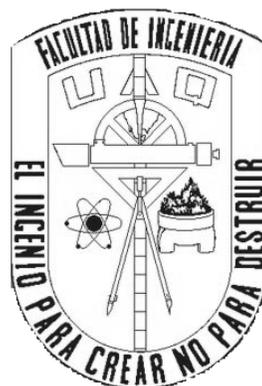
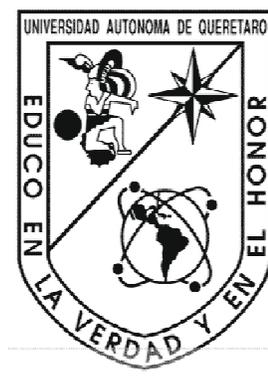


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**AUTOMATIZACIÓN 1**

**GUÍA DEL MAESTRO**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN  
(INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS)**

**PRESENTA:**

**VICTOR HUGO ESPERANZA SALINAS**

**DIRIGIDO POR:**

**ING. LEÓN JUÁREZ RAÚL**

**SANTIAGO DE QUERÉTARO QRO. 08 DE DICIEMBRE DE 2010**

# INTRODUCCIÓN

---

La automatización cada vez y con más fuerza se ha hecho presente en la industria, así como la informática es ya presente en las diversas áreas del saber o en cualquier aspecto de la escuela y el trabajo. La automatización se ha transformado en la más interesante técnica capaz de cambiar los procedimientos en el trabajo.

Hoy en día dentro del sector industrial, el uso de la automatización cumple tareas que para el ser humano resultan peligrosas o monótonas, estos procesos pueden ser diseñados y programados para diversas tareas, sin embargo, esta no es una tarea fácil, ya que es necesario comprender su funcionamiento así como la del proceso con el que va a interactuar.

El objetivo de este trabajo es que el lector logre reforzar sus conocimientos, además que le permita minimizar el tiempo invertido en la búsqueda de cada uno de los temas.

El trabajo se encuentra dividido en secciones que permitan resaltar los puntos importantes de la materia de la asignatura de automatización I y busca que el lector comprenda los principios fundamentales que intervienen en un proceso industrial.

Una obra de este tipo tiene cierto grado de dificultad y son muchas las personas que contribuyen, apoyan y ayudan de diferentes formas, por lo que esta guía será de gran ayuda tanto para maestros como alumnos.

## Introducción

### Contenido

1	HIDROSTÁTICA E HIDRODINÁMICA .....	1
1.1	Generalidades.....	1
1.1.1	Objetivos de la mecánica de los fluidos .....	1
1.1.2	Sistemas de unidades. Cambios de unidades .....	1
1.1.3	Problema de aplicación .....	2
1.2	Propiedades de los fluidos .....	2
1.2.1	Densidad relativa o gravedad específica .....	2
1.2.2	Densidad específica o absoluta.....	3
1.2.3	Peso específico.....	3
1.2.4	Volumen específico.....	4
1.2.5	Compresibilidad.....	4
1.2.6	Viscosidad dinámica .....	5
1.2.7	Viscosidad cinemática.....	6
1.2.8	Problemas de aplicación.....	7
1.2.9	Demostración práctica.....	7
1.3	Medición de la presión .....	9
1.3.1	Definición de presión .....	9
1.3.2	Presión absoluta, atmosférica y manométrica .....	10
1.3.3	Presión hidrostática .....	11
1.3.4	Principio de Pascal .....	12
1.3.5	Principios de Arquímedes.....	13
1.3.6	Manómetros, barómetros y transductores de presión.....	13
1.3.7	Problemas de aplicación.....	15
1.3.8	Demostraciones prácticas.....	17
1.4	Ecuaciones características de la hidrodinámica.....	19
1.4.1	Velocidades del fluido y ecuaciones de continuidad .....	19
1.4.2	Principios de la conservación de la energía.....	20
1.4.3	Ecuación de Bernoulli .....	21
1.4.4	Ecuación general de la energía.....	23

