



NOMBRE DEL PROYECTO:

MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL RELOJ DE LA CATEDRAL,
EN LA APERTURA DE PUERTAS Y EN EL MOVIMIENTO DEL CARRUSEL QUE
SE REALIZA CADA HORA.

NOMBRE DEL RESIDENTE:

NUCAMENDI SERRANO MANUEL

CARRERA:

ING. ELECTRÓNICA

NOMBRE DEL ASESOR INTERNO:

ING. JOSÉ ÁNGEL ZEPEDA HERNÁNDEZ

NOMBRE DEL ASESOR EXTERNO:

ING. ALFREDO JONAPA GONZÁLES

FECHA:

15/ENERO/2009

ÍNDICE

| TEMA | PÁGINA |
|--|-----------|
| 1.- GENERALIDADES----- | 1 |
| 1.1.-RESEÑA HISTÓRICA----- | 1 |
| 1.2.- INTRODUCCIÓN----- | 2 |
| 1.3.-JUSTIFICACIÓN----- | 2 |
| 1.4.-OBJETIVOS----- | 2 |
| 1.4.1.-Objetivo General----- | 2 |
| 1.4.2.-Objetivos Específicos----- | 3 |
| 1.5.-CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPO----- | 3 |
| 1.6.-PROBLEMAS A RESOLVER, PRIORIZÁNDOLOS----- | 3 |
| 1.7.-ALCANCES Y LIMITACIONES----- | 4 |
| 1.7.1.-Alcances ----- | 4 |
| 1.7.2.-Limitaciones----- | 4 |
| 2.-FUNDAMENTO TEÓRICO----- | 4 |
| 2.1. -CARACTERÍSTICAS MICROCONTROLADOR PIC16F877----- | 4 |
| 2.2.-ACTIVACIÓN DE LAS ENTRADAS DEL MICROCONTROLADOR PARA EL RIEL DE LOS APÓSTOLES----- | 11 |
| 2.3.-SENSOR DE FINAL DE CARRERA----- | 12 |
| 2.4.-MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA----- | 13 |
| 2.5.-RELEVADORES----- | 20 |
| 3.- REALIZACIÓN DEL PROYECTO----- | 23 |
| 3.1.-PLANO ELÉCTRICO ----- | 23 |
| 3.2.-DEFINICIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS----- | 24 |
| 3.3.-DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DEL PIC----- | 25 |
| 3.4.-DIAGRAMA DE LA ETAPA DE POTENCIA----- | 25 |
| 3.5.-DIAGRAMA DE CIRCUITO AUXILIAR, FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5V----- | 25 |
| 3.6.-DIAGRAMA DE OPTOACOPLADORES DE AC/DC (PC814)----- | 26 |
| 3.7.-ALGORITMO DEL PROGRAMA EN MICRO C DEL MICROCONTROLADOR----- | 27 |
| 3.8.-PROGRAMA EN MICRO C DEL MICROCONTROLADOR ----- | 28 |
| 3.9.-PROTOTIPO----- | 30 |
| 4.-PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS----- | 33 |
| CONCLUSIONES----- | 34 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS----- | 34 |

1.- GENERALIDADES

1.1.-RESEÑA HISTÓRICA

Una catedral es un templo cristiano, donde tiene sede o cátedra el obispo, siendo así la iglesia principal de cada diócesis o Iglesia Particular. La sede o cátedra episcopal es el lugar desde donde cada obispo preside y guía a su rey, enseñando, desde el servicio a la comunidad, la vida de fe y la doctrina de la Iglesia.

Las catedrales son de gran tamaño, cuentan con grandes agujas y vitrales, típicos de las catedrales góticas (conjunto de vidrios de colores que hacen que la luz que entra sea de colores) aunque la catedral es una de las mayores iglesias de la diócesis o arquidiócesis, especialmente en el Medievo y el Renacimiento, no es norma a seguir (mucho menos en la época actual, donde prima la funcionalidad sobre la grandeza); una iglesia catedral puede ser modesta en cuanto a tamaño se refiere.

En el siglo XIX se empiezan a construir relojes con una gran precisión, teniéndose en cuenta la ecuación del tiempo, el meridiano original, el día del solsticio, e incluso los signos del zodiaco. Los meridianos aparecen dibujados en las fachadas de edificios.

A partir del siglo XX, la clasificación de los relojes es de lo más variada. Los podemos encontrar en plazas, edificios, iglesias etc., aunque muchos de ellos están casi destrozados, no preocupándose nadie por restaurarlos.

El carillón es un instrumento musical que consiste en campanas fundidas en bronce, en forma de copa, que han sido afinadas con precisión, de manera tal que pueden teñirse en conjunto para producir un efecto armonioso. Las campanas del carillón cuelgan fijas; sólo se mueven los badajos. El badajo de cada campana está unido por cables y otros sistemas de articulación al mecanismo donde se ejecuta, llamado consola. Los carillones se usan en catedrales normalmente.

Catedral de San Marcos en Chiapas

Fue levantada en la segunda mitad del siglo XVI y a lo largo de su historia sufrió varias remodelaciones que acabaron con su imagen original. La más reciente de ellas fue en el año de 1982, creada por el arquitecto Ignacio Díaz-Morales, quien la dotó de una fachada y un gran campanario anexo, siguiendo un estilo que trata de recordar a los templos coloniales de la región, aunque es decididamente moderno. De la fachada destaca el magnífico carillón de la torre, que fue hecho en Alemania y consta de 48 campanas con un sistema musical que funciona cada hora con una melodía que acompaña a las figuras de los doce apóstoles que desfilan sobre un pedestal en el muro de la torre.

1.2.-INTRODUCCIÓN

El diseño del proyecto tiene la finalidad de modernizar el sistema eléctrico del carrusel de los apóstoles cambiándole el sistema eléctrico de control por uno electrónico donde el control automático de las puertas, lámparas y el riel de los apóstoles será comandado por un microcontrolador, esto ayudara a poder establecer limites de protección en caso de alguna falla en el sistema y disminuir el mantenimiento de las piezas mecánicas utilizadas en el sistema eléctrico. Los sensores de final de carrera utilizados en el sistema eléctrico se optoacoplarán por medio de un circuito electrónico a las entradas del microcontrolador y las salidas de este, se acoplaran a un circuito electrónico de potencia para activar a los motores y lámparas. Esto ayudara a disminuir el gasto económico para el mantenimiento del sistema de control y pérdida de piezas desgastadas.

1.3.-JUSTIFICACIÓN

Por el uso continuo y desgaste natural de las partes mecánicas así como las partes eléctricas del mecanismo del sistema eléctrico del riel de los apóstoles, es necesario implementar un sistema electrónico basado en un microcontrolador, este controlara la apertura y cierre de las puertas, el encendido y apagado de las luces para la iluminación, así como la sincronización de los apóstoles con la música del carillón. También se implementara en el microcontrolador límites de protección para cuando exista un mal funcionamiento y evite perdida de las piezas. Se propondrá el cambio de partes mecánicas desgastadas.

1.4.-OBJETIVOS

1.4.1.-Objetivo general

Diseñar un sistema electrónico basado en el micro controlador PIC para el control eléctrico del riel de los apóstoles del reloj de la catedral, así como la sincronización de los movimientos del carrusel con la apertura de las puertas que se realiza cada hora, según el reloj principal de la catedral de San Marcos.

1.4.2.-Objetivos específicos

- 1.- Diseñar la etapa de la fuente de alimentación auxiliar de 5 volts.
- 2.- Diseñar la etapa de optoacopladores para las entradas del PIC.
- 3.- Diseñar la etapa de potencia necesaria para controlar los tres motores de corriente alterna y las lámparas de iluminación.
- 4.- Diseñar e implementar el programa de control para el PIC, que permitirá el movimiento automático de las puertas, del carrusel de los apóstoles y el encendido de las lámparas.
- 5.- Elaborar la propuesta de implementación del proyecto.

1.5.-CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPO

En el área donde se realizó el proyecto, es el de mantenimiento del sistema de control eléctrico del riel de los apóstoles del reloj de la catedral, por lo que es necesario tener el conocimiento sobre dispositivos eléctricos, en este caso, los sensores de final de carrera, el de los motores trifásicos y relés de potencia. Se debe conocer también sobre circuitos y sistemas de control eléctrico para saber como se encuentra distribuida la instalación eléctrica de las lámparas de iluminación, los motores de las puertas y carrusel así como la del sistema de control.

1.6.-PROBLEMAS A RESOLVER, PRIORIZÁNDOLOS

- 1.- Cambiar el sistema de control eléctrico por el microcontrolador.
- 2.- Optoacoplar los sensores y la señal del pulso del reloj con las entradas del microcontrolador.
- 3.- Cambiar los relés de activación de los motores de las puertas y del carrusel por el circuito de la etapa de potencia que acoplara las salidas del microcontrolador con los motores y lámparas.
- 4.- Agregar una fuente de alimentación de 5 volts para el funcionamiento del microcontrolador y demás circuitos electrónicos.

1.7.-ALCANCES Y LIMITACIONES

1.7.1.-Alcances

- La elaboración del programa para el PIC que controlara la apertura y cierre automático de las puertas, el movimiento sincronizado del carrusel de los apóstoles con la música del carrillón y la iluminación de los apóstoles con las lámparas.
- El diseño de los circuitos del microcontrolador, de la etapa de potencia, del optoacoplamiento de las entradas del PIC y la de la fuente de alimentación de 5 volts.

