquinaria como es en nuestro caso son de acoplamiento fuerte con núcleo de chapas de hierro.

Por esto, si los circuitos tienen un acoplamiento fuerte, y los flujos de fuga  $\Phi_1$  y  $\Phi_2$  son muy pequeños o relativamente despreciables si los comparamos con  $\Phi_m$ , entonces, la inductancia mutua  $M$  entre las dos bobinas es grande, y la energía total del primario es prácticamente la misma del secundario. Por esto, cuando se diseñan transformadores, lo ideal es alcanzar un coeficiente de acoplamiento igual a la unidad ( $k = 1$ ), hasta que  $M = \sqrt{L1 * L2}$  el cual es el caso de un transformador ideal.

Las relaciones principales que se tratan en un transformador ideal son las siguientes:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Las cuales, por supuesto, se cumplen en caso de un transformador ideal, en donde “a” representa la relación de transformación, la cual se puede determinar con el número de vueltas del primario ( $N_1$ ) dividido para el número de vueltas del secundario ( $N_2$ ) o voltaje aplicado en el primario ( $V_1$ ) dividido para el voltaje generado en el secundario ( $V_2$ ), o corriente del secundario ( $I_2$ ) dividido para corriente del primario ( $I_1$ ). Consideración que, como se dijo antes, se hacen para el transformador ideal, es decir, que la energía íntegra del primario se transfiere sin ninguna pérdida hasta el secundario, sin pérdidas de flujo magnético de ningún tipo.

Para este caso se ha utilizado un transformador, que está instalado para proporcionar la alimentación del circuito digital (véase la figura 3) y también para la alimentación de los relés.

Es un transformador de 110 voltios de entrada y secundario de 12 v , 0 v , 12 v, es decir, un transformador de tap central. Éste lógicamente también logra aislar de manera efectiva el circuito de control de la toma de fuerza.

#### **1.4.9. CONDENSADORES**

Los condensadores o capacitores son dispositivos eléctricos que mediante el arreglo de dos placas o superficies enfrentadas mantienen el voltaje almacenando energía en forma de campo eléctrico.

Están emplazados en nuestro proyecto en varios sitios, el primero de ellos, es un capacitor electrolítico de 2200 microfaradios, instalado a la salida del arreglo de

diodos del transformador de tap central, que trabaja como filtro para mantener constante el voltaje a la salida del rectificador de onda completa.

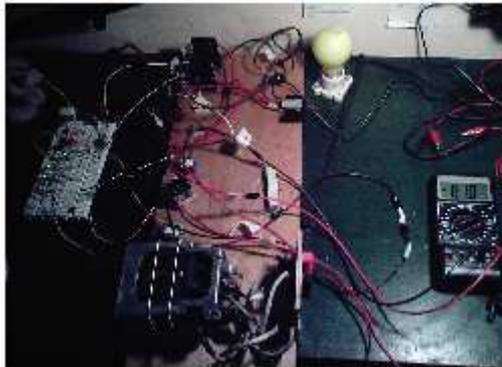
Otros de ellos están a las salidas del regulador de voltaje de 5 voltios, son capacitores cerámicos de 0.01 microfaradios, que contribuyen a la eliminación de cualquier tipo de oscilación de éstas señales de voltaje.

#### **1.4.10. PULSADORES**

Los pulsadores son elementos electromecánicos que ayudan a proporcionar la orden a ser recibida por el microcontrolador, tiene como misión el abrir o cerrar un circuito eléctrico permitiendo o no la circulación de corriente.

También se han usado en el módulo. Están colocados en el pórtico de entrada del microcontrolador (en la mayoría de los terminales del pórtico a), y su activación comanda el accionamiento de marcha o paro, el sentido de giro, o las velocidades del motor, sumando en total seis pulsadores.

## FOTOGRAFIAS DEL MODULOS DE PRUEBA.



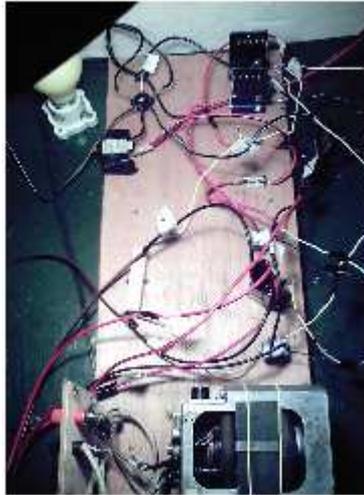
- a) Calibrando el voltaje de salida, circuito de control armado en el Project board y el circuito de fuerza en una base de madera



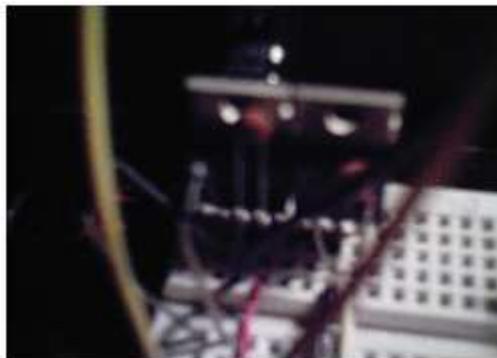
- b) Acercamiento del circuito de control, se está probando las salidas a relevadores con diodos emisores de luz



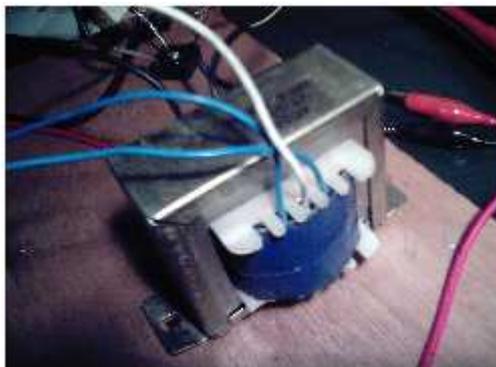
- c) Acercamiento del motor adosado a la base de pruebas con su bornera provisional



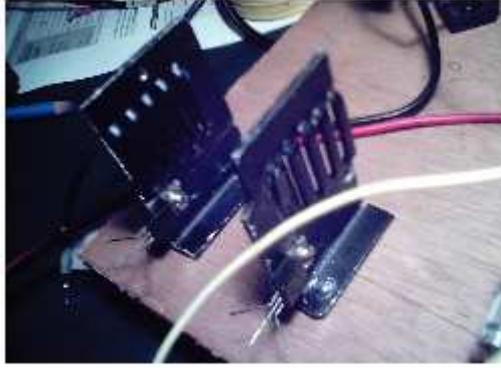
- d) Vista superior del tablero de prueba provisional, desde arriba se observa el puente de diodos, los disipadores con TRIACs, el fusible, la resistencia de freno, relevadores y, finalmente el motor con su bornera



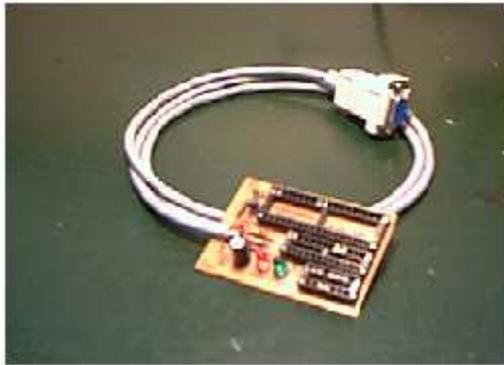
- e) Detalle de los reguladores de voltaje 7405 y 7412 con sus capacitores.



- f) Detalle del transformador



**g) TRIACs adosados a dos disipadores en el tablero de prueba para calibración**



## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO DEL MÓDULO**

## **CAPÍTULO 2**

### **2. DISEÑO DEL MÓDULO**

#### **INTRODUCCIÓN**

A la hora de hablar del módulo de control, se iniciará tomando en consideración ciertos factores que no deben perderse de vista como lo son por ejemplo las características propias del motor que se deben controlar y respetar los requerimientos del mismo.

Por supuesto debe recordarse que este trabajo es en esencia experimental, razón por la cual desde un principio se lo ha citado como un módulo didáctico, que tiene como primer objetivo el demostrar una sencilla aplicación práctica de la teoría que se ha revisado antes que desarrollar una aplicación industrial comercializable en este primer intento.

Antes de poder desarrollar este trabajo se ha investigado lo que el mercado ofrece en cuanto a este tipo de módulos, lo cual permite caer en cuenta del alcance de algunos de ellos, de tal manera que se puede afirmar que nuestro trabajo es bastante aceptable y cercano a la clase de oferta que se comercializa en lo referente a estos productos.

