

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA UN MÓDULO DIDÁCTICO ORDENADOR DE PRODUCTOS MANUFACTURADOS**

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

**EDISON FABRICIO IZA PAUCAR**

**izfabri24@yahoo.com**

**OSCAR ALFREDO MORALES TAPIA**

**alfredmorales@yahoo.com**

**Director: Ing. Carlos Romo**

**carlos.romo@epn.edu.ec**

**2011**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, **EDISON FABRICIO IZA PAUCAR y OSCAR ALFREDO MORALES TAPIA**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito, es de nuestra total autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

**EDISON FABRICIO IZA PAUCAR**

---

**OSCAR ALFREDO MORALES TAPIA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **EDISON FABRICIO IZA PAUCAR** y **OSCAR ALFREDO MORALES TAPIA** bajo mi supervisión.

---

**Ing. Carlos Romo**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis compañeros y mejores amigos de la carrera de tecnología electromecánica, quienes me ayudaron incondicionalmente durante mi período estudiantil.

Mi gratitud a mi compañero de tesis Oscar de quien recibí mucho apoyo y con quien compartí mucho tiempo para la consecución de este proyecto.

A los profesores de la carrera de Tecnología Electromecánica, que gracias a su formación y apoyo forjaron mi vida profesionalmente.

Al Ing. **CARLOS ROMO**, por su ayuda y acertada dirección para la obtención de este proyecto.

.....

Edison Fabricio Iza Paucar

## AGRADECIMIENTOS

Mi eterna gratitud para quienes me apoyaron en todo momento de manera especial a mis maestros y compañeros testigos de mis triunfos y fracasos.

A la Escuela de Formación de Tecnólogos y en especial a la Carrera de Tecnología Electromecánica.

Al Ing. **CARLOS ROMO**, por su incondicional y acertada dirección para la consecución de este proyecto.

.....

Oscar Alfredo Morales Tapia

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a toda mi familia, de manera especial a mi madre que siempre estuvo apoyándome y motivándome para conseguir este anhelado paso en mi vida. Ella cuyo sacrificio y ganas de superación, me guiaron y a la vez me permitieron vencer todo tipo de obstáculos para finalizar mi etapa como estudiante, y además sus enseñanzas que me servirán en mi etapa como profesional.

.....

Edison Fabricio Iza Paucar

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis padres y hermano, que con sacrificio hicieron posible la culminación de esta etapa estudiantil, que me ha capacitado para un futuro mejor, fruto de sus sacrificios y esfuerzos constantes.

.....  
Oscar Alfredo Morales Tapia

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS .....                                       | i   |
| LISTA DE TABLAS .....  | iii |
| LISTA DE ANEXOS .....  | iv  |
| RESUMEN .....  | v   |
| ABSTRACT .....   | vii |
| 1 GENERALIDADES .....  | 1   |
| 1.1 MOTORES DE PASO .....                                    | 1   |
| 1.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....                      | 2   |
| 1.1.2 TIPOS DE MOTORES DE PASO .....                         | 2   |
| 1.1.3 MOTOR DE RELUCTANCIA VARIABLE .....                    | 3   |
| 1.1.4 MOTOR PASO A PASO DE IMANES PERMANENTES.....           | 3   |
| 1.1.5 INTERCONEXIÓN Y OPERACIÓN DE LOS DEVANADOS .....       | 4   |
| 1.2 ACTUADORES NEUMÁTICOS .....                              | 6   |
| 1.2.1 CILINDROS NEUMÁTICOS.....                              | 6   |
| 1.2.2 CILINDROS DE SIMPLE EFECTO .....                       | 7   |
| 1.2.3 CILINDRO DE DOBLE EFECTO .....                         | 8   |
| 1.2.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA LOS CILINDROS NEUMÁTICOS | 9   |
| 1.3 ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS NEUMÁTICOS .....              | 11  |
| 1.3.1 ELEMENTOS DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO .....               | 12  |
| 1.3.1.1 El Compresor.....                                    | 13  |
| 1.3.1.2 Tipos de Compresores.....                            | 13  |
| 1.3.1.3 Unidad de Mantenimiento.....                         | 14  |
| 1.3.1.4 Tuberías .....                                       | 16  |



|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1.3.1.5 | Elementos de mando y control .....                     | 17 |
| 1.3.1.6 | Sistemas Electroneumáticos .....                       | 22 |
| 1.3.1.7 | Válvulas reguladoras de caudal .....                   | 24 |
| 1.4     | AIRE COMPRIMIDO .....                                  | 26 |
| 1.4.1   | PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO .....                  | 26 |
| 1.4.2   | MAGNITUDES Y UNIDADES .....                            | 28 |
| 1.4.3   | TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO .....                  | 29 |
| 1.4.3.1 | Filtrado de partículas abrasivas .....                 | 30 |
| 2       | DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO .....               | 34 |
| 2.1     | CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO .....                          | 34 |
| 2.2     | DISEÑO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO .....                    | 35 |
| 2.2.1   | DIMENSIONAMIENTO DE LOS CILINDROS .....                | 35 |
| 2.2.1.1 | Longitud de carrera del Pistón .....                   | 35 |
| 2.2.1.2 | Fuerza del cilindro.....                               | 36 |
| 2.2.1.3 | Consumo de aire en los cillindros .....                | 37 |
| 2.2.2   | DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA .....                   | 40 |
| 2.2.3   | UNIDAD DE MANTENIMIENTO .....                          | 41 |
| 2.2.4   | REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA NEUMÁTICO ..... | 42 |
| 2.3     | DISEÑO ELÉCTRICO .....                                 | 44 |
| 2.3.1   | CIRCUITO DE CONTROL .....                              | 44 |
| 2.3.1.1 | Diagrama de bloques .....                              | 47 |
| 2.3.2   | FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5V .....                     | 48 |
| 2.3.3   | CONTROL DE LOS MOTORES DE PASOS .....                  | 50 |
| 2.3.3.1 | Identificación de los bobinados .....                  | 51 |
| 2.3.3.2 | Secuencia de disparo .....                             | 52 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.3.4   | DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS .....                   | 54 |
| 2.3.4.1 | Driver L293B .....                                | 54 |
| 2.3.4.2 | Transistores TIP 120 .....                        | 56 |
| 2.3.4.3 | Diodos .....                                      | 57 |
| 2.3.4.4 | Relés .....                                       | 57 |
| 2.3.4.5 | Pantalla de cristal líquido .....                 | 59 |
| 2.3.4.6 | Teclado .....                                     | 61 |
| 2.3.5   | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....                     | 64 |
| 3       | DESCRIPCIÓN DEL CONTROLADOR UTILIZADO .....       | 68 |
| 3.1     | DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PIC16F877A .....          | 68 |
| 3.1.1   | ARQUITECTURA INTERNA DE UN MICROCONTROLADOR ..... | 69 |
| 3.1.2   | CIRCUITERÍA EXTERNA AUXILIAR .....                | 71 |
| 3.1.2.1 | La alimentación .....                             | 72 |
| 3.1.2.2 | El oscilador .....                                | 72 |
| 3.1.2.3 | El circuito de reinicio .....                     | 73 |
| 3.1.3   | DESCRIPCIÓN DE PUERTOS .....                      | 74 |
| 3.1.4   | DISPOSITIVOS PERIFÉRICOS .....                    | 76 |
| 3.1.5   | REGISTROS INTERNOS DEL PIC 16F877A .....          | 79 |
| 4       | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....              | 81 |
| 4.1     | NEUMÁTICA .....                                   | 81 |
| 4.2     | MOTORES A PASOS .....                             | 82 |
| 4.3     | MICROCONTROLADOR .....                            | 83 |
|         | REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....                    | 84 |
|         | ANEXOS .....                                      | 85 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.1</b> - Esquema del motor paso a paso de reluctancia variable..... | 3  |
| <b>Figura 1.2</b> – Motor paso a paso de imanes permanentes.....               | 4  |
| <b>Figura 1.3</b> – Conexión bipolar.....                                      | 5  |
| <b>Figura 1.4</b> – Conexión unipolar.....                                     | 5  |
| <b>Figura 1.5</b> – Cilindro de simple efecto.....                             | 7  |
| <b>Figura 1.6</b> – Sección de un Cilindro de Doble Efecto.....                | 9  |
| <b>Figura 1.7</b> – Estructura de un sistema neumático.....                    | 12 |
| <b>Figura 1.8</b> – Compresor de émbolo.....                                   | 13 |
| <b>Figura 1.9</b> – Tipos de compresores rotativos.....                        | 14 |
| <b>Figura 1.10</b> – Representación de la unidad de mantenimiento.....         | 15 |
| <b>Figura 1.11</b> – Roscas de conexión de la unidad de mantenimiento.....     | 16 |
| <b>Figura 1.12</b> – tipos de conexiones flexibles.....                        | 16 |
| <b>Figura 1.13</b> – Conexiones neumáticas.....                                | 17 |
| <b>Figura 1.14</b> – Accionamientos de válvulas distribuidoras.....            | 21 |
| <b>Figura 1.15</b> – Válvula neumática 5/2.....                                | 24 |
| <b>Figura 1.16</b> – Válvula reguladora unidireccional.....                    | 25 |
| <b>Figura 1.17</b> – Válvula reguladora bidireccional.....                     | 25 |
| <b>Figura 1.18</b> – Esquema de filtrado de aire.....                          | 30 |
| <b>Figura 1.19</b> – Filtro de partículas y agua.....                          | 31 |
| <b>Figura 1.20</b> – Lubricador.....   | 32 |
| <b>Figura 1.21</b> – Regulador de presión.....                                 | 33 |
| <b>Figura 2.1</b> – Fotografía de la estructura del Módulo Implementado.....   | 34 |
| <b>Figura 2.2</b> – Ábaco para el cálculo de las tuberías.....                 | 40 |
| <b>Figura 2.3</b> – Unidad de Mantenimiento del Sistema.....                   | 41 |
| <b>Figura 2.4</b> – Circuito Neumático.....                                    | 42 |
| <b>Figura 2.5</b> – Diagrama de espacio - fase.....                            | 44 |
| <b>Figura 2.6</b> – Diagrama General del Sistema.....                          | 48 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2.7</b> – Diagrama de bloques de la Fuente .....                       | 48 |
| <b>Figura 2.8</b> – Regulador L7805.....   | 49 |
| <b>Figura 2.9</b> – Fuente regulada de 5 voltios .....                           | 50 |
| <b>Figura 2.10</b> – Motor a pasos .....   | 51 |
| <b>Figura 2.11</b> – Bobinado interno de motor unipolar .....                    | 51 |
| <b>Figura 2.12</b> – Secuencia de disparo a las bobinas .....                    | 53 |
| <b>Figura 2.13</b> – Distribución de pines del integrado L293B .....             | 54 |
| <b>Figura 2.14</b> – Descripción de pines del transistor TIP 120 .....           | 56 |
| <b>Figura 2.15</b> – Diodo esquemático y componente real .....                   | 57 |
| <b>Figura 2.16</b> – Diagrama de funcionamiento de un Relé.....                  | 59 |
| <b>Figura 2.17</b> – Conexión pantalla de cristal líquido PIC .....              | 60 |
| <b>Figura 2.18</b> – Teclado Matricial .....                                     | 62 |
| <b>Figura 2.19</b> – Barrido del Teclado Matricial.....                          | 62 |
| <b>Figura 2.20</b> – Distribución de pines del Decodificador MM74C922.....       | 63 |
| <b>Figura 2.21</b> – Diagrama de conexión del teclado con el decodificador ..... | 63 |
| <b>Figura 2.22</b> – Elemento transportador.....                                 | 64 |
| <b>Figura 2.23</b> – Sistema neumático .....                                     | 65 |
| <b>Figura 2.24</b> – Tablero de control del sistema construido .....             | 66 |
| <b>Figura 2.25</b> – Circuito de Control Implementado .....                      | 67 |
| <b>Figura 3.1</b> – Arquitectura Von Neumann .....                               | 69 |
| <b>Figura 3.2</b> – Arquitectura Harvard .....                                   | 70 |
| <b>Figura 3.3</b> – Encapsulado PDIP de 40 PINES.....                            | 71 |
| <b>Figura 3.4</b> – Circuito oscilador con cristal .....                         | 73 |
| <b>Figura 3.5</b> – Terminal de salida de un puerto entrega corriente .....      | 78 |
| <b>Figura 3.6</b> – Terminal de salida de un puerto absorbe corriente .....      | 78 |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1:</b> Características de la Unidad de Mantenimiento..... | 42 |
| <b>Tabla 2:</b> Ciclo de trabajo de los cilindros.....             | 43 |
| <b>Tabla 3:</b> Características Generales del PIC 16F877A .....    | 45 |
| <b>Tabla 4:</b> Distribución de recursos a implementarse .....     | 46 |
| <b>Tabla 5:</b> Asignación elementos a los pines del PIC .....     | 47 |
| <b>Tabla 6:</b> Estados lógicos para el giro del motor .....       | 53 |
| <b>Tabla 7:</b> Descripción de pines del integrado L293B .....     | 55 |
| <b>Tabla 8:</b> Funcionamiento de los pines del integrado .....    | 55 |
| <b>Tabla 9:</b> Descripción de pines del LCD .....                 | 61 |

## LISTA DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| <b>ANEXO A</b> – Programación .....                   | 86  |
| <b>ANEXO B</b> – Diagrama Circuitual del Sistema..... | 111 |
| <b>ANEXO C</b> – Datasheet del PIC 16f877A.....       | 113 |
| <b>ANEXO D</b> – Datasheet del TIP 120 .....          | 116 |
| <b>ANEXO E</b> – Datasheet Integrado L293B .....      | 119 |
| <b>ANEXO F</b> – Datasheet Integrado MM74C922 .....   | 124 |

## RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló con la finalidad de dimensionar y construir un prototipo que permita el transporte de productos manufacturados permitiendo la familiarización del estudiante con elementos neumáticos, electrónicos, mecánicos que constituyen el proyecto y que son de uso en las diferentes industrias del país. El diseño de este proyecto se basó en el conocimiento teórico práctico en las áreas como la electrónica, neumática y control industrial.

El módulo funciona con dos tipos de energía, la primera de ellas es la referente a la energía eléctrica, la misma que permitirá el funcionamiento de los dispositivos electrónicos, con una entrada de alimentación de 110V AC. Otro tipo de energía que se utilizó es aire comprimido, que permite el funcionamiento del circuito neumático. Los principales componentes que constituyen el módulo son: microcontrolador, motor de pasos, cilindros, electroválvulas, tablero de control, los mismos que mediante una secuencia lógica, van a operar en tres opciones, para transportar y almacenar los productos.

El módulo opera en tres condiciones para el almacenamiento: secuencia vertical, secuencia horizontal, y una secuencia aleatoria. En las dos primeras secuencias los productos se ordenan en una forma predeterminada con un programa que ejecuta el microcontrolador, en la tercera secuencia el operador puede escoger mediante un teclado la posición en la cual desea almacenar el producto.

El proceso inicia al retirar el producto mediante un primer cilindro neumático, de una alimentadora donde están almacenados los productos, y lo coloca en una base para su transporte, el movimiento se lo realiza por medio de dos motores de pasos, el uno para el desplazamiento vertical y el otro para el movimiento horizontal, al llegar a la posición requerida el producto es depositado en una estantería a través de un segundo cilindro neumático, en el casillero asignado.

El proyecto se desarrolla en cuatro capítulos, mismos que se fundamentan en la parte teórica y práctica para la consecución del mismo.

El capítulo I, contiene las bases teóricas de los elementos necesarios para la automatización del proyecto, que permiten una mejor comprensión de su funcionamiento y una correcta selección de los mismos, el apartado contiene información sobre elementos neumáticos, simbología, así como fundamentos sobre el funcionamiento de motores de pasos.

En el capítulo II, se describe la construcción del módulo, en el cual se dimensiona elementos neumáticos, tuberías, se obtiene la secuencia de los motores de pasos, además se analiza los periféricos que interactúan con el microcontrolador, para la selección del mismo. El artículo contiene el programa que va a ejecutar el controlador para la transportación de los productos manufacturados.

El capítulo III, se refiere a la descripción del microcontrolador PIC 16F877A, elementos necesarios para su correcto funcionamiento, tipo de arquitectura que posee, puertos que dispone con su respectiva descripción, los cuales permitirán el control de los actuadores a manipular en el módulo didáctico.

Capítulo IV, contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante la elaboración del presente proyecto las cuales permitirán mejorar el funcionamiento del módulo.

El manuscrito contiene en su parte final referencias bibliográficas, con las cuales se realizaron las investigaciones además de anexos y diagramas del circuito de control. Los anexos incluyen información sobre el programa grabado en el microcontrolador, datos técnicos de elementos neumáticos y dispositivos electrónicos que se utilizaron en el proyecto.



## ABSTRACT

This project was developed in order to gauge and build a prototype that allows the transport of manufactured products allowing student's familiarity with pneumatic, electronic and mechanical elements that constitute the project, which are used in different industries in the country. The design of this project was based on theoretical and practical knowledge in areas such as electronics, pneumatics and industrial control.

The module works with two types of energy, the first one is related to electricity, it will allow the operation of electronic devices with a power input of 110V AC. The other type of energy used is compressed air, allowing the operation of the pneumatic circuit. The main components that constitute the module are: microcontroller, stepper motor, cylinders, valves, control panel which ones as through a logical sequence, will operate on three options for transporting and storing products.

The module operates in three storage conditions: vertical sequence, horizontal sequence, and a random sequence. In the first two sequences, products are sorted into a predetermined shape with a program that runs the microcontroller, in the third sequence, the operator can choose through a keyboard in which position to store the product.

The process starts by removing the product in a pneumatic cylinder from a feeder where the products are stored, and puts it into a base for transport, the movement is performed by two stepper motors, one for vertical movement and another one for horizontal movement, when the required position is reached, the product is placed on a shelf by a second pneumatic cylinder in the assigned position.

The project is divided into four chapters, which are based on the theory and practice to achieve the same.

Chapter I contains the theoretical basis of the necessary elements for the project automation, which allow a better understanding of their operation and correct selection of them, the section contains information about pneumatic elements, symbols, and basics about the operation of stepper motors.

Chapter II describes the construction of the module, where pneumatics and plumbing are measured, it contains the sequence of stepper motors also discussed peripherals interact with the microcontroller, to select it. The article contains the program that will run the driver for the transportation of manufactured products.

Chapter III relates to the description of the PIC 16F877A microcontroller, which is necessary for proper operation, type of architecture that has, ports available to their respective description, which will allow control of the actuators to manipulate the training module.

Chapter IV contains the conclusions and recommendations obtained during the preparation of this project which will enhance the module operation.

The manuscript contains in its final part references that helped to investigate, in addition annexes and control circuit diagrams. The annexes include information about the program burned into the microcontroller, technical data of pneumatic and electronic devices used in the project.

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 MOTORES DE PASO

Los motores de pasos son dispositivos electromagnéticos, rotativos incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica. La cantidad de rotación es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de los mismos.

Estos motores poseen la habilidad de quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente, o al contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas, estos tipos de motores son ideales para la construcción de mecanismos, dónde se requieren movimientos muy precisos.

Las ventajas de este tipo de motor incluyen:

- Un diseño efectivo y un bajo costo.
- Alta confiabilidad
- Libres de mantenimiento (no disponen de escobillas)

Los parámetros principales que caracterizan un motor paso a paso son:

- a) Ángulo de paso: Se define como el avance angular que se produce en el motor por cada impulso de excitación.
- b) Par dinámico de trabajo: Es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso, es decir, sin dejar de responder a algún impulso de excitación del estator.
- c) Par de mantenimiento: Es el par requerido para desviar, en régimen de excitación, un paso el rotor cuando la posición anterior es estable; es

mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición dada.

- d) Par de detención: Es un par de freno que siendo propio de los motores de imán permanente, debido a la acción del rotor cuando los devanados del estator están desactivados.
- e) Los motores paso a paso están compuestos por dos partes: una fija llamada estator y una móvil llamada rotor.

El estator se encuentra en la periferia del motor y es el encargado de generar el flujo principal; mientras que el rotor se encuentra en el centro del motor, unido al eje, y su función es reaccionar a la excitación del estator produciendo el movimiento de rotación o una fuerza de enclavamiento.

### **1.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

El principio de funcionamiento básico de los motores paso a paso consiste en alimentar solo algunas de las bobinas del estator con corriente continua generando un flujo con una dirección fija, que al interactuar con el rotor del motor produce un par en función del ángulo de desfase de la posición de equilibrio, que depende del tipo de motor paso a paso empleado.

Para producir el movimiento de rotación la bobina excitada debe ser cambiada a medida que el rotor llega a la posición de equilibrio.

### **1.1.2 TIPOS DE MOTORES DE PASO**

Existen variadas formas constructivas de los motores de paso, pero se identifican dos tipos de categorías básicas:

- Motor paso a paso *de reluctancia variable*.
- Motor paso a paso *de imanes permanentes*.

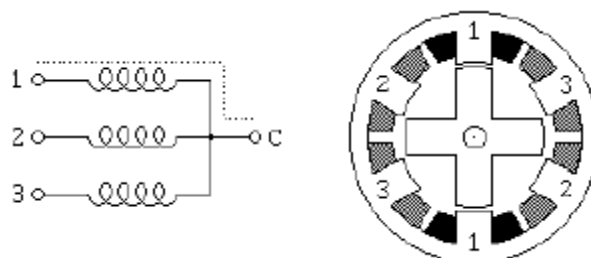
Otro aspecto en la caracterización de los motores corresponde a la forma en que se interconectan las bobinas y las estrategias de control para generar el giro del motor.

Dentro de las técnicas utilizadas se encuentran los motores:

- Unipolares; y
- Bipolares

### 1.1.3 MOTOR DE RELUCTANCIA VARIABLE

Si el motor de pasos posee 3 bobinas conectadas como lo indica la figura 1.1, lo más probable es que sea de reluctancia variable.



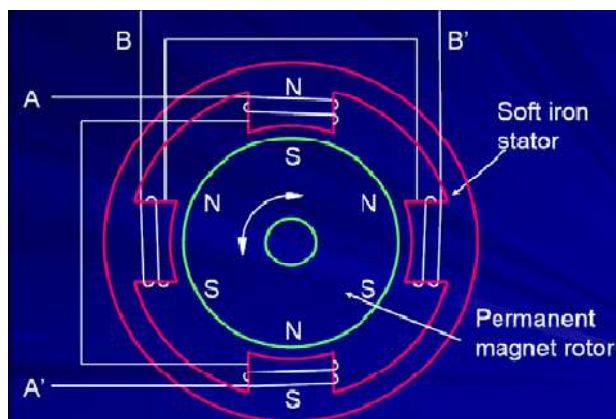
**Figura 1.1** - Esquema del motor paso a paso de reluctancia variable

### 1.1.4 MOTOR PASO A PASO DE IMANES PERMANENTES

En este tipo de motores, el rotor está provisto de imanes, mosmos que se encuentran dispuestos de tal manera que los polos N-S se encuentran opuestos entre sí en forma radial. En la figura 1.2 se puede observar un esquema del rotor y estator.

Para resoluciones angulares mayores, el rotor debe tener más polos. El motor de la figura 1.2 es uno de los diseños más comunes de motores de imanes permanentes con un paso de  $30^\circ$ , aunque los motores de  $15^\circ$  o  $7.5^\circ$  por paso son

comúnmente utilizados. Se construyen motores de imanes permanentes con buenas resoluciones, como las de  $1.8^\circ$  por paso.



**Figura 1.2** – Motor paso a paso de imanes permanentes

La ventaja que presenta este motor es que aumenta el torque en comparación al de reluctancia variable. Otro punto a favor, es la permanencia en el último estado por el torque de fricción, lo que minimiza el error, puesto que el control por lo general se construye a lazo abierto.

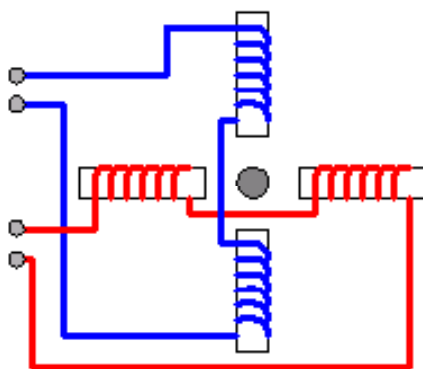
### 1.1.5 INTERCONEXIÓN Y OPERACIÓN DE LOS DEVANADOS

Las bobinas del estator presentan dos tipos de conexión:

- Conexión bipolar
- Conexión unipolar

En la conexión bipolar las bobinas opuestas se conectan en serie. Para lograr distintas polaridades de campo es necesario invertir los dos terminales de cada bobina como podemos apreciar en la figura 1.3.

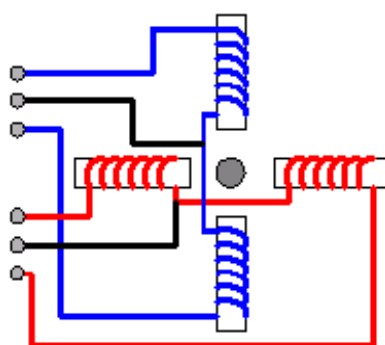
Esto puede efectuarse utilizando un doble puente H (análogo al usado para alimentar motores de corriente continua). Esta conexión permite el manejo del rotor, tanto por pasos completos o también medios pasos.



**Figura 1.3** – Conexión bipolar

En la conexión unipolar (figura 1.4), puede manejarse cada una de las bobinas individualmente, dado que se tiene acceso al punto de unión de las bobinas opuestas. La energización también puede operar pasos completos o medios pasos.

Usualmente no se trabaja con estatores de más de cuatro fases y con rotores de más de 100 dientes, por lo cual, para reducir el ángulo de paso se utiliza la técnica de *microstepping*, que consiste en dividir cada paso físico en subpasos de igual tamaño. Esto se efectúa utilizando distintos niveles de corrientes en las bobinas, de manera que el rotor se desplace a posiciones intermedias dentro de cada paso normal. Así es posible dividir un paso de  $1.8^\circ$  en diez subpasos iguales.



**Figura 1.4** – Conexión unipolar

## **1.2 ACTUADORES NEUMÁTICOS**

El trabajo de estudio de la automatización de una máquina no termina con el esquema del automatismo a realizar, sino con la adecuada elección del receptor a utilizar y la perfecta unión entre éste y la máquina a la cual sirve. En un sistema neumático los receptores son los llamados actuadores o elementos de trabajo, cuya función es transformar la energía neumática del aire comprimido en trabajo mecánico.

Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grandes grupos:

- Cilindros
- Motores

### **1.2.1 CILINDROS NEUMÁTICOS**

Los cilindros neumáticos son, por regla general, los elementos que realizan el trabajo. Su función es transformar la energía neumática en trabajo mecánico de movimiento rectilíneo, que consta de carrera de avance y carrera de retroceso.

Generalmente, el cilindro neumático está constituido por un tubo circular cerrado en los extremos mediante dos tapas, entre las cuales se desliza un émbolo que separa dos cámaras. Al émbolo va unido un vástago que, saliendo a través de una o ambas tapas, permite utilizar la fuerza desarrollada por el cilindro mediante la presión del fluido al actuar sobre las superficies del émbolo.

Los dos volúmenes de aire en que queda dividido el cilindro por el émbolo reciben el nombre de cámaras. Si la presión de aire se aplica en la cámara posterior de un cilindro, el émbolo y el vástago se deslizan hacia adelante (carrera de avance). Si la presión de aire se aplica en la cámara anterior del cilindro, el desplazamiento se realiza en sentido inverso (cámara de retroceso).