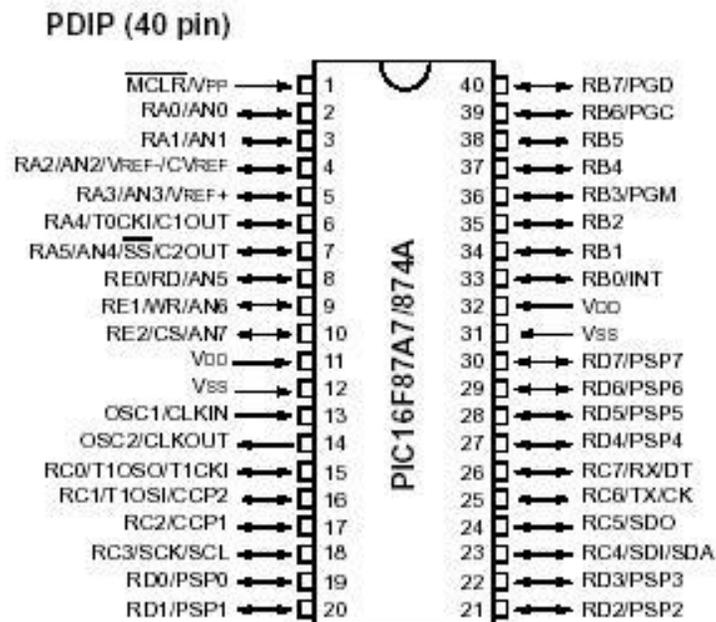
1.7.2.-Limitaciones

- Recursos económicos limitados, necesarios para la compra de todos los materiales para la construcción del proyecto.
- Tramites tardados para la obtención de los recursos.

2.-FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.-PIC16F877

El PIC 16f877 será el encargado de controlar los dispositivos actuadores del sistema. A continuación se da una descripción de este microcontrolador.



Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos.

Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Los microcontroladores se programan en C y cada microcontrolador varía su conjunto de instrucciones de acuerdo a su fabricante y modelo. De acuerdo al número de instrucciones que el microcontrolador maneja se le denomina de arquitectura RISC (reducido) o CISC (complejo).

Los microcontroladores poseen principalmente una ALU (Unidad Lógico Aritmética), memoria del programa, memoria de registros, y pines I/O (entrada y/O salida). La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten (ADD, OR, AND), mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico. En este proyecto se utilizó el PIC 16F877. Este microcontrolador es fabricado por MicroChip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877 posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación que posteriormente será detallada.

Algunas de estas características se muestran a continuación:

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: La memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

En siguiente tabla se pueden observar las características más relevantes del dispositivo:

| CARACTERÍSTICAS | 16F877 |
|--|---------------|
| Frecuencia máxima | DX-20MHz |
| Memoria de programa flash palabra de 14 bits | 8KB |
| Posiciones RAM de datos | 368 |
| Posiciones EEPROM de datos | 256 |

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| Puertos E/S | A,B,C,D,E |
| Número de pines | 40 |
| Interrupciones | 14 |
| Timers | 3 |
| Módulos CCP | 2 |
| Comunicaciones Serie | MSSP, USART |
| Comunicaciones paralelo | PSP |
| Líneas de entrada de CAD de 10 bits | 8 |
| Juego de instrucciones | 35 Instrucciones |
| Longitud de la instrucción | 14 bits |
| Arquitectura | Harvard |
| CPU | Risc |
| Canales Pwm | 2 |

Descripción de los puertos:

Puerto A:

- Puerto de e/s de 6 pines
- RA0 è RA0 y AN0
- RA1 è RA1 y AN1
- RA2 è RA2, AN2 y Vref-
- RA3 è RA3, AN3 y Vref+
- RA4 è RA4 (Salida en colector abierto) y T0CKI(Entrada de reloj del modulo Timer0)
- RA5 è RA5, AN4 y SS (Selección esclavo para el puerto serie síncrono)

Puerto B:

- Puerto e/s 8 pines
- Resistencias pull-up programables
- RB0 è Interrupción externa
- RB4-7 interrupción por cambio de flanco
- RB5-RB7 y RB3 è programación y debugger in circuit

Puerto C:

- Puerto e/s de 8 pines
- RC0 è RC0, T1OSO (Timer1 salida oscilador) y T1CKI (Entrada de reloj del modulo Timer1).
- RC1-RC2 è PWM/COMP/CAPT
- RC1 è T1OSI (entrada osc timer1)
- RC3-4 è IIC
- RC3-5 è SPI
- RC6-7 è USART

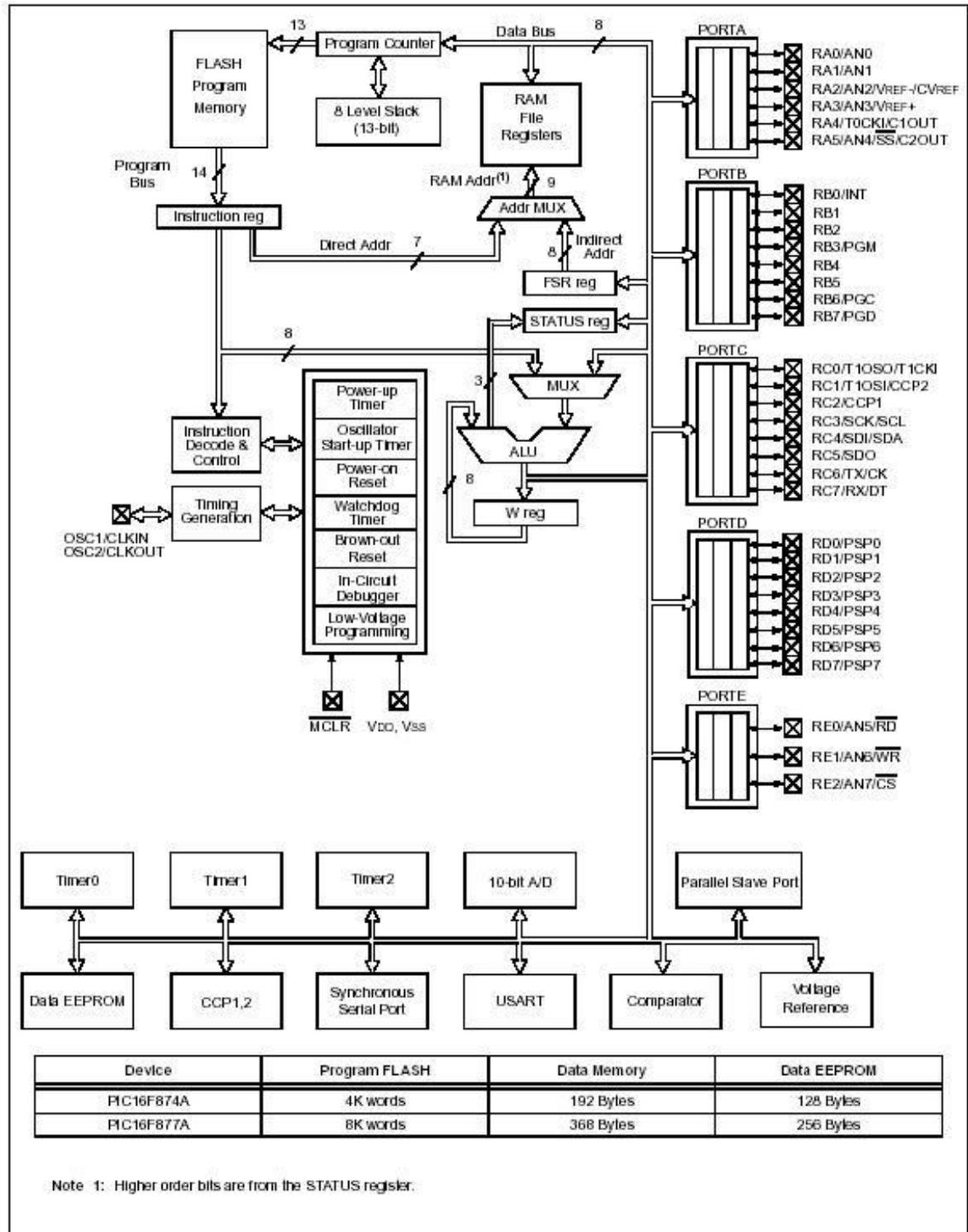
Puerto D:

- Puerto e/s de 8 pines
- Bus de datos en PPS (Puerto paralelo esclavo)
- Puerto E:
- Puerto de e/s de 3 pines
- RE0 è RE0 y AN5 y Read de PPS
- RE1 è RE1 y AN6 y Write de PPS
- RE2 è RE2 y AN7 y CS de PPS

Dispositivos periféricos:

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postescaler.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Anchura de Impulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I²C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Syncheronus Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bit.
- Puerta Paralela Esclava (PSP) solo en encapsulados con 40 pines