Uno de ellos, el cual se investigó previamente en la Internet, es el Ingenia Motion Driver IMD 260, un controlador digital para motores con o sin escobillas, que puede trabajar o no con lazo cerrado, con diferentes modos de control por corriente, voltaje o posición, protecciones programables para sobrecorrientes, sobrevoltajes, temperaturas muy altas, incluso para voltajes por debajo de los esperados, permite controlar de modo analógico o digital, el voltaje máximo de salida es de 50 voltios, a 5 amperios de corriente continua y posee tres leds indicadores de la función que se está efectuando, modulo de control industrial que en la red se está vendiendo en la página de la empresa IMD a 38 dólares aproximadamente cada unidad. Se lo muestra en la figura adjunta:



**Figura 2.1**

*Controlador de motores de la fábrica IMD*

Otros modelos de similares características se venden en la Internet con precios que oscilan entre los 23 y 35 dólares la unidad.

Como puede verse con claridad, este trabajo en comparación con aquellos aunque no palidece del todo ya que se está trabajando con mayores voltajes de alimentación que los de los módulos industriales, y aunque sus gamas de control sí son superiores a las del prototipo, este bien puede servir como una práctica base a partir de la cual en un futuro, otros estudiantes de la Politécnica puedan profundizar este tema para desarrollarlo de un modo algo mas industrial, e incluso se pudiera considerar la posibilidad de controlar mayores potencias cambiando ciertos dispositivos como los TRIACs, con lo que su versatilidad sería realmente importante.

En lo referente a este segundo capítulo, se ha decidido dividirlo en dos partes, la primera de ellas está dedicada íntegramente a hablar acerca del hardware del módulo, en el cual se darán algunos detalles referentes a la etapa de entradas de señal que el microcontrolador procesará, es decir los comandos que requiere el operario y las señales de cruce por cero, pasando luego a hablar de la disposición física de la cual se ha dotado al microcontrolador especificando cuáles de sus

terminales son entradas y cuáles salidas, cómo se activan, qué activan y cómo lo hacen, tratando también tópicos acerca de la señalización que tienen las salidas juntamente con los actuadores que serán activados por las salidas del microcontrolador.

La segunda parte habla acerca del software que se ha empleado en la construcción del módulo, los paquetes computacionales utilizados, la especificación de algunas de sus principales características, potencialidades y comandos mínimos necesarios para poder trabajar con su lenguaje de programación.

## **2.1. EL HARDWARE DEL MÓDULO**

Esta primera parte tratará de cada una de las tres principales partes que componen el módulo didáctico, iniciando con las entradas que proporcionan información al microcontrolador, entre las cuales está el sensor de cruce por cero, luego se hablará brevemente de los terminales asignados del microcontrolador, y por último el funcionamiento de los actuadores y sus respectivos señalizadores.

### **2.1.1. ENTRADAS**

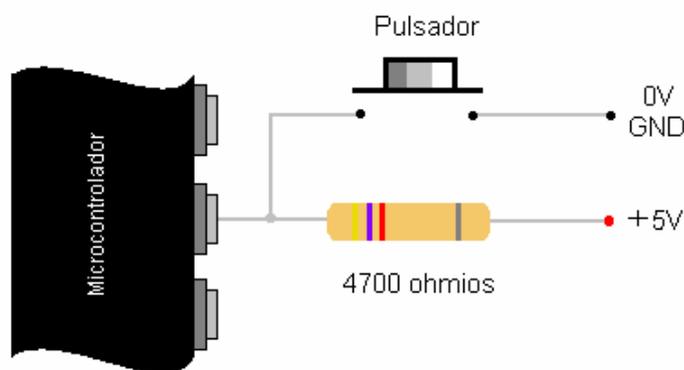
Se ha escogido el sencillo nombre de entradas para esta parte porque se trata de proporcionar la más cercana idea de los temas que en esta parte se desea tratar, a la vez de que termine englobando los tipos de señal que se aplica al microcontrolador.

En lo que se refiere a las entradas del microcontrolador, son de dos tipos principalmente, por un lado se tiene las normales que le están diciendo al microcontrolador si el usuario requiere un tipo de giro o el otro, o necesita detener el motor o cambiar de velocidad.

Estas entradas utilizan un pulsador sencillo y una resistencia de 4700 ohmios conectada entre el terminal de entrada del microcontrolador y cinco voltios de la

señal uno lógico, y el pulsador entre el mismo terminal del microcontrolador y cero voltios, es decir, se está aplicando la técnica de las bajas activas para proporcionar información al microcontrolador, y se repite esta configuración para: parada o freno, activar giro horario, activar giro antihorario, velocidad baja, velocidad media y velocidad alta.

Este tipo de configuración que se muestra en palabras se representa gráficamente por medio del gráfico a continuación:



**Figura 2.2**

*Entradas del microcontrolador con configuración de bajas activas*

El funcionamiento de este tipo de entradas es bastante sencillo, mientras no esté presionado el pulsador, el uno lógico proveniente de la fuente se aplica por la resistencia hasta el terminal del microcontrolador, pero en el momento en que el usuario ha presionado el pulsador, el circuito se cierra dirigiendo la corriente de la fuente a través de la resistencia hasta el terminal negativo de la misma, pero ingresando el valor de cero voltios al terminal del microcontrolador, lo cual ya sirve para iniciar su trabajo, ya que internamente el programa con que se le ha dotado al microcontrolador está preparado para trabajar con bajas activas, ya que se ha comprobado que es la manera más segura de lograr que el microcontrolador o cualquier otro tipo de circuito integrado logre recibir correctamente la señal de entrada, interpretarla y procesarla adecuadamente.

El segundo tipo de entrada que se ha utilizado es el sensor de cruce por cero, para el cual se ha diseñado uno diferente de los que se suelen encontrar en

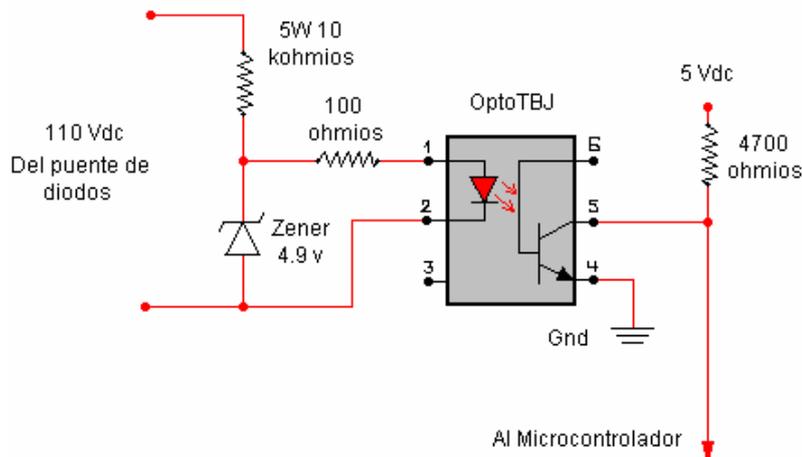
fuentes bibliográficas y que necesitan para su funcionamiento un amplificador operacional.

Lo que se ha hecho es disminuir la señal de entrada y enviarla por un optoacoplador hacia el microcontrolador, para esto se ha usado la resistencia de 10 kilohmios 5 vatios en serie con un diodo zener de 4.9 voltios a la salida del puente de diodos, y entre la resistencia de 10 kilohmios y el cátodo del diodo zener se ha colocado una resistencia que alimenta un circuito integrado optotransistor.

Toda vez que se ha llegado hasta el optotransistor en el terminal 1 de su encapsulado, se ha conectado el negativo del puente de diodos con el ánodo del diodo zener, y desde el optotransistor en el terminal cinco una resistencia de 4700 ohmios con el extremo del terminal del optotransistor, en el lado libre de la resistencia a 1 lógico.

En el mismo terminal cinco del optotransistor unido a la resistencia se conecta con el pórtilo de entrada previamente programado del microcontrolador, y por el terminal cuatro del optotransistor a tierra para cerrar el circuito de bajas activas que dará las señales de cruce por cero con las que trabajará el PIC.

Todo lo mencionado anteriormente se ha plasmado en lo mostrado en la figura siguiente:



**Figura 2.3**

*Circuito sensor de cruce por cero optoacoplado que da la señal al microcontrolador*

Su funcionamiento es como sigue:

Como se ha dicho, se toma la energía desde el arreglo del puente de diodos, obteniendo 110 voltios en corriente continua, y con la ayuda de la resistencia de 5 vatios, se reduce este voltaje a 5 voltios, aprovechando la característica propia del diodo zener, y esta señal pequeña de voltaje que dicho sea de paso solamente se da cuando la onda de voltaje es de la magnitud necesaria, enviamos la pequeña corriente, solamente la que es capaz de soportar el optotransistor, de 20 miliamperios a través de la resistencia de 100 ohmios accionando el diodo emisor encapsulado en el integrado y permitiendo de este modo el paso de corriente desde la fuente a través de la resistencia de 4700 ohmios, el terminal cinco del optotransistor, es decir el colector del transistor hasta el emisor del mismo en el terminal número cuatro del integrado, con lo que se logra enviar la señal baja activa desde el optotransistor hasta el microcontrolador solamente en el momento en que la onda de voltaje de 110 voltios es lo suficientemente alta como para señalar en el microcontrolador el comienzo del retraso para el disparo de los TRIACs.