1.4.5	Conductos y tuberías comerciales.....	24
1.4.6	Ecuaciones de Torricelli.....	25
1.4.7	Distribución de velocidad radio hidráulico y pérdidas totales. Tanques y boquillas expuestas a la atmósfera. Sistema en un sifón. ....	27
1.4.8	Medidor Venturi.....	29
1.4.9	Problemas de aplicación.....	30
1.4.10	Demostración práctica.....	32
2	RESISTENCIA EN CONDUCTOS A PRESIÓN.....	33
2.1	Pérdidas por rozamiento.....	33
2.2	Numero de Reynolds.....	34
2.3	Perdidas en flujo laminar.....	34
2.4	Pérdidas en flujo turbulento.....	35
2.5	Pérdidas en tubos comerciales.....	38
2.6	Problemas de aplicación.....	44
3	GENERALIDADES Y LEYES FÍSICAS DE LA HIDRÁULICA Y LA NEUMÁTICA.....	47
3.1	Generalidades.....	47
3.2	Diferencias entre la hidráulica y la neumática.....	47
3.3	Cálculos básicos de la Neumática e Hidráulica.....	48
3.4	Fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas.....	60
3.5	Propiedades del aire.....	60
3.6	Presión de una columna de fluido.....	61
3.7	Carga positiva y carga negativa.....	62
3.8	Como se produce la presión.....	63
3.9	Presión diferencial.....	65
3.10	Problema de aplicación.....	65
4	NEUMÁTICA.....	69
4.1	Generalidades.....	69
4.2	Unidad de potencia hidráulica y neumática.....	69
4.3	Construcción de la red principal.....	72
4.4	Red de aire comprimido.....	75
4.5	Diámetro de la tubería principal.....	79
4.6	Válvulas de alivio limitadoras de presión y Presostatos hidroeléctrico.....	81
4.7	Sistema de enfriamiento.....	82
5	Forma básica de un circuito hidráulico y neumático.....	89

5.1	Actuadores de trabajo .....	89
5.2	Motores hidráulicos en circuitos .....	92
5.3	Válvulas de control.....	93
5.4	Bombas hidráulicas .....	94
5.5	Mandos neumáticos de simple y doble efecto .....	98
5.6	Válvulas anti-retorno, válvula de escape rápido y reguladora de caudal .....	99
5.7	Demostraciones prácticas .....	101
6	Circuitos híbridos .....	103
6.1	Circuitos neumáticos básicos.....	103
6.1.1	Mando de un cilindro de simple efecto. ....	103
6.1.2	Mando de un cilindro de doble efecto.....	103
6.1.3	Regulación de velocidad de los cilindros. ....	104
6.1.4	Mando con selector de circuito.....	104
6.1.5	Mando con una válvula de simultaneidad. ....	104
6.1.6	Aumento de la velocidad de los cilindros.....	105
6.1.7	Mando indirecto de un cilindro de simple efecto.....	105
6.1.8	Mando indirecto de un cilindro de doble efecto .....	106
6.1.9	Retrosceso de un cilindro de doble efecto por final de carrera. ....	106
6.1.10	Mando en función del tiempo .....	107
6.2	Diagramas de mando .....	108
6.3	Mandos secuenciales .....	110
6.4	Construcción de componentes eléctricos y la forma en que operan .....	113
6.4.1	Divisor de voltaje .....	113
6.4.2	Solenoide .....	113
6.4.3	Relé .....	114
6.4.4	Transformador .....	115
6.4.5	Diodo rectificador .....	116
6.4.6	Fuente de alimentación.....	116
6.5	Diseño de circuitos electro-hidráulicos y electro-neumáticos .....	117
6.6	Demostraciones prácticas .....	118
7	Sensores .....	119
7.1	Generalidades.....	119
7.2	Sensores de proximidad.....	122
7.2.1	Sensores inductivos.....	123

7.2.2	Sensores capacitivos.....	124
7.2.3	Aplicaciones .....	125
7.2.4	Ejemplos de sensores .....	126
7.3	Sensores fotoeléctricos .....	128
7.3.1	Sensor emisor receptor .....	128
7.3.2	Sensor retroreflectivo (Reflex) .....	129
7.3.3	Sensor de reflexión difusa .....	130
7.3.4	Aplicaciones .....	132
7.3.5	Ejemplo de sensor .....	132
7.4	Sensores fibras ópticas Generalidades sobre la fibra óptica.....	133
7.4.1	Que son las fibras ópticas .....	133
7.4.2	Características de los cables ópticas .....	134
7.4.3	Aplicaciones .....	136
7.4.4	Ejemplo de sensor .....	136
7.5	Sistemas de visión.....	138
7.5.1	Aplicaciones .....	139
7.5.2	Ejemplos de sensores. ....	141
8	Control de motores .....	144
8.1	Elementos de control.....	144
8.1.1	Generalidades.....	144
8.1.2	Clasificaciones .....	145
8.1.3	Descripción y estudio de los elementos de control.....	147
8.2	Interpretación de los diagramas eléctricos.....	160
8.2.1	Tipos de diagramas .....	161
8.2.2	Tipos de circuitos.....	164
8.2.3	Lógica de control .....	166
9	Motores eléctricos .....	172
9.1	Generalidades.....	172
9.2	Clasificación de los motores eléctricos .....	173
9.2.1	Tipos de corriente.....	173
9.2.2	Tipo de operación.....	173
9.2.3	Tipos de funcionamiento .....	175
9.2.4	Tipo de rotor .....	179
9.2.5	Tipo de arranque .....	181