Diagrama de bloques



Descripción de pines

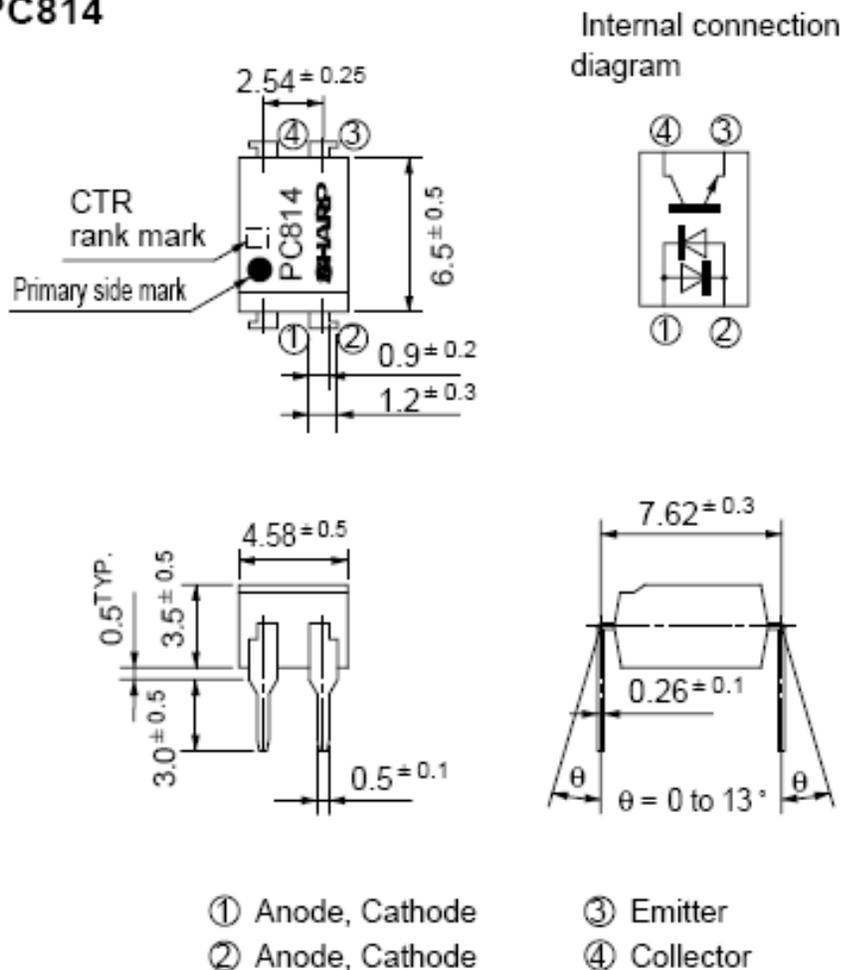
| NOMBRE DEL PIN | PIN | TIPO | TIPO DE BUFFER | DESCRIPCIÓN |
|--|--|--|--|---|
| OSC1/CLKIN | 13 | I | ST/MOS | Entrada del oscilador de cristal / Entrada de señal de reloj externa |
| OSC2/CLKOUT | 14 | O | - | Salida del oscilador de cristal |
| MCLR/Vpp/THV | 1 | I/P | ST | Entrada del Master clear (Reset) o entrada de voltaje de programación o modo de control high voltaje test |
| RA0/AN0 RA1/AN1 RA2/AN2/ Vref- RA3/AN3/Vref+ RA4/T0CKI RA5/SS/AN4 | 2 3 4 5 6 7 | I/O I/O I/O I/O I/O I/O | TTL TTL TTL TTL ST TTL | PORTA es un puerto I/O bidireccional RA0: puede ser salida analógica 0 RA1: puede ser salida analógica 1 RA2: puede ser salida analógica 2 o referencia negativa de voltaje RA3: puede ser salida analógica 3 o referencia positiva de voltaje RA4: puede ser entrada de reloj el timer0. RA5: puede ser salida analógica 4 o el esclavo seleccionado por el puerto serial síncrono. |
| RBO/INT RB1 RB2 RB3/PGM RB4 RB5 RB6/PGC RB7/PGD | 33 34 35 36 37 38 39 40 | I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O | TTL/ST TTL TTL TTL TTL TTL/ST TTL/ST | PORTB es un puerto I/O bidireccional. Puede ser programado todo como entradas RB0 puede ser pin de interrupción externo. RB3: puede ser la entada de programación de bajo voltaje Pin de interrupción Pin de interrupción Pin de interrupción. Reloj de programación serial |
| RC0/T1OSO/T1CKI RC1/T1OS1/CCP2 RC2/CCP1 RC3/SCK/SCL RC4/SD1/SDA RC5/SD0 RC6/Tx/CK RC7/RX/DT | 15 16 17 18 18 23 24 | I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O | ST ST ST ST ST ST ST | PORTC es un puerto I/O bidireccional RC0 puede ser la salida del oscilador timer1 o la entrada de reloj del timer1 RC1 puede ser la entrada del oscilador timer1 o salida PWM 2 RC2 puede ser una entrada de captura y comparación o salida PWN RC3 puede ser la entrada o salida serial |

| | | | | |
|--|--|--|--|---|
| | 25 26 | I/O I/O | ST ST | de reloj síncrono para modos SPI e I2C RC4 puede ser la entrada de datos SPI y modo I2C RC5 puede ser la salida de datos SPI RC6 puede ser el transmisor asíncrono USART o el reloj síncrono. RC7 puede ser el receptor asíncrono USART o datos síncronos |
| RD0/PSP0 RD1/PSP1 RD2/PSP2 RD3/PSP3 RD4/PSP4 RD5/PSP5 RD6/PSP6 RD7/PSP7 | 19 20 21 22 27 28 29 30 | I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O | ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL | PORTD es un puerto bidireccional paralelo |
| REO/RD/AN5 RE1/WR/AN RE2/CS/AN7 | 8 9 10 | I/O I/O I/O | ST/TTL ST/TTL ST/TTL | PORTE es un puerto I/O bidireccional REO: puede ser control de lectura para el puerto esclavo paralelo o entrada analógica 5 RE1: puede ser escritura de control para el puerto paralelo esclavo o entrada analógica 6 RE2: puede ser el selector de control para el puerto paralelo esclavo o la entrada analógica 7. |
| Vss | 12.31 | P | - | Referencia de tierra para los pines lógicos y de I/O |
| Vdd | 11.32 | P | - | Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O |
| NC | - | - | - | No está conectado internamente |

2.2.-ACTIVACIÓN DE LAS ENTRADAS DEL MICROCONTROLADOR PARA EL RIEL DE LOS APÓSTOLES

Para activar el mecanismo del riel de los apóstoles, el reloj manda un pulso de 220 V de CA, el cual es acondicionado para trabajar con circuitos de baja potencia, en este caso el microcontrolador. Esto se logra utilizando el integrado PC814, el cual es un optoacoplador con entrada de CA y una salida de CD. Los sensores de fin de carrera que trabajan en CA se conectaran al las entradas del microcontrolador por medio de optoacopladores PC814, de esta manera el microcontrolador podrá detectar las activaciones de los sensores en sus entradas con voltajes de baja potencia y protegiéndolo de posibles cortos circuitos.

PC814



■ Electro-optical Characteristics

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

| Parameter | | Symbol | Conditions | MIN. | TYP. | MAX. | Unit | |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------|--|---|-----------|-----------|----------|---------------|
| Input | Forward voltage | V_F | $I_F = \pm 20\text{mA}$ | - | 1.2 | 1.4 | V | |
| | Peak forward voltage | V_{FM} | $I_{FM} = \pm 0.5\text{V}$ | - | - | 3.0 | V | |
| | Terminal capacitance | C_t | $V = 0, f = 1\text{kHz}$ | - | 50 | 250 | pF | |
| Output | Collector dark current | I_{CEO} | $V_{CE} = 20\text{V}, I_F = 0$ | - | - | 10^{-7} | A | |
| | *4Current transfer ratio | CTR | $I_F = \pm 1\text{mA}, V_{CE} = 5\text{V}$ | 20 | - | 300 | % | |
| Transfer characteristics | Collector-emitter saturation voltage | $V_{CE(sat)}$ | $I_F = \pm 20\text{mA}, I_C = 1\text{mA}$ | - | 0.1 | 0.2 | V | |
| | Isolation resistance | R_{ISO} | DC500V, 40 to 60% RH | 5×10^{10} | 10^{11} | - | Ω | |
| | Floating capacitance | C_f | $V = 0, f = 1\text{MHz}$ | - | 0.6 | 1.0 | pF | |
| | Cut-off frequency | f_c | $V_{CE} = 5\text{V}, I_C = 2\text{mA}, R_L = 100\Omega, -3\text{dB}$ | 15 | 80 | - | kHz | |
| | Response time | Rise time | t_r | $V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 2\text{mA}, R_L = 100\Omega$ | - | 4 | 18 | μs |
| | | Fall time | t_f | | - | 3 | 18 | μs |

2.3.-SENSOR DE FINAL DE CARRERA

Dentro de los componentes electrónicos, el **final de carrera** o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o limit swicht, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA o NO en inglés), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en mercado.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una *carrera* o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc.

Los finales de carrera están fabricados en diferentes materiales tales como metal, plástico o fibra de vidrio.

Modelos

Dentro de los dispositivos sensores de final de carrera existen varios modelos:

- **Honeywell de seguridad:** Este final de carrera está incorporado dentro de la gama GLS de la empresa Honeywell y se fabrica también en miniatura, tanto en metal como en plástico, con tres conducciones metálicas muy compactas.
- **Fin de carrera para entornos peligrosos:** Se trata en concreto de un microinterruptor conmutador monopolar con una robusta carcasa de aluminio. Esta cubierta ha sido diseñada para poder soportar explosiones internas y para poder enfriar los gases que la explosión genera en su interior.

Este interruptor se acciona mediante un actuador de la palanca externo de rodillo que permite un ajuste de 360°.

- **Set crews:** Estos tipos de finales de carrera se utilizan para prevenir daños en el sensor provocados por el objeto censado. Están compuestos por un cilindro roscado conteniendo un resorte con un objetivo de metal el cual es detectado por el sensor inductivo por lo que puede soportar impactos de hasta 20 N sin sufrir daños.

Las características más importantes de estos dispositivos son:

| | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| Tensión de corte nominal | V AC/DC(Voltios) |
| Carga | Amperios |
| Tipo de contacto | 1,2... contactos conmutados |
| Tipo de protección | Terminales de tornillo, sellados etc. |
| Actuador | Gramos |
| Tipo | Palanca, rodillo, varilla etc. |

2.4.-MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA

Se denomina **motor de corriente alterna** a aquellos motores eléctricos que funcionan con corriente alterna. Un motor es una máquina motriz, esto es, un aparato que convierte una forma determinada de energía en energía mecánica de rotación o par. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos.