Internamente también se ha dotado al programa del microcontrolador para que interprete y trabaje con señales bajas activas. Más adelante se detallará hacia qué terminales del microcontrolador se transmiten las señales tanto de control como del sensor de cruce por cero y cuál de ellas no se utiliza.

Se utiliza el optotransistor porque brinda la seguridad de que a pesar de cualquier falla o conexión errada que pudiera darse en el lado de potencia del circuito, éste de ninguna manera será capaz de averiar el delicado microcontrolador o el programa cargado en el mismo por lo relativamente complicado que pudiera resultar el volver a colocar o programar este dispositivo, el cual si no se tiene el cuidado necesario, solamente con minúsculas descargas electrostáticas puede verse perjudicado, lo cual afectó por lo menos en dos ocasiones durante el desarrollo, debido a no tener en cuenta las precauciones del caso.

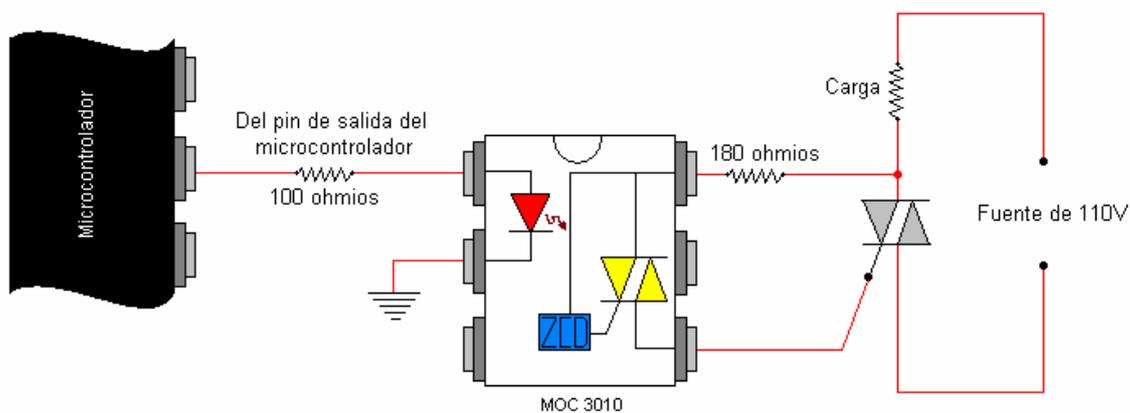
### **2.1.2. SALIDAS A LOS ACTUADORES Y SEÑALIZACIÓN**

Las salidas implementadas se inician en los pines del microcontrolador designados previamente en el programa como tales, y tienen como fin el activar o desactivar los elementos actuadores según los requerimientos que el usuario tenga y de acuerdo con las restricciones y la lógica que se prioriza en el programa instalado en el microcontrolador.

La señal que se obtiene a la salida del microcontrolador es del tipo TTL, es decir todo el tiempo se está trabajando con una señal lógica de uno lógico y cero lógico, correspondientes a valores de cinco voltios y cero voltios, y precisamente son de ésta naturaleza las señales que se obtendrán en los pines de salida del microcontrolador.

A lo largo de la implementación del módulo, se tiene esencialmente dos tipos de salidas que se han diferenciado según el tipo de dispositivo que deben accionar.

El primer tipo de salidas son las que tienen como objetivo facilitar el disparo de los TRIACs según el requerimiento que se ha demandado, y hay que decir de paso que se ha utilizado TRIACs en lugar de SCRs porque resulta más familiar su implementación además que para este caso particular, los disparos continuos son necesarios ya que la corriente es continua pulsante rectificadas sin filtro, algo absolutamente necesario para que sea censada por el detector de cruce por cero que se ha diseñado, y su implementación se ha desarrollado según lo que se muestra en el gráfico a continuación:



**Figura 2.4**

*Salidas del microcontrolador capaces de controlar TRIACs*

Como puede observarse en la figura 2.4, se muestra uno de los tipos de salidas que se han implementado para el caso del módulo didáctico, como puede verse, es imprescindible utilizar el integrado optoacoplador MOC 3010, porque facilita muy grandemente los disparos desde un microcontrolador con su señal TTL hasta llegar a comandar un TRIAC que maneje corrientes representativas (por supuesto, siempre y cuando el tal esté adecuadamente refrigerado o instalado sobre disipadores del tamaño que se requiera o de ser necesario incluso ambas cosas, tanto disipadores como ventiladores).

Los demás elementos utilizados para lograr que esta parte importante funcione como es deseado son: una resistencia de 100 ohmios instalada a la salida del microcontrolador y entrada del MOC 3010.

La otra resistencia es de 180 ohmios, y se la coloca entre la carga y el ánodo 2 del TRIAC hasta el terminal 6 del MOC 3010, la cual no puede ser reubicada cada en otra parte del circuito de fuerza, ya que se ha comprobado de forma práctica que al cambiar la configuración a una diferente de la que se muestra en la figura 23 pueden producirse serios daños en el circuitos implementados, así se puede aislar totalmente al motor y puente H de la alimentación y de este modo se logra conectar la resistencia de freno sin temer que exista posibilidad alguna de circulación de corrientes tanto de la fuente como del motor mismo.

En base a la configuración que se expone en la figura 23, se puede comentar brevemente ciertas características: se necesita la resistencia de 100 ohmios para impedir que el MOC 3010 requiera demasiada corriente del microcontrolador, y por otro lado se tiene que la resistencia de 180 ohmios trabaja a manera de un pequeño sensor muy sencillo que detecta el incremento en la magnitud de voltaje para de esta manera permitir que una pequeña cantidad de corriente sea inyectada a partir del sensor con resistencia de 180 ohmios hasta la compuerta del TRIAC mediante el terminal 4 del MOC 3010.

También se puede mencionar que es precisamente en el MOC 3010 donde se alteran los disparos de la compuerta del TRIAC. En pruebas anteriores, se emitía una salida ininterrumpida de una señal de 5 voltios en un terminal del microcontrolador, lo cual generaba una señal también continua de luz infrarroja en el interior del MOC 3010 y un disparo continuo en el TRIAC con una carga para corriente alterna de 110 voltios que era un foco de 100 vatios.

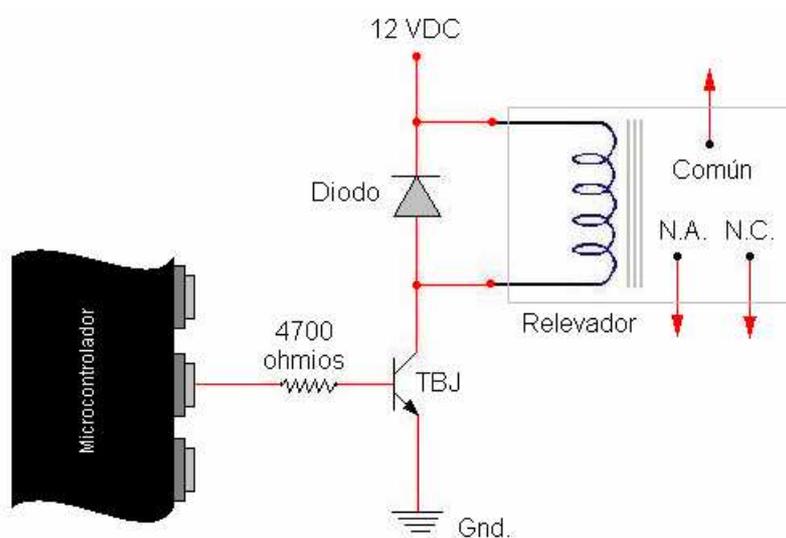
El mismo procedimiento se repitió pero esta vez generando un tren de pulsos humanamente perceptible por el terminal del microcontrolador y se comprobó que cuando no se emite la señal en el interior del optoacoplador MOC 3010 el foco se enciende, y cuando no se emite la señal, el foco permanece apagado.

Esta característica puede aprovecharse para dosificar el disparo en la compuerta del TRIAC, ya que una vez que el sensor de cruce por cero ha detectado que la señal de entrada ha cruzado por cero, se recibe la señal, la compara internamente el programa y según sea el requerimiento, no dispara en caso de estar frenado el motor, o retrasa un largo lapso del período de 8333 microsegundos de la onda a frecuencia de 120 hertzios (ya que como se señaló anteriormente, la señal proviene de un rectificador de onda completa sin filtro), para baja velocidad o bajo voltaje.