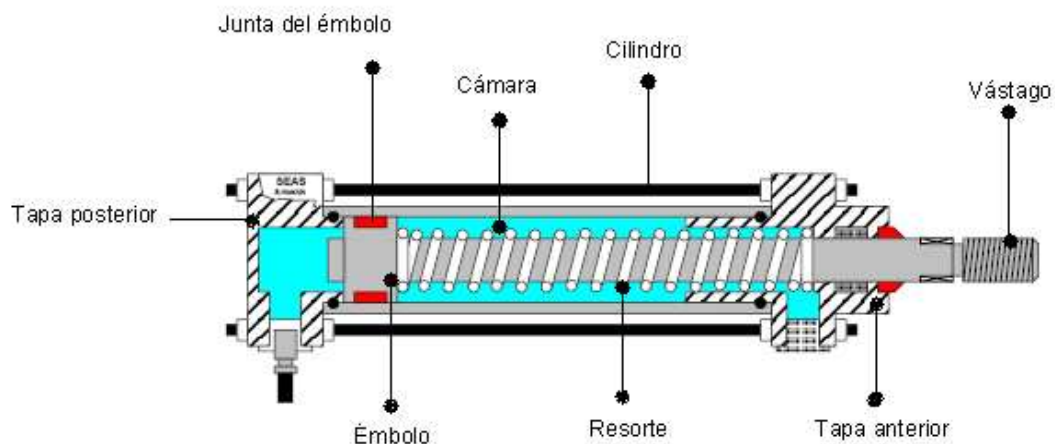


Existen diferentes tipos de cilindros neumáticos. Según la forma en que se realiza el retroceso del vástago, los cilindros se dividen en dos grupos:

- Cilindros de simple efecto
- Cilindros de doble efecto

### 1.2.2 CILINDROS DE SIMPLE EFECTO

El cilindro de simple efecto (figura 1.5) solo puede realizar trabajo en un único sentido, es decir, el desplazamiento del émbolo por la presión del aire comprimido tiene lugar en un solo sentido, pues el retorno a su posición inicial se realiza por medio de un muelle recuperador que lleva el cilindro incorporado, o bien por acción de fuerzas exteriores.



**Figura 1.5** – Cilindro de simple efecto

En la práctica existen varios tipos, los más empleados son los cilindros de émbolo. El movimiento de trabajo es efectuado por el aire a presión que obliga a desplazarse al émbolo, comprimiendo el muelle y, al desaparecer la presión, el muelle hace que regrese a su posición de reposo. Por esto, los cilindros de simple efecto se utilizan cuando el trabajo debe realizarse en una sola dirección.

Hay que tener presente que existe aire a la presión atmosférica en la cámara opuesta, pero puede escaparse a la atmósfera a través de un orificio de escape<sup>1</sup>.

Según la disposición del muelle, los cilindros de simple efecto pueden aplicarse para trabajar a compresión (vástago recogido en reposo y muelle en cámara anterior), o para trabajar a tracción (vástago desplazado en reposo y muelle en cámara posterior).

Mediante el resorte recuperador incorporado queda limitada la carrera de los cilindros de simple efecto, por regla general la longitud de la carrera no supera los 100 mm. Por razones prácticas, son de diámetro pequeño y la única ventaja de estos cilindros es su reducido consumo de aire, por lo que suelen aplicarse como elementos auxiliares en las automatizaciones.

### **1.2.3 CILINDRO DE DOBLE EFECTO**

Los cilindros de doble efecto (figura 1.6), son aquellos que realizan tanto su carrera de avance, como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras), por lo que estos componentes pueden realizar trabajo en ambos sentidos del movimiento.

Sus componentes internos son prácticamente iguales a los de simple efecto, con pequeñas variaciones en su construcción. Algunas de las más notables las encontramos en la tapa anterior, que ahora ha de tener un orificio roscado para poder realizar la inyección de aire comprimido (en la disposición de simple efecto este orificio no suele prestarse a ser conexionado, siendo su función la comunicación con la atmósfera con el fin de que no se produzcan contrapresiones en el interior de la cámara).

Para una presión determinada en el circuito, el movimiento de retroceso en un cilindro de doble efecto desarrolla menos fuerza que en el movimiento de avance,

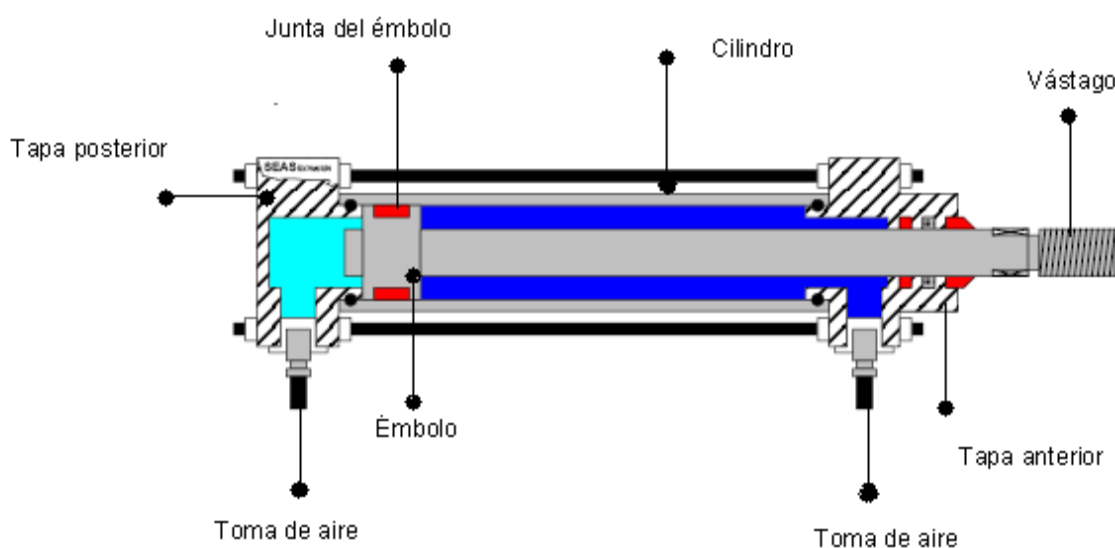
---

<sup>1</sup> Introducción a la Neumática (ANTONIO GUILLEN SALVADOR) Pág. 32-33

ya que, la superficie del émbolo se reduce por la sección transversal del vástago. Normalmente en la práctica no se requieren fuerzas iguales en los dos movimientos opuestos.

Los cilindros de doble efecto presentan las siguientes ventajas sobre los cilindros de simple efecto:

- Posibilidad de realizar trabajo en dos sentidos.
- No se pierde fuerza para comprimir el muelle no se aprovecha toda la longitud del cuerpo del cilindro como carrera útil.
- No se aprovecha toda la longitud del cuerpo del cilindro como carrera útil.



**Figura 1.6** – Sección de un Cilindro de Doble Efecto

#### 1.2.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA LOS CILINDROS NEUMÁTICOS

Los fabricantes de cilindros adoptan varios criterios sobre las dimensiones de los mismos, ya que, según las implicaciones geográficas o las licencias de fabricación que poseen, adoptan una u otra normativa.

- Fuerza del cilindro

La transmisión de potencia mediante aire comprimido se basa en el principio de Pascal, en el que toda presión sobre un fluido se transmite íntegramente en todas direcciones. Por tanto, la fuerza ejercida por un émbolo es igual al producto de la presión por la superficie. En los cilindros de simple efecto debe reducirse la fuerza del muelle recuperador y en los cilindros de doble efecto debe reducirse en la carrera de retroceso el área del vástago del área total del émbolo. Para el rozamiento, o bien para el momento de arranque se descuenta de un 3% a un 10% de la fuerza calculada.

- Consumo de aire

Otra característica importante, es la cantidad de aire a presión necesaria para el funcionamiento de un cilindro. La energía del aire comprimido que alimenta los cilindros se consume transformándose en trabajo y, una vez utilizado, se expulsa a la atmósfera por el escape durante la carrera de retroceso. Se entiende por consumo teórico de aire de un cilindro al volumen de aire consumido en cada ciclo de trabajo.

- Velocidad del émbolo

La velocidad media del émbolo en los cilindros estándar está comprendida entre 0,1 y 1.5m/s. en los cilindros especiales la velocidad puede ser mayor. La obtención de una velocidad uniforme a lo largo de toda la carrera es un problema muy complejo, ya que no se debe olvidar que estamos tratando con un fluido compresible.

- Carrera del cilindro

En comparación con los cilindros de simple efecto con muelle de retorno, la carrera del doble efecto está considerablemente menos limitada. Las principales razones para la limitación de las carreras son:

- a) La disponibilidad comercial de los materiales para la fabricación de piezas largas.
- b) La proporción entre la longitud del vástago y su diámetro.

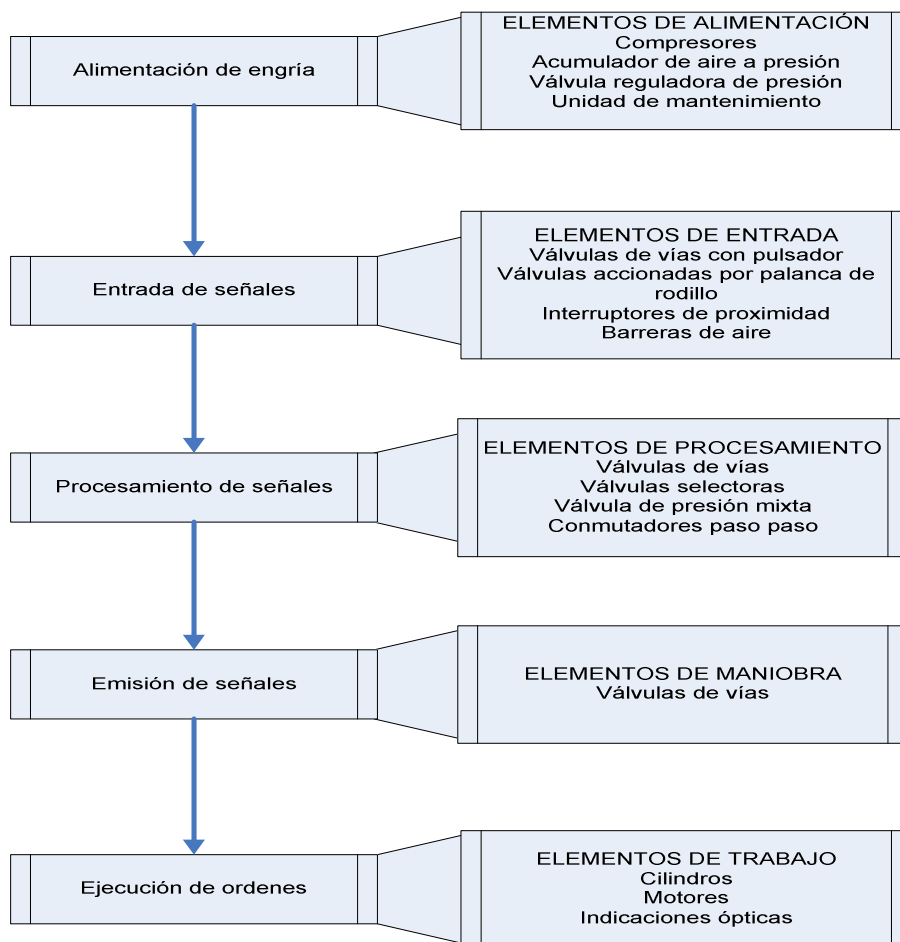
Como consecuencia de la carrera escogida, si la longitud del vástago es excesivamente larga en proporción a su diámetro, existe el riesgo de que en compresión se produzca pandeo.

- Juntas empleadas en los cilindros

Uno de los componentes importantes en la construcción de los cilindros neumáticos son las juntas, cuya función es impedir las fugas de aire comprimido entre las piezas mecánicas que configuran el cilindro para que éste permanezca estanco.

### **1.3 ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS NEUMÁTICOS**

El circuito neumático puede ser muy simple o extraordinariamente complejo, dependiendo de los efectos que se desee conseguir, pero sea cual sea su estructura, disponen siempre de una serie de elementos indispensables como se indica en la figura 1.7.



**Figura 1.7** – Estructura de un sistema neumático

### 1.3.1 ELEMENTOS DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO

Un circuito neumático es un dispositivo formado por un conjunto de elementos unidos entre sí a través de los cuales puede circular aire comprimido. A continuación se detallan dichos elementos:

- Elemento generador de energía: en el circuito neumático, es el compresor:
- Elementos de transporte: son los conductores que unen los elementos del circuito, en los circuitos neumáticos, son las tuberías por las que circula el aire.
- Actuadores: son los receptores que transforman la energía recibida en otro tipo de energía para realizar una acción concreta. En el circuito

neumático, el actuador es el cilindro, cuyo émbolo y vástago se desplazan linealmente.

- Elementos de mando y control: son elementos que abren o cierran el circuito. En este caso tenemos una válvula, que permite o impide la circulación del fluido de aire por el circuito.

### 1.3.1.1 El Compresor

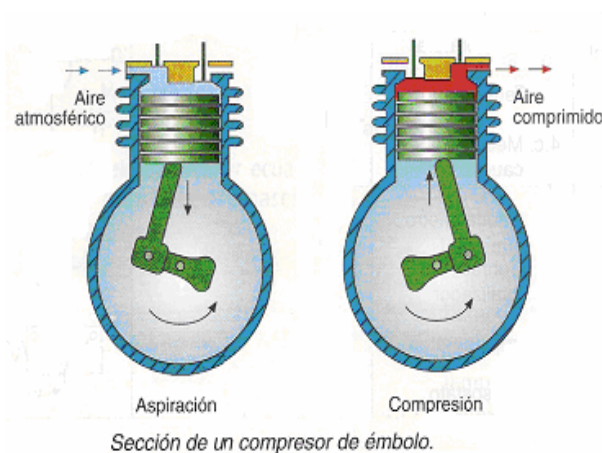
Es el elemento básico del grupo, su función consiste en aumentar la presión del aire que se aspira de la atmósfera. Suele ir provisto de un filtro previo que elimina las impurezas del aire que se aspira.

### 1.3.1.2 Tipos de Compresores

Existe una gran variedad de compresores en el mercado, dependiendo de las necesidades del circuito:

- Compresores alternativos

Son semejantes a los de los motores de combustión interna de un vehículo. Alrededor del pistón, se colocan unas aletas de refrigeración para disminuir la temperatura que alcanza el aire (180 °C) como consecuencia de la compresión como se puede observar en la figura 1.8

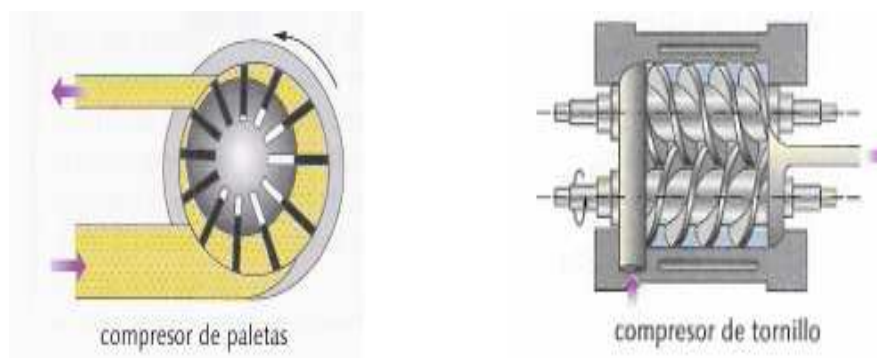


**Figura 1.8** – Compresor de émbolo

- Compresores rotativos

Están constituidos por una cámara de compresión y un rotor. Al girar el rotor, el compresor aspira el aire y lo comprime en la cámara. La presión de salida del aire suele estar comprendida entre 6 y 7 bar.

Existen varios tipos como se puede observar en la figura 1.9.



**Figura 1.9** – Tipos de compresores rotativos

### 1.3.1.3 Unidad de Mantenimiento

Para conseguir una buena calidad del aire es necesario someterlo a tres operaciones previas:

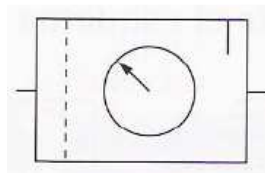
- Filtración
- Regulación
- Lubricación

De estas funciones se ocupa la unidad de mantenimiento, también conocida como conjunto FRL, que está formado por un secador, un filtro, un regulador de presión con manómetro, un lubricador y una válvula de escape.



- El secador, que reduce la cantidad de vapor de agua en el aire. Está constituido por material poroso que absorbe la humedad dejando pasar el aire.
- El filtro, somete el aire, en primer lugar, a un proceso de centrifugado. De este modo, las impurezas que contiene, ya sean líquidas o sólidas, se proyectan contra las paredes del filtro y caen por gravedad a una cámara. Posteriormente, el aire pasa por un cartucho filtrante para completar su limpieza.
- El regulador, que asegura una presión estable de aire en el circuito neumático, esta presión queda indicada por el manómetro.
- El lubricador, que añade aceite nebulizado al aire comprimido, así se evita la oxidación de los componentes del circuito y se asegura un buen deslizamiento de las partes móviles.
- La válvula de escape, que expulsa el aire al exterior cuando la presión excede el límite permitido.

El símbolo utilizado para representar la unidad de mantenimiento se puede observar en la figura 1.10.



**Figura 1.10** – Representación de la unidad de mantenimiento

#### **1.3.1.3.1** Roscas de conexión

El caudal que circula por la unidad de mantenimiento depende de las roscas de conexión de la unidad y de la presión de la red. En la figura 1.11 se puede observar algunas de las mismas:

| Rosca de conexión | Caudal máximo en l/min |
|-------------------|------------------------|
| G 1/4"            | 500                    |
| G 3/8"            | 1350                   |
| G1/2"             | 1470                   |
| G3/4"             | 4350                   |
| G1"               | 6000                   |

**Figura 1.11** – Roscas de conexión de la unidad de mantenimiento

#### 1.3.1.4 Tuberías




Son las conducciones que forman la red de distribución del aire comprimido. Suelen ser de acero o de latón, y se instalan de forma que presenten una ligera inclinación ( $1,5^\circ$ ) para facilitar que el vapor de agua condensado se deslice y no se acumule en ningún punto.

En canalizaciones flexibles los materiales que se emplean son el caucho neopreno, poliamida y poliuretano como se observa en la figura 1.12.



**Figura 1.12** – tipos de conexiones flexibles

Se representan simbólicamente mediante líneas continuas que unen los distintos elementos del circuito neumático en la figura 1.13.

| Conexiones  |                    |
|---|--------------------|
| Símbolo   | Descripción        |
|  | Unión de tuberías. |
|  | Cruce de tuberías. |
|  | Manguera.          |

**Figura 1.13** – Conexiones neumáticas

Las canalizaciones permiten la circulación y distribución del aire comprimido desde su generación en el compresor hasta que llega a los receptores o actuadores (cilindros, motores, etc.), que transforman la presión que reciben en fuerza. El diseño de las canalizaciones y de la red de alimentación del circuito se realiza siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Debe tener longitud mínima, evitando las caídas de presión en red.
- Emplear tramos rectos, ya que los codos provocan caídas de presión en la red.
- Emplear un diámetro de canalización adecuado al caudal, presión de la red y caída de presión admisible.

### 1.3.1.5 Elementos de mando y control

En neumática, las válvulas constituyen un elemento esencial del circuito. Las válvulas son los elementos de mando y control que permiten o impiden la entrada de aire. Una válvula neumática es un dispositivo que dirige y regula el paso del aire comprimido.

Estos elementos tienen como finalidad mandar o regular la puesta en marcha o el paro del sistema, el sentido del flujo, así como la presión o el caudal del fluido procedente del depósito regulador.

Según su función las válvulas se subdividen en los siguientes grupos:

- Válvulas de vías o distribuidoras.
- Válvulas de bloqueo.
- Válvulas de presión.
- Válvulas de caudal y de cierre.

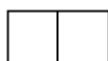
### 1.3.1.5.1 Representación esquemática de las válvulas

Análogamente, en los actuadores es preciso utilizar una representación simbólica para expresar gráficamente las válvulas, como en aquel caso se utilizan anagramas que representan exclusivamente su función de una manera significativa.

La representación que se utiliza corresponde a la norma ISO 1219, que es idéntica a la norma de la Comisión Europea de las Transmisiones Neumáticas y Óleo Hidráulicas (CETOP). Cada posición que puede adoptar una válvula distribuidora se representa por medio de un cuadrado.



El número de cuadrados yuxtapuestos indica el número de posibles posiciones de la válvula distribuidora.



Las líneas representan los conductos internos de la válvula. Las flechas, el sentido exclusivo o prioritario de circulación del fluido.



Las posiciones de cierre dentro de las casillas se representan mediante líneas transversales.



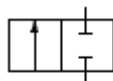
La unión de conductos internos se representa mediante un punto.



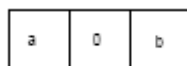
Las conexiones externas (entradas y salidas) se representan por medio de trazos unidos a la casilla que esquematiza la posición de reposo inicial. Las uniones con los actuadores figuran en la parte superior y la alimentación de aire comprimido y el escape en la inferior.



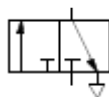
La otra posición u otras posiciones, se obtienen desplazando lateralmente los cuadrados, hasta que las conexiones coincidan.



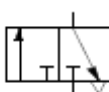
Las posiciones pueden distinguirse por medio de letras minúsculas a, b, c, si la válvula es de tres posiciones, la intermedia es, en principio, la de reposo.



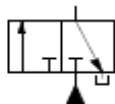
Por posición de reposo se entiende, en el caso de válvulas con dispositivo de reposición automática, a aquella posición que ocupa cuando sobre la válvula no se ejerce ninguna acción. Se denomina igualmente posición estable y la válvula se dice que es monoestable. Los conductos de escape a través de un conducto se representan con un triángulo ligeramente separado del símbolo de la válvula.



Los conductos de escape sin empalme de tubo, es decir cuando el aire se evacúa directamente a la atmósfera se representan mediante un triángulo unido al símbolo de la válvula.



Si el fluido que circula es aire comprimido, es decir en neumática, el triángulo tendrá aristas negras y fondo blanco. Si se trata de aceite, o sea en óleo hidráulica, el triángulo será negro en su totalidad.



Las conexiones externas se identifican por medio de letras mayúsculas o números:

- Tuberías o conductos de trabajo, es decir las uniones con los actuadores: A, B, o bien 2, 4, 6.
- Conexión con la alimentación del aire comprimido: P ó 1.
- Salida de escape R, S, T ó 3, 5, 7.

Las válvulas distribuidoras se denominan por su número de vías o conexiones con el exterior y el de posiciones posibles, separadas por una barra; por ejemplo una válvula 3/2 significa que tiene tres conexiones con el exterior (una con un actuador, otra la alimentación y la tercera el escape) y que puede ocupar dos posiciones diferentes.

#### 1.3.1.5.2 Accionamiento de válvulas

Las válvulas pueden ser accionadas de diferentes maneras, incluso pueden accionarse de manera distinta en un sentido u otro. El accionamiento puede ser manual, mecánico, neumático o eléctrico. El primero se hace mediante pulsador, palanca o pedal. El mecánico se efectúa por medio de una leva, muelle o rodillo; éste puede ser normal o escamoteable, es decir, si sólo actúa cuando se desplaza el rodillo en un sentido mientras que en el otro se retrae.






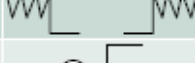





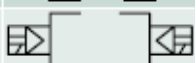
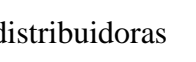
En el accionamiento neumático se utiliza aire comprimido del mismo circuito o de otro auxiliar para maniobrar la posición de la válvula. Generalmente, se necesita

una presión mínima del aire para poder accionar la válvula. Dicha presión se especifica en los catálogos en función de la presión de trabajo del circuito.

El accionamiento eléctrico se efectúa con la fuerza que se provoca al hacer pasar una corriente eléctrica alrededor de una bobina con un núcleo de hierro desplazable en su interior.

Tiene muchas ventajas frente al resto de accionamientos y da lugar a una tecnología conocida como Electro Neumática.

Los accionamientos se representan en las líneas laterales de los cuadrados extremos que simbolizan las válvulas, mediante un pequeño símbolo. En la siguiente figura se representan los más significativos:

| Tipo de accionamiento | Elementos  | Símbolo   |
|-----------------------|--|---|
| Manual                | Accionamiento en general                           |  |
|                       | Pulsador   |  |
|                       | Palanca con enclavamiento                          |  |
|                       | Pedal  |  |
| Mecánica              | Retorno con muelle                                 |  |
|                       | Centrado por muelle                                |  |
|                       | Por rodillo  |  |
|                       | Rodillo abatible                                   |  |
| Neumático             | Directo  |  |
|                       | Indirecto (servopilotado)                          |  |
| Electrónico           | Con simple bobina                                  |  |
|                       | Con doble bobina                                   |  |
| Combinado             | Con doble pilotaje y accionamiento manual auxiliar |  |

**Figura 1.14** – Accionamientos de válvulas distribuidoras

### **1.3.1.5.3 Válvulas de vías o distribuidoras**

Estas válvulas son los componentes que determinan el camino que ha de seguir el aire en cada momento, gobernando el sentido de desplazamiento de los actuadores, trabajan en dos o más posiciones fijas determinadas. En principio, no pueden trabajar en posiciones intermedias.

Las características constructivas de las válvulas determinan su forma de trabajar, la fuerza de accionamiento requerida, el desplazamiento del obturador, su grado de estanquidad, sus conexiones externas, su tamaño, su robustez y posible duración.

### **1.3.1.6 Sistemas Electroneumáticos**

Las combinaciones de electricidad y neumática se usan frecuentemente en máquinas e instalaciones. La principal aplicación de los sistemas electroneumáticos, se encuentra en aquellos casos en los que el aire comprimido se usa como fuente de energía con la ayuda de cilindros, mientras que los distribuidores son asociados eléctricamente.

Al principio, la combinación de aire y electricidad se miraba con un cierto recelo, debido a razones que actualmente carecen de fundamento. En los casos donde existe un gran peligro de incendio o explosión, ambientes mojados, altas temperaturas, radiaciones, campos magnéticos etc. Se prefiere el uso de neumática.

Como argumentos para la utilización del mando eléctrico se pueden citar los siguientes:

- Gran velocidad de transmisión de las señales, en una línea eléctrica, la distancia no tiene consecuencia en el tiempo de respuesta. En una línea neumática si la tiene.



- Aumento de las posibilidades de control debido al constante incremento de elementos de control disponibles en la técnica eléctrica y electrónica.
- Ahorro de energía, la electricidad resulta más económica que el aire, pues debido al bajo rendimiento de los compresores solamente se transforma en energía neumática una parte no muy grande de la energía eléctrica.
- Los elementos eléctricos y electrónicos son más baratos a causa de la producción masiva.
- Estos mismos elementos son a menudo muy pequeños, ocupan poco espacio y son fáciles de montar.

Los elementos que utilizan estas dos técnicas son:

- Distribuidores electroneumáticos.
- Presostatos.
- Válvulas neumáticas proporcionales.