Motores de corriente alterna

En algunos casos, tales como barcos, donde la fuente principal de energía es de corriente continua, o donde se desea un gran margen, pueden emplearse motores de c-c. Sin embargo, La mayoría de los motores modernos trabajan con fuentes de corriente alterna. Existe una gran variedad de motores de c-a, entre ellos tres tipos básicos: el universal, el síncrono y el de jaula de ardilla.

Motores universales

Los motores universales trabajan con voltajes de corriente continua o corriente alterna. Tal motor, llamado universal, se utiliza en sierra eléctrica, taladro, utensilios de cocina, ventiladores, sopladores, batidoras y otras aplicaciones donde se requiere gran velocidad con cargas débiles o pequeña velocidad. Estos motores para corriente alterna y directa, incluyendo los universales se distinguen por su conmutador devanado y las escobillas. Los componentes de este motor son: Los campos (estator), la masa (rotor), las escobillas (los excitadores) y las tapas (las cubiertas laterales del motor). El circuito eléctrico es muy simple, tiene solamente una vía para el paso de la corriente, porque el circuito está conectado en serie. Su potencial es mayor por tener mayor flexibilidad en vencer la inercia cuando está en reposo, o sea, tiene un torque excelente, pero tiene una dificultad, y es que no está construido para uso continuo o permanente.

Otra dificultad de los motores universales, en lo que a radio se refiere, son las chispas del colector (chisporroteos) y las interferencias de radio que ello lleva consigo o ruido. Esto se puede reducir por medio de los condensadores de paso, de 0,001 μF a 0,01 μF , conectados de las escobillas a la carcasa del motor y conectando ésta a masa. Estos motores tienen la ventaja que alcanzan grandes velocidades pero con poca fuerza. Existen también motores de corriente alterna trifásica que funcionan a 380 V.

Motores síncronos

Implicando, se puede utilizar un alternador como motor en determinadas circunstancias. Si se excita el campo con c-c y se alimenta por los anillos colectores a la bobina del rotor con c-a, la máquina no arrancará. El campo alrededor de la bobina del rotor es alterno en polaridad magnética pero durante un semiperiodo del ciclo completo, intentará moverse en una dirección y durante el siguiente semiperiodo en la dirección opuesta. El resultado es que la máquina permanece parada. La máquina solamente se calentará y posiblemente se quemará.

Para generar el campo magnético del rotor, se suministra una CC al devanado del campo; esto se realiza frecuentemente por medio de una excitatriz, la cual consta de un pequeño generador de CC impulsado por el motor, conectado mecánicamente a él. Se mencionó anteriormente que para obtener un par constante en un motor eléctrico, es necesario mantener los campos magnéticos del rotor y del estator constante el uno con relación al otro. Esto significa que el campo que rota electromagnéticamente en el estator y el campo que rota mecánicamente en el rotor se deben alinear todo el tiempo.

La única condición para que esto ocurra consiste en que ambos campos roten a la velocidad sincrónica:

$$n_s = \frac{120f}{p}$$

Es decir, son motores de velocidad constante.

Para una máquina sincrónica de polos no salientes (rotor cilíndrico), el par se puede escribir en términos de la corriente alterna del estator, $i_s(t)$, y de la corriente continua del rotor, i_f :

$$T = k \cdot \frac{i_s(t)}{i_f} \cdot \frac{1}{\text{sen}(\gamma)}$$

donde γ es el ángulo entre los campos del estator y del rotor

El rotor de un alternador de dos polos debe hacer una vuelta completa para producir un ciclo de c-a. Debe girar 60 veces por segundo (si la frecuencia fuera de 60 Hz), o 3.600 revoluciones por minuto (rpm), para producir una c-a de 60 Hz. Si se puede girar a 3.600 rpm tal alternador por medio de algún aparato mecánico, como por ejemplo, un motor de c-c, y luego se excita el inducido con una c-a de 60 Hz, continuará girando como un motor síncrono.

Su velocidad de sincronismo es 3.600 rpm. Si funciona con una c-a de 50 Hz, su velocidad de sincronismo será de 3.000 rpm. Mientras la carga no sea demasiado pesada, un motor síncrono gira a su velocidad de sincronismo y solo a esta velocidad. Si la carga llega a ser demasiado grande, el motor va disminuyendo velocidad, pierde su sincronismo y se para. Los motores síncronos de este tipo requieren toda una excitación de c-c para el campo (o rotor), así como una excitación de c-a para el estator.

Se puede fabricar un motor síncrono construyendo el rotor cilíndrico normal de un motor tipo jaula de ardilla con dos lados planos. Un ejemplo de motor síncrono es el reloj eléctrico, que debe arrancarse a mano cuando se para. En cuanto se mantiene la c-a en su frecuencia correcta, el reloj marca el tiempo exacto. No es importante la precisión en la amplitud de la tensión.

Motores de jaula de ardilla

La mayor parte de los motores que funcionan con c-a de una sola fase tienen el rotor de tipo jaula de ardilla. Los rotores de jaula de ardilla reales son mucho más compactos y tienen un núcleo de hierro laminado.

Los conductores longitudinales de la jaula de ardilla son de cobre y van soldados a las piezas terminales de metal. Cada conductor forma una espira con el conductor opuesto conectado por las dos piezas circulares de los extremos. Cuando este rotor está entre dos polos de campos electromagnéticos que han sido magnetizados por una corriente alterna, se induce una fem en las espiras de la jaula de ardilla, una corriente muy grande las recorre y se produce un fuerte campo que contrarresta al que ha producido la corriente (ley de Lenz). Aunque el rotor pueda contrarrestar el campo de los polos estacionarios, no hay razón para que se mueva en una dirección u otra y así permanece parado. Es similar al motor síncrono el cual tampoco se arranca solo. Lo que se necesita es un campo rotatorio en lugar de un campo alterno.

Cuando el campo se produce para que tenga un efecto rotatorio, el motor se llama de tipo de jaula de ardilla. Un motor de fase partida utiliza polos de campo adicionales que están alimentados por corrientes en distinta fase, lo que permite a los dos juegos de polos tener máximos de corriente y de campos magnéticos con muy poca diferencia de tiempo. Los arrollamientos de los polos de campo de fases distintas, se deberían alimentar por c-a bifásicas y producir un campo magnético rotatorio, pero cuando se trabaja con una sola fase, la segunda se consigue normalmente conectando un condensador (o resistencia) en serie con los arrollamientos de fases distintas.

Con ello se puede desplazar la fase en más de 20° y producir un campo magnético máximo en el devanado desfasado que se adelanta sobre el campo magnético del devanado principal.

Desplazamiento real del máximo de intensidad del campo magnético desde un polo al siguiente, atrae al rotor de jaula de ardilla con sus corrientes y campos inducidos, haciéndole girar. Esto hace que el motor se arranque por sí mismo.

El devanado de fase partida puede quedar en el circuito o puede ser desconectado por medio de un conmutador centrífugo que le desconecta cuando el motor alcanza una velocidad determinada. Una vez que el motor arranca, funciona mejor sin el devanado de fase partida. De hecho, el rotor de un motor de inducción de fase partida siempre se desliza produciendo un pequeño porcentaje de reducción de la que sería la velocidad de sincronismo.

Si la velocidad de sincronismo fuera 1.800 rpm, el rotor de jaula de ardilla, con una cierta carga, podría girar a 1.750 rpm. Cuanto más grande sea la carga en el motor, más se desliza el rotor. En condiciones óptimas de funcionamiento un motor de fase partida con los polos en fase desconectados, puede funcionar con un rendimiento aproximado del 75%.

Otro modo de producir un campo rotatorio en un motor, consiste en sombrear el campo magnético de los polos de campo. Esto se consigue haciendo una ranura en los polos de campo y colocando un anillo de cobre alrededor de una de las partes del polo.

Mientras la corriente en la bobina de campo está en la parte creciente de la alternancia, el campo magnético aumenta e induce una fem y una corriente en el anillo de cobre. Esto produce un campo magnético alrededor del anillo que contrarresta el magnetismo en la parte del polo donde se halla él.

En este momento se tiene un campo magnético máximo en la parte de polo no sombreada y un mínimo en la parte sombreada. En cuanto la corriente de campo alcanza un máximo, el campo magnético ya no varía y no se induce corriente en el anillo de cobre. Entonces se desarrolla un campo magnético máximo en todo el polo. Mientras la corriente está decreciendo en amplitud el campo disminuye y produce un campo máximo en la parte sombreada del polo.

De esta forma el campo magnético máximo se desplaza de la parte no sombreada a la sombreada de los polos de campo mientras avanza el ciclo de corriente. Este movimiento del máximo de campo produce en el motor el campo rotatorio necesario para que el rotor de jaula de ardilla se arranque solo. El rendimiento de los motores de polos de inducción sombreados no es alto, varía del 30 al 50 por 100. Una de las principales ventajas de todos los motores de jaula de ardilla, particularmente en aplicaciones de radio, es la falta de colector o de anillos colectores y escobillas. Esto asegura el funcionamiento libre de interferencias cuando se utilizan tales motores. Estos motores también son utilizados en la industria. El mantenimiento que se hace a estos motores es fácil.

Los **motores síncronos** son un tipo de motor eléctrico de corriente alterna. Su velocidad de giro es constante y viene determinada por la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que esté conectada y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo".