La señal para disparo del TRIAC mantiene disparando cerca de la mitad de los 8333 microsegundos la compuerta en media velocidad o medio voltaje, y, para alta velocidad, el sensor detecta el cruce por cero, y el programa manda a

disparar la compuerta del TRIAC todo el tiempo sin ningún tipo de retraso, es decir disparando continuamente al elemento semiconductor y logrando la velocidad máxima mediante el voltaje máximo.

Se tiene por otro lado otro tipo de salidas, las que comandan los relevadores del “puente H” instalado para la inversión de giro y la conexión de la resistencia de freno. Este tipo de salidas del microcontrolador se han implementado tal y como muestra la figura que se muestra a continuación:



**Figura 2.5**

*Salidas del microcontrolador capaces de controlar relevadores de 12 VDC*

En la configuración que se muestra en la figura 2.5 se muestra justamente la segunda clase de salida que se ha usado en el hardware del módulo.

Se usa una resistencia de 4700 ohmios entre el terminal designado como salida del microcontrolador y la base del transistor bipolar de juntura, desde la fuente de 12 voltios se alimenta la bobina del relevador, y por el otro terminal de la misma se conecta con el colector del TBJ, luego de lo cual se conecta también a tierra el emisor del mismo.

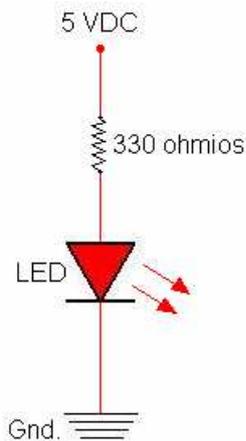
Aunque la salida del microcontrolador es a cinco voltios, se puede trabajar con el TBJ conectado a la bobina de 12 voltios porque tanto la tierra de la fuente de 5 voltios del regulador 7805 como la del regulador 7812 son las mismas.

La señal del microcontrolador llega a la base del transistor bipolar de juntura con una corriente disminuida debido a la presencia de la resistencia de 4700 ohmios, y, como el transistor trabaja como interruptor controlado eléctricamente bajo esta modalidad de “emisor común”, desde la fuente de 12 voltios empieza a circular la corriente a través de la bobina del relevador, accionando los contactos normalmente abiertos como normalmente cerrados, y “dándole tierra” al mismo para facilitar la circulación de corriente.

Se nota también que se ha incorporado un diodo 1N4001 conectado en paralelo a la bobina del relevador, esto se debe a que aunque podríamos no colocarlo, su ausencia podría provocar serios daños en el microcontrolador porque no habría facilidades para descargar las aunque pequeñas corrientes inducidas en el bobinado del relevador, considerables cuando se está trabajando con elementos de tecnología sensible incluso a la electricidad estática como lo es el microcontrolador, en el cual una corriente inducida proveniente de la bobina del relevador es potencialmente destructiva una vez que se lo ha desconectado.

Y en lo referente a la señalización, no ha sido necesario colocar señalizadores muy avanzados, como pantallas de cristal líquido o displays de siete segmentos, solamente se ha instalado diodos emisores de luz ya que la lógica que maneja el módulo didáctico es verdaderamente sencilla.

La instalación efectuada para esta señalización se muestra en la figura 2.6 que se muestra a continuación, en donde se puede apreciar que en serie con los diodos emisores de luz se han conectado resistencias de 330 ohmios que igualmente limitan la corriente que proporciona el microcontrolador, dado que el mismo, como se ha recordado en clase no constituye una fuente de corriente.



**Figura 2.6**

*Señalización con instalación de diodos emisores de luz*

### 2.1.3. FRENO DINÁMICO

Por definición el frenado dinámico consiste en desconectar la armadura del motor de CD el suministro y conectar sus terminales con una resistencia adecuada. Esta carga eléctrica en la armadura tiende a detenerla, porque disipa energía en el resistor de carga.

Cuando se desconecta el inducido de un motor de la fuente de energía, se detiene al cabo de cierto tiempo, a pesar de la inercia de su carga y rotor, porque el rotor ya no recibe energía, y actúan las pérdidas mecánicas.

Originalmente en este tipo de frenado se mantiene la excitación del motor, y debe desconectarse el rotor de la fuente, los conductores del inducido actúan a modo de generador dado que están sumergidos dentro de un campo magnético, y presentan la tensión inducida. El movimiento del inducido es debido a la inercia del motor y su carga conectada.

En el caso de trabajar con motores shunt, se continúa alimentando los bobinados de campo, pero a los terminales del rotor se conecta la resistencia de freno que disipará la energía que genera el rotor.

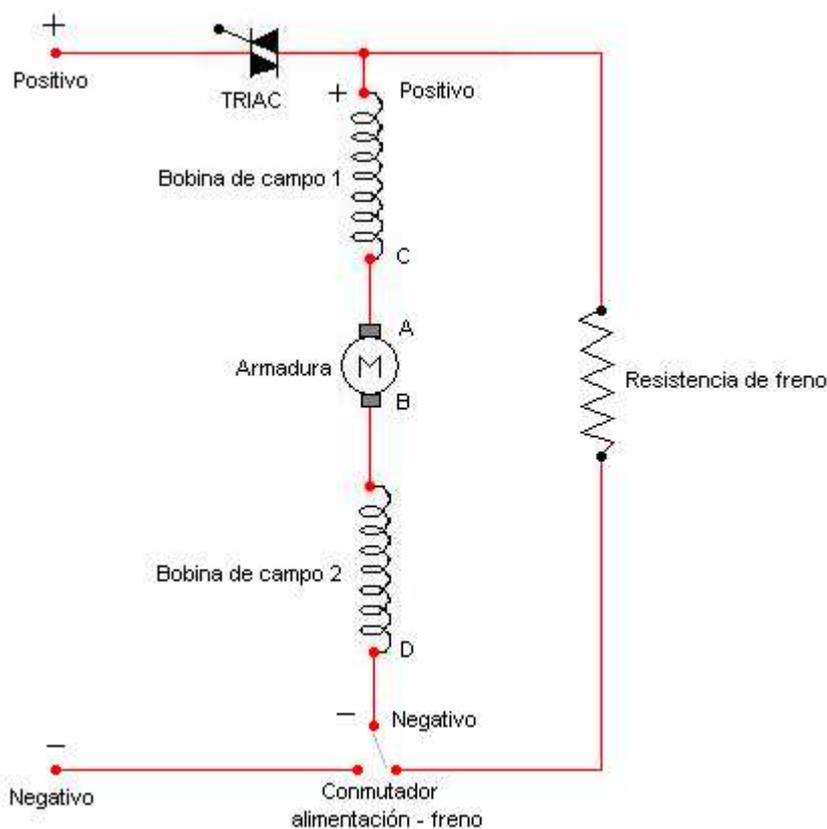
Pero por otro lado, dado que en este caso se trabaja con un motor serie con dos bobinados de campo, es evidente que no es posible –al menos de una manera práctica- lograr mantener alimentados únicamente los bobinados de campo sin dejar de alimentar al rotor, por esta misma razón, se ha hecho un arreglo mediante el cual se pueda aún así aplicar este procedimiento, el cual se explica en las líneas siguientes:

1. El programa por sí solo reconoce que debe por orden del programa iniciar con la rutina de frenado cuando se ha permitido el paso de energía habiendo conectado el equipo a la fuente de alimentación y sin que el operario haya escogido ninguna opción de trabajo.
2. Los semiconductores de alimentación en este punto también por orden del programa no son disparados, impidiendo el paso de energía hasta el grupo de inversión de giro, pero inmediatamente conectado desde un principio los contactos que comunican el grupo de resistencias con el conjunto bobinados de campo – rotor.
3. Una vez que el operario escogió la velocidad y sentido de giro, el equipo inmediatamente desconecta al grupo de resistencias de freno.
4. Sólo a partir de este punto se habilita a los contactos debidos para que permitan el sentido de giro seleccionado y a los semiconductores que permitan el paso de energía según la dosis que de parte del operario se haya determinado.

También se describe a continuación la rutina que por parte del programa instalado se comanda desde el microcontrolador para permitir el freno una vez que el motor está ya trabajando, debe mencionarse que no importa en qué sentido esté girando el motor, ni a qué velocidad, siempre se seguirá esta rutina comandada desde el microcontrolador desde el momento en que se ha escogido la opción de freno:

1. Se manda a los semiconductores que impidan el paso de energía hacia la parte de fuerza, lo cual desconecta al conjunto bobinas de campo – rotor de la fuente de alimentación.
2. Toda vez que se ha cortado la alimentación, el programa dicta cerrar los contactos que conectan al conjunto con la resistencia de campo.
3. A menos que se indique lo contrario por parte del operario, si se reconecta la alimentación solamente habiendo escogido el sentido de giro, el motor arrancará con la velocidad que trabajó la última vez, lo cual puede comprobarse siempre gracias a la señalización de la cual se le ha provisto al equipo.