#### **1.3.1.6.1** Distribuidores Electroneumáticos

Los dispositivos más comúnmente utilizados con esta combinación son las electroválvulas, las cuales pueden ser consideradas convertidores electroneumáticos. Constan de una válvula neumática como medio de generar una señal de salida y de un accionamiento eléctrico denominado solenoide. Al aplicarse una corriente eléctrica al solenoide, éste genera una fuerza electromagnética que mueve la armadura conectada a la leva de la válvula permitiendo el paso del aire en un sentido determinado.

#### **1.3.1.6.2** Distribuidores Electroneumáticos de Cinco Vías

Los distribuidores electroneumáticos de cinco vías son de accionamiento indirecto y servo pilotado<sup>2</sup>.

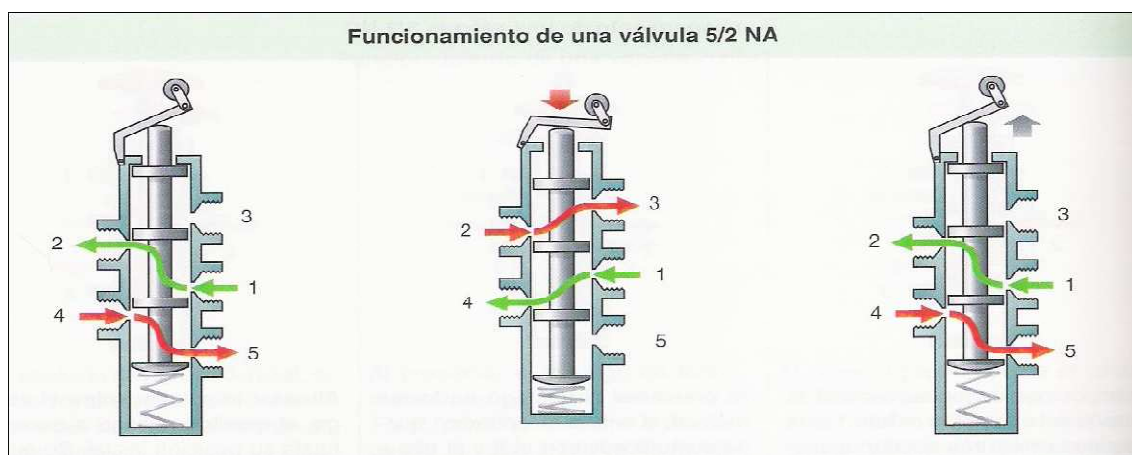
---

<sup>2</sup> Introducción a la Neumática (Antonio Guillen Salvador) Pág. 71 – 72

La válvula principal es accionada neumáticamente por una válvula electro neumática de 3/2 vías. Estos electro distribuidores van fijados directamente al cuerpo del distribuidor principal formando un solo elemento.

La fuerza de accionamiento eléctrico para la inversión de la válvula piloto puede ser muy pequeña, y la inversión propiamente considerada de la válvula principal se realiza por la presión de trabajo procedente del sistema neumático.

Este tipo de válvula posee cinco vías para el aire y dos posiciones de control o trabajo. El orificio 1 corresponde a la entrada del aire a presión, los señalados con los números 2 y 4 son los de utilización de aire y los que se indican con los números 3 y 5 muestran las salidas de escape como se observa figura 1.15:



**Figura 1.15** – Válvula neumática 5/2

### 1.3.1.7 Válvulas reguladoras de caudal

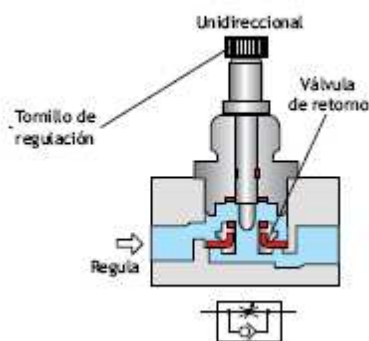
Las válvulas reguladoras o estranguladoras de caudal colocadas en las canalizaciones permiten modificar la sección de paso del aire.

Las válvulas reguladoras pueden ser unidireccionales con anti retorno o bidireccionales. Las válvulas bidireccionales regulan el paso en los dos sentidos de la circulación y las unidireccionales regulan el paso del aire en un solo sentido.

### 1.3.1.7.1 Válvula reguladora unidireccional

Sirve para regular el caudal de aire comprimido en una sola dirección. Cuando el aire circula en un sentido, puede regularse mediante el tornillo superior, el cual hace que aumente o disminuya la sección del conducto, lo que permite la regulación del caudal de aire circulante en ese sentido.

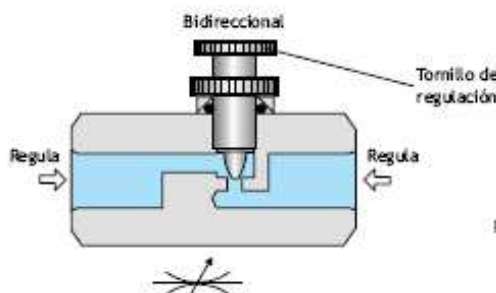
En caso de que el aire circule en sentido contrario, la presión del aire vence la resistencia del resorte y se abre la conducción dejando así, el paso totalmente libre al aire figura 1.16.



**Figura 1.16** – Válvula reguladora unidireccional

### 1.3.1.7.2 Válvula reguladora bidireccional

Se trata de válvulas que disponen de un tornillo mediante el cual se aumenta o disminuye la sección del conducto, lo que permite la regulación del caudal de aire que circula figura 1.17.



**Figura 1.17** – Válvula reguladora bidireccional

## **1.4 AIRE COMPRIMIDO**

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y que aprovecha para reforzar sus recursos físicos. Aunque sus rasgos básicos se encuentran entre los más antiguos de la humanidad, no fue sino hasta el siglo pasado cuando empezaron a investigarse sistemáticamente su comportamiento y reglas. Solo desde el año 1950 se puede hablar de la aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación.

La introducción verdadera y generalizada de la neumática en la industria se inició cuando era cada vez más grande la demanda de procesos automáticos. Actualmente, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido, y se utilizaba en los procesos industriales más variados, y todo tipo de aparatos neumáticos.

La neumática se ha desarrollado en un corto tiempo y con mucha rapidez, esto se debe, entre otras cosas a que, en la solución de algunos problemas de la automatización no puede disponerse de otro medio que sea más simple y más cómodo.

Actualmente, la necesidad de automatizar la producción no es competencia única de las grandes empresas, sino también de la pequeña industria. La fuerza neumática puede realizar diversas funciones mejor y más rápidamente. Por ello, el elemento neumático es muy superior al humano con relación a capacidad de trabajo.

### **1.4.1 PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO**

El aire comprimido presenta características importantes por las cuales es muy utilizado en la industria, dichas cualidades se mencionan a continuación:

- Disponibilidad

Muchas industrias poseen suministros de aire o compresores en las áreas de trabajo los cuales pueden servir en posiciones más alejadas.

- Almacenamiento

Si se necesita es posible almacenar grandes cantidades en depósitos especialmente diseñados para contener la presión ejercida por el aire.

- Simplicidad de diseño y control

Los componentes neumáticos poseen una configuración sencilla, mediante un control relativamente sencillo pueden proporcionar sistemas automatizados extensos y precisos.

- Elección del movimiento

Es posible elegir entre un movimiento lineal y un movimiento rotatorio con velocidad fija o variable y regularse con facilidad dicha velocidad.

- Economía

Los componentes tienen un bajo costo, así mismo su mantenimiento es poco costoso debido a su duración sin presentar averías.

- Confiabilidad

Al presentar una larga duración los componentes neumáticos, tienen como consecuencia una elevada confiabilidad del sistema.

- Resistencia al entorno

A los sistemas neumáticos no le afectan factores externos como temperatura, polvo o atmósferas corrosivas.

- Limpieza del entorno

El aire utilizado es limpio, por lo que con un tratamiento adecuado del aire del escape se puede instalar según las normas de "sala limpia".

- Seguridad

No presenta peligro de incendio y el sistema no se ve afectado por la sobrecarga, ya que los actuadores pueden detenerse o soltarse, además de que éstos no producen calor.

#### 1.4.2 MAGNITUDES Y UNIDADES

La obtención y la utilización de aire comprimido para el funcionamiento de los dispositivos neumáticos nos obligan a tomar en consideración dos magnitudes básicas: la presión y el caudal.

- Presión

Definimos esta magnitud como la fuerza que se ejerce por unidad de superficie.

$$P = \frac{F}{S}$$

Donde P = presión resultante (Pa); F = fuerza ejercida (N); S = superficie de actuación (m<sup>2</sup>).

La unidad de presión en el Sistema Internacional (SI) se denomina Pascal. Un Pascal es la presión ejercida por una fuerza de un Newton (N) cuando se aplica perpendicularmente a una superficie de un metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

En neumática industrial, el Pascal resulta una unidad muy pequeña, por lo que suelen emplearse múltiplos, como el kilo Pascal (kPa) y el Mega Pascal (MPa).

$$1 \text{ kPa} = 1.000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 1.000.000 \text{ Pa}$$

En los cálculos técnicos suelen emplearse también otras unidades, como el bar y su submúltiplo, el milibar (mbar), habitualmente utilizado en meteorología, la atmósfera (atm), la atmósfera técnica y el kilogramo por centímetro cuadrado

(kg/cm<sup>2</sup>), medida usual de los manómetros de presión. Para cálculos industriales, se admite la equivalencia.

$$1 \text{ Bar} \approx 1 \text{ Atm} \approx 1 \text{ Kg/cm}^2$$

- Caudal

Esta magnitud se define como el volumen de un fluido que fluye a través de una sección de un conductor en la unidad de tiempo.

$$Q = v/t$$

Donde: Q = caudal circulante; V = volumen del fluido circulante; t = tiempo de circulación.

De acuerdo con el SI, esta magnitud debería medirse siempre en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s). Sin embargo, en los cálculos técnicos, suelen emplearse diferentes unidades, dependiendo del tipo de instalación. Las más habituales son litros por minuto (L/min), litros por segundo (L/s), metros cúbicos por minuto (m<sup>3</sup>/min) y metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h).

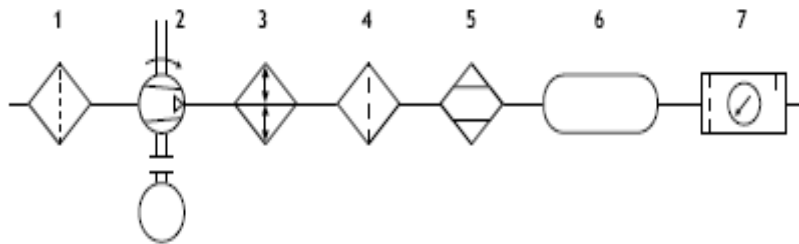
### **1.4.3 TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO**

El aire comprimido, como cualquier fluido que se emplee en un circuito, tiene que estar limpio para evitar daños en los componentes del circuito.

Las impurezas que el aire puede tener y que es necesario eliminar son las siguientes:

- Partículas abrasivas de polvo y óxido.
- Humedad.

Todos los circuitos neumáticos disponen de un sistema para la limpieza y secado del aire. En el compresor y en la entrada del acumulador se colocan filtros y secadores, y en las tomas de presión de las instalaciones fijas de los talleres se colocan unidades de mantenimiento que disponen de filtro, regulador y lubricador como se observa en la figura 1.18.



**Figura 1.18** – Esquema de filtrado de aire

- 1 Aspiración, filtrado.
- 2 Compresión.
- 3 Enfriado.
- 4 Filtrado.
- 5 Secado.
- 6 Acumulador.
- 7 Distribución y preparación.

#### 1.4.3.1 Filtrado de partículas abrasivas

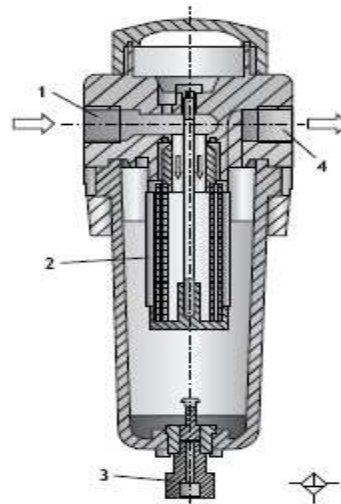
El aire que aspira el compresor se debe limpiar con filtros de partículas, evitando que estas entren en el interior del mecanismo del compresor o al resto de componentes. En la unidad de mantenimiento también se coloca un filtro de partículas y agua (figura 1.19). Este filtro se coloca para recoger partículas de óxido y metálicas que se puedan desprender del acumulador y de las canalizaciones.

El filtro funciona del siguiente modo: El aire comprimido entra en el filtro (1) y atraviesa el elemento filtrante (2), este elemento suele estar compuesto por fibras de vidrio, boro, silicato, etc. El aire circula de dentro hacia afuera. Existen modelos de filtros con menor poder filtrante; en ellos, el aire pasa de fuera hacia



dentro del elemento filtrante, el aire comprimido limpio circula por la salida (4) a los consumidores.

La separación de partículas es posible por la finura extraordinaria del tejido filtrante. Las partículas separadas y el agua se eliminan del recipiente del filtro por el tornillo de purga (3).



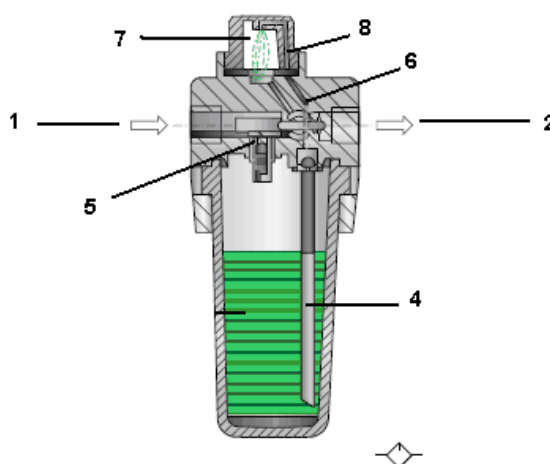
**Figura 1.19** – Filtro de partículas y agua

- 1 Entrada elemento filtrante.
- 2 Elemento filtrante.
- 3 Tornillo de purga.
- 4 Salida.

- Lubricación del aire

Los componentes de los circuitos neumáticos (válvulas, cilindros, motores, etc.) pueden funcionar lubricados con aceite o sin lubricación en seco. La tendencia actual en la mayoría de circuitos es el funcionamiento en seco, muchos fabricantes contemplan ambas posibilidades, pero una vez que se decide el sistema, este no se puede cambiar, pues las piezas se dañarían.

En aquellos circuitos neumáticos en los que es necesaria lubricación, se coloca un elemento denominado lubricador (figura 1.20). El lubricador tiene la misión de añadir aceite en la red y lubricar los elementos neumáticos que emplee el aire.



**Figura 1.20** – Lubricador

El lubricador previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los componentes metálicos contra la corrosión.

El funcionamiento del lubricador es el siguiente:

El aire comprimido circula por el lubricador desde la entrada (1) hasta la salida (2). Por el estrechamiento de sección en la válvula (5), se produce una caída de presión. En el canal (8) y en la cámara de goteo (7) se produce una depresión (efecto Venturi). A través del canal (6) y del tubo elevador (4) se aspiran gotas de aceite por la cámara de goteo (7) y del canal (8) hasta el aire comprimido y la salida (2). Las gotas de aceite se pulverizan por el aire comprimido en la red. La cantidad de aceite pulverizado se puede regular por un tornillo que abre o cierra el conducto (6). El aceite más empleado para lubricar es el SAE 10.

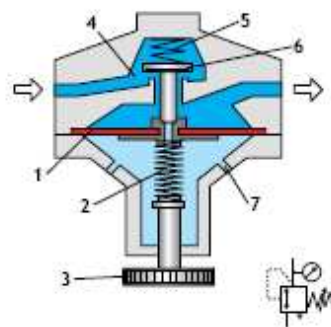
- Regulación de la presión

El regulador de presión se emplea para disponer de una presión de alimentación inferior a la presión del compresor o la red. Se puede tener una presión en la red de 8 bar y necesitar una presión inferior (6 bar) para alimentar cualquier máquina o componente. El regulador de presión (figura 1.21) dispone de un accionamiento manual (3) que, girándolo, se junta la salida de presión.

La presión de entrada siempre ha de ser mayor que la presión de salida o regulada. La presión es regulada por la membrana (1), que es sometida por un lado, a la presión de trabajo y, por el otro, a la fuerza de un resorte (2), ajustable por medio de un tornillo de regulación (3).

A medida que la presión de trabajo aumenta, la membrana actúa contra la fuerza del muelle. La sección de paso en el asiento de válvula (4) disminuye hasta que la válvula cierra el paso por completo, en otros términos, la presión es regulada por el caudal que circula.

La regulación de la presión de salida ajustada consiste pues, en la apertura y cierre constantes de la válvula. Con el objeto de evitar oscilaciones, encima del platillo de válvula (6) hay dispuesto un amortiguador neumático o de muelle (5). La presión de trabajo se visualiza en un manómetro, cuando la presión de salida aumenta demasiado, la membrana es empujada contra el muelle. Entonces se abre el orificio de escape en la parte central de la membrana y el aire puede salir a la atmósfera por los orificios de escape existentes en la caja.



**Figura 1.21** – Regulador de presión

- 1 Membrana.
- 2 Resorte.
- 3 Accionamiento Manual.
- 4 Asiento de la Válvula.
- 5 Muelle.
- 6 Platillo de Válvula.
- 7 Orificio de escape.

## 2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO

### 2.1 CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

Para la construcción del módulo se analiza, las dimensiones de la estructura donde se ensamblará el sistema, el lugar donde se ubicará el tablero de control, el espacio designado para los cilindros y electroválvulas, así mismo el área que será destinada para la alimentadora de los productos manufacturados, y la estantería donde serán ubicados en forma ordenada los productos.

La estructura se compone de dos tipos de materiales, uno de ellos se orienta en el uso de perfiles de aluminio, los cuales permiten tener guías en las que se podrá montar y desmontar las partes del sistema con el fin de poder regular todos los elementos de acuerdo a las necesidades y alcances que conforman el proceso. El segundo material utilizado en la estructura, corresponde a los ángulos de hierro (acero de construcción) de media pulgada, a los que se aplican métodos de soldadura para la elaboración de la estructura, así también la construcción de la estantería, en la elaboración de elementos de sujeción para los pistones, electroválvulas, y el transportador que consta de motores a pasos montados entre sí, para formar un sistema de transporte fácil de manipular como podemos observar en la figura 2.1.



**Figura 2.1** – Fotografía de la estructura del Módulo Implementado

## **2.2 DISEÑO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO**

Algunos de los parámetros que conformarán el proyecto están sujetos a cálculos y datos obtenidos mediante el uso de tablas que nos permitirán seleccionar correctamente los elementos.

Una vez definido el material y la forma de los elementos que vamos a transportar, que en nuestro caso son de madera cuyas dimensiones son:

- Diámetro, 6 cm
- Espesor, 2 cm
- Peso 0.18 kg

Con base en éstos parámetros procedemos al dimensionamiento de los actuadores que van a desplazar el material.

### **2.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CILINDROS**

Hay aspectos importantes a tener en cuenta para el cálculo de un cilindro, pero lo más recomendable es acudir siempre a los datos aportados por el fabricante dónde se muestran tablas para los esfuerzos desarrollados, máximas longitudes de flexión y pandeo.

#### **2.2.1.1 Longitud de carrera del Pistón**

La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debe exceder de 2000 mm, pues con émbolos de gran tamaño y carrera larga, el sistema neumático no resulta económico por el elevado consumo de aire y precio del actuador.

Cuando la carrera es muy larga, el esfuerzo mecánico del vástago y de los cojinetes de guía son demasiado grandes.

Luego de analizar la posición y la distancia hemos definido la utilización de dos cilindros en nuestro sistema con las siguientes características:

Cilindro 1 Alimentador: longitud de 80mm      diámetro<sub>ext.</sub> 16mm    d<sub>vástago</sub> =6mm

Cilindro 2 Ordenador: longitud de 100mm      diámetro<sub>ext.</sub> 16mm    d<sub>vástago</sub> =6mm

### 2.2.1.2 Fuerza del cilindro

La fuerza desarrollada por un cilindro de doble efecto al avanzar el vástago depende de la presión del aire, de la sección del émbolo y del rozamiento o pérdidas por rozamiento en las juntas dinámicas. En el retroceso será preciso considerar también el diámetro del vástago.

Generalmente, la fuerza de un cilindro se calcula para una presión de aire de unos 6 bar, que es la que normalmente garantiza la red de distribución; eso no significa que puedan ser consideradas otras presiones por encima o por debajo de la mencionada. En todos los casos y dada la facilidad con que se regula la presión, es conveniente sobredimensionar algo el cilindro por si accidentalmente, en un momento determinado, la red proporciona una presión inferior a la estimada en un principio<sup>3</sup>.

En cuanto al rendimiento de los cilindros, depende del diseño del mismo y, por tanto del fabricante. Si no se dispone de datos más precisos, y a modo de orientación basta considerar:

Para cilindros de hasta un      D= 40mm    R=0,85

Para cilindros superiores a      D= 40mm    R=0,95

---

<sup>3</sup> Neumática (A . Serrano Nicolás) Pág. 91

En los cilindros de doble efecto la fuerza efectiva de avanzar será:

$$Fa = \frac{\pi}{4} D^2 * p * R \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- Fa    Fuerza del cilindro bar  
 D    Diámetro del cilindro en cm  
 P    Presión del aire en bar Kp. / cm<sup>2</sup>  
 R    Rendimiento del cilindro

$$Fa = \frac{\pi}{4} 1.6^2 * 2.75 * 0.85$$

$$Fa = 4.7 \text{ bar}$$

La fuerza de retroceso será:

$$Fr = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) * p * R \quad (\text{Ecuación 2})$$

d = Diámetro del vástago

$$Fr = \frac{\pi}{4} (1.6^2 - 0.6^2) * 2.75 * 0.85$$

$$Fr = 4.04 \text{ bar}$$

### 2.2.1.3 Consumo de aire en los cilindros

El consumo de aire en cilindros o en otros actuadores es de vital importancia para evaluar las dimensiones del compresor y del depósito o simplemente para conocer el gasto energético de los elementos neumáticos.

El consumo de aire de un cilindro depende de varios factores:

- Sección del cilindro.

- Carrera del mismo.
- Frecuencia del ciclo.
- Presión de trabajo.

Pero no solamente el cilindro consume aire, sino que el resto de componentes, incluidas las tuberías contribuyen también a aumentar el consumo.

En los cilindros de doble efecto, será preciso considerar el ciclo completo, es decir, avance y retroceso del émbolo, que es cuando se alimenta de aire a la presión de trabajo. En cilindros de doble efecto, el volumen de aire necesario por ciclo completo de ida y vuelta a la presión de trabajo es<sup>4</sup>:

$$V = \frac{\pi}{4}(2D^2 - d^2) * C \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Siendo:

V = Volumen de aire en cm<sup>3</sup>

d = Diámetro del vástago en cm

C = Carrera del vástago en cm

Para cilindro 1:

$$V1 = \frac{\pi}{4}(2 * 1.6^2 - 0.6^2) * 8$$

$$V1 = 30 \text{ cm}^3$$

Para cilindro 2:

$$V2 = \frac{\pi}{4}(2 * 1.6^2 - 0.6^2) * 10$$

$$V2 = 37.4 \text{ cm}^3$$

---

<sup>4</sup> Neumática (A Serrano Nicolás) Pág. 92.



En el caso de consumo de aire o cantidad de aire, que circula por una tubería suele emplearse el término caudal, que es la cantidad de aire que circula por una tubería en un determinado tiempo, normalmente se expresa en litros por minuto. Si se considera que el cilindro de doble efecto realiza un número de ciclos por minuto se tendrá que el caudal es:

$$Q = \frac{\pi * C * p * n}{4000} (2D^2 - d^2) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Siendo:

Q = Caudal en l/min a la presión atmosférica

N = Número de ciclos por minuto

Para cilindro 1:

$$Q_1 = \frac{\pi * 8 * 2.75 * 3}{4000} (2 * 1.6^2 - 0.6^2)$$

$$Q_1 = 0.24 \text{ litros/min}$$

Para cilindro 2:

$$Q_2 = \frac{\pi * 10 * 2.75 * 3}{4000} (2 * 1.6^2 - 0.6^2)$$

$$Q_2 = 0.31 \text{ litros/min}$$

Las expresiones anteriores indican solamente el caudal consumido por los cilindros. No se tiene en cuenta los consumos de tuberías y resto de elementos neumáticos que, al estar en contacto con la atmósfera en determinadas fases del ciclo, también se pierden. De una forma orientativa, se estima que estos

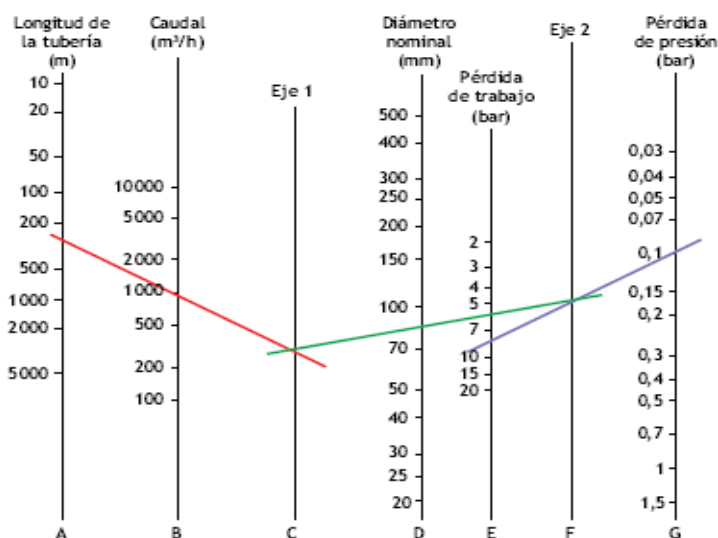
consumos adicionales pueden estar comprendidos entre el 20 y 30% del consumo de los cilindros. Por tanto, a los valores anteriores es preciso sumar este porcentaje.

### 2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA

La mejor forma de calcular las tuberías es utilizando ábacos que elaboran los propios fabricantes de compresores y que permiten determinar el diámetro o sección necesaria para ello.

Primero se determinara la longitud de la tubería, el consumo de aire en todo el sistema, la presión de trabajo y las caídas supuestas de presión en la red. Luego se calculará el equivalente de pérdidas de carga que ocasionan los diversos racores, y que se transforman en metros de longitud de tubería recta. Esta longitud se suma a la anterior y se realiza el cálculo sobre el ábaco.

En la figura 2.2, se aprecia este ábaco para el cálculo de la tubería. En la escala **A** se muestra el valor de la longitud, **B** el caudal de Aire que puede ser consumido, **C** es usado como referencia de las combinaciones anteriores, **D** se toma los diámetros de la tubería, a la presión de utilización del aire, **G** las caídas de presión o pérdidas de carga en la red, y **F** que sirve al igual que **C** para ensamblar valores entre las distintas escalas.