La expresión matemática que relaciona la velocidad de la máquina con los parámetros mencionados es:

$$n = \frac{60f}{p}$$

Donde:

- f: Frecuencia de la red a la que está conectada la máquina (Hz)
- p: Número de pares de polos que tiene la máquina (número adimensional)
- n: Velocidad de sincronismo de la máquina (revoluciones por minuto)

Por ejemplo, si se tiene una máquina de cuatro polos (2 pares de polos) conectada a una red de 50 Hz, la máquina operará a 1.500 r.p.m.

Motor asíncrono

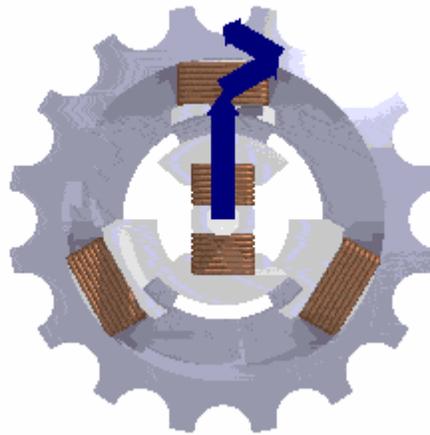


Motor asíncrono con rotor en forma de jaula de ardilla.

Los **motores asíncronos o de inducción** son un tipo de motores eléctricos de corriente alterna.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120°. Según el *Teorema de Ferraris*, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$



Entonces se da el *efecto Laplace* (ó efecto motor): todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el *efecto Faraday* (ó efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión.

El campo magnético giratorio gira a una velocidad denominada de sincronismo. Sin embargo el rotor gira algo más despacio, a una velocidad parecida a la de sincronismo. El hecho de que el rotor gire más despacio que el campo magnético originado por el estator, se debe a que si el rotor girase a la velocidad de sincronismo, esto es, a la misma velocidad que el campo magnético giratorio, el campo magnético dejaría de ser variable con respecto al rotor, con lo que no aparecería ninguna corriente inducida en el rotor, y por consiguiente no aparecería un par de fuerzas que lo impulsaran a moverse.

También existen *motores asíncronos monofásicos*, en los cuales el estator tiene un devanado monofásico y el rotor es de jaula de ardilla. Son motores de pequeña potencia y en ellos, en virtud del *Teorema de Leblanc*, el campo magnético es igual a la suma de dos campos giratorios iguales que rotan en sentidos opuestos.

Conceptos básicos de los motores de inducción

La velocidad de rotación del campo magnético o *velocidad de sincronismo* está dada por:

$$n_{sinc} = \frac{60f_e}{p}$$

donde f_e es la frecuencia del sistema, en Hz, y p es el número de pares de polos en la máquina. Estando así la velocidad dada en revoluciones por minuto (rpm).

El voltaje inducido en cierta barra de rotor está dado por:

$$e_{ind} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \ell \quad \text{Donde}$$

\vec{v} : Velocidad de la barra *en relación con el campo magnético*

\vec{B} : Vector de densidad de flujo magnético

ℓ : Longitud del conductor en el campo magnético

\times : representa la operación "producto vectorial"

Lo que produce el voltaje inducido en la barra del rotor es el movimiento relativo del rotor en comparación con el campo magnético del estator.

Tipos Constructivos

El motor de jaula de ardilla consta de un rotor constituido por una serie de conductores metálicos (normalmente de aluminio) dispuestos paralelamente unos a otros, y cortocircuitados en sus extremos por unos anillos metálicos, esto es lo que forma la llamada jaula de ardilla por su similitud gráfica con una jaula de ardilla. Esta 'jaula' se rellena de material, normalmente chapa apilada. De esta manera, se consigue un sistema n-fásico de conductores (siendo n el número de conductores) situado en el interior del campo magnético giratorio creado por el estator, con lo cual se tiene un sistema físico muy eficaz, simple, y muy robusto (básicamente, no requiere mantenimiento).

El motor de rotor bobinado tiene un rotor constituido, en vez de por una jaula, por una serie de conductores bobinados sobre él en una serie de ranuras situadas sobre su superficie. De esta forma se tiene un bobinado en el interior del campo magnético del estator, del mismo número de polos (ha de ser construido con mucho cuidado), y en movimiento. Este rotor es mucho más complicado de fabricar y mantener que el de jaula de ardilla, pero permite el acceso al mismo desde el exterior a través de unos anillos que son los que cortocircuitan los bobinados. Esto tiene ventajas, como la posibilidad de utilizar un reóstato de arranque que permite modificar la velocidad y el par de arranque, así como el reducir la corriente de arranque.

En cualquiera de los dos casos, el campo magnético giratorio producido por las bobinas inductoras del estator genera unas corrientes inducidas en el rotor, que son las que producen el movimiento.

2.5.-RELEVADORES

El **relé** o **relevador** (del inglés *relay*, relevo) es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Los contactos de un relé pueden ser Normalmente Abiertos (NA o NO (Normally Open)), por sus siglas en inglés), Normalmente Cerrados (Normally Closed) (NC) o de conmutación.

- Los contactos Normalmente Abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.
- Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.
- Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con una terminal común.

En la *Figura 1* se puede ver el aspecto de un relé enchufable para pequeñas potencias. Hay dos tipos de relés: 1 relé informático y 2 relé mecánico. En la *Figura 2* se representa, de forma esquemática, la disposición de los elementos de un relé de un único contacto de trabajo.

Se denominan contactos de trabajo aquellos que se cierran cuando la bobina del relé es alimentada y contactos de reposo a los cerrados en ausencia de alimentación de la misma.

Figura 1.- Relé enchufable para pequeñas potencias

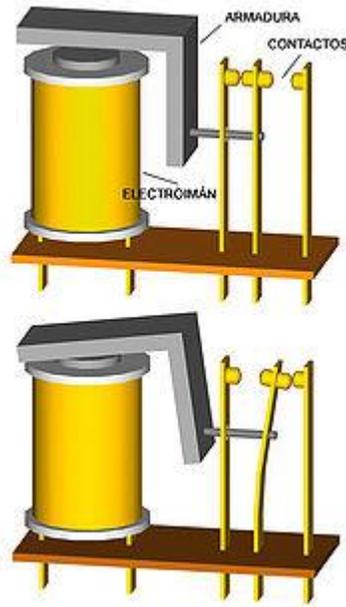
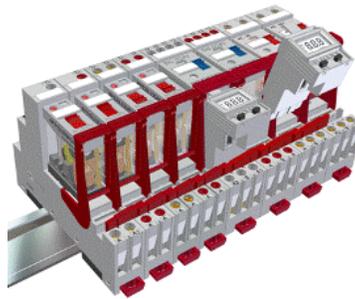
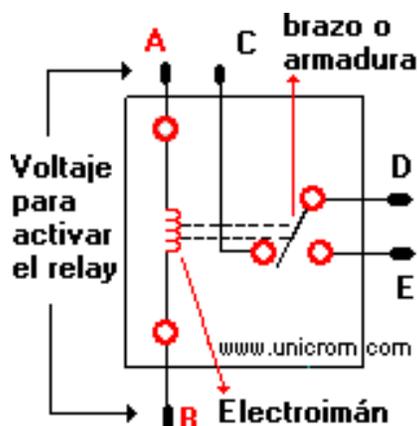


Figura 2.- Funcionamiento de un relé



Funcionamiento:

Si el electroimán está activo jala el brazo (armadura) y conecta los puntos **C** y **D**. Si el electroimán se desactiva, conecta los puntos **D** y **E**.



De esta manera se puede conectar algo, cuando el electroimán está activo, y otra cosa conectada, cuando está inactivo.

Es importante saber cual es la resistencia del bobinado del electroimán (lo que está entre los terminales **A** y **B**) que activa el relé y con cuanto voltaje este se activa.

Este voltaje y esta resistencia nos informan que magnitud debe de tener la señal que activará el relé y cuanta corriente se debe suministrar a éste.