El circuito de frenado dinámico que se ha implementado para el equipo se muestra en la figura número 2.7 mostrada a continuación:



**Figura 2.7**

*Esquema simplificado del freno dinámico implementado interiormente en el equipo*

En el freno implementado hay que adecuarse a trabajar con la disposición de este motor específico, que como principal particularidad se observa que no se dispone de un solo bobinado de campo, sino de dos, que representan a cada polo de la máquina, por otro lado, con el conmutador, que no es más que un relevador, el cual se observa en la parte inferior, se escoge funcionamiento o del freno o funcionamiento normal del motor.

El freno dinámico para esta disposición se ha conectado de manera tal que sea posible que tanto las corrientes inducidas de ambas bobinas de campo como la del rotor se puedan disipar como conjunto en la resistencia de freno.

La determinación de la magnitud de la resistencia de freno se ha efectuado de la manera siguiente:

En primer lugar la resistencia de armadura es de 12.4 ohmios, la resistencia del bobinado de campo uno es 6.9 ohmios y la resistencia del bobinado de campo dos es 6.6 ohmios, y, trabajando con los datos de la placa:

**STYLE**  
**AC- DC**  
**100 – 120 volts**  
**0 – 60 cycles**  
**200 watts**  
**N.C.R. fuse**  
**3 amps**  
**N.C.R. Co.**  
**DAYTON OHIO**

A la fuerza contraelectromotriz la determinaremos:

***Voltaje aplicado = Corriente de armadura \* Resistencia total de las bobinas de campo + fuerza contraelectromotriz***

Entonces, para poder determinar la fuerza contraelectromotriz se despeja a partir de la expresión anterior, con lo que se obtiene:

$$\text{Fuerza Contraelectromotriz} = \text{Voltaje aplicado} - \text{Corriente de armadura} * \text{Resistencia total de las bobinas de campo}$$

Y por cuestiones de simplicidad se nombrará las variables de la manera siguiente:

$$\text{Fuerza contraelectromotriz} = f.c.e.m.$$

$$\text{Corriente de armadura} = I_a$$

$$\text{Resistencia total de las bobinas de campo} = R_t$$

$$\text{Voltaje aplicado} = V_t$$

Con lo que se obtiene:

$$\begin{aligned} f.c.e.m. &= V_t - I_a * R_t \\ &= 110 - 3 * 13.5 \\ &= 69.5 \text{ (voltios)} \end{aligned}$$

$$\text{Potencia de salida} = 200 \text{ (vatios)}$$

$$\text{Potencia de entrada} = 300 \text{ (vatios)}$$

Y, ya que en el freno dinámico la bibliografía considera como generador estrictamente a la armadura nada más, se considerará a las bobinas del campo serie como resistencias, cada una de aproximadamente siete ohmios, con lo que la resistencia total para el freno será:

$$\text{Voltaje generado por la armadura} = \text{Corriente generada por la armadura} * \text{Resistencia de freno}$$

Y al despejar se obtiene:

$$\text{Resistencia de freno} = \frac{\text{Voltaje generado por la armadura}}{\text{Corriente generada en la armadura}}$$

$$\text{Resistencia de freno} = \underline{69.5}$$

***Resistencia de freno = 23.17 ohmios***

***Potencia de la resistencia =  $V * I = 69.5 * 3 = 208.50$  vatios***

Como primera observación, de los 23,17 ohmios se debe restar el valor de la resistencia de ambos bobinados de campo serie, lo que da un valor de aproximadamente 10 ohmios.

Ahora, como los tales no son valores comerciales, se ha escogido una resistencia de 10 ohmios y 30 vatios, por otro lado, se conoce que el pasado es un cálculo aceptable debido a que el freno dinámico trata de disminuir bastante la resistencia para poder considerarla prácticamente un cortocircuito y de este modo convertir en calor de modo efectivo el voltaje generado por la armadura, además de que la potencia de 208 vatios no sería disipada en forma de calor por un tiempo muy grande, así que por ésta resistencia no circularán continuamente 3 amperios, o lo harán por un período muy pequeño, que no afectará a la resistencia de freno instalada.

## **2.2. EL SOFTWARE DEL MÓDULO**

Al momento de tratar este tema se iniciará mencionando brevemente que existen esencialmente dos lenguajes de comunicación con el microcontrolador como para otros dispositivos, uno de ellos son los de bajo nivel y otro tipo son los de alto nivel, pero cuando se escoge comunicarse con la máquina a través del uso de lenguajes de bajo nivel, se produce un considerable ahorro de código en la confección del programa, lo cual termina siendo muy valioso debido a la capacidad de memoria, aunque últimamente ésta se expande cada vez y en muchas de las ocasiones no es un problema insertar un programa extenso en el microcontrolador.

Por esto, programas bien ensamblados en lenguaje de máquina de bajo nivel como por ejemplo los confeccionados en Ensamblador optimizan el tamaño de la memoria que ocupan y su ejecución es muy rápida, pero, el problema que suele

surgir en el Ensamblador es la poca potencia de las instrucciones que es capaz de ejecutar el procesador, las que se maneja algo más directamente son las de sumar, restar, hacer operaciones lógicas AND, OR, XOR, al igual que también rotar un dato, moverlo de un sitio a otro y algo más, pero si se desea hacer una multiplicación, uno debe confeccionar un programa que para conseguirlo repita las sumas las veces que sean necesarias, por esto, el lenguaje Ensamblador es un lenguaje de bajo nivel, que convierte las instrucciones en un código binario para que el microprocesador sea capaz de interpretarlas y ejecutarlas.

Por otro lado, los lenguajes de alto nivel más empleados con microcontroladores son el C y el BASIC, de los que existen varias empresas que comercializan varias versiones de compiladores e intérpretes para muchas familias de microcontroladores. En el caso de los PIC es muy buen el compilador de C PCM de la empresa CCS y el intérprete PBASIC de PARALLAX.

También pueden encontrarse en nuestro medio varios otros paquetes de software que facilitan la confección del programa, e incluso la simulación del mismo, uno de ellos es el que se estudió en el laboratorio de microcontroladores, el práctico PICSimulatorIDE de la empresa OSHONSOFT, el cual permite confeccionar el programa en lenguaje BASIC, e incluso permite simular el programa junto a otros dispositivos digitales tales como displays de 7 segmentos, pantallas LCD, leds y tantos otros elementos esencialmente digitales que nos permiten comprobar el correcto funcionamiento del programa que se elabora en una de las mismas opciones que el paquete computacional posee para la ayuda del programador.

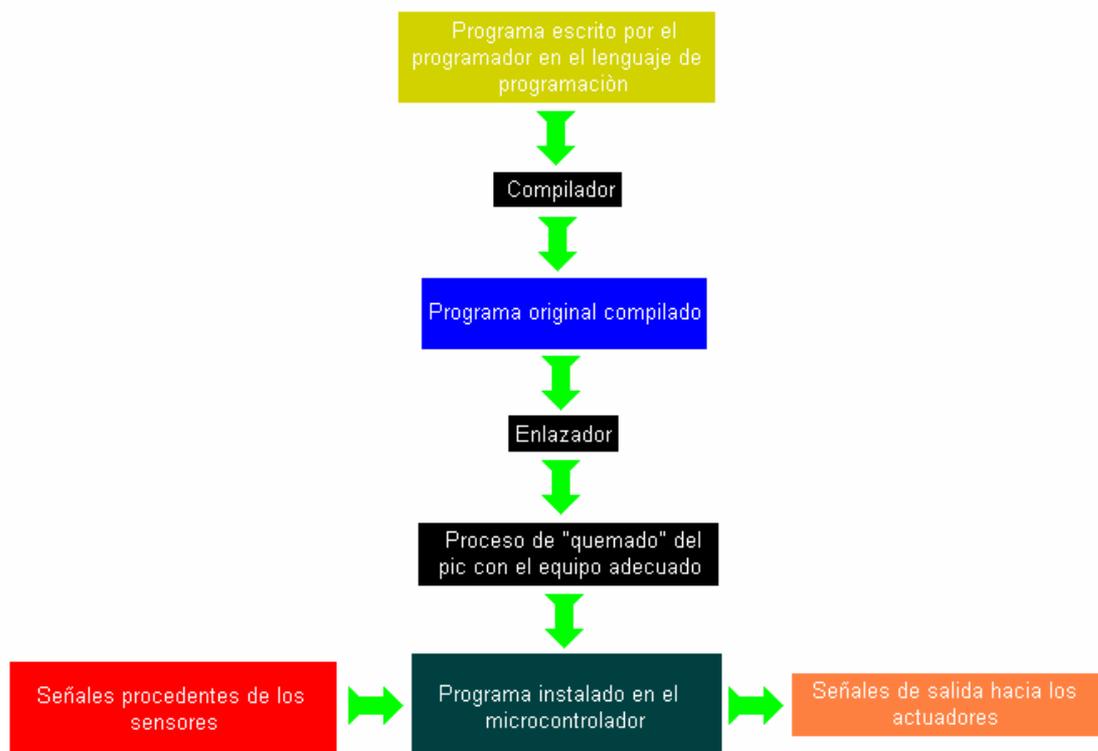
Muy utilizado es también el programador MPLAB, el cual a pesar de no haber sido estudiado, ha tenido un impacto tan grande en la programación de los dispositivos que al menos debemos mencionarlo brevemente.