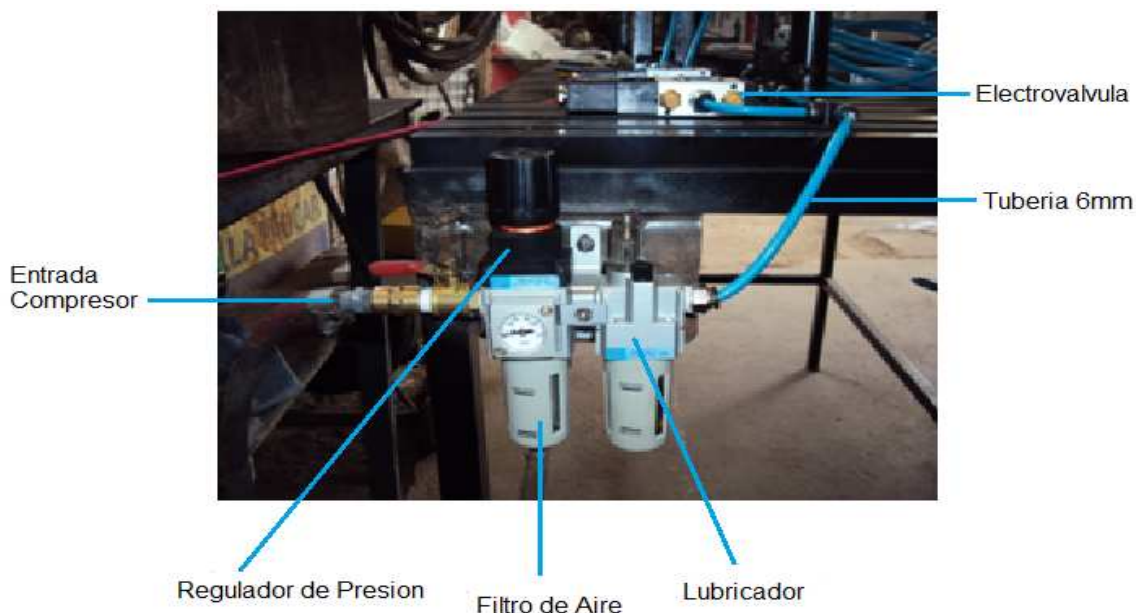
**Figura 2.2** – Ábaco para el cálculo de las tuberías

En este caso el sistema es demasiado pequeño, cuya longitud total de tubería es de 6m, al utilizar esta longitud y caudal del sistema, en el ábaco no se produce un corte en la recta C por lo cual no es posible realizar el cálculo exacto del diámetro de la tubería, por lo que se eligió para el sistema el diámetro de tubería pequeño existente en el mercado que es de 6 mm.

### 2.2.3 UNIDAD DE MANTENIMIENTO

La unidad de mantenimiento proporciona información útil sobre la calidad del aire que distribuye al sistema.

Los componentes que se emplean para tratar el aire comprimido son: el filtro, el regulador de presión y el lubricador. Los tres componentes se pueden montar individualmente o agrupados y ordenados formando un conjunto de tratamiento de aire denominado unidad de mantenimiento como puede observarse en la figura 2.3.



**Figura 2.3** – Unidad de Mantenimiento del Sistema

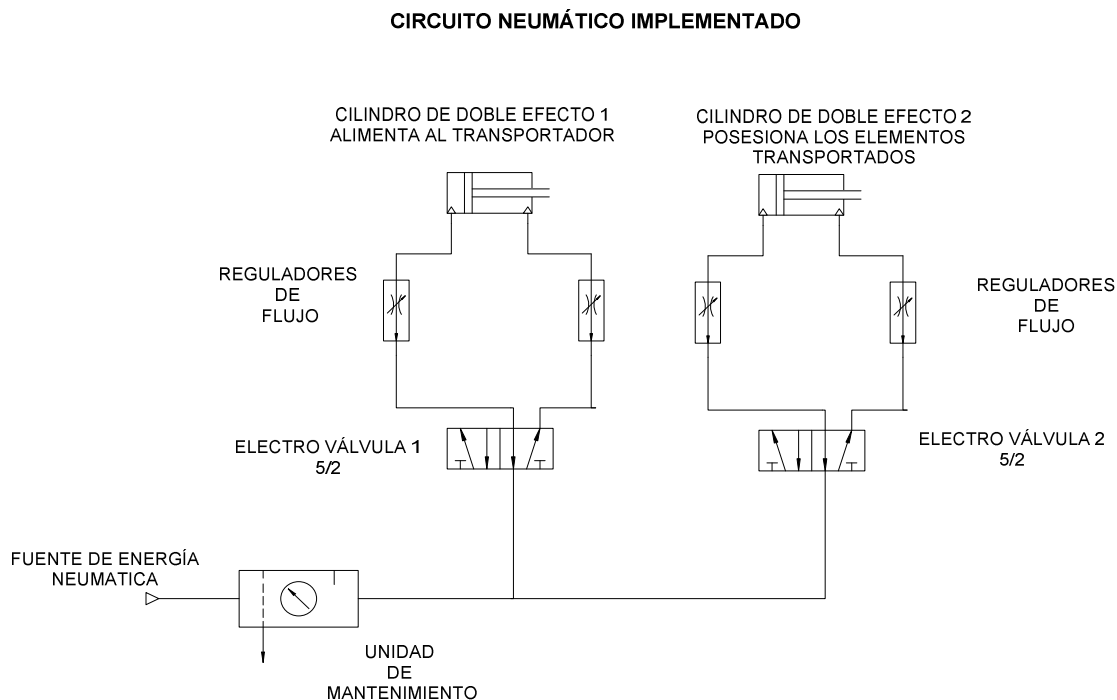
Para el sistema neumático se utilizó la unidad de mantenimiento con las siguientes características:

|                           |                                    |       |
|---------------------------|------------------------------------|-------|
| Modelo                    | AC20C                              |       |
| COMPONENTES               | FILTRO DE AIRE                     | AF20  |
|                           | LUBRICADOR                         | AFM20 |
|                           | REGULADOR                          | AR20  |
| PORT SIZES                | 1/8" @ 1/4"                        |       |
| PRESION POR SIZES         | 1/8"                               |       |
| FLUIDO                    | AIRE                               |       |
| PRESION MÁXIMA            | 1.5 MPa(15.3 kgf/cm <sup>2</sup> ) |       |
| MAXIMA PRESION DE TRABAJO | 1 MPa(10 kgf/cm <sup>2</sup> )     |       |

**Tabla 1:**Características de la Unidad de Mantenimiento

## 2.2.4 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA NEUMÁTICO

Los mecanismos y elementos que se emplean se muestran en la figura 2.4. Este es un proceso en el cual se establece de forma gráfica, la secuencia y la etapa que componen todo el ciclo de trabajo neumático. El sistema inicia con el cilindro 1, colocando el objeto del dispensador en el transportador; para luego ser ubicado en la estantería en forma ordenada con ayuda del cilindro 2.



**Figura 2.4 –** Circuito Neumático

- Secuencia de los movimientos

En la tabla 2 se muestra el ciclo de trabajo que tiene el sistema, el actuador 1 inicia su trabajo en la etapa 1, el signo positivo indica que el pistón está avanzando hasta depositar el elemento en el transportador. En la etapa 2 el cilindro comienza el retroceso, es decir, vuelve a la posición inicial.

En la etapa tres se toma un tiempo muerto para los dos actuadores, es decir, se mantienen en reposo un cierto tiempo mientras se produce el recorrido hasta el lugar elegido en la estantería.

El actuador 2 inicia su secuencia en la etapa cuatro para depositar el producto en la estantería representándose con el signo positivo, luego de depositar el elemento retorna a su posición, etapa 5.

| ETAPA | ACTUADOR |   |
|-------|----------|---|
|       | 1        | 2 |
| 1     | +        |   |
| 2     | -        |   |
| 3     | -        | - |
| 4     |          | + |
| 5     |          | - |

**Tabla 2:** Ciclo de trabajo de los cilindros

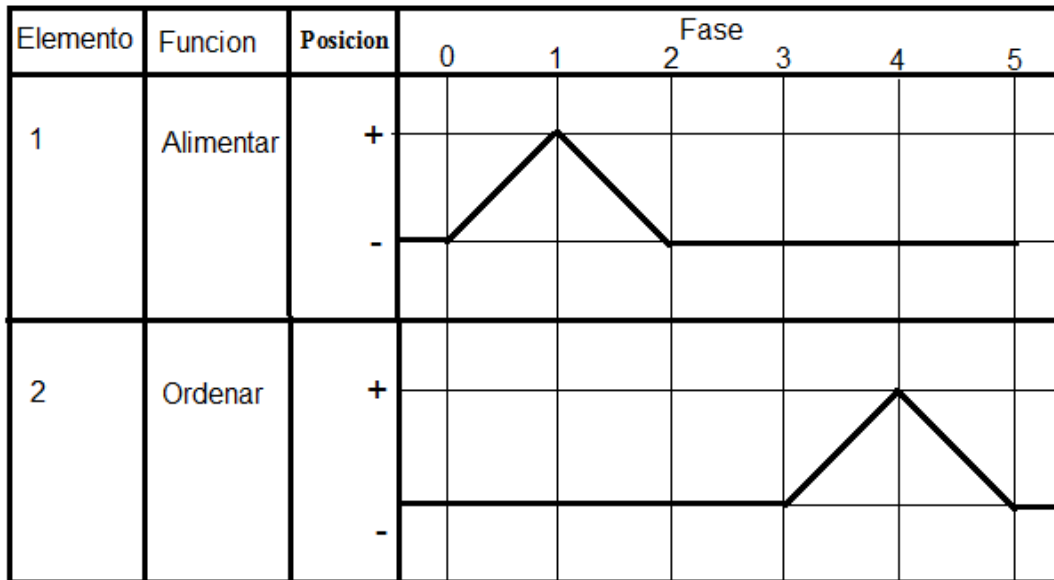
- Diagrama de movimiento

Los movimientos que realizan cada uno de los actuadores pueden reflejarse con más detalle en diagramas donde se muestran cada una de las partes de trabajo para los circuitos secuenciales y diagramas en función del tiempo para ciclos programados<sup>5</sup>.

Estas y otras particularidades del esquema, deben quedar claras en un gráfico para analizar los movimientos, las posiciones de cada cilindro en un determinado

<sup>5</sup> Neumática (A Serrano Nicolás) Pág.56 -57

momento y los tiempos empleados en los distintos recorridos como se puede apreciar en la figura 2.5.



**Figura 2.5** – Diagrama de espacio - fase

## 2.3 DISEÑO ELÉCTRICO

Este punto, básicamente se enfoca en el diseño del circuito de control, el mismo que controlará los motores a pasos, las electroválvulas, periféricos como: LCD, teclado matricial y pulsadores.

### 2.3.1 CIRCUITO DE CONTROL

En el mercado existen diversas marcas y modelos de microcontroladores, así como también de PLC's, que podrían ser utilizados para el control de este proyecto. Sin embargo, debido a condiciones como el costo, conocimiento, documentación, disponibilidad en el mercado, herramientas para la programación, etc. Se optó por trabajar con el microcontrolador PIC 16f877 de microchip, cuya ventaja en comparación a los demás microprocesadores, es que proporciona más capacidad de memoria y mayor número de pines.

Este modelo posee varias características (Tabla 3), que lo hacen un dispositivo muy eficiente, versátil, y práctico que permite realizar el manejo de los elementos eléctricos y neumáticos de este sistema.

|                    | <b>Descripción</b>   | <b>Características</b>  |
|--------------------|--|---|
| <b>Procesador</b>  | Núcleo<br>Interrupciones<br>Reloj<br>Reset<br><br>Instrucciones  | Risc, Arq. Harvard, 20Mhz<br>14 fuentes de interrupción<br>Hasta 20 MHz<br>Master Clear, Brown Out, Watchdog, Power On.<br>35 instrucciones de 14 bits.   |
| <b>Memoria</b>     | M. de programa Flash<br>M. de datos RAM<br>M. de datos EEPROM<br>Pila  | 8Kbytes palabras de 14 bits<br>368 registros de 8 bits<br>256 registros de 8 bits<br>8 palabras de 13 bits  |
| <b>Periféricos</b> | Puertos E/S<br><br>Timers/ counters<br>Puertos captura/programación de datos<br>Convertor Analógico/Digital de 10 bits.<br>Puerto serie síncrono<br>USART<br>Pines | Hasta 33 bits, pueden ser usados por otros periféricos<br>Dos de 8 bits, otro de 16 bits<br>Dos de 8 bits<br><br>Con un MPX de 8 canales para 8 entradas diferentes<br>configurable en modo SPI y IIC para conexiones RS232<br>40 |

**Tabla 3:** Características Generales del PIC 16F877A

En la tabla 4, se detallan los recursos que serán aplicados al microcontrolador, y que permiten saber cuántos pines serán necesarios en la implementación del sistema.

| <b>RECURSOS</b> | <b>ENTRADAS</b> | <b>SALIDAS</b> | <b># PINES</b> |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| LCD             |                 | X              | 8              |
| TECLADO         | X               |                | 5              |

|                 |   |              |           |
|-----------------|---|--------------|-----------|
| PULSADORES      | X |              | 5         |
| MOTOR A PASOS   |   | X            | 8         |
| ELECTROVALVULAS |   | X            | 2         |
|                 |   | <b>TOTAL</b> | <b>28</b> |

**Tabla 4:** Distribución de recursos a implementarse

Este dispositivo cuenta con 5 Puertos de E/S, para efectos de este proyecto, fueron asignados los siguientes pines de cada puerto para el control de los recursos especificados en la tabla 5:

| NUMERO PIN | PUERTO | ASIGNACIÓN                               |
|------------|--------|--|
| 1          | MCLR   | Reset del Microcontrolador               |
| 2          | RA0    | D4 salida a LCD                          |
| 3          | RA1    | D5 salida a LCD                          |
| 4          | RA2    | D6 salida a LCD                          |
| 5          | RA3    | D7 salida a LCD                          |
| 6          | RA4    |  |
| 7          | RA5    |  |
| 8          | RE0    | Electroválvula accionamiento cilindro 1  |
| 9          | RE1    | Electroválvula accionamiento cilindro 2  |
| 10         | RE2    |  |
| 11         | VDD    | Polarización del microcontrolador tierra |
| 12         | VSS    | Polarización (+) fuente 5v               |
| 13         | OSC 1  | Oscilador externo                        |
| 14         | OSC 2  | Oscilador externo                        |
| 15         | RC0    | E habilitan modulo LCD                   |
| 16         | RC1    | RS selección de registro C/D LCD.        |
| 17         | RC2    |  |
| 18         | RC3    |  |
| 19         | RD0    | X1 salida a Transistor 1 motor 1         |
| 20         | RD1    | X2 salida a Transistor 2 motor 1         |
| 21         | RD2    | X3 salida a Transistor 3 motor 1         |
| 22         | RD3    | X4 salida a Transistor 4 motor 1         |
| 23         | RC4    | A Entrada integrado control del teclado  |
| 24         | RC5    | B Entrada integrado control del teclado  |
| 25         | RC6    | C Entrada integrado control del teclado  |



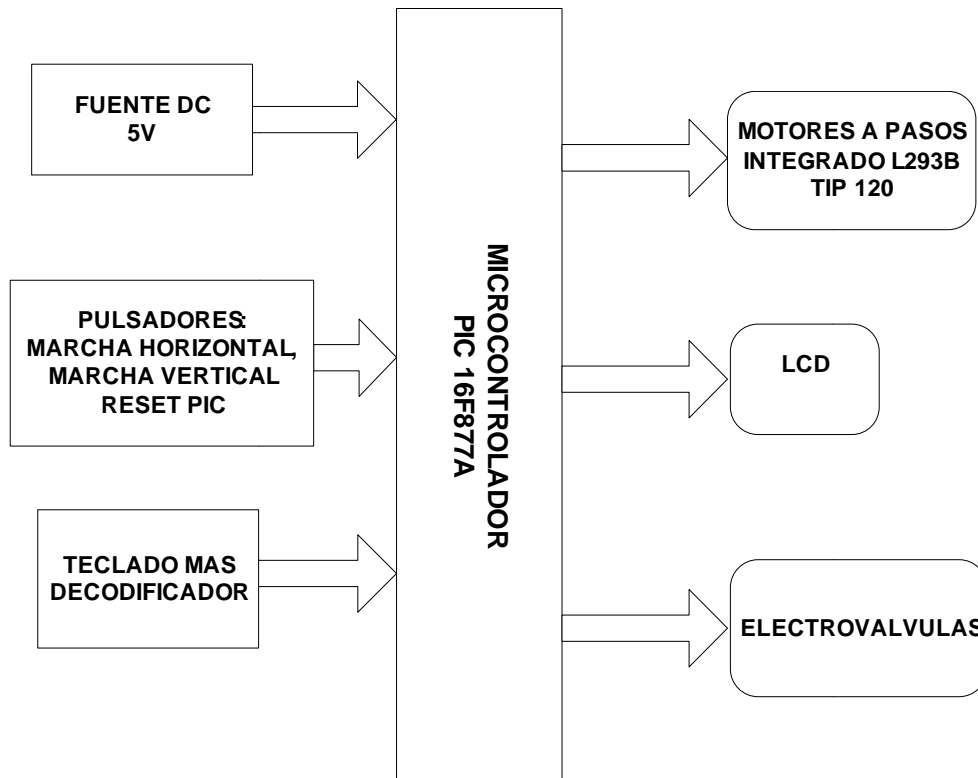
|    |     |   |
|----|-----|---|
| 26 | RC7 | D Entrada integrado control del teclado |
| 27 | RD4 | Y1 salida CI L293b IN1 control motor 2  |
| 28 | RD5 | Y2 salida CI L293b IN2 control motor 2  |
| 29 | RD6 | Y3 salida CI L293b IN3 control motor 2  |
| 30 | RD7 | Y4 salida CI L293b IN4 control motor 2  |
| 31 | VSS | Polarización del microcontrolador.      |
| 32 | VDD | Polarización del microcontrolador       |
| 33 | RB0 | DA. del integrado para teclado          |
| 34 | RB1 |   |
| 35 | RB2 |   |
| 36 | RB3 | Interruptor movimiento horizontal       |
| 37 | RB4 | Interruptor movimiento vertical         |
| 38 | RB5 | Reset                                   |
| 39 | RB6 | Entrada Fin de carrera 1                |
| 40 | RB7 | Entrada Fin de carrera 2                |

**Tabla 5:** Asignación elementos a los pines del PIC

### 2.3.1.1 Diagrama de bloques

El circuito de control es la parte inteligente del sistema, está encargado de generar los pulsos que controlan los motores, así como también a las electroválvulas con sus respectivos cilindros neumáticos, comunicarse con el exterior permitiendo interactuar al operador con el sistema.

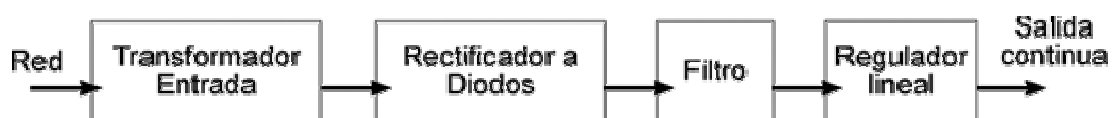
El elemento principal es el microcontrolador PIC 16F877A, mismo que interactúa con varios periféricos figura 2.6.



**Figura 2.6** – Diagrama General del Sistema

### 2.3.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 5V

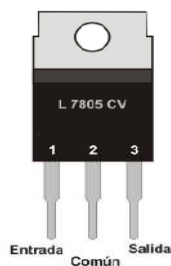
La función de la fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible, para ello se usan los siguientes componentes, detallados en la figura 2.7: transformador de entrada 120:12 V, 500mA; rectificador a diodos 1 A; filtro para el rizado; regulador lineal 7805 para 5 V y 1 A. Esta fuente proporciona un voltaje de alimentación 5 V para el microcontrolador.



**Figura 2.7** – Diagrama de bloques de la Fuente

El regulador o estabilizador es un circuito que se encarga de reducir el rizado y de proporcionar una tensión de salida exacta en este caso 5 voltios.

Una de las presentaciones típicas de los reguladores es la llamada TO-220, como se muestra en la figura 2.8, donde la distribución de los terminales viéndose de frente el circuito y contando los terminales de izquierda a derecha se los identifica como:



**Figura 2.8** – Regulador L7805

Calculo del valor del Condensador<sup>6</sup>:

1.- Con la corriente que suministra el transformador, esta corriente tendrá que ser superior a la corriente que consume el circuito que se va a alimentar.

$$I_t = 500 \text{ mA}$$

2.- Se calcula el  $V_{\text{max}}$  de salida del puente rectificador teniendo en cuenta la caída de tensión en los diodos (conducen dos a dos).

$$V_{\text{max}} = 12 * 1,4142 - 1,4 = 15,57 \text{ V}$$

Ésta será aproximadamente la tensión de salida de la fuente 16 voltios.

3.- Se calcula el valor del condensador  $I = 500 \text{ mA}$  la  $f$  es  $60 \text{ Hz}$  y el  $V_{\text{max}}$  es  $15,57 \text{ V}$ :

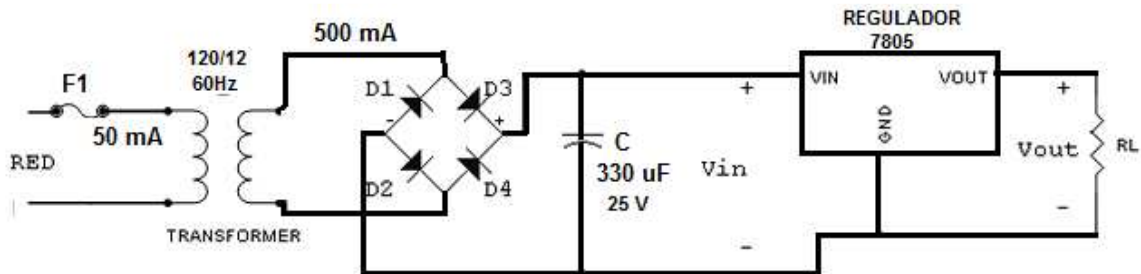
$$C = I_L / 2 * f * V_{\text{max}}$$

$$C = 500 / (2 * 60 * 15,57) = 267,6 \text{ uF}$$

<sup>6</sup> <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Fuentes-alimentacion.php>

Se tomará el valor más aproximado por encima.

$C = 330 \mu\text{F} @ 25 \text{ V}$ .



**Figura 2.9** – Fuente regulada de 5 voltios

Para el fusible se toma la relación de transformación de 10, puesto que el voltaje se reduce de 120 a 12, por lo tanto la corriente máxima que toma el circuito será:

$$120 / 12 = 10$$

$$I_1 = I_2 / 10$$

$$I_1 = 500 / 10 = 50 \text{ mA.}$$

Por lo tanto, se usa un fusible que soporte una corriente de 50 mA. máximo.

### 2.3.3 CONTROL DE LOS MOTORES DE PASOS

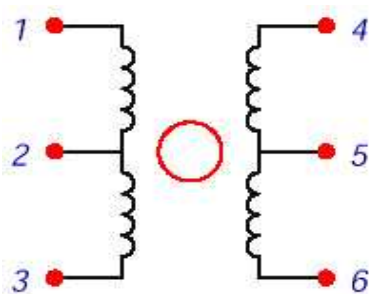
Para el movimiento vertical y horizontal disponemos de dos motores de pasos unipolares (figura 2.10) cuyas características son:

- Motor 1 movimiento horizontal 24V 0.8 A.
- Motor 2 movimiento vertical 6V- 3A.



**Figura 2.10** – Motor a pasos

Estos motores a paso unipolares están compuestos por cuatro bobinas y seis cables de salida como se muestra en la figura 2.11.



**Figura 2.11** – Bobinado interno de motor unipolar

La característica principal de estos motores, es poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique, estos motores poseen la facilidad de quedarse enclavados en una posición.

### 2.3.3.1 Identificación de los bobinados

Cuando se trabaja con motores paso a paso, y no se cuenta con sus hojas de datos, se puede identificar la distribución de los cables a los bobinados, teniendo presente las instrucciones que se detallan a continuación:

El primer objetivo es determinar los 2 grupos, cada uno de 3 cables que corresponden a las dos bobinas y un punto en común, para esto se usará un óhmetro que medirá la resistencia entre pares de cables; se selecciona cualquier

cable y se usa de referencia, se comienza a medir la resistencia con cada uno de los demás cables mediante el óhmetro.

Conformarán el primer grupo, los cables en los que se presente algún valor de resistencia y los restantes cables conformarán el segundo grupo. Luego, usando un óhmetro para ver la resistencia entre pares de cables de un mismo grupo, el cable común será el único que tenga la mitad del valor de la resistencia entre ella y el resto de los cables del grupo.

Luego se encuentra la secuencia de giro del motor, para lo cual se une los dos cables comunes y se aplica un voltaje (generalmente 5 volts, pero puede ser más o menos) y se sigue el siguiente proceso:

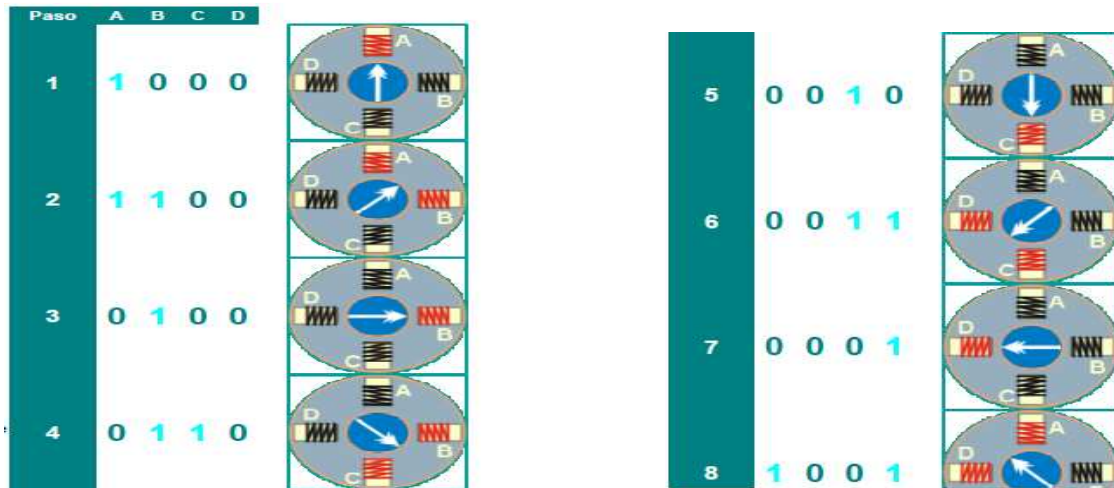
Seleccionar un cable de forma aleatoria y conectarlo a tierra. Este será llamado cable **A**. Seguidamente, se probará cuál de los tres cables restantes provoca un paso en el mismo sentido que **A**, al ser conectado también a tierra. Este será el cable **B**.

Luego, se probará cuál de los dos cables restantes provoca un paso en el mismo sentido que **A** y **B** al ser conectado a tierra. Este será el cable **C**.

El último cable debería ser el cable **D**, para comprobarlo basta con conectarlo a tierra, lo que genera movimiento en el mismo sentido que los demás.

#### **2.3.3.2 Secuencia de disparo**

Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante figura 2.12. Con esta secuencia, el motor avanza medio paso por vez, es decir pasos más pequeños y precisos, así pues se tiene el doble de pasos de movimiento para el recorrido total de 360° del motor; y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.