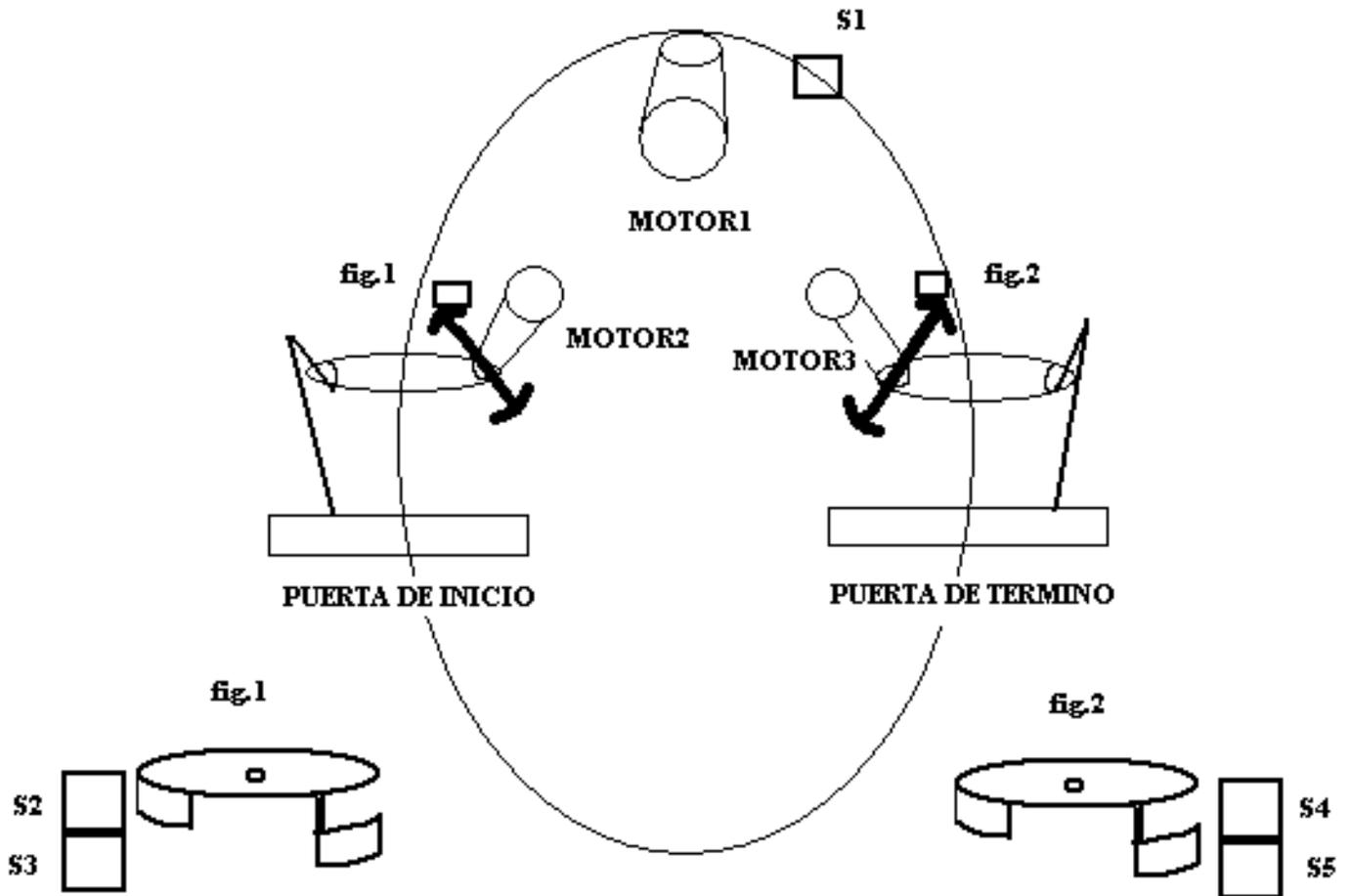
La corriente se obtiene con ayuda de la Ley de Ohm: $I = V / R$.
donde:

- **I** es la corriente necesaria para activar el relé
- **V** es el voltaje para activar el relé
- **R** es la resistencia del bobinado del relé

3.- REALIZACIÓN DEL PROYECTO

3.1.-PLANO ELÉCTRICO

Sensores de fin de carrera= S1, S2, S3, S4, S5



3.2.-DEFINICIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS

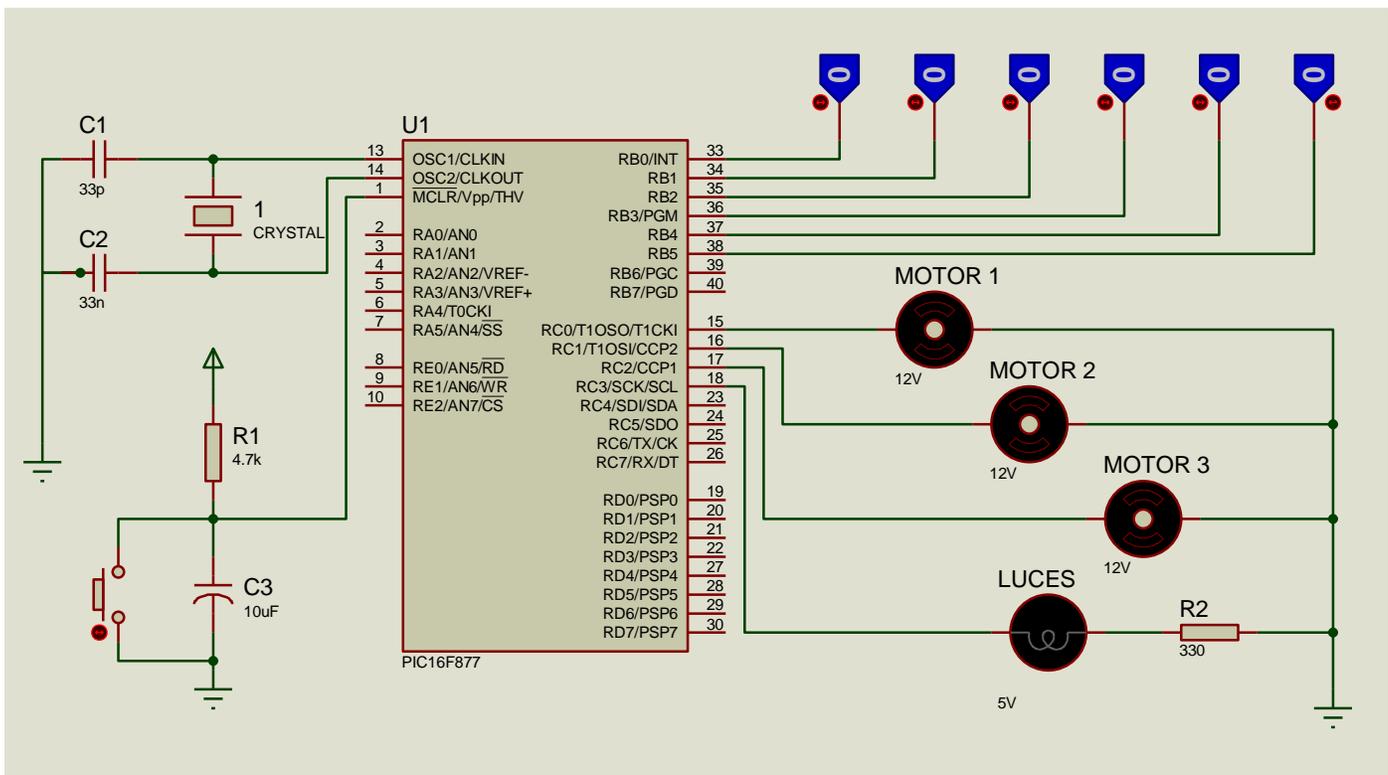
ENTRADAS DEL PUERTO B DEL PIC:

- R0= Inicio y fin de carrera del riel de los apóstoles (S1)**
- R1= Puerta cerrada de inicio (S2)**
- R2= Puerta abierta de inicio (S3)**
- R3= Puerta cerrada de termino (S4)**
- R4= Puerta abierta de termino (S5)**
- R5= Pulso del reloj (PR)**
- Sx=Sensores de fin de carrera**

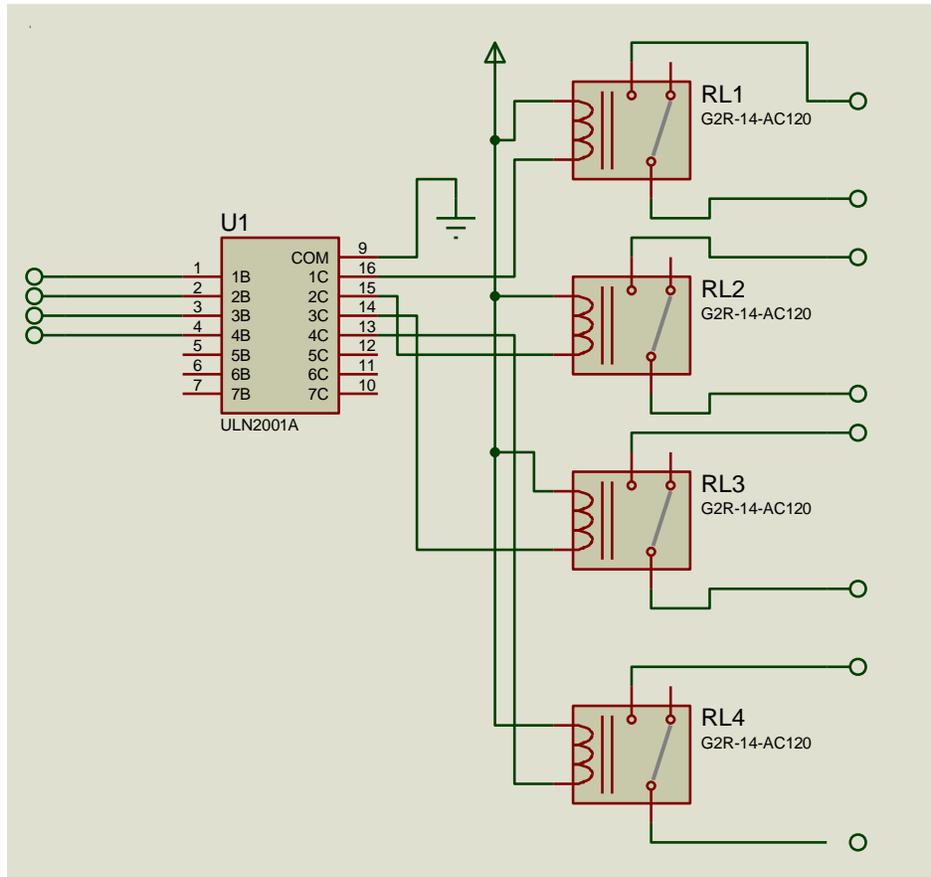
SALIDAS DEL PUERTO C DEL PIC:

- R0= Motor del riel de los apóstoles (M1)**
- R1= Motor de la puerta de inicio (M2)**
- R2= Motor de la puerta de termino (M3)**
- R3= Luces de iluminación (LS)**