9.2.6	Datos de Placa.....	183
-------	---------------------	-----

## APÉNDICE

A Propiedades de los líquidos comunes

B Dimensión de tuberías de acero

C Dimensiones de tubería de acero

D Dimensiones de tuberías de cobre tipo k

E Dimensiones de tubos de hierro dúctil

F Simbología neumática e hidráulica más frecuente

G Constantes dieléctricas de materiales industriales comunes

H Simbología europea y americana

I Configuración de motores

# 1 HIDROSTÁTICA E HIDRODINÁMICA

---

## 1.1 Generalidades

### 1.1.1 Objetivos de la mecánica de los fluidos

La Mecánica de Fluidos se refiere al estudio del comportamiento de los fluidos ya sea en reposo o en movimiento. Con el fin de entender el comportamiento de los fluidos se hace necesario comprender su misma naturaleza, más adelante se definirán las propiedades de los fluidos, se introducirán los símbolos y unidades implicadas y se analizarán los tipos de cálculos requeridos.

### 1.1.2 Sistemas de unidades. Cambios de unidades

El Sistema internacional de unidades (SI) consta de siete magnitudes y siete unidades fundamentales

**Tabla 1 Magnitudes y unidades fundamentales en el SI**

Magnitudes fundamentales	Unidades fundamentales	
Masa	kilogramos	kg
Longitud	Metro	M
Tiempo	Segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	Amperio	a
Temperatura	Kelvin	k
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol

La utilización de una ecuación de dimensiones, que es una ecuación simbólica, mediante la cual se expresa todas las magnitudes de la física en función de tres magnitudes cualesquiera elevadas a los respectivos exponentes. Se utilizarán como magnitudes fundamentales la masa [M], longitud [L] y tiempo [T].

**Tabla 2 Ecuación de dimensiones en función de [M], [L], [T] y unidades en el SI que intervienen en la mecánica de fluidos**

Magnitudes fundamentales		
Masa	M, m [M]	kg
Longitud	L [L]	m
Tiempo	T [T]	s
Magnitudes geométricas		
Angulo	-- adimensional	rad
Área	A [L] <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Momento 1 de superficie	-- [L] <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Momento 2 de superficie	-- [L] <sup>4</sup>	m <sup>4</sup>
Volumen	V [L] <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>

### 1.1.3 Problema de aplicación

*Ejemplo 1.* ¿Cuál es el equivalente de  $3.65 \times 10^3$  milímetros cúbicos en metros cúbicos?

$$3.65 \times 10^3 \text{ mm}^3 [(1 \text{ m} / (1000 \text{ mm})^3)] = 3.65 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

*Ejemplo 2.* Convierta 2500 pies cúbicos por minuto en metros cúbicos por segundo

$$\frac{2500 \text{ ft}^3}{\text{min}} * \frac{0.0283 \text{ m}^3}{\text{ft}^3} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

*Ejemplo 3.* Convierta una longitud de 8.65 pulgadas en milímetros

$$8.65 \text{ in} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} * \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \approx 220 \text{ mm}$$

## 1.2 Propiedades de los fluidos

### 1.2.1 Densidad relativa o gravedad específica

Relación entre la densidad de una sustancia dada y la densidad de una sustancia de referencia. La densidad relativa es una generalización, o en de algunos usos sinónimos con,

gravedad específica (que significa específicamente densidad relativa con respecto al agua a 4°C) y es función de la temperatura y de la presión.