**Figura 2.12** – Secuencia de disparo a las bobinas

En el programa simplemente se introduce las combinaciones binarias como números y así poder manejar los motores del transportador, estas combinaciones se detallan en la tabla 6.

| Motor 1 |   |   |   |   |                      |
|---------|---|---|---|---|----------------------|
| PASO    | A | B | C | D | Equivalente Decimal  |
| 1       | 1 | 0 | 0 | 1 | 9                    |
| 2       | 0 | 0 | 0 | 1 | 1                    |
| 3       | 0 | 0 | 1 | 1 | 3                    |
| 4       | 0 | 0 | 1 | 0 | 2                    |
| 5       | 0 | 1 | 1 | 0 | 6                    |
| 6       | 0 | 1 | 0 | 0 | 4                    |
| 7       | 1 | 1 | 0 | 0 | 12                   |
| 8       | 1 | 0 | 0 | 0 | 8                    |
| Motor 2 |   |   |   |   |                      |
| PASO    | A | B | C | D | Equivalencia Decimal |
| 1       | 1 | 0 | 0 | 1 | 9                    |
| 2       | 0 | 0 | 0 | 1 | 1                    |
| 3       | 0 | 0 | 1 | 1 | 3                    |
| 4       | 0 | 0 | 1 | 0 | 2                    |
| 5       | 0 | 1 | 1 | 0 | 6                    |
| 6       | 0 | 1 | 0 | 0 | 4                    |
| 7       | 1 | 1 | 0 | 0 | 12                   |
| 8       | 1 | 0 | 0 | 0 | 8                    |

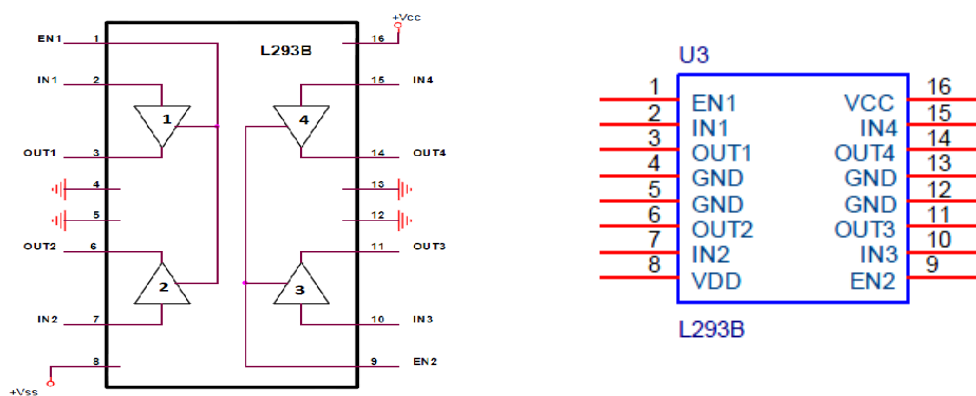
**Tabla 6:** Estados lógicos para el giro del motor

### 2.3.4 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

En este apartado, se mencionará la utilidad, funcionamiento, conexión y principales características de cada uno de los elementos electrónicos utilizados en la implementación del circuito de control del sistema.

#### 2.3.4.1 Driver L293B

Este dispositivo electrónico (figura 2.13), permite controlar el motor 1 de 24V y corriente nominal de 0.8 A; el driver L293B de 4 canales, capaz de proporcionar en cada una de sus salidas hasta 1A y dispone de entrada de alimentación de 5v separada para los drivers.



**Figura 2.13** – Distribución de pines del integrado L293B

Con un L293B se puede tener control bidireccional, es decir, en los dos sentidos. A continuación en la siguiente tabla se describe los pines del integrado:

| Pin No. | Nombre | Descripción                       |
|---------|--------|-----------------------------------|
| 1       | EN1    | Habilitación de los canales 1 y 2 |
| 2       | IN1    | Entrada del canal 1               |
| 3       | OUT    | Salida del canal 1                |
| 4       | GND    | Tierra de alimentación            |
| 5       | GND    | Tierra de alimentación            |
| 6       | OUT2   | Salida del canal 2                |
| 7       | IN2    | Entrada del canal 2               |



|    |      |                                   |
|----|------|-----------------------------------|
| 8  | VDD  | Alimentación de las cargas        |
| 9  | EN2  | Habilitación de los canales 3 y 4 |
| 10 | IN3  | Entrada del canal 3               |
| 11 | OUT3 | Salida del canal 3                |
| 12 | GND  | Tierra de alimentación            |
| 13 | GND  | Tierra de alimentación            |
| 14 | OUT4 | Salida del canal 4                |
| 15 | IN4  | Entrada del canal 4               |
| 16 | VCC  | Alimentación de +5VDC             |

**Tabla 7:** Descripción de pines del integrado L293B

*Funcionamiento:* Cada canal o driver es controlado por medio de una señal de control compatible TTL (no superior a 7V) y los canales se habilitan de dos en dos por medio de las señales de control EN1 (canal 1 y 2) y EN2 (canal 3 y 4), en la siguiente tabla se observa el funcionamiento de las entradas y como responden las salidas:

| ENn | INn | OUTn |
|-----|-----|------|
| H   | H   | H    |
| H   | L   | L    |
| L   | H   | Z    |
| L   | L   | Z    |

H = Nivel Alto "1"

L = Nivel Bajo "0"

Z = Alta Impedancia

**Tabla 8:** Funcionamiento de los pines del integrado

Así pues, se nota que, poniendo en nivel alto la entrada de habilitación "EN" del driver, la salida de este "OUT" pasa de alta impedancia al mismo nivel que se encuentre la entrada del driver "IN" pero amplificado en tensión y en corriente, siendo ésta de 1A máximo.

La tensión de alimentación del circuito integrado no es la misma que se aplica a las cargas conectadas a las salidas de los drivers, y para estas salidas se debe alimentar el driver por su compuerta número 8 (Vs), la tensión máxima aplicable a estas compuertas es de 36V.

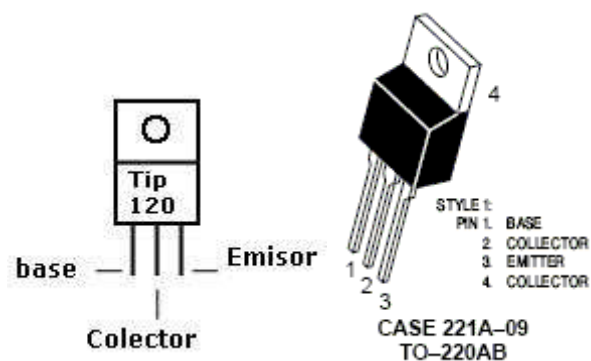
### 2.3.4.2 Transistores TIP 120

Para el control del motor 2, cuya corriente es de 3 Amperios y voltaje de 6 V se usó un sistema de potencia constituido por transistores TIP 120.

Los transistores pertenecen a la familia de los semiconductores, son componentes que pueden funcionar como amplificadores o interruptores, si se los utiliza como interruptores pueden manejar corrientes altas, controlados por corrientes bajas (al igual que los relés). Los transistores son dispositivos de tres terminales, los cuales se llaman emisor, base y colector. Al poner una corriente pequeña en la base, una corriente alta puede pasar del colector al emisor. Entre los transistores podemos describir el siguiente (figura 2.14):

En transistores tipo NPN:

- La base controla el transistor.
- El emisor es la conexión a tierra.
- El colector conectará la parte de la carga a tierra.



**Figura 2.14** – Descripción de pines del transistor TIP 120

Características principales:

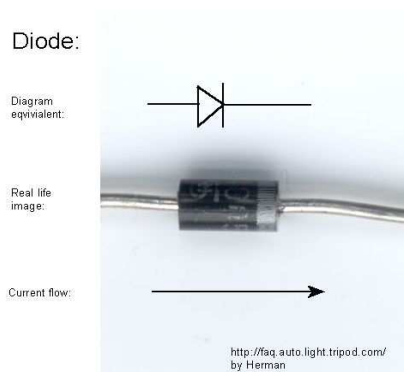
Voltaje de saturación  $V_{CE} = 2V @ I_C = 3Amp$ .

|             |      |            |        |
|-------------|------|------------|--------|
| $V_{CEmin}$ | 60 V | $I_{Cmax}$ | 8 A    |
| $V_{CB}$    | 60 V | $I_B$      | 120 mA |
| $V_{EB}$    | 5 V  | $P_D$      | 65 W   |
| $I_C$       | 5 A  |            |        |

### 2.3.4.3 Diodos

Cuando se quiere conmutar cargas inductivas, se debe usar un diodo en el circuito para evitar que se dañe el transistor. La carga inductiva puede generar una fuerza electromotriz inversa que podría dañar fácilmente al transistor, para evitar esto se conecta al diodo en modo de polarización inversa el cual absorbe esta fuerza electromotriz sin dañar el transistor.

En este proceso se usan diodos IN4007 (figura 2.15) la carga es un motor y necesita el diodo de protección:



**Figura 2.15** – Diodo esquemático y componente real

### 2.3.4.4 Relés

Son interruptores mecánicos controlados por una pequeña corriente eléctrica, los relés pueden ser energizados con una corriente muy pequeña, por lo que pueden ser disparados directamente por el microcontrolador (asegurándose que no se sobrepasen los 20 miliamperios y conectado el diodo de protección). El relé conectará una fuente de alimentación separada al circuito del microcontrolador

entregando la corriente necesaria para el funcionamiento del dispositivo, figura 2.16.

Estos dispositivos de control nos permiten manejar las electroválvulas, estos relés manejan 10 A y 28 V.

Para accionar los relés se utilizó dos transistores tipo 2N3904 conectados a la salidas RC2 y RC3 del PIC cuyas características garantizan la correcta conmutación del transistor.

Características:

|               |         |
|---------------|---------|
| $P_D$ máxima  | 625 mW  |
| $V_{BE\ ON}$  | 0.7 V   |
| $V_{CE\ max}$ | 40 V    |
| $V_{CE\ sat}$ | 0.3 V   |
| $I_C\ max$    | 200 mA  |
| $I_B\ min$    | 0.05 mA |
| B             | 100     |

Para gobernar el relé desde el microcontrolador PIC cuyo voltaje es de 5.5 V y maneja una corriente de 25 mA a su salida, y la bobina del relé necesita para ser activada una corriente de 100mA a 6 V, calculamos el valor de la resistencia en la base del transistor<sup>7</sup>.

Como se necesita una corriente  $I_C=200$  mA y el transistor tiene un  $\beta$  mínimo de 100, la intensidad que ha de llegar a la base tiene que ser de 100 veces menor que  $I_C$  por lo tanto:

$$I_B = I_C / \beta$$

$$I_B = 200 / 100 = 2 \text{ mA.}$$

---

<sup>7</sup><http://www.tecnologiaseso.es/pdf/electronicapdf/transistores.pdf>

Puesto que, la tensión en la resistencia es la tensión que suministra el PIC (5.5 V) menos la tensión que hay entre la base y el emisor del transistor  $V_{BE}$  aplicando la ley de ohm se tiene:

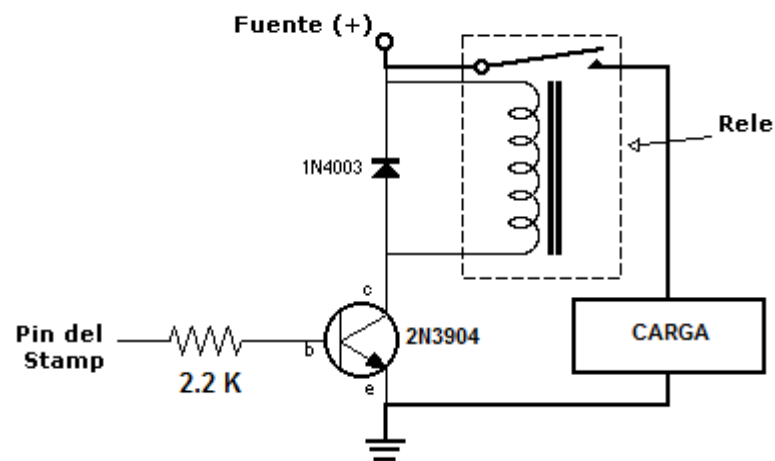
$$V=I \cdot R$$

$$R=V/I$$

$$R=(5.5-0.7)/0.002$$

$$R= 2.4 \text{ K}\Omega$$

Tomando valores estandarizados se utilizó una resistencia de 2.2K, y para garantizar el disparo del transistor se puede usar una resistencia de 1K sin que afecte el correcto funcionamiento del circuito.



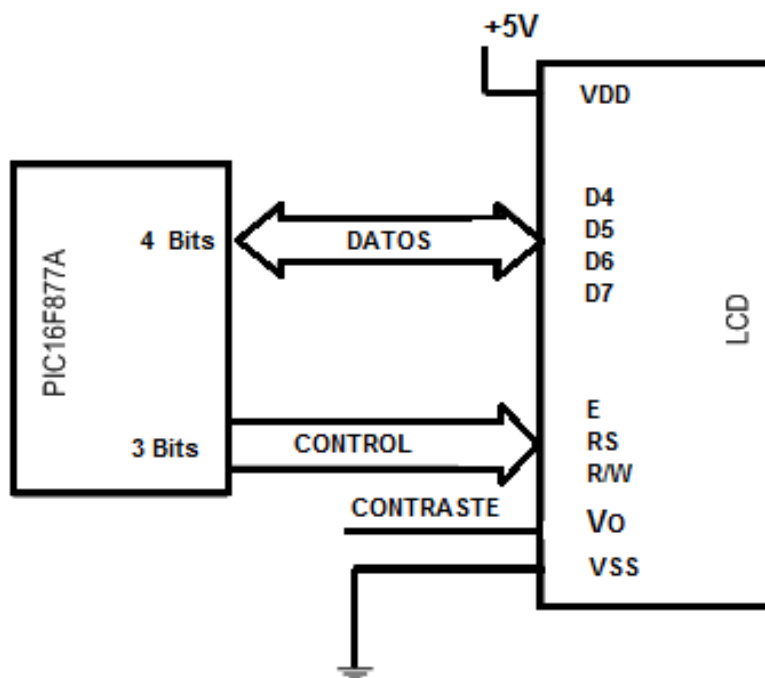
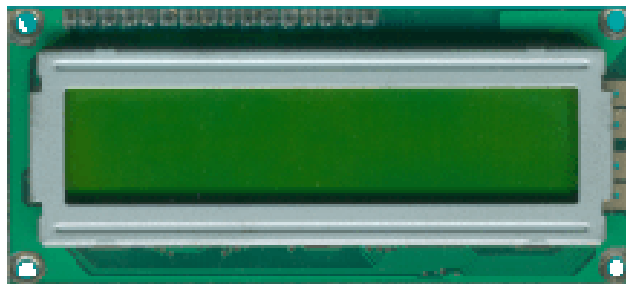
**Figura 2.16** – Diagrama de funcionamiento de un Relé

#### 2.3.4.5 Pantalla de cristal líquido

El sistema mostrará texto a través de este dispositivo la información que muestra cabe suficientemente dentro de las dos filas con las que cuenta este LCD.

Los módulos LCD (figura 2.17), tienen la capacidad de mostrar cualquier caracter alfa numérico, estos dispositivos ya vienen con su pantalla y toda la lógica de control pre-programada y, lo mejor es que el consumo de corriente es mínimo,

dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada caracter está formado de una matriz de 5x7 puntos (píxeles), este dispositivo está gobernado internamente por un microcontrolador y regula todos los parámetros de presentación, este modelo es el más comúnmente usado.



**Figura 2.17** – Conexión pantalla de cristal líquido PIC

- *Funcionamiento:* Para comunicarse con la pantalla LCD se lo hace por medio de sus pines de entrada, con bus de 4 bits. El control del contraste se realiza al dividir la alimentación de 5 voltios con una resistencia variable. Las líneas de datos son triestado, esto indica que cuando el LCD no está habilitado sus entradas y salidas pasan a alta impedancia.

- Descripción de pines tabla 9:

| PIN Nº | SIMBOLO | DESCRIPCION  |
|--------|---------|--|
| 1      | Vss     | Tierra de alimentación GND   |
| 2      | Vdd     | Alimentación de +5V CC   |
| 3      | Vo      | Contraste del cristal liquido. ( 0 a +5V )   |
| 4      | RS      | Selección del registro de control/registro de datos:<br>RS=0 Selección registro de control<br>RS=1 Selección registro de datos |
| 5      | R/W     | Señal de lectura/escritura:<br>R/W=0 Escritura (Write)<br>R/W=1 Lectura (Read)   |
| 6      | E       | Habilitación del modulo:<br>E=0 Módulo desconectado<br>E=1 Módulo conectado  |
| 7-14   | D0-D7   | Bus de datos bidireccional.  |

**Tabla 9:** Descripción de pines del LCD

#### 2.3.4.6 Teclado

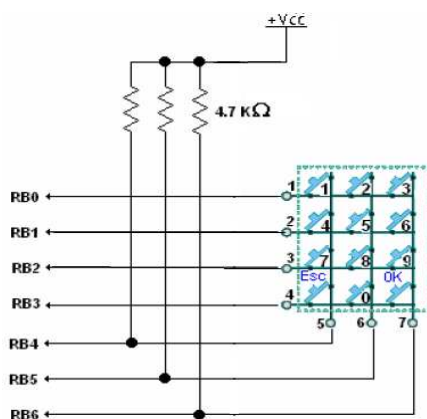
Este dispositivo permite al operador interactuar con el sistema, escribiendo una posición y haciendo que el sistema ubique las piezas en el lugar indicado de la estantería. Dentro de la misma se encuentran 20 posiciones y con el teclado podemos elegir cualquier posición que se desee.

El teclado matricial (figura 2.18), es un dispositivo de entrada de datos, que en este caso consta de 12 teclas o pulsadores, dispuestos e interconectados en filas y columnas, además se puede observar los 7 pines que corresponden con las cuatro filas y tres columnas.



**Figura 2.18** – Teclado Matricial

- *Funcionamiento:* El esquema de conexión de un teclado matricial se puede observar en la figura 2.19, al digitar una tecla cualquiera se interconecta filas y columnas dependiendo de la tecla presionada, así el PIC detecta el dato enviado y realizará las instrucciones previamente programadas.

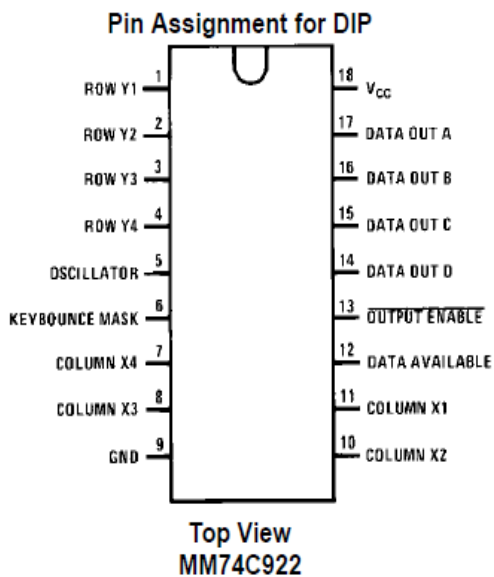


**Figura 2.19** – Barrido del Teclado Matricial

#### 2.3.4.6.1 Decodificador MM74c922n

Para descifrar la salida de XY fila / columna del teclado matricial, se utiliza un codificador de la matriz de 74C922 4x4, éste produce una salida binaria que corresponde al botón actual que es presionado. En la figura 2.20, se identifica cada uno de los pines del decodificador 74C922N.

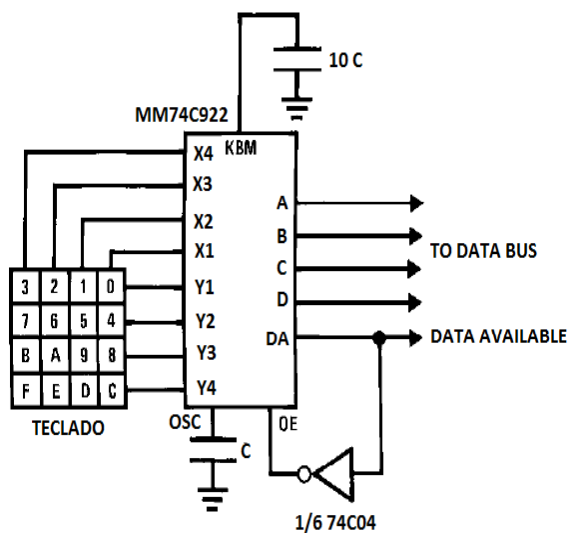




**Figura 2.20** – Distribución de pines del Decodificador MM74C922

El 74C922N es casi autónomo pero requiere de dos condensadores que fijen el valor de oscilación (valor en el cual se comprueban si los códigos son válidos) y el tiempo del salto para eliminar el rebote al presionar el teclado.

En la siguiente figura, se observa la conexión del teclado con el decodificador:

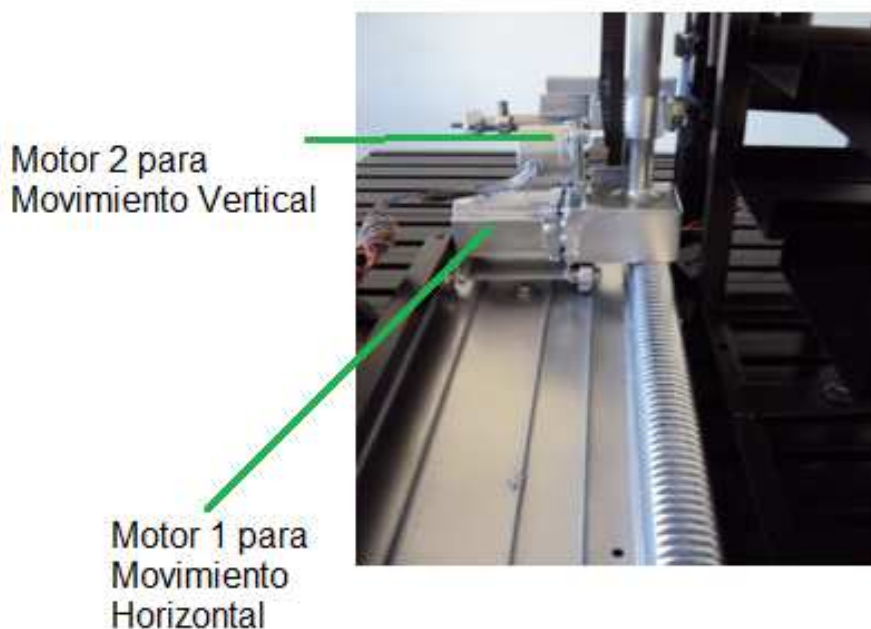


**Figura 2.21** – Diagrama de conexión del teclado con el decodificador

### 2.3.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El diseño de este ordenador de productos, es operado bajo el mando de un microcontrolador PIC, la programación de este microcontrolador ha sido realizada mediante el uso de un entorno de alto nivel Microcode Basic, el cual permite realizar todas las instrucciones para el correcto funcionamiento del sistema.

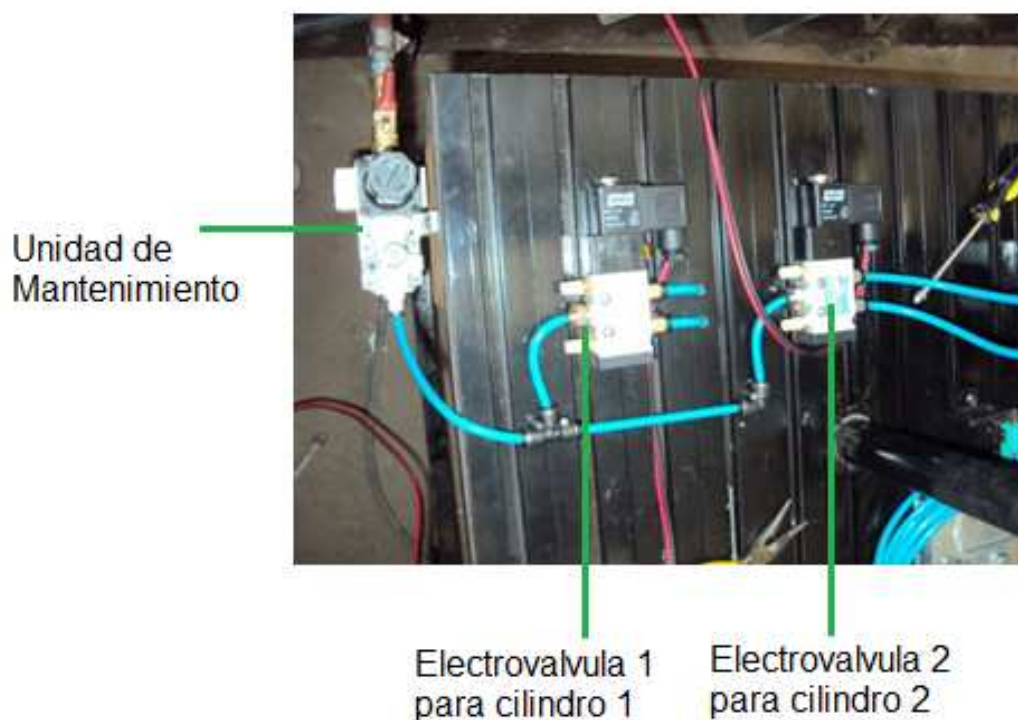
El ordenador consta de un sistema de transporte por dos motores, los cuales permiten ubicar cada elemento en un espacio en la estantería; estos motores son accionados por el PIC y su mecanismo se basa en un piñón y cremallera para motor 1 movimiento horizontal, y un piñón y una banda respectivamente para motor 2 movimiento vertical, los motores son conectados al microcontrolador por el puerto D, el primero con la ayuda de un integrado L293B, que permite operar con una corriente máxima de 1 amperio necesaria para el motor 1, mientras que el motor 2 utiliza un arreglo de transistores TIP 120 los cuales permiten manejar una corriente de 3 amperios necesarios por este motor. Dichos motores y su dispositivo se los puede observar en la figura 2.22.



**Figura 2.22** – Elemento transportador

El sistema también cuenta con dos cilindros, uno para despachar los productos almacenados y el otro para ordenar los productos en la estantería, dichos cilindros son accionados por dos electroválvulas 5/2 de 24 voltios, que a su vez son activadas por dos relés 10 A y 28 V. Estos dispositivos son montados en la estructura de forma visible para apreciar su funcionamiento figura 2.23, y son dirigidos por el microcontrolador.

El módulo inicia su proceso mediante la correcta alimentación de sus fuentes de energía. Una vez alimentado el sistema se confirma los parámetros de voltaje y presión de trabajo.