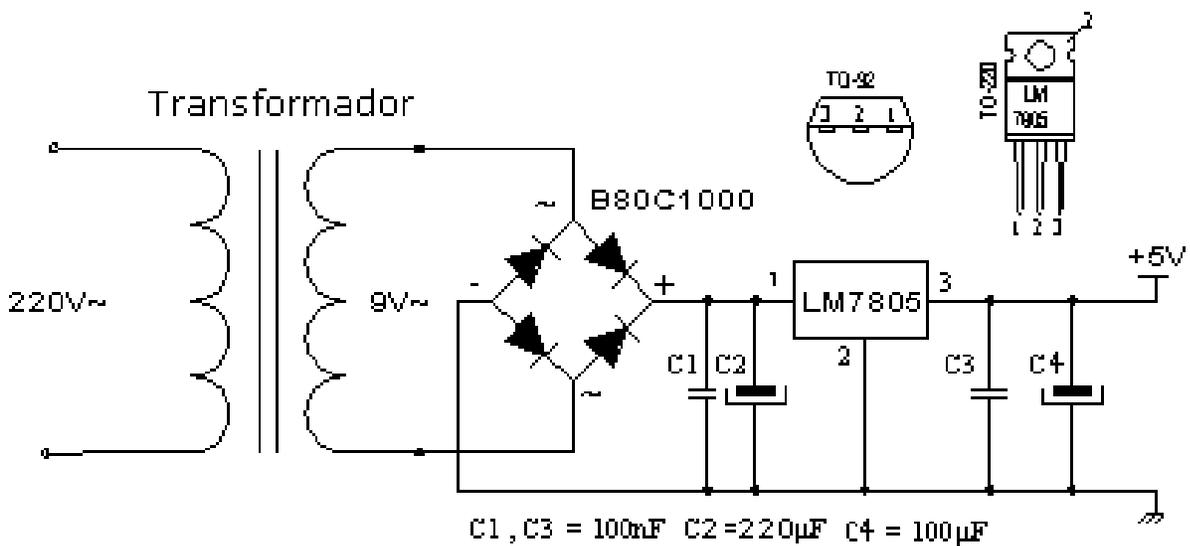
3.3.-DIAGRAMA DE SIMULACIÓN DEL PIC



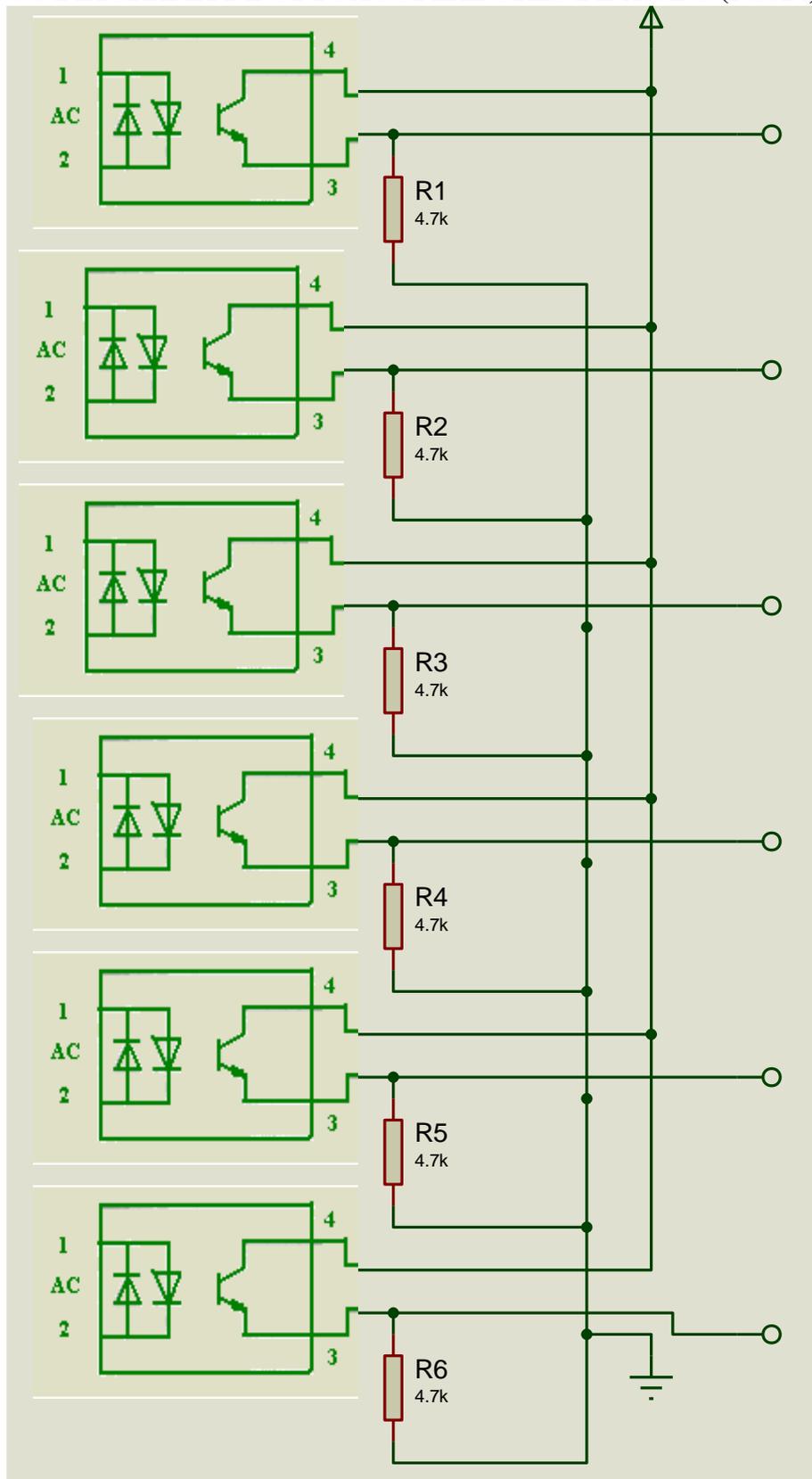
3.4.-DIAGRAMA DE LA ETAPA DE POTENCIA



3.5.-DIAGRAMA DE CIRCUITO AUXILIAR, FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5V



3.6-DIAGRAMA DE OPTOACOPLADORES DE AC/DC (PC814)



3.7.-ALGORITMO DEL PROGRAMA EN MICRO C DEL MICROCONTROLADOR

- 1.-Configura el puerto B como entrada y el puerto C como salida.
- 2.-Limpia la variable proceso.
- 3.-Si el proceso es igual que cero y el pulso del reloj es igual a uno, proceso tomara el valor de uno, de lo contrario tendrá valor de cero.
- 4.-Si la variable proceso es igual a uno y el sensor (S1) de fin de carrera del riel es igual a uno, se encienden las luces así como los motores de las puertas.
- 5.- Si los sensores (S3, S5) de puerta abierta son igual a uno se apagan los motores (M2, M3) de las puertas.
- 6.-Si los sensores (S3, S5) de puerta abierta son igual a uno y el sensor (S1) de fin de carrera del riel es igual a uno, la variable proceso toma el valor de dos.
- 7.-Si la variable proceso es igual a dos, el motor (M1) del riel de los apóstoles se activa y después de cinco minutos la variable proceso adquiere el valor de tres.
- 8.-Si el valor de la variable proceso es igual a tres y el sensor (S1) de fin de carrera del riel es igual a uno, el motor (M1) del riel se apaga y la variable proceso toma el valor de cuatro.
- 9.-Si la variable proceso es igual a cuatro, se encienden los motores (M2, M3) de las puertas.
- 10.-Si los sensores (S2, S4) de puerta cerrada son igual a uno, los motores (M2, M3) de las puertas se apagan.
- 11.-Si el sensor (S1) de fin de carrera del riel es igual a uno y los sensores (S2, S4) de puerta cerrada son igual a uno, la variable proceso toma el valor de cinco.
- 12.- Si la variable proceso es igual a cinco se apagan las luces.

3.8.-PROGRAMA EN MICRO C DEL MICROCONTROLADOR

```
void main ( void )
{
    TRISB = 1;
    TRISC = 0;
    proceso=0 ;

    for ( ; ; )
    {
        if(proceso==0)
        {
            If(PORTB.F6==1)
            {
                proceso=1
            }
        }
        if(proceso==1)
        {
            if ( PORTB.F0==1 )
            {
                PORTC.F3=1;
                Delay_ms ( 10 );
                if( PORTB.F2==0)
                {
                    PORTC.F1 = 1;
                    Delay_ms ( 10 );
                }
                else
                {
                    PORTC.F1 = 0;
                    Delay_ms ( 10 );
                }
            }
            if( PORTB.F4==0)
            {
                PORTC.F2 = 1;
                Delay_ms ( 10 );
            }
            else
            {
                PORTC.F2 = 0;
                Delay_ms ( 10 );
            }
        }
        if(PORTB==0b00010101)
            proceso=2;
    }
}
```