### 1.2.2 Densidad específica o absoluta

La densidad es la masa por unidad de volumen

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \begin{array}{l} \rho = \text{densidad específica o absoluta} \\ m = \text{masa} \\ V = \text{volumen} \end{array} \quad (1.1)$$

La densidad absoluta es función de la temperatura y de la presión, la variación de la densidad absoluta de los líquidos es muy pequeña, salvo a muy altas presiones.

$$\text{Ecuación dimensional:} \quad [\rho] = [M][L]^{-3} \quad (1.2)$$

$$\text{Unidad en SI:} \quad \rho = 1 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Factor de conversión del ST al SI y viceversa: } 9.81 \text{ (kg / m}^3 \text{) / ((kp * s}^2 \text{) / m}^4 \text{) = 1}$$

### 1.2.3 Peso específico

Es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia.

$$\gamma = \frac{w}{V} \quad \begin{array}{l} \gamma = \text{peso específico} \\ w = \text{peso} \\ V = \text{volumen} \end{array} \quad (1.3)$$

Como  $W = m * g$  de las ecuaciones  $\rho = m/V$   $\gamma = W/V$  Se deduce que:  $\gamma = \rho g$

El peso específico es función de la temperatura y de la presión, aunque en los líquidos no varía prácticamente con esta última.

*Ecuación dimensional:* 
$$[\gamma] = \frac{[W]}{[V]} = [F][L]^{-3} = [M][L]^{-2}[T]^{-2} \quad (1.4)$$

Unidad en el SI:  $1\gamma = 1N/m^3 = 1kg/(m^2 * s^2)$

Factor de conversión del ST al SI y viceversa:  $9.81 (N / m^2)/(kp / m) = 1$

### 1.2.4 Volumen específico

Es el inverso a la densidad absoluta ( $\rho$ ); es decir, es el volumen que ocupa la unidad de masa.

$$v = \frac{1}{\rho} \quad \begin{array}{l} v = \text{volumen específico} \\ \rho = \text{densidad} \end{array} \quad (1.5)$$

O sea, el volumen ocupa 1 kg de masa de la sustancia.

*Ecuación dimensional:* 
$$v = [L]^3[M]^{-1} \quad (1.6)$$

Unidades en SI:  $1v = 1 m^3/kg$

### 1.2.5 Compresibilidad

La compresibilidad se refiere al cambio de volumen que sufre una sustancia cuando se le sujeta a un cambio de presión. La cantidad usual que se emplea para medir este fenómeno es el modulo volumétrico de elasticidad (E).

$$E = \frac{-\Delta p}{\Delta V/V} \quad (1.7)$$

Debido a que las cantidades  $\Delta V$  y  $V$  tienen las mismas unidades, el denominador de la ecuación es adimensional.

### 1.2.6 Viscosidad dinámica

Cuando un fluido se mueve, se desarrolla en él una tensión de corte, cuya magnitud depende de la de la viscosidad del fluido. La tensión de corte ( $\tau$ ) tao es la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra de la misma sustancia.

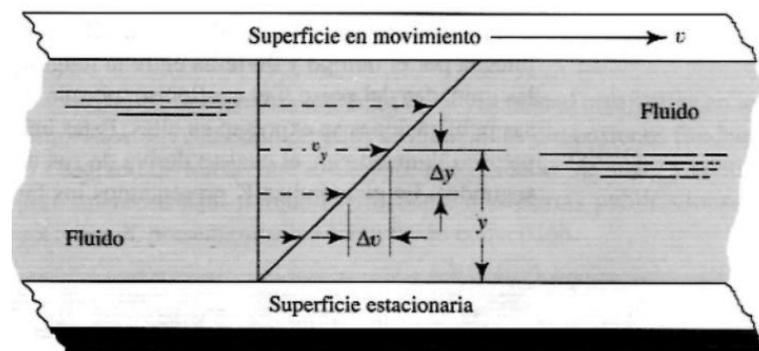


Figura 1 Gradiente de velocidad de un fluido en movimiento

Se ilustra el cambio de velocidad en un fluido mediante la exhibición de una capa delgada del fluido situado entre dos superficies, una de las cuales está estacionaria, mientras que la otra se está moviendo.

El fluido que está en contacto con la superficie inferior tiene velocidad cero y el que está en contacto con la superficie superior tiene velocidad  $v$ . Si la distancia entre las dos superficies es pequeña, entonces la rapidez de cambio de velocidad con respecto de la posición y es lineal. Esto es varía como una línea recta. El gradiente de velocidad es una medida del cambio de velocidad y se define como  $\Delta v/\Delta y$ .