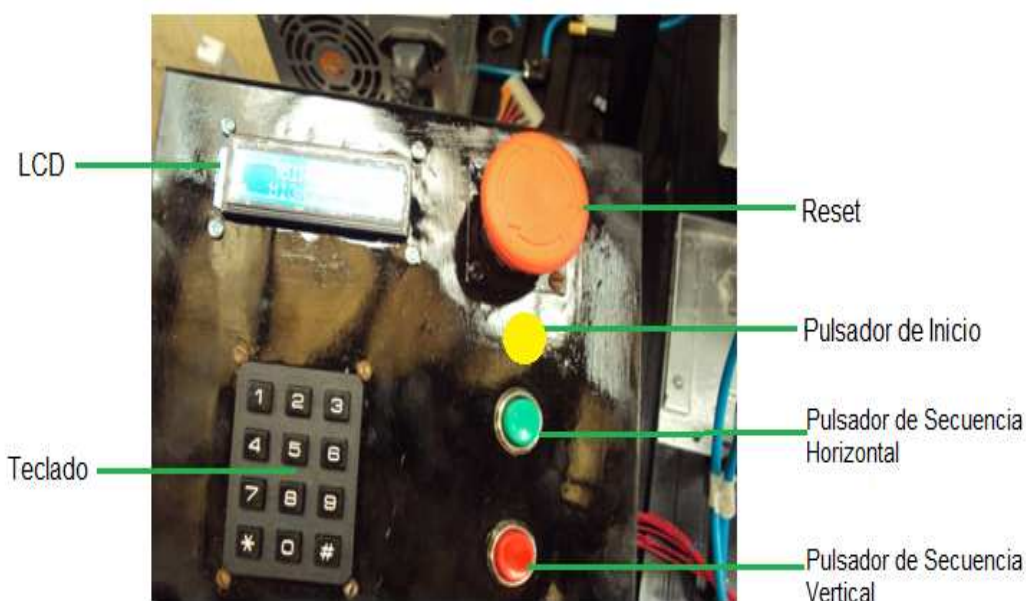


**Figura 2.23** – Sistema neumático

La parte final del proyecto se basa en el tablero de control donde se encuentra los siguientes dispositivos:

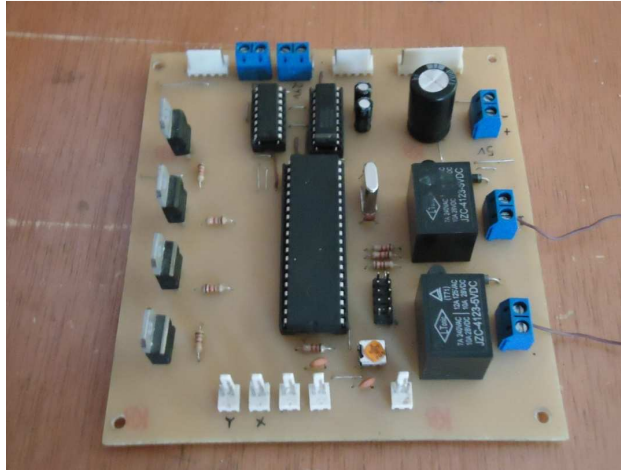
- Al iniciar el funcionamiento este ubica el sistema de transporte en posición inicial sea cual fuere la última posición donde se encontraba, donde espera que se escoja la secuencia de ordenamiento de los productos.

- Pulsador 1 de secuencia horizontal, el cual permite ordenar al sistema que deposite los productos en toda la estantería en orden horizontal.
- Pulsador 2 de secuencia vertical, este permite ordenar al sistema que deposite los productos en toda la estantería, esta vez en forma vertical, es decir una secuencia diferente a la anterior.
- El teclado, el cual permite seleccionar las diferentes posiciones en las cuales se quiere ubicar las piezas. Indistinto del orden de las anteriores.
- El visualizador LCD, donde se puede visualizar las instrucciones que se da al microcontrolador para que realice las diferentes secuencias de trabajo que posee.
- Y un pulsador de RESET para iniciar todo, en caso de sufrir algún inconveniente no deseado.



**Figura 2.24** – Tablero de control del sistema construido

A continuación se puede ver el circuito, implementado y montado en una placa impresa figura 2.25:



**Figura 2.25** – Circuito de Control Implementado

### **3 DESCRIPCIÓN DEL CONTROLADOR UTILIZADO**

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.

En este proyecto se utilizó el PIC 16F877A. Este microcontrolador es fabricado por Microchip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877A posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en este diseño.

#### **3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PIC16F877A**

El microcontrolador PIC16F877A de Microchip pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

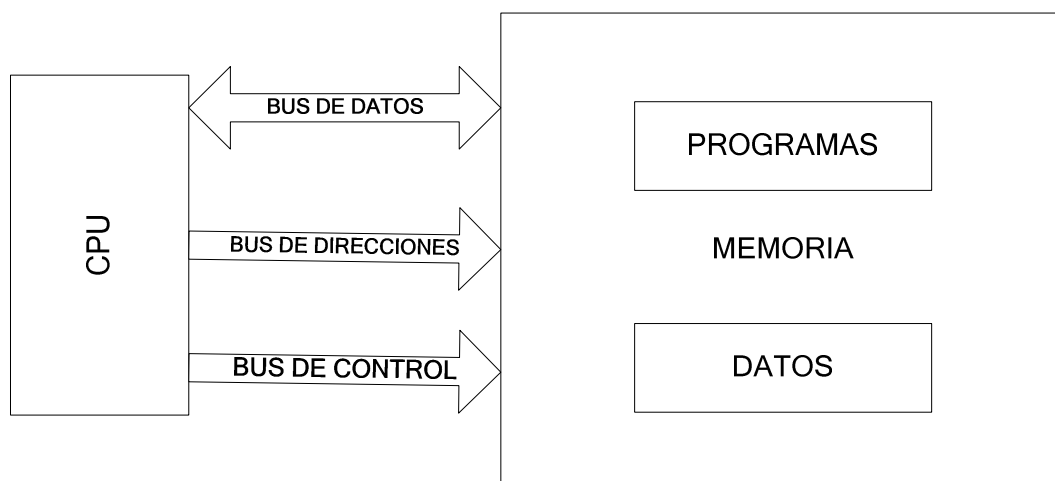
- Arquitectura Harvard
- Tecnología RISC

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y, por lo tanto en la velocidad de ejecución.

### 3.1.1 ARQUITECTURA INTERNA DE UN MICROCONTROLADOR

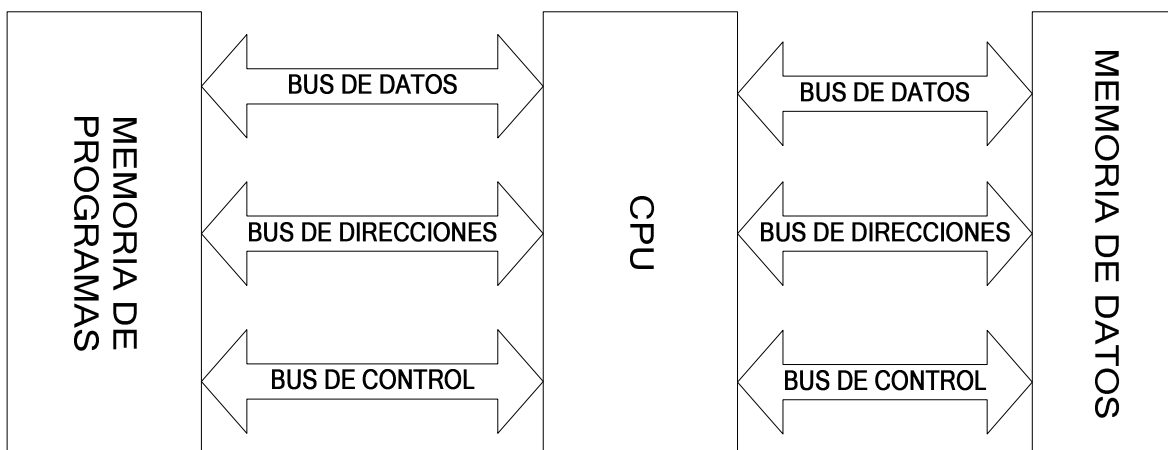
El procesador es la parte encargada del procesamiento de las instrucciones. Debido a la necesidad de conseguir elevados rendimientos en este proceso, se ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura Harvard frente a los tradicionales que seguían la arquitectura de Von Neumann (figura 3.1).

Esta última se caracterizaba porque la CPU se conecta con una memoria única, donde coexistían datos e instrucciones a través de un sistema de buses.



**Figura 3.1** – Arquitectura Von Neumann

En la arquitectura Harvard (figura 3.2) son independientes, la memoria de instrucciones y la memoria de datos y cada una dispone de su propio sistema de buses para el acceso. Esta dualidad, además de propiciar el paralelismo, permite la adecuación del tamaño de las palabras y los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y de los datos.



**Figura 3.2** – Arquitectura Harvard

Es decir, estos microcontroladores tienen la memoria de programa y la memoria de datos separadas, lo que se conoce como arquitectura Harvard. Esta configuración interna permite entre otras cosas acceder a las instrucciones de programa y a los datos simultáneamente a través de buses diferentes, lo que mejora notablemente la velocidad de proceso de estos dispositivos.

El procesador de los modernos microcontroladores responde a la arquitectura RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido), que se identifica por poseer un repertorio de instrucciones de máquina pequeño y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecutan en un ciclo de instrucción.

- Ventajas principales:

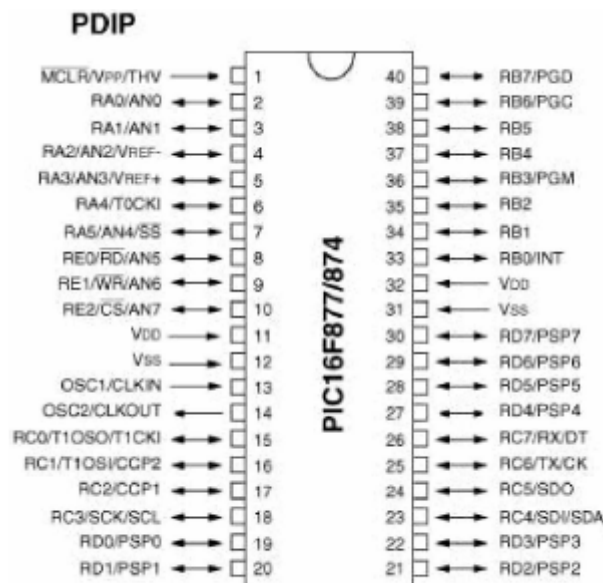
Los microcontroladores que produce Microchip cubren un amplio rango de dispositivos cuyas características pueden variar como sigue:

- a) Empaquetado (desde de 8 pines hasta 68 pines).
- b) Tecnología de la memoria incluida (Eprom, Rom, Flash).
- c) Voltajes de operación (desde 2.5V hasta 6V).
- d) Frecuencia de operación (hasta 20 Mhz).



- Empaquetados:

Aunque cada empaquetado tiene variantes especialmente en lo relativo a las dimensiones del espesor del paquete en general se pueden encontrar paquetes tipo PDIP (Plastic Dual In Line Package) PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier) y QFP (Quad flat Package). Para efectos de este proyecto se utilizó un PDIP de 40 pines como se puede observar en la figura 3.3.



**Figura 3.3** – Encapsulado PDIP de 40 PINES

La "A" al final de los modelos PIC16F873A, PIC16F874A, PIC16F876A y PIC16F877A, indica que estos modelos cuentan con módulos de comparación analógicos.

### 3.1.2 CIRCUITERÍA EXTERNA AUXILIAR

Para que el microcontrolador sea capaz de funcionar en cualquier proyecto, se necesita al menos la siguiente circuitería externa:

- La alimentación.
- El oscilador.

También, y de manera opcional:

- El circuito de reinicio.

### 3.1.2.1 La alimentación

Los dispositivos de la familia PIC16F877A admiten un amplio rango de tensiones de alimentación, que va de 2,0 V a 5,5 V. La tensión a la cual se alimenten determinará la frecuencia máxima de trabajo.

### 3.1.2.2 El oscilador

El oscilador se utiliza para generar la base de tiempo del microcontrolador. Para la conexión del oscilador se emplean los terminales OSC1 y OSC2 del dispositivo. Los microcontroladores PIC 16F877A emplean por cada ciclo de instrucción cuatro ciclos de reloj, esto significa que por ejemplo, si el microcontrolador debe ejecutar un programa de 1000 instrucciones con un reloj de 10 MHz (período de reloj de 100 ns), el tiempo total que empleará para ejecutar todo el programa (asumiendo que todas las instrucciones fueran de un ciclo de instrucción) será de:

$$T = \frac{1000 * 4}{10 * 10^6} = 400\mu s$$

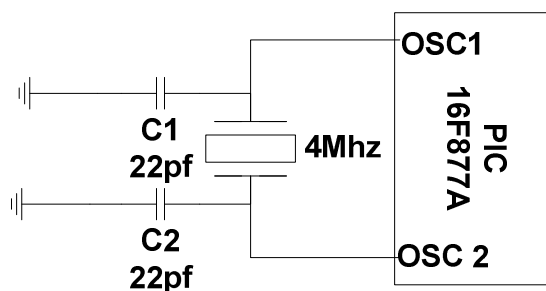
La serie PIC16F87X puede trabajar a una frecuencia de reloj máxima de 20 MHz, esto quiere decir que, a esta frecuencia, el tiempo necesario para ejecutar las instrucciones de un ciclo de instrucción es de 200 ns, y de 400 ns para las de dos ciclos de instrucción (instrucciones de salto).

La señal de reloj puede generarse mediante una red resistencia-condensador, un cristal de cuarzo piezoeléctrico o un resonador cerámico, aunque empleando cristales de cuarzo se consiguen frecuencias de oscilación muy exactas, lo cual es útil para calcular tiempos de ejecución y temporizaciones precisas.

Estos microprocesadores permiten escoger entre cinco tipos distintos de osciladores:

- LP (Low Power): reloj de bajo consumo, estable, con frecuencia de oscilación de hasta 200 kHz.
- XT (Xtal, Crystal): estable, frecuencia de oscilación de hasta 4 MHz.
- HS (High Speed): estable, frecuencia de oscilación de hasta 20 MHz.
- RC (Resistor/Capacitor): frecuencia de oscilación dependiente de resistencia, condensador, voltaje de alimentación y temperatura de trabajo. Es el tipo más económico, pero también el más inestable.
- Externo: cuando la señal de reloj es externa, generada por otro circuito.

Los modos LP, XT y HS suponen la conexión de un cristal de cuarzo o resonador cerámico entre los pines OSC1/CLKIN y OSC2/CLKOUT del dispositivo. Para este proyecto se utilizó un cristal de 4 Mhz (XT), como se puede observar en la figura 3.4, los capacitores deben escogerse de acuerdo a datos proporcionados por el fabricante; en este caso se tiene valores entre 15 -33uf, por lo que se toma un valor intermedio<sup>8</sup>.



**Figura 3.4** – Circuito oscilador con cristal

### 3.1.2.3 El circuito de reinicio

El terminal MCLR (Master Clear) debe estar a valor lógico alto para que el dispositivo funcione normalmente, esto es, sin irse a reinicio. Con un valor lógico bajo el dispositivo se reinicia, comenzando la ejecución desde el principio del programa que tenga cargado en memoria.

<sup>8</sup> La Familia de Microcontroladores Pic Pág. 43

Lo más práctico, para facilitar el hecho de poder realizar un reinicio manual, es utilizar un pulsador (pulsador de reinicio). El fabricante recomienda que se intercale una resistencia de 50 a 100 ohmios entre el pulsador y el pin MCLR, para evitar posibles corrientes inducidas de más de 80 mA que podrían bloquear el dispositivo cuando este se lleva a tierra (reinicio).

Debido a que, el pulsador no produce una respuesta instantánea, producto de los rebotes de éste (transitorio), se generan una serie de pulsos hasta quedar estabilizado en su estado permanente. Para evitar esto se puede usar un condensador instalado en paralelo con la entrada MCLR (filtro pasa bajo).

### 3.1.3 DESCRIPCIÓN DE PUERTOS

Todos los microcontroladores destinan algunos de sus pines a soportar líneas de entrada y salida digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos. Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como entrada o como salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

En el proyecto se utilizó un PIC16F877A, el cual consta de 5 puertos, los cuales son detallados a continuación:

#### **Puerto A:**

Puerto bidireccional entradas o salidas:

**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 del timer 0.

**RA5:** puede ser salida analógica 4 o el esclavo seleccionado por el puerto serial síncrono.

**Puerto B:**

Puerto bidireccional entradas y salidas 8 pines:

Resistencias pull-up programables.

**RB0** Interrupción externa.

**RB1 / RB2** entradas y salidas digitales.

**RB3** Interrupción por cambio de flanco.

**RB4 / RB5** entradas y salidas digitales.

**RB6-RB7** programación y debugger in circuit.

**Puerto C:**

Puerto bidireccional entradas y salidas:

**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 PWM.

**RC3** puede ser la entrada/salida serial 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.

**Puerto D**

Bus de datos en PPS (Puerto paralelo esclavo).

PORTD es un puerto bidireccional paralelo.

**Puerto E**

Es un puerto de entradas o salidas bidireccional.

**RE0:** 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.

### 3.1.4 DISPOSITIVOS PERIFÉRICOS

- TIMERS

Se emplean para controlar períodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores). Para la medida de tiempos, se carga un registro con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o disminuyendo al ritmo de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso.

Cuando se desea contar acontecimientos que se materializan por cambios de nivel o flancos en alguno de las pines del microcontrolador, el mencionado registro se va incrementando o disminuyendo al ritmo de dichos impulsos.

El microcontrolador utilizado dispone de 3 timers:

- a) Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits.
  - b) Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
  - c) Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postescaler.
- Modulador de ancho de pulsos o PWM

Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de ancho variable, que se ofrecen al exterior a través de pines del microcontrolador el cual posee dos módulos de comparación, y captura PWM (Modulación de Ancho de Impulsos).

- Conversor A/D (CAD)

Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas abundantes en las aplicaciones. Disponen de un multiplexor, que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas. Este tipo de conversor posee un conversor analógico de 10 bits.

- Puertos de comunicación

Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos, algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

- a) Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I<sup>2</sup>C (Master/Slave).
- b) USART/SCI adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bits.
- c) Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.

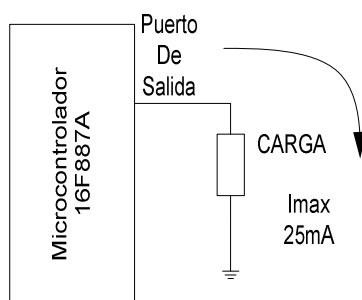
- Interrupciones.

Las interrupciones constituyen un recurso importante en todos los microcontroladores, la interrupción puede ocurrir asincrónicamente o sincrónicamente.

Las interrupciones asincrónicas son eventos habitualmente externos e interrumpen al micro para solicitar un servicio, es decir la interrupción puede ocurrir en un instante cualquiera independientemente del programa que se esté ejecutando dentro del microcontrolador. Las interrupciones sincrónicas son usualmente las interrupciones del temporizador, por ejemplo el desbordamiento del temporizador que genera una interrupción.

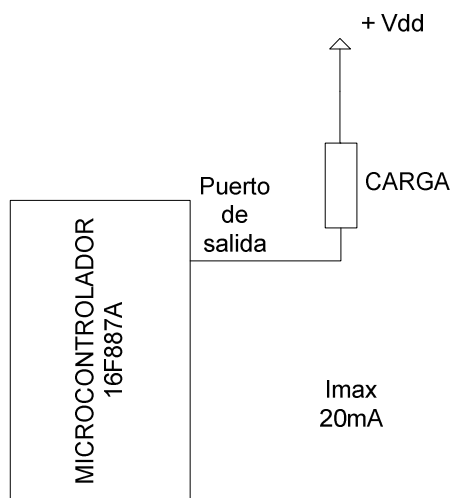
- Interfaz de entradas y salidas.

El puerto de un microcontrolador PIC puede absorber 20mA y entregar 25mA de corriente. Cuando entrega corriente, esta circula hacia el exterior del terminal del puerto y cuando absorbe, la corriente entra por el terminal. Cuando entrega corriente, la carga se conecta entre el terminal de puerto del microcontrolador y tierra como se puede observar en la figura 3.5.



**Figura 3.5** – Terminal de salida de un puerto entrega corriente

Por tanto, la salida se energiza cuando esta en 1 lógico. Cuando se absorbe corriente, la carga se conecta entre el terminal del puerto y la tensión de alimentación figura 3.6. La carga entonces se energiza cuando el puerto está en cero lógico.



**Figura 3.6** – Terminal de salida de un puerto absorbe corriente



### 3.1.5 REGISTROS INTERNOS DEL PIC 16F877A

Todos los microprocesadores de la firma Microchip cuentan con registros internos (la mayoría de estos son de escritura-lectura), los cuales permiten configurar cada bloque para que funcione de acuerdo a las necesidades requeridas.

Para la familia 16F877A, estos registros son de 8 bits y podemos acceder a cada uno de ellos, o bien a todo el registro. También existen algunos registros particulares de 16 bits pero físicamente son dos registros de 8 unidos.

En el microcontrolador existen tres bloques bien diferenciados de memoria, éstos son:

- *Memoria de programa:* Lugar físico donde se guarda el programa.
- *Memoria de datos:* Lugar físico donde se guardan datos, EEPROM.
- *Memoria de registros:* Lugar físico de los registros que controlan cada módulo.

La memoria de registros es la parte de la memoria donde se encuentran los registros que manejan a cada módulo del microcontrolador y también existen registros no definidos, o bien, a definirse por el programador para cualquier uso (variables, constantes, acumuladores auxiliares, etc.). Estos registros de propósito general también son de 8 bits y se definen asignándoles un nombre y una dirección.

- El registro W

El registro auxiliar de trabajo W es un registro de 8 bits con un espacio físico en la memoria principal del microcontrolador. Este registro es totalmente escribible “desde el exterior” y se puede leer en cualquier momento, ya que, se puede acceder a él desde cualquier banco de memoria, por medio de este registro se cargan valores a los distintos registros del microcontrolador, es decir, primero se pone un valor en el registro W y luego se copia el valor del registro W al registro

que queramos. No se puede cargar un valor directamente a otro registro que no sea W.

- El registro STATUS

Como existen registros de control en los 4 bancos disponibles para los 16F87X y hay que tener bien en claro que para modificarlos o asignarles algún valor hay que seleccionar el banco correspondiente. Generalmente, se trabaja en el banco 0, pero no por eso se puede decir que los otros no se utilizan. Además, el banco 0 es el predeterminado cuando se enciende el microcontrolador.

El registro de estado (STATUS) nos proporciona continuamente información mediante los bits del 0 al 2 de los resultados de operaciones matemáticas, desbordes de contadores, etc.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo del presente proyecto permite establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### 4.1 NEUMÁTICA

- El caudal necesario en una instalación dependerá del tamaño de los cilindros y los actuadores, y de la velocidad que, en dichos elementos se pretenda conseguir. La elección del paso de las válvulas y de los demás componentes dependerá de esas variables.
- Las caídas de presión en toda la red hasta los dispositivos de consumo, no deben ser superiores, en la práctica, al 5 % de la presión de trabajo, estas pérdidas dependen de muchos factores: diámetro y longitud de las tuberías rugosidad superficial de la pared interior, codos y estrangulaciones, cambios bruscos en la dirección de fluido y sección de las válvulas de paso.
- En la industria moderna la neumática ocupa un merecido y destacado lugar debido a la sencillez de aplicación y a su reducido costo de instalación se utiliza en forma indiscriminada en multitud de industrias y en mecanismos de los más variados tipos. Al igual que la energía eléctrica se encuentra fácilmente disponible en casi toda empresa o taller de construcción.
- Con la neumática se puede lograr hoy en día cualquier nivel de automatización. El grado de automatización dependerá de los requerimientos de la máquina y también del costo.
- El consumo de aire en cilindros o en otros actuadores es de vital importancia para evaluar las dimensiones del compresor y del depósito o

simplemente para conocer el gasto energético de los elementos neumáticos.

- Los elementos de trabajo neumáticos pueden soportar sobrecargas, incluso cuando se utilizan en condiciones extremas, sin que suponga un riesgo adicional en el deterioro neumático del elemento.
- Antes de emplear el aire comprimido es necesario limpiarlo bien de las partículas abrasivas, impurezas y humedad que pueda tener en suspensión. Las partículas deterioran los componentes y el agua provoca la oxidación de las piezas aceradas, para ello, es necesaria la unidad de mantenimiento.
- El componente principal de producción de aire es el compresor, este elemento se encarga de captar el aire atmosférico de su entorno, elevar la presión del mismo y después alimentar el depósito y la canalización en general.

## **4.2 MOTORES A PASOS**

- La principal ventaja de los motores paso a paso es su capacidad para asegurar un posicionamiento simple y exacto, se trata al mismo tiempo de motores muy ligeros, fiables, y fáciles de controlar pues al ser cada estado de excitación del estator estable, el control se realiza en bucle abierto, sin la necesidad de sensores de realimentación.
- Entre los inconvenientes se puede citar que su funcionamiento a bajas velocidades no es suave, y que existe el peligro de pérdida de una posición por trabajar en bucle abierto. Tienden a sobrecalentarse trabajando a velocidades elevadas y presentan un límite en el tamaño que pueden alcanzar.

- Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

### **4.3 MICROCONTROLADOR**

- Para proteger el prototipo fue necesario diseñar la fuente reguladora de voltaje (5 V), con el objetivo de evitar el reset del PIC debido a que, los motores de pasos y las electroválvulas necesitan más corriente, a diferencia del microcontrolador, considerando también el aislar la parte de control con la de fuerza.
- Todos los dispositivos electrónicos que forman parte del sistema de control implementado, son comunes en el mercado nacional, por lo que existe la posibilidad de que sus elementos sean reemplazados sin mayores inconvenientes y por ende pueda ser reparado con facilidad.
- La programación del dispositivo micro controlador a través de diagramas de flujo permitió optimizar mucho tiempo, ya que para realizar todas las tareas planteadas en esta tesis se requería proyectar un sinnúmero de instrucciones.
- Al escoger el dispositivo de comando para este proyecto fue muy importante tomar en cuenta todas las presentaciones que se requería para implementar todos las presentaciones que eran necesarias para implementar todos los dispositivos externos, así como las características de memoria, velocidad, conversores, etc. Así, el microprocesador PIC 16F877A posee las características que permitieron la correcta adecuación de todas las herramientas y dispositivos utilizados en el proyecto, siendo además muy versátil, eficiente y práctico.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

### NEUMÁTICA

|                       |  |
|-----------------------|--|
| A Serrano Nicolás     | Neumática, Quinta edición.                               |
| Enrique Carnicer Royo | Aire Comprimido (teoría y cálculo de las instalaciones). |
| Antonio Creus Sole    | Neumática e Hidráulica.                                  |
| Salvador Millán Teja  | Automatización Neumática y electro neumática.            |
| W. Deppert / K Stoll  | Dispositivos Neumáticos.                                 |

### MICROPROCESADORES

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| José María Angulo Usategui. | Diseño práctico de aplicaciones 2da Edición.   |
| Carlos A reyes              | Programación en Basic PIC 16F87XX 3ra edición. |
| Dogan Ibrahim               | Desarrollo de 30 proyectos con PIC Basic.      |
| Enrique Mandado             | Sistema Integrado Para el Auto aprendizaje.    |

<http://tigoe.net/pcomp/motors.shtml>

<http://www.dtic.upf.edu/~jlozano/interfaces/interfaces8.html>

<http://www.tecnologiaseso.es/pdf/electronicapdf/transistores.pdf>

<http://picmicrocontroller877.blogspot.com/2007/08/caracteristicas-del-16f877.html>

## **ANEXOS**

**ANEXO A – Programación**



```
DEFINE OSC 4
DEFINE LCD_DREG PORTA 'LCD data port
DEFINE LCD_DBIT 0 'LCD data starting bit 0 or 4
DEFINE LCD_RSREG PORTC 'LCD register select port
DEFINE LCD_RSBIT 1 'LCD register select bit
DEFINE LCD_EREG PORTC 'LCD enable port
DEFINE LCD_EBIT 0 'LCD enable bit
DEFINE LCD_BITS 4
DEFINE LCD_LINES 2
```

```
*****DEFINICION DE VARIABLES*****
```

```
VALOR_X VAR BYTE
PUNTERO_X VAR BYTE
POSICION_X VAR WORD
SET_X VAR WORD
VALOR_Y VAR BYTE
PUNTERO_Y VAR BYTE
POSICION_Y VAR WORD
SET_Y VAR WORD
POS_X VAR BYTE
POS_Y VAR BYTE
OBJETO_N VAR BYTE
SW_SECU VAR PORTB.7
SW_INICIAR VAR PORTB.5
SW_INICIO_X VAR PORTB.4
SW_INICIO_Y VAR PORTB.3
TECLADO_IN VAR PORTB.0
RELE_PISTON VAR PORTE.0
RELE_PONER VAR PORTE.1
POS_INI_X CON 50
POS_INI_Y CON 10
```

```
NUMERO VAR BYTE
VALOR_TECLADO VAR BYTE
TEMP VAR WORD
ON INTERRUPT GOTO INTERRUCCION
```

Main:

```
TRISB=$FF
OPTION_REG = $3
TRISC = $F0
TRISD = $0
SET_X = 0
POSICION_X = 35000
SET_Y = 0
POSICION_Y = 35000
RELE_PISTON = 0
INTCON = $E0
LOW RELE_PONER
LOW RELE_PISTON
pause 200
Lcdout $fe, 1
Lcdout "  MOTOR"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout " PASO A PASO"
PAUSE 1000
Lcdout $fe, 1
Lcdout " UBICANDO EL"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout "PUNTO DE INICIO"
TRISE = $FC
while SET_X = 0 OR SET_Y = 0
  IF SW_INICIO_X = 0 THEN
    POSICION_X = 0
    SET_X = POS_INI_X
  ENDIF
```

```

    IF SW_INICIO_Y = 0 THEN
    POSICION_Y = 0
    SET_Y = POS_INI_Y
    ENDIF
wend
SECUENCIA_1:
    Lcdout $fe, 1
    Lcdout " SECUENCIA"
    LCDOUT $FE, $C0
    Lcdout " HORIZONTAL"
!*****
    WHILE SW_SECU = 0
        PAUSE 5
    WEND
    PAUSE 500
PROG_PRIN:
    IF SW_SECU = 0 THEN SECUENCIA_2
    IF SW_INICIAR = 0 THEN INICIO_SECUENCIA_1
    IF TECLADO_IN = 1 THEN LEER_TECLADO
    GOTO PROG_PRIN
!*****
LEER_TECLADO:
    Lcdout $fe, 1
    Lcdout " INGRESE LA"
    LCDOUT $FE, $C0
    Lcdout " POSICION"
    WHILE TECLADO_IN = 1
        PAUSE 5
    WEND
    PAUSE 5
    WHILE TECLADO_IN = 0
        PAUSE 5
    WEND

```

```
PAUSE 1
VALOR_TECLADO = PORTC >> 4
SELECT CASE VALOR_TECLADO
CASE 0
    NUMERO = 1
CASE 1
    NUMERO = 2
CASE 2
    NUMERO = 3
CASE 4
    NUMERO = 4
CASE 5
    NUMERO = 5
CASE 6
    NUMERO = 6
CASE 8
    NUMERO = 7
CASE 9
    NUMERO = 8
CASE 10
    NUMERO = 9
CASE 12
    WHILE TECLADO_IN = 1
        PAUSE 5
    WEND
    PAUSE 5
    GOTO SECUENCIA_1
CASE 13
    NUMERO = 0
CASE 14
    WHILE TECLADO_IN = 1
        PAUSE 5
    WEND
```

```
        PAUSE 5
        GOTO SECUENCIA_1
    END SELECT
Lcdout $fe, 1
Lcdout " POSICION:"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout " ",#numero
WHILE TECLADO_IN = 1
    PAUSE 5
WEND
*****SEGUNDA LECTURA*****
PAUSE 1
WHILE TECLADO_IN = 0
    PAUSE 5
WEND
PAUSE 1
VALOR_TECLADO = PORTC >> 4
SELECT CASE VALOR_TECLADO
    CASE 0
        IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
        NUMERO = (NUMERO * 10) + 1
    CASE 1
        IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
        NUMERO = (NUMERO * 10) + 2
    CASE 2
        IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
        NUMERO = (NUMERO * 10) + 3
    CASE 4
        IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
        NUMERO = (NUMERO * 10) + 4
    CASE 5
        IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
        NUMERO = (NUMERO * 10) + 5
```

```
CASE 6
  IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
  NUMERO = (NUMERO * 10) + 6
CASE 8
  IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
  NUMERO = (NUMERO * 10) + 7
CASE 9
  IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
  NUMERO = (NUMERO * 10) + 8
CASE 10
  IF NUMERO > 1 THEN SECUENCIA_1
  NUMERO = (NUMERO * 10) + 9
CASE 12
  WHILE TECLADO_IN = 1
    PAUSE 5
  WEND
  PAUSE 5
  GOTO SECUENCIA_1
CASE 13
  IF NUMERO > 2 THEN SECUENCIA_1
  NUMERO = (NUMERO * 10) + 0
CASE 14
  WHILE TECLADO_IN = 1
    PAUSE 5
  WEND
  PAUSE 5
  GOTO UBICAR_EN
END SELECT
Lcdout $fe, 1
Lcdout " POSICION:"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout " ",#numero
WHILE TECLADO_IN = 1
```

```
    PAUSE 5
WEND
*****TERCERA LECTURA*****
```

```
ESPERA_ACCION:
```

```
    PAUSE 1
    WHILE TECLADO_IN = 0
        PAUSE 5
    WEND
    PAUSE 1
    VALOR_TECLADO = PORTC >> 4
    SELECT CASE VALOR_TECLADO
        CASE 12
            WHILE TECLADO_IN = 1
                PAUSE 5
            WEND
            PAUSE 5
            GOTO SECUENCIA_1
        CASE 14
            WHILE TECLADO_IN = 1
                PAUSE 5
            WEND
            PAUSE 5
            GOTO UBICAR_EN
    END SELECT
    GOTO ESPERA_ACCION
```

```
*****
```

```
UBICAR_EN:
```

```
    GOSUB PONER_OBJETO
    SELECT CASE numero
        CASE 0
            GOTO SECUENCIA_1
        CASE 1
```

```
    POS_X = 0    ' AL PRIMER CUADRO
    POS_Y = 0
CASE 2
    POS_X = 1    ' AL SEGUNDO CUADRO
    POS_Y = 0
CASE 3
    POS_X = 2    ' AL TERCERO CUADRO
    POS_Y = 0
CASE 4
    POS_X = 3    ' AL CUARTO CUADRO
    POS_Y = 0
CASE 5
    POS_X = 0    ' AL QUINTO CUADRO
    POS_Y = 1
CASE 6
    POS_X = 1    ' AL SEXTO CUADRO
    POS_Y = 1
CASE 7
    POS_X = 2    ' AL SEPTIMO CUADRO
    POS_Y = 1
CASE 8
    POS_X = 3    ' AL OCTAVO CUADRO
    POS_Y = 1
CASE 9
    POS_X = 0    ' AL NOVENO CUADRO
    POS_Y = 2
CASE 10
    POS_X = 1    ' AL DECIMO CUADRO
    POS_Y = 2
CASE 11
    POS_X = 2    ' AL ONCEAVO CUADRO
    POS_Y = 2
CASE 12
```



```
    POS_X = 3    ' AL DOCEAVO CUADRO
    POS_Y = 2
CASE 13
    POS_X = 0    ' AL TRECEAVO CUADRO
    POS_Y = 3
CASE 14
    POS_X = 1    ' AL CATORCEAVO CUADRO
    POS_Y = 3
CASE 15
    POS_X = 2    ' AL QUINCEAVO CUADRO
    POS_Y = 3
CASE 16
    POS_X = 3    ' AL DIECISEISAVO CUADRO
    POS_Y = 3
CASE 17
    POS_X = 0    ' AL DIECISIETEAVO CUADRO
    POS_Y = 4
CASE 18
    POS_X = 1    ' AL DICIOCCHOAVO CUADRO
    POS_Y = 4
CASE 19
    POS_X = 2    ' AL DECIMONOVENO CUADRO
    POS_Y = 4
CASE 20
    POS_X = 3    ' AL VEINTEAVO CUADRO
    POS_Y = 4
END SELECT
GOSUB LEER_POSICION
Lcdout $fe, 1
Lcdout " UBICANDO"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout " OBJETO"
REPEAT
```

```

@ NOP
UNTIL POSICION_X = SET_X AND POSICION_Y = SET_Y
PAUSE 500
RELE_PISTON = 1
PAUSE 3000
RELE_PISTON = 0
PAUSE 2000
SET_X = POS_INI_X
SET_Y = POS_INI_Y
Lcdout $fe, 1
Lcdout " RETORNANDO"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout " AL ORIGEN"
REPEAT
  @ NOP
  UNTIL POSICION_X = SET_X AND POSICION_Y = SET_Y
  GOTO SECUENCIA_1
*****
INICIO_SECUENCIA_1:
PASO_H_1:
  OBJETO_N = 1
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 0      ' AL PRIMER CUADRO
  POS_Y = 0
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_2:
  OBJETO_N = 2
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 1      ' AL SEGUNDO CUADRO
  POS_Y = 0

```

```
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_3:
OBJETO_N = 3
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2    ' AL TERCER CUADRO
POS_Y = 0
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_4:
OBJETO_N = 4
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 3    ' AL CUARTO CUADRO
POS_Y = 0
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_5:
OBJETO_N = 5
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0    ' AL QUINTO CUADRO
POS_Y = 1
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_6:
OBJETO_N = 6
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 1    ' AL SEXTO CUADRO
POS_Y = 1
GOSUB LEER_POSICION
```

```
GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_7:
  OBJETO_N = 7
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 2    ' AL SEPTIMO CUADRO
  POS_Y = 1
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_8:
  OBJETO_N = 8
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 3    ' AL OCTAVO CUADRO
  POS_Y = 1
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_9:
  OBJETO_N = 9
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 0    ' AL NOVENO CUADRO
  POS_Y = 2
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_10:
  OBJETO_N = 10
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 1    ' AL DECIMO CUADRO
  POS_Y = 2
  GOSUB LEER_POSICION
```

```
GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_11:
  OBJETO_N = 11
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 2    ' AL ONCEAVO CUADRO
  POS_Y = 2
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_12:
  OBJETO_N = 12
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 3    ' AL DOCEAVO CUADRO
  POS_Y = 2
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_13:
  OBJETO_N = 13
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 0    ' AL TRECEAVO CUADRO
  POS_Y = 3
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_14:
  OBJETO_N = 14
  GOSUB SHOW_UBICANDO
  GOSUB PONER_OBJETO
  POS_X = 1    ' AL COTORCEAVO CUADRO
  POS_Y = 3
  GOSUB LEER_POSICION
  GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_H\_15:

```
OBJETO_N = 15
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2    ' AL QUINCEAVO CUADRO
POS_Y = 3
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_H\_16:

```
OBJETO_N = 16
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 3    ' AL DIECISEISAVO CUADRO
POS_Y = 3
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_H\_17:

```
OBJETO_N = 17
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0    ' AL DIECISIETEAVO CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_H\_18:

```
OBJETO_N = 18
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 1    ' AL DIECIOCHO CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_H\_19:

```

OBJETO_N = 19
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2      ' AL DIENUEVE CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
PASO_H_20:
OBJETO_N = 20
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0      ' AL VEINTEAVO CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_2
GOTO SECUENCIA_1:
!*****
SECUENCIA_2:
  Lcdout $fe, 1
  Lcdout " SECUENCIA"
  LCDOUT $FE, $C0
  Lcdout " VERTICAL"
!*****
  WHILE SW_SECU = 0
    PAUSE 5
  WEND
  PAUSE 500
PROG_PRIN_2:
  IF SW_SECU = 0 THEN SECUENCIA_1
  IF SW_INICIAR = 0 THEN INICIO_SECUENCIA_2
  GOTO PROG_PRIN_2
!*****
INICIO_SECUENCIA_2:

```

PASO\_V\_1:

```
OBJETO_N = 1
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0    ' AL PRIMER CUADRO
POS_Y = 0
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_2:

```
OBJETO_N = 2
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0    ' AL QUINTO CUADRO
POS_Y = 1
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_3:

```
OBJETO_N = 3
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0    ' AL NOVENO CUADRO
POS_Y = 2
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_4:

```
OBJETO_N = 4
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0    ' AL TRECEAVO CUADRO
POS_Y = 3
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```



PASO\_V\_5:

```
OBJETO_N = 5
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 0    ' AL DICISIETEAVO CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_6:

```
OBJETO_N = 6
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 1    ' AL SEGUNDO CUADRO
POS_Y = 0
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_7:

```
OBJETO_N = 7
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 1    ' AL SEXTO CUADRO
POS_Y = 1
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_8:

```
OBJETO_N = 8
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 1    ' AL DECIMO CUADRO
POS_Y = 2
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_9:

```
OBJETO_N = 9
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 1    ' AL CATORCEAVO CUADRO
POS_Y = 3
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_10:

```
OBJETO_N = 10
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 1    ' AL DICIECHOAVO CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_11:

```
OBJETO_N = 11
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2    ' AL TERCER CUADRO
POS_Y = 0
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_12:

```
OBJETO_N = 12
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2    ' AL SEPTIMO CUADRO
POS_Y = 1
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_13:

```
OBJETO_N = 13
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2    ' AL ONCEAVO CUADRO
POS_Y = 2
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_14:

```
OBJETO_N = 14
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2    ' AL QUINCEAVO CUADRO
POS_Y = 3
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_15:

```
OBJETO_N = 15
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 2    ' AL DIECINUEVEAVO CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_16:

```
OBJETO_N = 16
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 3    ' AL CUARTO CUADRO
POS_Y = 0
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_17:

```
OBJETO_N = 17
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 3    ' AL OCTAVO CUADRO
POS_Y = 1
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_18:

```
OBJETO_N = 18
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 3    ' AL DOCEAVO CUADRO
POS_Y = 2
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_19:

```
OBJETO_N = 19
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 3    ' AL DIECISEISAVO CUADRO
POS_Y = 3
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_1
```

PASO\_V\_20:

```
OBJETO_N = 20
GOSUB SHOW_UBICANDO
GOSUB PONER_OBJETO
POS_X = 3    ' AL VEINTEAVO CUADRO
POS_Y = 4
GOSUB LEER_POSICION
GOSUB SUBROUTINA_2
GOTO SECUENCIA_2:
```

\*\*\*\*\*

SUBROUTINA\_1:

```
REPEAT
  @ NOP
  UNTIL POSICION_X = SET_X AND POSICION_Y = SET_Y
  RELE_PISTON = 1
  PAUSE 3000
  RELE_PISTON = 0
  PAUSE 2000
  SET_X = POS_INI_X
  SET_Y = POS_INI_Y
  GOSUB SHOW_RETOR_SUIG_OBJETO
  REPEAT
    @ NOP
    UNTIL POSICION_X = SET_X AND POSICION_Y = SET_Y
  RETURN
```

\*\*\*\*\*

SUBROUTINA\_2:

```
REPEAT
  @ NOP
  UNTIL POSICION_X = SET_X AND POSICION_Y = SET_Y
  RELE_PISTON = 1
  PAUSE 2000
  RELE_PISTON = 0
  PAUSE 2000
  SET_X = POS_INI_X
  SET_Y = POS_INI_Y
  GOSUB SHOW_SECUENCIA_LISTA
  REPEAT
    @ NOP
    UNTIL POSICION_X = SET_X AND POSICION_Y = SET_Y
  RETURN
```

\*\*\*\*\*

PONER\_OBJETO:

```
pause 500
RELE_PONER = 1
PAUSE 3000
RELE_PONER = 0
PAUSE 2000
RETURN
```

!\*\*\*\*\*

SHOW\_UBICANDO:

```
Lcdout $fe, 1
Lcdout " UBICANDO EL "
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout " ",#OBJETO_N,"B OBJETO "
RETURN
```

!\*\*\*\*\*

SHOW\_RETOR\_SUIG\_OBJETO:

```
Lcdout $fe, 1
Lcdout " RETORNANDO POR"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout "SIGUIENTE OBJETO"
RETURN
```

!\*\*\*\*\*

SHOW\_SECUENCIA\_LISTA:

```
Lcdout $fe, 1
Lcdout " SECUENCIA"
LCDOUT $FE, $C0
Lcdout " TERMINADA"
RETURN
```

!\*\*\*\*\*

LEER\_POSICION:

```
LOOKUP2 POS_X,[550,900,1260,1560],SET_X
LOOKUP2 POS_Y,[30,600,1170,1740,2310],SET_Y
RETURN
```

!\*\*\*\*\*

DISABLE

INTERRUCCION

IF INTCON.2 = 1 THEN

INTCON.2 = 0

IF POSICION\_X = SET\_X THEN NO\_MOVER\_X

IF POSICION\_X > SET\_X THEN

IF PUNTERO\_X = 0 THEN

PUNTERO\_X = 8

ENDIF

PUNTERO\_X = PUNTERO\_X - 1

POSICION\_X = POSICION\_X - 1

ELSE

PUNTERO\_X = PUNTERO\_X + 1

POSICION\_X = POSICION\_X + 1

IF PUNTERO\_X > 7 THEN

PUNTERO\_X = 0

ENDIF

ENDIF

LOOKUP PUNTERO\_X,[9,1,3,2,6,4,12,8],VALOR\_X

NO\_MOVER\_X:

IF POSICION\_Y = SET\_Y THEN NO\_MOVER\_Y

IF POSICION\_Y > SET\_Y THEN

IF PUNTERO\_Y = 0 THEN

PUNTERO\_Y = 8

ENDIF

PUNTERO\_Y = PUNTERO\_Y - 1

POSICION\_Y = POSICION\_Y - 1

ELSE

PUNTERO\_Y = PUNTERO\_Y + 1

POSICION\_Y = POSICION\_Y + 1

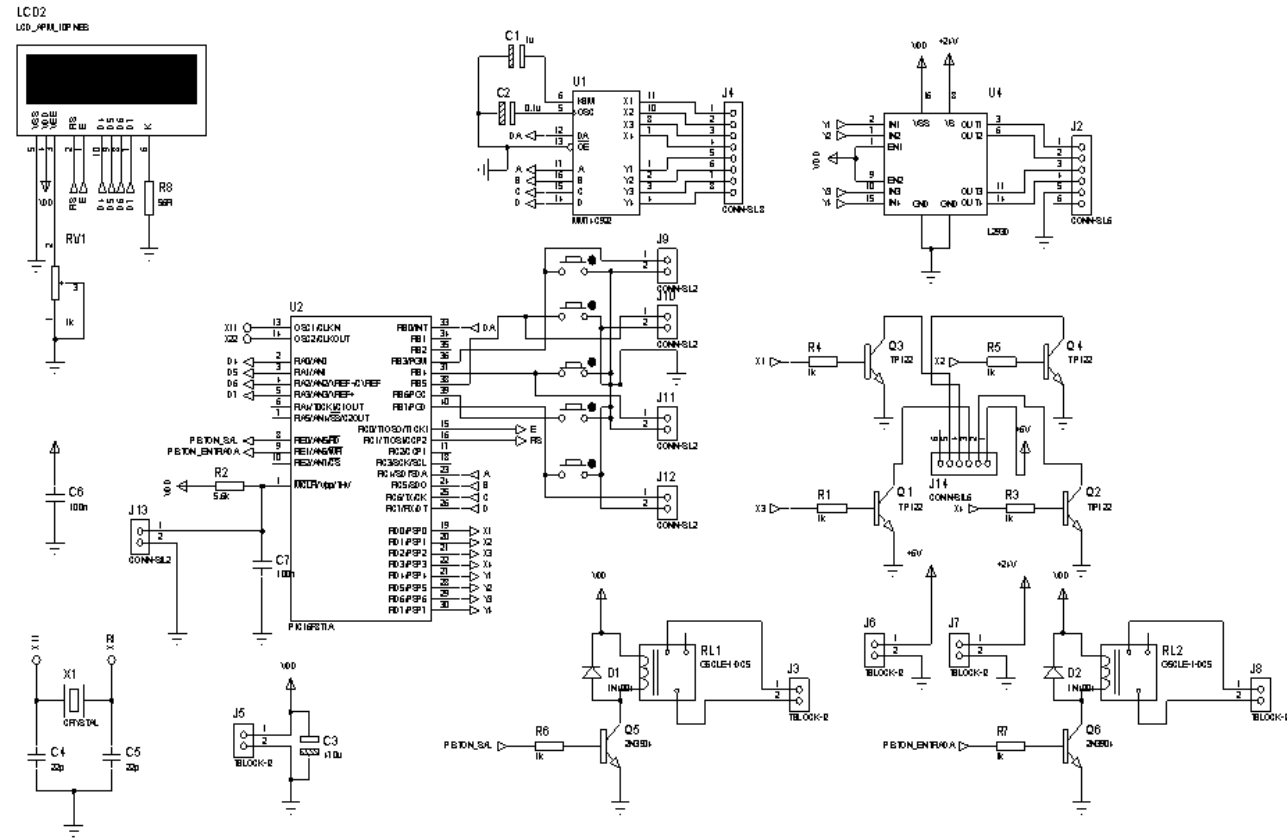
```
IF PUNTERO_Y > 7 THEN
  PUNTERO_Y = 0
ENDIF
ENDIF
LOOKUP PUNTERO_Y,[9,1,3,2,6,4,12,8],VALOR_Y
NO_MOVER_Y:

PORTD = VALOR_X + VALOR_Y << 4
ENDIF
resume
enable

END
```



**ANEXO B – Diagrama Circuitual del Sistema**



**ANEXO C – Datasheet del PIC 16f877A**

---

# MANUAL DEL PIC 16F87X v 1.0



---

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Se enumeran las prestaciones y dispositivos especiales de los PIC16F87X.

- Procesador de arquitectura RISC avanzada
- Juego de solo 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos.
- Hasta 8K palabras de 14 bits para la Memoria de Programa, tipo FLASH en los modelos 16F876 y 16F877 y 4KB de memoria para los PIC 16F873 y 16F874.
- Hasta 368 Bytes de memoria de Datos RAM.
- Hasta 256 Bytes de memoria de Datos EEPROM.
- Pines de salida compatibles para el PIC 16C73/74/76/77.
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- Pila de 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo e indirecto.
- Power-on Reset (POP).
- Temporizador Power-on (POP) y Oscilador Temporizador Start-Up.
- Perro Guardián (WDT).
- Código de protección programable.
- Modo SLEEP de bajo consumo.
- Programación serie en circuito con dos pines, solo necesita 5V para programarlo en este modo.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5,5 V.
- Bajo consumo: < 2 mA valor para 5 V y 4 Mhz 20  $\mu$ A para 3V y 32 M < 1  $\mu$ A en standby.

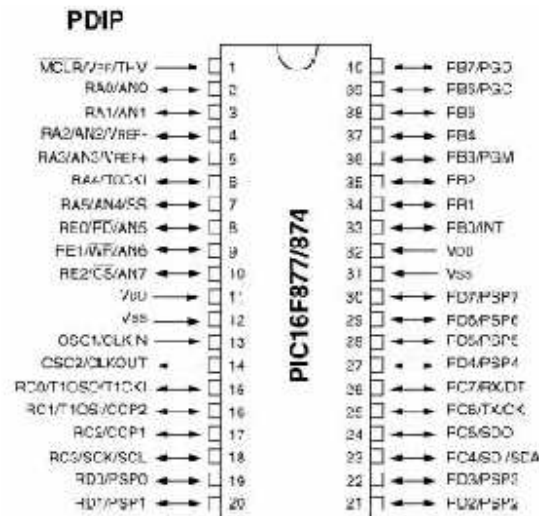


Figura 2.- Encapsulado PDIP de 40 pines

## 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 postscaler.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Ancho de Pulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I<sup>2</sup>C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bit.

**ANEXO D** – Datasheet del TIP 120

# MOSPEC

## PLASTIC MEDIUM-POWER COMPLEMENTARY SILICON TRANSISTORS

...designed for general-purpose amplifier and low speed switching applications

### FEATURES:

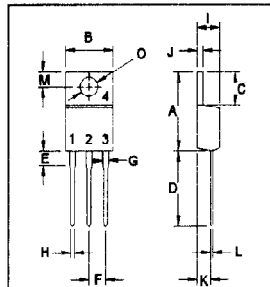
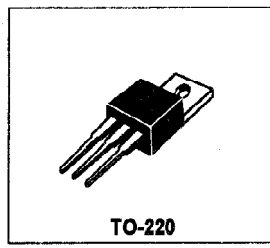
- \* Collector-Emitter Sustaining Voltage-  
 $V_{CE(sus)}$  = 60 V (Min) - TIP120, TIP125  
 = 80 V (Min) - TIP121, TIP126  
 = 100 V (Min) - TIP122, TIP127
- \* Collector-Emitter Saturation Voltage  
 $V_{CE(sat)}$  = 2.0 V (Max.) @  $I_C = 3.0 A$
- \* Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistor

|        |        |
|--------|--------|
| NPN    | PNP    |
| TIP120 | TIP125 |
| TIP121 | TIP126 |
| TIP122 | TIP127 |

5.0 AMPERE  
DARLINGTON  
COMPLEMENTARY SILICON  
POWER TRANSISTORS  
60-100 VOLTS  
65 WATTS

### MAXIMUM RATINGS

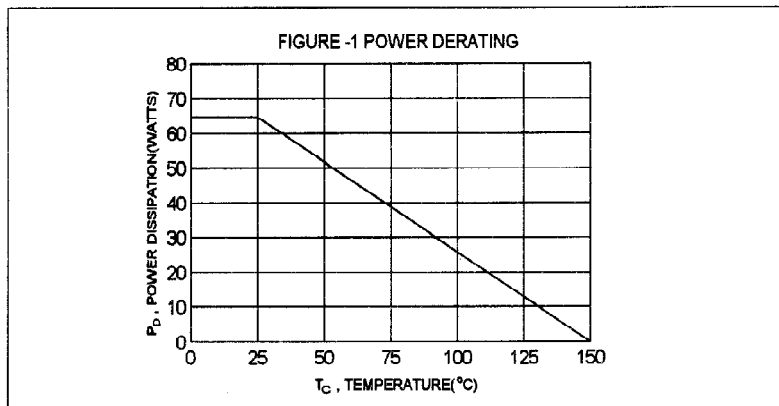
| Characteristic  | Symbol            | TIP120<br>TIP125 | TIP121<br>TIP126 | TIP122<br>TIP127 | Unit               |
|---|-------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| Collector-Emitter Voltage   | $V_{CEO}$         | 60               | 80               | 100              | V                  |
| Collector-Base Voltage  | $V_{CBO}$         | 60               | 80               | 100              | V                  |
| Emitter-Base Voltage  | $V_{EBO}$         | 5.0              |                  |                  | V                  |
| Collector Current-Continuous<br>-Peak                                     | $I_C$<br>$I_{CM}$ | 5.0<br>8.0       |                  |                  | A                  |
| Base Current  | $I_B$             | 120              |                  |                  | mA                 |
| Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$<br>Derate above $25^\circ C$ | $P_D$             | 65<br>0.52       |                  |                  | W<br>W/ $^\circ C$ |
| Operating and Storage Junction<br>Temperature Range                       | $T_J, T_{STG}$    | - 65 to +150     |                  |                  | $^\circ C$         |



PIN 1.BASE  
2.COLLECTOR  
3.EMITTER  
4.COLLECTOR(CASE)

### THERMAL CHARACTERISTICS

| Characteristic                      | Symbol          | Max  | Unit         |
|-------------------------------------|-----------------|------|--------------|
| Thermal Resistance Junction to Case | $R_{\theta jc}$ | 1.92 | $^\circ C/W$ |



| DIM | MILLIMETERS |       |
|-----|-------------|-------|
|     | MIN         | MAX   |
| A   | 14.68       | 15.31 |
| B   | 9.78        | 10.42 |
| C   | 5.01        | 6.52  |
| D   | 13.06       | 14.62 |
| E   | 3.57        | 4.07  |
| F   | 2.42        | 3.66  |
| G   | 1.12        | 1.36  |
| H   | 0.72        | 0.96  |
| I   | 4.22        | 4.98  |
| J   | 1.14        | 1.38  |
| K   | 2.20        | 2.97  |
| L   | 0.33        | 0.55  |
| M   | 2.48        | 2.98  |
| O   | 3.70        | 3.90  |

TIP120, TIP121, TIP122 NPN / TIP125, TIP126, TIP127 PNP

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (  $T_c = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted )

| Characteristic | Symbol | Min | Max | Unit |
|----------------|--------|-----|-----|------|
|----------------|--------|-----|-----|------|

**OFF CHARACTERISTICS**

|  |  |                |                   |    |
|--|--|----------------|-------------------|----|
| Collector - Emitter Sustaining Voltage (1)<br>( $I_C = 30\text{ mA}, I_B = 0$ )  | TIP120, TIP125<br>TIP121, TIP126<br>TIP122, TIP127 | $V_{CEO(sus)}$ | 60<br>80<br>100   | V  |
| Collector Cutoff Current<br>( $V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$ )<br>( $V_{CE} = 40\text{ V}, I_B = 0$ )<br>( $V_{CE} = 50\text{ V}, I_B = 0$ )  | TIP120, TIP125<br>TIP121, TIP126<br>TIP122, TIP127 | $I_{CEO}$      | 0.5<br>0.5<br>0.5 | mA |
| Collector Cutoff Current<br>( $V_{CB} = 60\text{ V}, I_E = 0$ )<br>( $V_{CB} = 80\text{ V}, I_E = 0$ )<br>( $V_{CB} = 100\text{ V}, I_E = 0$ ) | TIP120, TIP125<br>TIP121, TIP126<br>TIP122, TIP127 | $I_{CBO}$      | 0.2<br>0.2<br>0.2 | mA |
| Emitter Cutoff Current<br>( $V_{EB} = 5.0\text{ V}, I_C = 0$ )   |  | $I_{EBO}$      | 2.0               | mA |

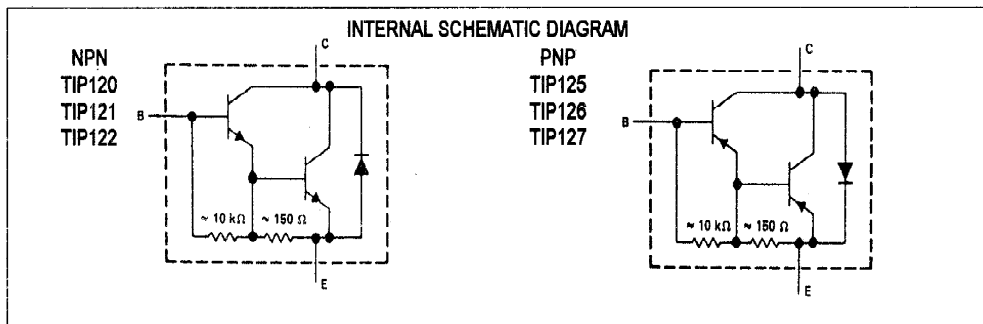
**ON CHARACTERISTICS (1)**

|  |  |               |              |   |
|--|--|---------------|--------------|---|
| DC Current Gain<br>( $I_C = 0.5\text{ A}, V_{CE} = 3.0\text{ V}$ )<br>( $I_C = 3.0\text{ A}, V_{CE} = 3.0\text{ V}$ )                |  | $h_{FE}$      | 1000<br>1000 |   |
| Collector-Emitter Saturation Voltage<br>( $I_C = 3.0\text{ A}, I_B = 12\text{ mA}$ )<br>( $I_C = 5.0\text{ A}, I_B = 20\text{ mA}$ ) |  | $V_{CE(sat)}$ | 2.0<br>4.0   | V |
| Base-Emitter On Voltage<br>( $I_C = 3.0\text{ A}, V_{CE} = 3.0\text{ V}$ )   |  | $V_{BE(on)}$  | 2.5          | V |

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

|  |  |          |            |    |
|--|--|----------|------------|----|
| Small-Signal Current Gain<br>( $I_C = 3.0\text{ A}, V_{CE} = 4.0\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$ ) |  | $h_{fs}$ | 4.0        |    |
| Output Capacitance<br>( $V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0, f = 0.1\text{ MHz}$ )                    | TIP120, TIP121, TIP122<br>TIP125, TIP126, TIP127 | $C_{ob}$ | 300<br>250 | pF |

(1) Pulse Test: Pulse width = 300 us , Duty Cycle  $\leq$  2.0%





**ANEXO E – Datasheet Integrado L293B**

## PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVERS

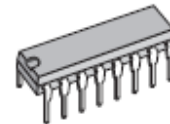
- OUTPUT CURRENT 1A PER CHANNEL
- PEAK OUTPUT CURRENT 2A PER CHANNEL (non repetitive)
- INHIBIT FACILITY
- HIGH NOISE IMMUNITY
- SEPARATE LOGIC SUPPLY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION

### DESCRIPTION

The L293B and L293E are quad push-pull drivers capable of delivering output currents to 1A per channel. Each channel is controlled by a TTL-compatible logic input and each pair of drivers (a full bridge) is equipped with an inhibit input which turns off all four transistors. A separate supply input is provided for the logic so that it may be run off a lower voltage to reduce dissipation.

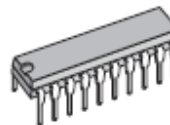
Additionally, the L293E has external connection of sensing resistors, for switchmode control.

The L293B and L293E are package in 16 and 20-pin plastic DIPs respectively ; both use the four center pins to conduct heat to the printed circuit board.



DIP16

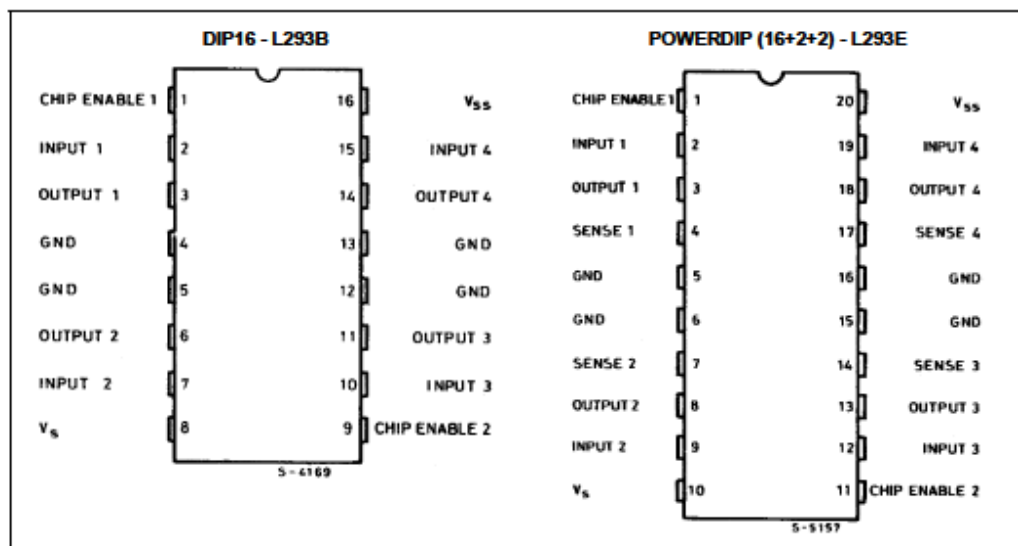
ORDERING NUMBER : L293B



POWERDIP (16 + 2 + 2)

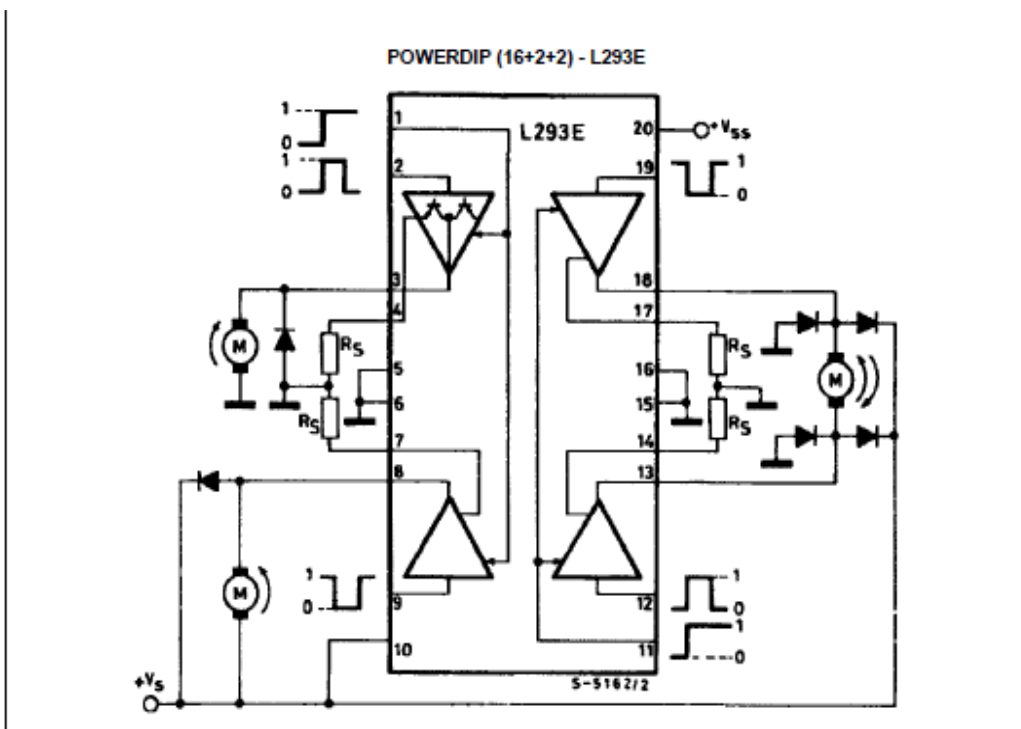
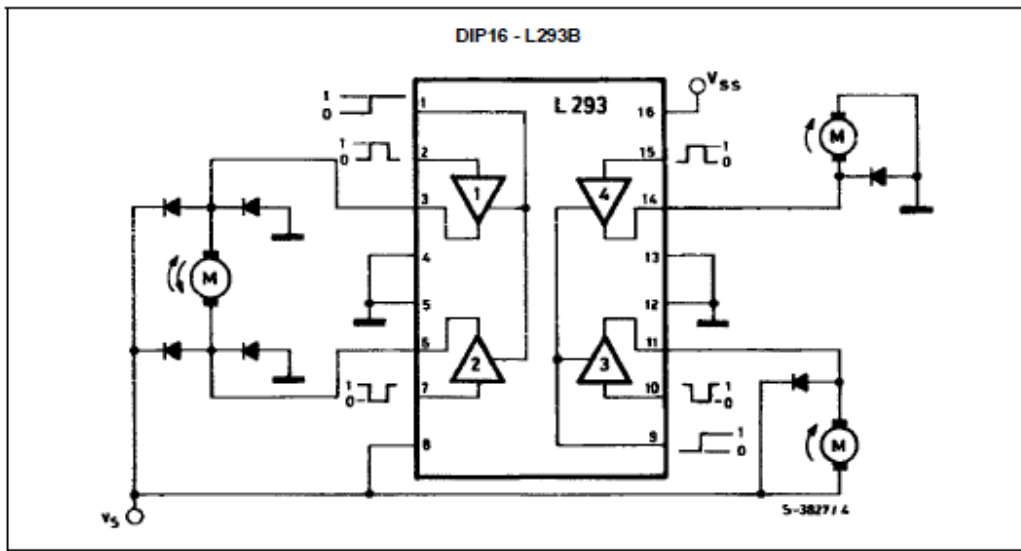
ORDERING NUMBER : L293E

### PIN CONNECTIONS



## L293B - L293E

## BLOCK DIAGRAMS



## L293B - L293E

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol         | Parameter  | Value       | Unit        |
|----------------|--|-------------|-------------|
| $V_s$          | Supply Voltage   | 36          | V           |
| $V_{ss}$       | Logic Supply Voltage                                       | 36          | V           |
| $V_i$          | Input Voltage  | 7           | V           |
| $V_{inh}$      | Inhibit Voltage  | 7           | V           |
| $I_{out}$      | Peak Output Current (non repetitive $t = 5ms$ )            | 2           | A           |
| $P_{tot}$      | Total Power Dissipation at $T_{ground-pins} = 80^{\circ}C$ | 5           | W           |
| $T_{stg}, T_j$ | Storage and Junction Temperature                           | -40 to +150 | $^{\circ}C$ |

### THERMAL DATA

| Symbol           | Parameter                                | Value | Unit          |
|------------------|--|-------|---------------|
| $R_{th\ j-case}$ | Thermal Resistance Junction-case Max.    | 14    | $^{\circ}C/W$ |
| $R_{th\ j-amb}$  | Thermal Resistance Junction-ambient Max. | 80    | $^{\circ}C/W$ |

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

For each channel,  $V_s = 24V$ ,  $V_{ss} = 5V$ ,  $T_{amb} = 25^{\circ}C$ , unless otherwise specified

| Symbol       | Parameter                                | Test Conditions   | Min.       | TYp.           | Max.           | Unit    |
|--------------|--|---|------------|----------------|----------------|---------|
| $V_s$        | Supply Voltage                           |   | $V_{ss}$   |                | 36             | V       |
| $V_{ss}$     | Logic Supply Voltage                     |   | 4.5        |                | 36             | V       |
| $I_s$        | Total Quiescent Supply Current           | $V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$<br>$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$<br>$V_{inh} = L$ |            | 2<br>16        | 6<br>24<br>4   | mA      |
| $I_{ss}$     | Total Quiescent Logic Supply Current     | $V_i = L \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$<br>$V_i = H \quad I_o = 0 \quad V_{inh} = H$<br>$V_{inh} = L$ |            | 44<br>16<br>16 | 60<br>22<br>24 | mA      |
| $V_{iL}$     | Input Low Voltage                        |   | -0.3       |                | 1.5            | V       |
| $V_{iH}$     | Input High Voltage                       | $V_{ss} \leq 7V$<br>$V_{ss} > 7V$   | 2.3<br>2.3 |                | $V_{ss}$<br>7  | V       |
| $I_{iL}$     | Low Voltage Input Current                | $V_{iL} = 1.5V$   |            |                | -10            | $\mu A$ |
| $I_{iH}$     | High Voltage Input Current               | $2.3V \leq V_{iH} \leq V_{ss} - 0.6V$   |            | 30             | 100            | $\mu A$ |
| $V_{inhL}$   | Inhibit Low Voltage                      |   | -0.3       |                | 1.5            | V       |
| $V_{inhH}$   | Inhibit High Voltage                     | $V_{ss} \leq 7V$<br>$V_{ss} > 7V$   | 2.3<br>2.3 |                | $V_{ss}$<br>7  | V       |
| $I_{inhL}$   | Low Voltage Inhibit Current              | $V_{inhL} = 1.5V$   |            | -30            | -100           | $\mu A$ |
| $I_{inhH}$   | High Voltage Inhibit Current             | $2.3V \leq V_{inhH} \leq V_{ss} - 0.6V$   |            |                | $\pm 10$       | $\mu A$ |
| $V_{CEsatH}$ | Source Output Saturation Voltage         | $I_o = -1A$   |            | 1.4            | 1.8            | V       |
| $V_{CEsatL}$ | Sink Output Saturation Voltage           | $I_o = 1A$  |            | 1.2            | 1.8            | V       |
| $V_{SENS}$   | Sensing Voltage (pins 4, 7, 14, 17) (**) |   |            |                | 2              | V       |
| $t_r$        | Rise Time                                | 0.1 to 0.9 $V_o$ (*)  |            | 250            |                | ns      |
| $t_f$        | Fall Time                                | 0.9 to 0.1 $V_o$ (*)  |            | 250            |                | ns      |
| $t_{on}$     | Turn-on Delay                            | 0.5 $V_i$ to 0.5 $V_o$ (*)  |            | 750            |                | ns      |
| $t_{off}$    | Turn-off Delay                           | 0.5 $V_i$ to 0.5 $V_o$ (*)  |            | 200            |                | ns      |

\* See figure 1

\*\* Referred to L293E

Figure 1 : Switching Timers

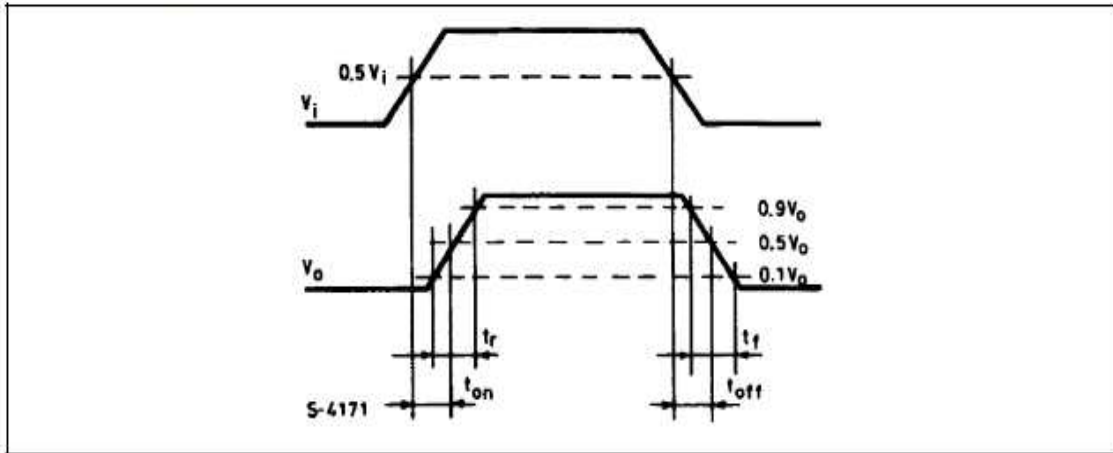


Figure 2 : Saturation voltage versus Output Current

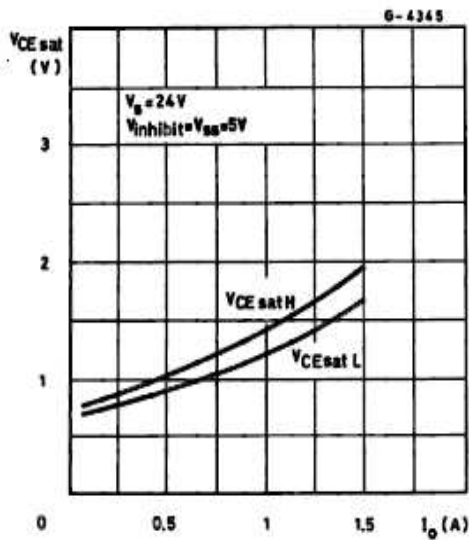


Figure 4 : Sink Saturation Voltage versus Ambient Temperature

Figure 3 : Source Saturation Voltage versus Ambient Temperature

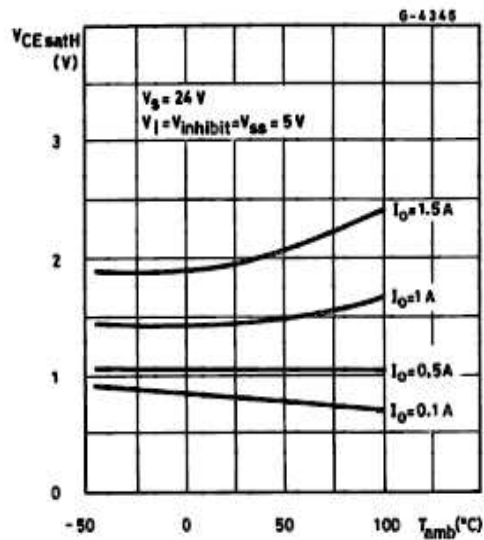


Figure 5 : Quiescent Logic Supply Current versus Logic Supply Voltage

**ANEXO F – Datasheet Integrado MM74C922**

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR™

October 1987  
Revised April 2001

## MM74C922 • MM74C923

### 16-Key Encoder • 20-Key Encoder

#### General Description

The MM74C922 and MM74C923 CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external clock or external capacitor. These encoders also have on-chip pull-up devices which permit switches with up to 50 k $\Omega$  on resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be defeated by omitting the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if another key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the new key after a normal debounce period; this two-key roll-over is provided between any two switches.

An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The 3-STATE outputs provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

#### Features

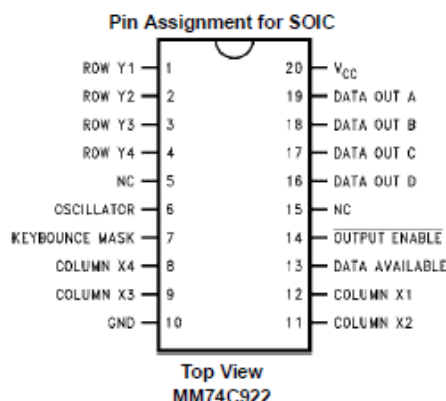
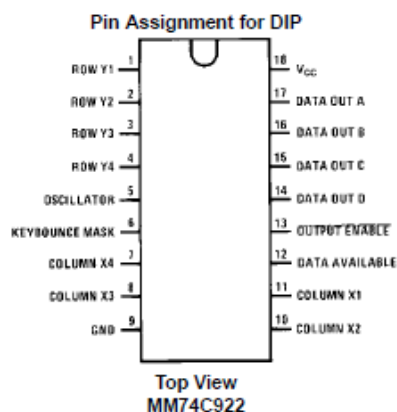
- 50 k $\Omega$  maximum switch on resistance
- On or off chip clock
- On-chip row pull-up devices
- 2 key roll-over
- Keybounce elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- 3-STATE output LPTTL compatible
- Wide supply range: 3V to 15V
- Low power consumption

#### Ordering Code:

| Order Number | Package Number | Package Description  |
|--------------|----------------|--|
| MM74C922WM   | M20B           | 20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide |
| MM74C922N    | N18B           | 18-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide     |
| MM74C923WM   | M20B           | 20-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide |
| MM74C923N    | N20A           | 20-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide     |

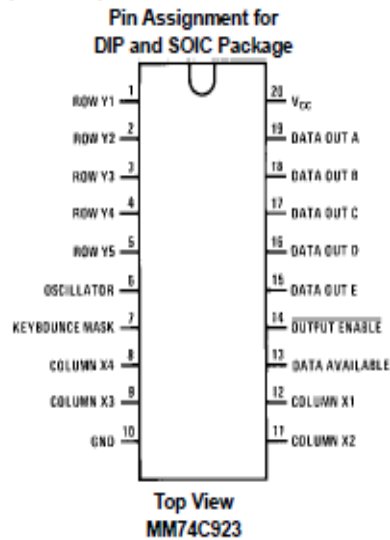
Device also available in Tape and Reel. Specify by appending suffix letter "X" to the ordering code.

#### Connection Diagrams



MM74C922 • MM74C923 16-Key Encoder • 20-Key Encoder

## Connection Diagrams (Continued)



## Truth Tables

(Pins 0 through 11)

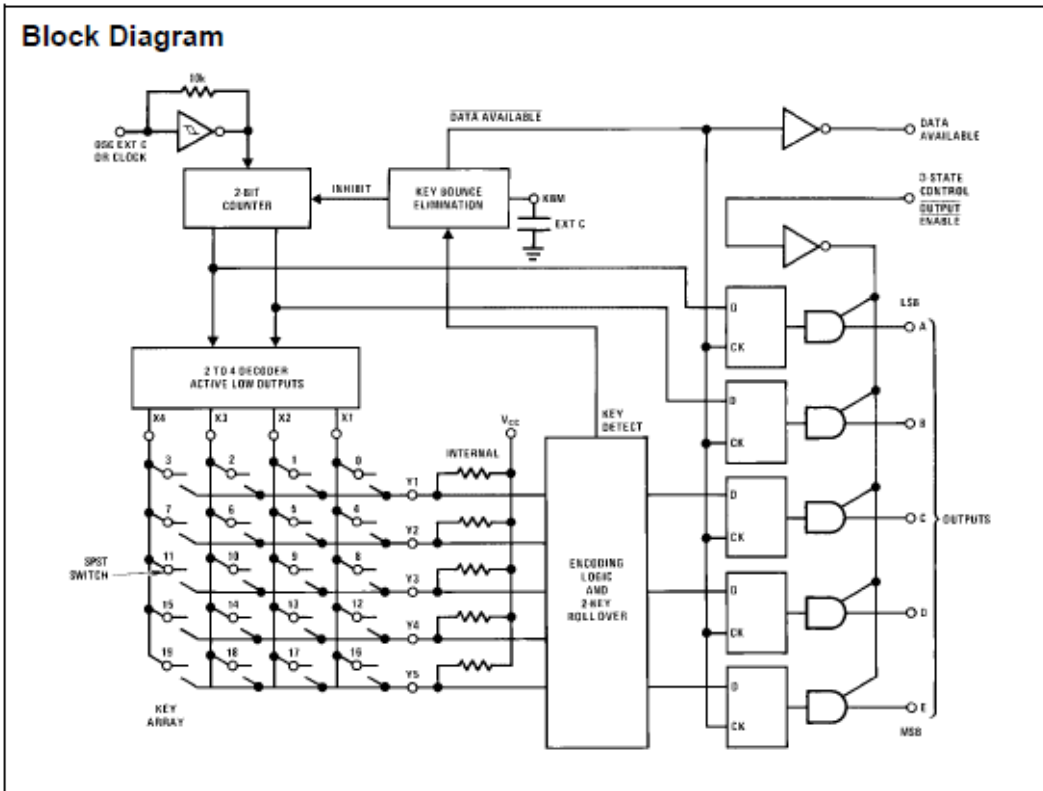
| Switch<br>Position | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | Y1, X1 | Y1, X2 | Y1, X3 | Y1, X4 | Y2, X1 | Y2, X2 | Y2, X3 | Y2, X4 | Y3, X1 | Y3, X2 | Y3, X3 | Y3, X4 |
| D                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| A A                | 0      | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      |
| T B                | 0      | 0      | 1      | 1      | 0      | 0      | 1      | 1      | 0      | 0      | 1      | 1      |
| A C                | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| O D                | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      |
| U E (Note 1)       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| T                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

(Pins 12 through 19)

| Switch<br>Position | 12     | 13     | 14     | 15     | 16              | 17              | 18              | 19              |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                    | Y4, X1 | Y4, X2 | Y4, X3 | Y4, X4 | Y5 (Note 1), X1 | Y5 (Note 1), X2 | Y5 (Note 1), X3 | Y5 (Note 1), X4 |
| D                  |        |        |        |        |                 |                 |                 |                 |
| A A                | 0      | 1      | 0      | 1      | 0               | 1               | 0               | 1               |
| T B                | 0      | 0      | 1      | 1      | 0               | 0               | 1               | 1               |
| A C                | 1      | 1      | 1      | 1      | 0               | 0               | 0               | 0               |
| O D                | 1      | 1      | 1      | 1      | 0               | 0               | 0               | 0               |
| U E (Note 1)       | 0      | 0      | 0      | 0      | 1               | 1               | 1               | 1               |
| T                  |        |        |        |        |                 |                 |                 |                 |

Note 1: Omit for MM74C922





MM74C922 • MM74C923