A pesar de lo prácticos que son los dos programas computacionales anteriores, el programa que se ha empleado para la ejecución, el diseño e implementación del módulo es el Microcode Studio, la versión 2.2.1.1, el cual junto con MPLAB y PICMicro son productos registrados de la Microchip Technology Inc.

Para trabajar con los microcontroladores se requiere destreza para adaptar sus pines del mismo a los periféricos externos que le envían las señales y también a los que se desea controlar. También es necesario tener los conocimientos básicos necesarios para poder confeccionar el programa requerido que le va a decir al microcontrolador lo que debe hacer con las señales que le lleguen a través de los pines designados como entradas. Para lograr este paso se debe conocer acerca de los lenguajes de programación, entre los que se cuentan:

1. Lenguaje Ensamblador, de bajo nivel
2. Lenguaje C, de alto nivel
3. Lenguaje BASIC, de alto nivel

No se tratará acerca del lenguaje Ensamblador ni C, pero podemos dar algunas características acerca del BASIC, debido a que este es que se ha utilizado para elaborar nuestro módulo didáctico.



**Figura 2.8**

*Detalle de compilación*

Los lenguajes de alto nivel tienen instrucciones más potentes, siendo muy sencillas son capaces de multiplicar, obtener la raíz cuadrada, realizan funciones representativamente complicadas, pero cada una de estas instrucciones son constituidas por pequeños programas mas elementales que logran lo anteriormente expuesto, cada una de estas instrucciones de alto nivel son realmente programas de bajo nivel, por esto, para que el procesador pueda ejecutar las instrucciones de alto nivel es absolutamente necesario otro programa que descomponga estas instrucciones de alto nivel en instrucciones de bajo nivel que le sean correspondientes. El programa que logra esto se llama compilador.

Un compilador es un programa que precisamente se encarga de traducir un programa confeccionado con instrucciones de alto nivel a otro equivalente con instrucciones de bajo nivel. Hay una variante de estos programas que reciben el nombre de intérpretes, que realizan esta tarea pero de instrucción en instrucción, es decir, traducen una instrucción de alto nivel en su correspondiente de bajo nivel que ejecuta el procesador y a continuación pasan a la siguiente.

Como es de dominio general, el elaborar un programa basado únicamente en las instrucciones de tipo Ensamblador requiere obligatoriamente un profundo conocimiento de la arquitectura interna del procesador, y esto se traduce en conocimientos de electrónica, así como formación sólida en informática. Las instrucciones de bajo nivel utilizan directamente los recursos que se han encapsulado en el interior del procesador.

Como se fijó anteriormente, el lenguaje C es de tipo profesional, es un lenguaje muy completo y potente, pero para poder manejarlo es necesario tener conocimientos de informática. También es conveniente conocer la arquitectura interna del procesador, y en muchos programas es también necesario combinarlo con los elementos del lenguaje Ensamblador.

En el caso del lenguaje BASIC, el cual es un lenguaje de alto nivel, tiene instrucciones potentes que se escriben en inglés, y su manejo no requiere que necesariamente se conozca la arquitectura de los microcontroladores con los que

se está trabajando, ni de un conocimiento amplísimo de electrónica ni informática. A continuación se muestra el programa cargado en el microcontrolador, con la explicación de las instrucciones línea por línea:

```

cmcon = 7                ;digitalizamos el puerto a
trisa.0 = 1             ;entrada de freno
trisa.1 = 1             ;entrada de horario
trisa.2 = 1             ;entrada de antihorario
trisa.3 = 1             ;entrada de baja
trisa.5 = 1             ;entrada de media
trisa.6 = 1             ;entrada de alta
trisa.7 = 1             ;entrada del sensor
trisb.0 = 0             ;b.0 salida al disparador o trigger
trisb.1 = 0             ;b.1 salida del freno
trisb.2 = 0             ;b.2 salida horario
trisb.4 = 0             ;b.4 salida antihorario
trisb.5 = 0             ;b.5 salida alta
trisb.6 = 0             ;b.6 salida media
trisb.7 = 0             ;b.7 salida baja
;<<Declaración de variables velocidades>>
sirio VAR BIT          ;todas las variables VAR BIT solo tomarán
valores de 0 ó 1.1
vega VAR BIT
achernar VAR BIT
canopus VAR BIT
alfacent VAR BIT
procion VAR BIT
capella VAR BIT
rigel VAR BIT
betacent VAR BIT
betelgeuse VAR BIT
altair VAR BIT
arturo VAR BIT
;<<Declaración de variables para el sentido de giro>>
pyxis VAR BIT
auriga VAR BIT
aquila VAR BIT
indus VAR BIT
bootes VAR BIT
delphinus VAR BIT
microcopium VAR BIT

```

---

<sup>1</sup> Las variables tipo bit desde "sirio" hasta "norma" (nombres que pueden ser escogidos indistintamente por parte del programador, y que, en este caso se han escogido los nombres de las treinta estrellas mas luminosas), pueden solamente almacenar valores de verdad verdaderos o falsos, es decir o uno o cero lógico, aunque también puede almacenarse variables tipo byte y tipo word.

```

telescopium VAR BIT
pavo VAR BIT
opus VAR BIT
ara VAR BIT
norma VAR BIT
;<<Circuitos lógicos>>
tanatos2:
tanatos
    ;<<Sentidos de giro>>
    pyxis = NOT porta.1
    auriga = NOT porta.2
    aquila = portb.2 OR pyxis
    indus = portb.4 OR auriga
    portb.2 = delphinus AND aquila AND porta.0
    bootes = NOT portb.2
    portb.4 = porta.0 AND indus AND bootes
    delphinus = NOT portb.4
    portb.1 = bootes AND delphinus
    ;<<Velocidades>>
    sirio = NOT porta.3
    vega = NOT porta.5
    achernar = NOT porta.6
    canopus = portb.7 OR sirio
    capella = portb.6 OR vega
    betelgeuse = portb.5 OR achernar
    alfacent = NOT canopus
    rigel = NOT capella
    altair = NOT betelgeuse
    portb.7 = altair AND rigel AND arturo AND betacent
    procion = NOT portb.7
    portb.6 = procion AND alfacent AND arturo AND altair
    betacent = NOT portb.6
    portb.5 = procion AND alfacent AND rigel AND betacent
    arturo = NOT portb.5
    ;<<Sentidos y velocidades>>
    microcopium = portb.2 AND portb.7
    telescopium = portb.2 AND portb.6
    pavo = portb.2 AND portb.5
    opus = portb.4 AND portb.7
    ara = portb.4 AND portb.6
    norma = portb.4 AND portb.5
    IF portb.1 = 1 THEN achtung
    IF microcopium = 1 THEN horbaja
horbaja
    IF telescopium = 1 THEN hormedia
hormedia

```

;iniciamos la lectura de datos  
 ;iniciamos la rutina principal  
  
 ;iniciamos la discriminación  
 ;porta.1 entrada horario  
 ;porta.2 entrada antihorario  
 ;portb.2 salida horario  
 ;portb.4 salida antihorario  
 ;portb.2 salida horario  
  
 ;portb.4 salida antihorario  
  
 ;portb.1 salida de freno  
  
 ;porta.3 entrada de baja  
 ;porta.5 entrada de media  
 ;porta.6 entrada de alta  
 ;portb.7 salida baja  
 ;portb.6 salida media  
 ;portb.5 salida alta

;parte de sentidos y velocidades

;si b.1 = 1, envía a rutina achtung  
 ;si microcopium = 1, envía a rutina

;si telescopium = 1, envía a rutina

<sup>2</sup> La rutina principal "tanatos" es en realidad un programa desarrollado mediante compuertas lógicas que trabaja también como programa antirrobo, el diseño de éstos dos diagramas circuitales se muestra en la figura 28