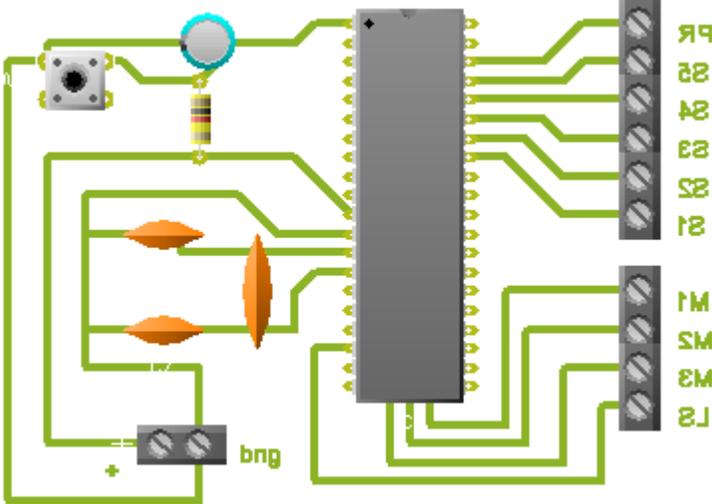
```

if(proceso==2)
    {
        PORTC.F0=1;
        Delay_ms ( 5000 );
        proceso=3;
    }
if(proceso==3)
    {
        PORTC.F0=1;
        Delay_ms ( 10 );
        if(PORTB.F0==1)
            {
                PORTC.F0=0;
                Delay_ms ( 10 );
                proceso=4;
            }
    }
if(proceso==4)
    {
        if( PORTB.F1==0)
            {
                PORTC.F1 = 1;
                Delay_ms ( 10 );
            }
        else
            {
                PORTC.F1 = 0;
                Delay_ms ( 10 );
            }
        if( PORTB.F3==0)
            {
                PORTC.F2 = 1;
                Delay_ms ( 10 );
            }
        else
            {
                PORTC.F2 = 0;
                Delay_ms ( 10 );
            }
        if(PORTB==0b00001011)
            proceso=5;
    }
if(proceso==5)
    {
        Delay_ms ( 5000 );
        PORTC.F3=0;
        Delay_ms ( 10 );
    }
}
}

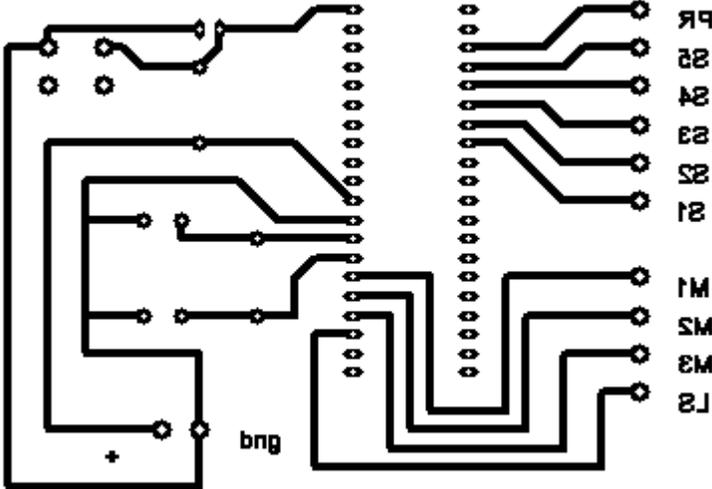
```

3.9.-PROTOTIPOS

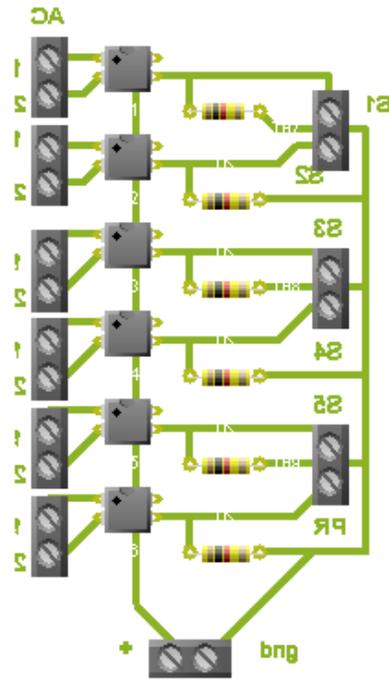
Circuito del PIC



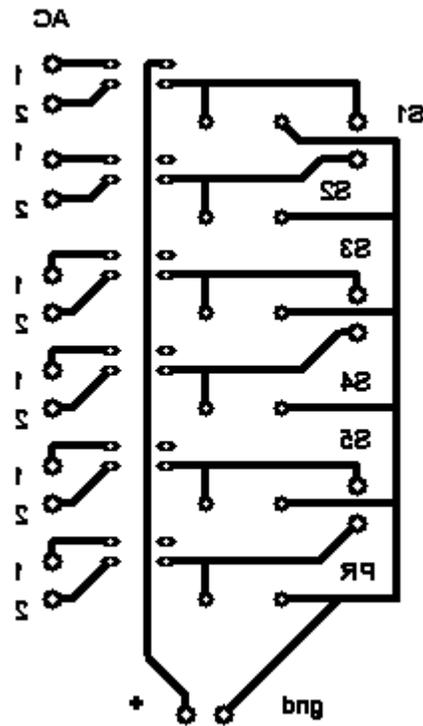
Pista



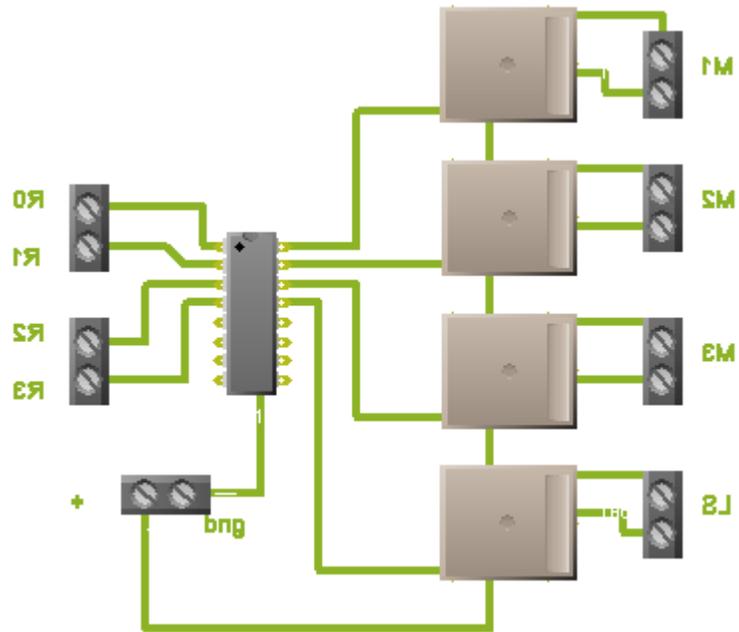
Circuito de la etapa de optoacopladores



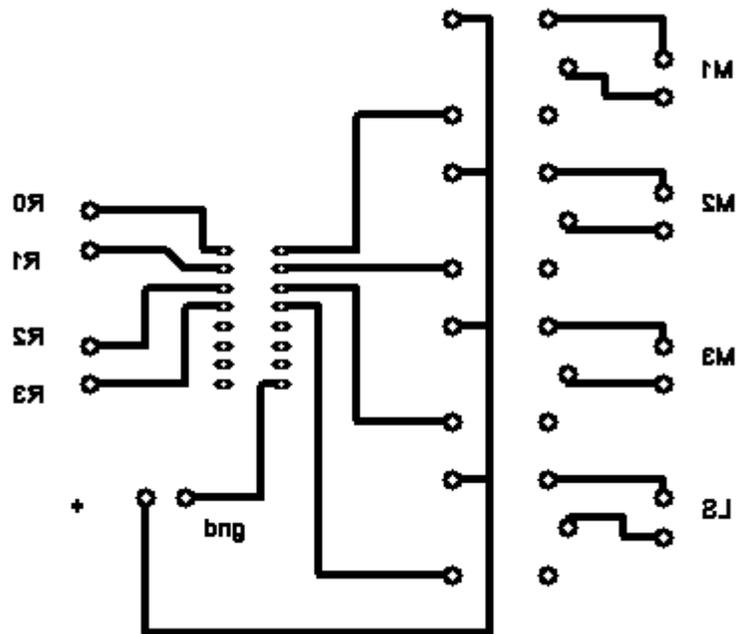
Pista



Circuito de la etapa de potencia



Pista



4.-PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

1.-Búsqueda y recopilación de la información.

Se recabo información bibliográfica con respecto al uso de microcontroladores, sobre optoacopladores de CA a CD, reles para la activación de los motores y sensores de final de carrera.

2.- Selección y clasificación de la información.

La clasificación de la información se hizo en base a los productos electrónicos que se van a utilizar con sus respectivas informaciones. La elección del producto fue con respecto a los costos y la eficiencia de cada uno.

3.- Revisión del sistema eléctrico.

Se reviso el sistema eléctrico para recabar información sobre su funcionamiento así como las piezas que podrán ser útiles en la remodelación del sistema para su mejor funcionamiento.

4.- Diseño y propuesta del control eléctrico.

Con la información recabada se elaboro el programa que se incorporara al PIC y se diseñaron los circuitos siguientes: De la etapa de potencia con los reles apropiados y del optoacoplamiento de las señales de los sensores con las entradas del PIC.

5.- Informe parcial.

Cada mes se entrego un informe parcial de las actividades desarrolladas en la residencia así como el avance, problemática encontrada y estrategias para terminar a tiempo.

10.-CONCLUSIONES

El proyecto ayudara a mejorar el funcionamiento del sistema de control automático del carrusel de los apóstoles, el encendido y apagado de las lámparas así como la apertura y cierre de las puertas. El microcontrolador implementado con su respectivo programa permitirá el establecimiento de límites de protección en caso de alguna falla del sistema. Al sustituir las piezas mecánicas de control por circuitos electrónicos disminuirá el gasto económico por el cambio de piezas debido al desgaste sufrido del trabajo continuo del sistema de control de los apóstoles así como el aumento del tiempo en su mantenimiento.

11.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_final_de_carrera
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>
- www.datasheetcatalog.com
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>
- <http://lc.fie.umich.mx/~jrincon/apuntes%20intro%20PIC.pdf>
- <http://www.monografias.com/trabajos18/descripcion-pic/descripcion-pic.shtml>