<b>IF</b> pavo = 1 <b>THEN</b> horalta	<i>;si pavo = 1, envía a rutina horalta</i>
<b>IF</b> opus = 1 <b>THEN</b> antibaja	<i>;si opus = 1, envía a rutina antibaja</i>
<b>IF</b> ara = 1 <b>THEN</b> antimedia	<i>;si ara = 1, envía a rutina antimedia</i>
<b>IF</b> norma = 1 <b>THEN</b> antialta	<i>;si norma = 1, envía a rutina antialta</i>
<b>GOTO</b> tanatos	<i>;regresa a la rutina principal tanatos</i>
achtung:	<i>;inicia la rutina de freno achtung</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el trigger</i>
<b>LOW</b> portb.2	<i>;apaga el horario1</i>
<b>HIGH</b> portb.1	<i>;enciende freno</i>
<b>LOW</b> portb.4	<i>;apaga antihorario</i>
<b>GOTO</b> tanatos	<i>;regresa a la rutina principal tanatos</i>
horbaja:	<i>;inicia la rutina horario en baja</i>
<b>LOW</b> portb.4	<i>;apaga antihorario</i>
<b>LOW</b> portb.1	<i>;apaga freno</i>
<b>HIGH</b> portb.2	<i>;enciende horario1</i>
<b>IF</b> porta.7 = 0 <b>THEN</b>	<i>;si sensor es cero</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el disparador</i>
<b>PAUSEUS</b> 4500	<i>;espera 4500 microsegundos</i>
<b>HIGH</b> portb.0	<i>;enciende el disparador</i>
<b>PAUSEUS</b> 3500	<i>;espera 3500 microsegundos</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el disparador</i>
<b>ELSE</b>	<i>;si sensor es uno</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el trigger o disparador</i>
<b>ENDIF</b>	<i>;sale de la última rutina if</i>
<b>GOTO</b> tanatos	<i>;envía a la rutina principal tanatos</i>
hormedia:	<i>;inicia la rutina horaria en media velocidad</i>
<b>LOW</b> portb.4	<i>;apaga antihorario</i>
<b>LOW</b> portb.1	<i>;apaga freno</i>
<b>HIGH</b> portb.2	<i>;prende horario</i>
<b>IF</b> porta.7 = 0 <b>THEN</b>	<i>;si sensor es cero</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el disparador</i>
<b>PAUSEUS</b> 900	<i>;espera 900 microsegundos</i>
<b>HIGH</b> portb.0	<i>;enciende el disparador</i>
<b>PAUSEUS</b> 7100	<i>;espera 7100 microsegundos</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el disparador</i>
<b>ELSE</b>	<i>;si sensor es uno</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el trigger o disparador</i>
<b>ENDIF</b>	<i>;sale de la última rutina if</i>
<b>GOTO</b> tanatos	<i>;envía a la rutina principal tanatos</i>
horalta:	<i>;inicia la rutina horaria alta</i>
<b>LOW</b> portb.4	<i>;apaga el antihorario</i>
<b>LOW</b> portb.1	<i>;apaga el freno</i>
<b>HIGH</b> portb.2	<i>;prende horario</i>
<b>IF</b> porta.7 = 0 <b>THEN</b>	<i>;si el sensor es cero</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el disparador</i>
<b>HIGH</b> portb.0	<i>;enciende el disparador</i>
<b>ELSE</b>	<i>;si el sensor es uno</i>
<b>LOW</b> portb.0	<i>;apaga el disparador</i>
<b>HIGH</b> portb.0	<i>;enciende el disparador</i>

```

ENDIF
GOTO tanatos
antibaja:
  LOW portb.2
  LOW portb.1
  HIGH portb.4
  IF porta.7 = 0 THEN
    LOW portb.0
    PAUSEUS 4500
    HIGH portb.0
    PAUSEUS 3500
    LOW portb.0
    ELSE
      LOW portb.0
    ENDIF
GOTO tanatos
antimedia:
  LOW portb.2
  LOW portb.1
  HIGH portb.4
  IF porta.7 = 0 THEN
    LOW portb.0
    PAUSEUS 900
    HIGH portb.0
    PAUSEUS 7100
    LOW portb.0
    ELSE
      LOW portb.0
    ENDIF
GOTO tanatos
antialta:
  LOW portb.2
  LOW portb.1
  HIGH portb.4
  IF porta.7 = 0 THEN
    LOW portb.0
    HIGH portb.0
    ELSE
      LOW portb.0
      HIGH portb.0
    ENDIF
GOTO tanatos
END

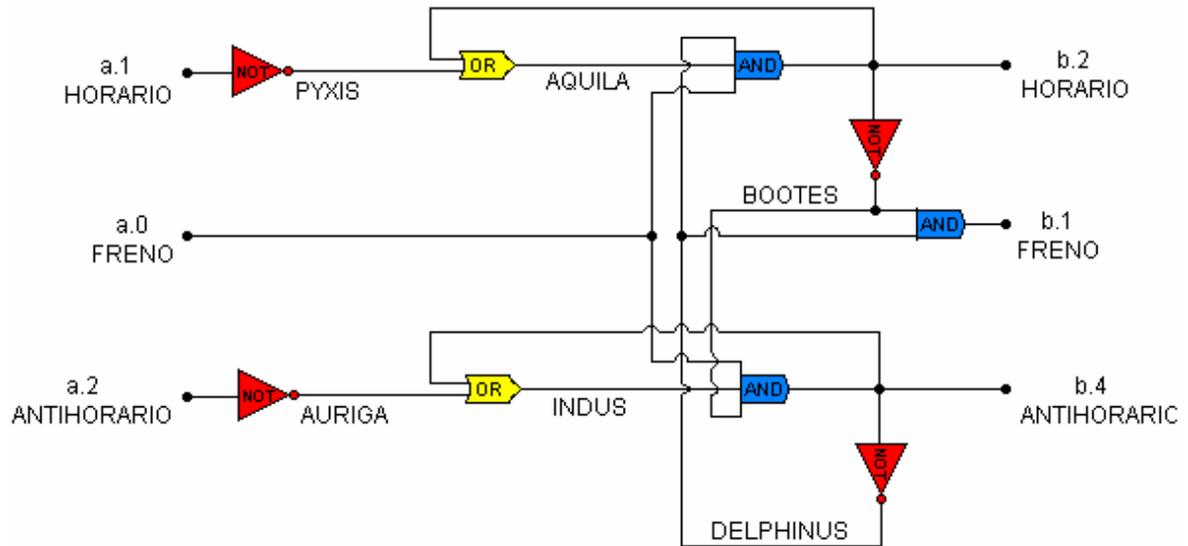
```

```

;sale de la última rutina if
      ;envía a la rutina principal tanatos
;inicia la rutina antihoraria baja
;apaga el horario
;apaga el freno
;prende el antihorario
;si sensor = 0
;apaga el disparador
;espera 4500 microsegundos
;enciende el disparador
;espera 3500 microsegundos
;apaga el disparador
;si sensor = 1
;apaga el trigger
;sale de la última rutina if
;envía a la rutina principal tanatos
;inicia la rutina antihoraria media
;apaga el horario
;apaga el freno
;prende el antihorario
;si sensor = 0
;apaga el disparador
;espera 900 microsegundos
;enciende el disparador
;espera 7100 microsegundos
;apaga el disparador
;si sensor = 1
;apaga el disparador
;sale de la última rutina if
;envía a la rutina principal tanatos
;inicia la rutina antihoraria alta
;apaga horario
;apaga freno
;prende antihorario
;si sensor = 0
;apaga el disparador
;enciende el disparador
;si sensor = 1
;apaga el disparador
;enciende el disparador
;sale de la última rutina if
;envía a la rutina principal tanatos
;fin del programa.

```





**Figura 2.10**

*Diagrama circuital para escoger sentido de giro y actuación de freno*

Este diagrama también memoriza la activación del sentido de giro o activación y desactivación del relevador de freno, está diseñado para activar el freno apenas se haya conectado el circuito de control o alimentado al microcontrolador.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESULTADOS OBTENIDOS CON EL EQUIPO SOMETIDO A PRUEBA**

## **CAPÍTULO 3**

### **3. RESULTADOS, CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y ANEXOS**

#### **3.1. PRUEBAS AL VACÍO**

Los resultados obtenidos con el equipo al vacío (medido en los terminales positivo y negativo) se presentan a continuación:

<b>Giro</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Voltaje</b>
<b>Horario</b>	<b>Baja</b>	<b>9</b>
	<b>Media</b>	<b>33</b>
	<b>Alta</b>	<b>97</b>
<b>Antihorario</b>	<b>Baja</b>	<b>9</b>
	<b>Media</b>	<b>32</b>
	<b>Alta</b>	<b>97</b>

Donde debe puntualizarse que un daño mecánico en los bocines del motor dificulta el trabajo normal en este sentido de giro, lo cual se debe a que cuando se lo consiguió siempre trabajó solamente en el un sentido de giro, y aunque se hicieron trabajos de mantenimiento eléctrico y mecánico, el problema evidentemente disminuyó pero persiste, calentando demasiado rápido y en demasía al motor, por esto, esta modificación tiene el propósito de una vez que se ha conseguido variar la velocidad del motor, -que es el objetivo de este trabajo-, preservar su integridad no exigiendo demasiado de parte del motor y evitar exponerlo innecesariamente a un daño en los bocines

#### **3.2. PRUEBAS CON CARGA**

Los resultados de las pruebas con el equipo sometido a prueba con el motor conectado se muestran a continuación:

<b>Giro</b>	<b>Velocidad</b>	<b>VOLTAJE APROX.</b>
<b>Horario</b>	<b>Baja</b>	<b>30</b>
	<b>Media</b>	<b>58</b>
	<b>Alta</b>	<b>93</b>
<b>Antihorario</b>	<b>Baja</b>	<b>26</b>
	<b>Media</b>	<b>60</b>
	<b>Alta</b>	<b>99</b>

Donde se recuerda que el voltaje ha subido ya que el módulo es un sistema abierto, no realimenta como dato el voltaje que está enviando, ya que no era un alcance original, pero esta característica pudiera corregirse en buena medida por ejemplo colocando una carga resistiva a la salida del equipo, que evitará una variación grande del voltaje entre el vacío y la carga. Los voltajes en velocidades altas prácticamente se mantienen, aunque en todas las velocidades el voltaje tiende a disminuir luego de cierto tiempo hasta estabilizarse debido al recalentamiento de ciertos componentes sensibles al aumento de la temperatura, lo cual se observó en varias ocasiones.

Nuevamente no se observa una diferencia marcada entre los voltajes de un sentido de giro con respecto al otro debido a que en parte no se desea exponer al motor a recalentamiento de tipo mecánico en los bocines, además de que como este es un motor serie, no se puede tenerlo trabajando por mucho tiempo ya que un motor serie originalmente no debería trabajar sin carga mecánica acoplada como lo está haciendo en este caso, así que las pruebas se realizan durante un tiempo limitado.

### **3.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Del trabajo realizado se puede concluir y recomendar lo siguiente:

- Se ha comprobado que es posible diseñar e implementar un equipo que posea la mayoría de las características de equipos que se encuentran en el mercado y a un costo relativamente bajo.

- Se ha implementado un circuito disparador con un microcontrolador programable y no con los circuitos analógicos corrientes, lo que comprueba la practicidad del trabajo de este dispositivo.
- La manipulación de los componentes de control debe efectuarse con mucho cuidado, debido a que algunos de ellos, por ser de lógicos y digitales, además de utilizar tecnología CMOS, son muy delicados y propensos a sufrir daños fácilmente, además de que puede afectarles la electricidad estática.
- No se ha utilizado un circuito integrado con amplificador operacional, si bien es lo recomendable para hacerlo trabajar como detector de cruce por cero, pero se ha conseguido mediante este diseño el mismo cometido debido a que su velocidad de trabajo es la que cumple con las expectativas propuestas.
- En paralelo con las bobinas de los relevadores se recomienda siempre colocar un diodo corriente para que su trabajo no se vea perjudicado por las corrientes que pueden generarse en las bobinas y además entorpecer el trabajo del microcontrolador. Si no se los coloca, el microcontrolador tiende a resetearse, lo cual, de no ser por la activación del watchdog en el momento de la grabación, causaría daños considerables.
- En paralelo con el motor se recomienda siempre colocar un diodo de 6 amperios o más capacidad de corriente, y con el cátodo al terminal positivo de la fuente, justamente debido a que la calibración del equipo puede no ser efectiva o completamente inútil debido a la existencia de las dos bobinas y su corriente generada harán imperceptible el cambio de velocidad si no se los ha instalado.
- Se recomienda accionar primeramente los interruptores de control y general antes que el de fuerza, ya que de lo contrario el motor al momento

de encender el módulo puede accionarse por un período corto luego del cual se apaga, lo cual lógicamente no es deseable, pero se da debido a que cuando se acciona el módulo, ya transcurre algún tiempo hasta que el programa identifique que la situación inicial en que debería arrancar que es el de activar el freno e impedir el disparo de los TRIACs. Para el apagado también se debe desactivar primeramente la parte de fuerza preferiblemente.

- La potencialidad del módulo didáctico puede seguir siendo explotada, ya que se puede lograr en el futuro comunicación con una computadora y efectuar precisamente este control desde la misma.
- En lo referente a los costos incurridos para conseguir los diferentes elementos, en su mayoría no han sido demasiado excesivos, y por lo tanto están al alcance de las posibilidades económicas normales.
- La energía que se consume por parte del módulo en su mayoría se debe a la alimentación requerida para el motor, siendo relativamente constante la consumida por la parte de control del módulo.
- Se concluye que si se desea trabajar con motores de mayores consumos o potencias, sería necesario alterar solamente los semiconductores para lograr disparar unos de mayor capacidad de conducción de corriente, pero no sería necesario alterar el programa o la parte de control.
- El control por parte del usuario es verdaderamente sencillo, se efectúa sin ningún tipo de complicaciones para el operario.
- Debido a la continua circulación de corriente por medio de los semiconductores, éstos estarán aumentando su temperatura luego de cierto tiempo de trabajo, por eso es necesario alojarlos en una estructura disipadora de calor.

- En el caso de trabajar con varios elementos semiconductores de potencia, y de necesitar refrigerarlos, no alojarlos nunca sobre un mismo disipador.
- Se necesita implementar un arreglo tal que asegure la entrada de altas activas o bajas activas, aunque lo generalmente más utilizado es activar las entradas del microcontrolador con señales bajas activas, pero la implementación de altas activas puede efectuarse de manera práctica mediante el circuito apropiado.
- Se debe tener en cuenta que puede sensarse las tres fases de un sistema trifásico y de esta manera implementarse un equipo que sirva de fuente con alimentación trifásica.
- Se recomienda revisar los contactos del relevador de selección de control de giro periódicamente.
- En paralelo con la entrada de alimentación del microcontrolador se coloca un capacitor de 0.1 microfaradios para evitar que alguno de los armónicos que pueden generarse en el sistema pueda de modo alguno afectar el funcionamiento del microcontrolador provocando que éste se resetee continuamente.

## **RUTEADO PLACA DE CONTROL**

## **ANEXOS**

- **Anexo 2 : Páginas seleccionadas del datasheet del PIC16f628a**

- **Anexo 3 : Páginas seleccionadas del datasheet del MOC 3010**

- **Anexo 4 : ECG semiconductores utilizados**

## BIBLIOGRAFÍA

- BOYLESTAD, Robert L. ; NASHELSKY, Louis, "ELECTRÓNICA TEORÍA DE CIRCUITOS", sexta edición, págs 10- 17, 38 – 42, 89 – 96, 634 – 636, 311, 864 – 874, 895 - 897

- ANGULO, José, “MICROCONTROLADORES PIC, DISEÑO PRÁCTICO DE APLICACIONES”, págs 4 – 9, 44 – 53.
- PÉREZ, Ángel, “LA AMENAZA DE LOS ARMÓNICOS Y SUS SOLUCIONES” , págs 11 – 17.
- RASHID, “ELECTRÓNICA DE POTENCIA”, págs 498, 499, 534 – 536.
- KOSOW, Irving, “CONTROL DE MÁQUINAS”, págs 141 – 145
- SAINZ FEITO, Javier, “MÁQUINAS ELÉCTRICAS”, págs: 414 – 417
- HUSEYIN, Hizioglu, “MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES” págs 389 – 392.
- MCPHERSON, George, “INTRODUCCIÓN A MÁQUINAS ELÉCTRICAS”, págs 372 – 377.
- CASTAÑO, ROBBY, VARGAS, GONZÁLES, “CURSO PRÁCTICO SOBRE MICROCONTROLADORES”.
- KOSOW, Irving, L. “MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES”, segunda edición, págs: 109, 110, 115, 117, 120, 121, 545 - 563.
- EDMINISTER, Joseph, “COLECCIÓN SCHAUM’S”
- REYES, Carlos, “APRENDA RÁPIDAMENTE A PROGRAMAR MICROCONTROLADORES PIC”, Primera edición.
- REYES, Carlos, “MICROCONTROLADORES PIC”, segunda edición.
- CORRALES, Santiago, “ELECTRÓNICA PRÁCTICA CON MICROCONTROLADORES PIC”