El hecho de que la tensión de corte de fluido es directamente proporcional al gradiente de velocidad puede establecerse matemáticamente como:

$$\tau = \eta(\Delta v/\Delta y) \quad (1.8)$$

En la que la constante de proporcionalidad  $\eta$  se conoce como viscosidad dinámica del fluido.

$$\eta = \frac{\tau}{\Delta v / \Delta y} \tau \left( \frac{\Delta y}{\Delta v} \right) \quad (1.9)$$

*Ecuación dimensional:*  $[\eta] = [F][T][L]^{-2} = [M][L]^{-1}[T]^{-1}$  (1.10)

Unidades en el SI:  $1\eta = 1 (N * s) / m^2 = 1 Pa * s = 1 kg / (m * s)$

$$1cP = 10^{-2}P = 10^{-3}Pa * s$$

Factor de conversión del ST al SI y viceversa:  $9.81 (Pa * s) / (kp * s / m^2) = 1$

### 1.2.7 Viscosidad cinemática

En la hidrodinámica intervienen junto con las fuerzas debidas a la viscosidad las fuerzas de inercia, que dependen de la densidad. Por eso tiene un significado importante la viscosidad dinámica referida a la densidad.

$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad \begin{array}{l} v = \text{viscosidad cinemática} \\ \eta = \text{viscosidad dinámica} \\ \rho = \text{densidad} \end{array} \quad (1.11)$$

*Ecuación dimensional:*  $[v] = [L]^2[T]^{-1}$  (1.12)

Unidades en el SI:  $1v = 1 m^2/s$

Factor de conversión:  $1St = [10]^{(-4)} m^2/s$

$$1cSt = [10]^{(-2)} St = [10]^{(-6)} m^2/s$$

La viscosidad cinemática de los gases varía mucho con la presión y la temperatura, mientras que la de los líquidos prácticamente solo varía con la temperatura.

### 1.2.8 Problemas de aplicación

*Ejemplo 1.* La viscosidad dinámica del agua a 60°F (15.6°C) es  $3.75 \times 10^{-5} \frac{lb \cdot s}{ft^2}$

¿Cuál es la viscosidad a la misma temperatura en a) ST y b) SI?

$$a) 3.75 \times 10^{-5} \frac{lb \cdot s}{ft^2} = 3.75 \times 10^{-5} \frac{lb \cdot s}{ft^2} * 0.454 \frac{kp}{lb} * \frac{1}{0.3048^2} \frac{ft^2}{m^2} = 1.833 \times 10^{-4} \frac{kp \cdot s}{m^2}$$

$$b) 1.833 \times 10^{-4} \frac{kp \cdot s}{m^2} = 1.833 \times 10^{-4} \frac{kp \cdot s}{m^2} * 9.81 \frac{N}{kp} = 1.798 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2} = 1.798 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$$

*Ejemplo. 2* Convierta una unidad de viscosidad de  $6.5 \times 10^{-3} Pa \cdot s$  en las unidades de  $\frac{lb \cdot s}{ft^2}$

$$6.5 \times 10^{-3} Pa \cdot s \left[ \left( 1 \frac{lb \cdot s}{ft^2} \right) / (47.88 Pa \cdot s) \right] = 1.36 \times 10^{-4} lb \cdot s / ft^2$$

### 1.2.9 Demostración práctica.

Una aplicación de la ecuación fundamental de la estática de fluidos es la determinación de la densidad de un líquido no miscible con agua mediante un tubo en forma de U (Fig. 2) comparando las diferentes alturas de las columnas de fluido sobre la superficie de separación.

Se comparan dos líquidos inmiscibles, el agua, cuya densidad es conocida ( $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$ ).y un líquido de densidad desconocida.

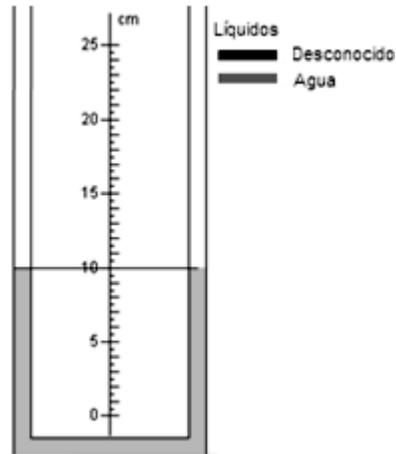


Figura 2 Experimento para determinar la densidad de un

Dado que  $P_A$  y  $P_B$  (Presión atmosférica) están a la misma altura sus presiones deben ser iguales:

- La presión en A es debida a la presión atmosférica más la altura  $h_2$  de la columna de fluido cuya densidad  $\rho_2$  queremos determinar.

$$P_a = P_o + \rho_2 g h_2$$

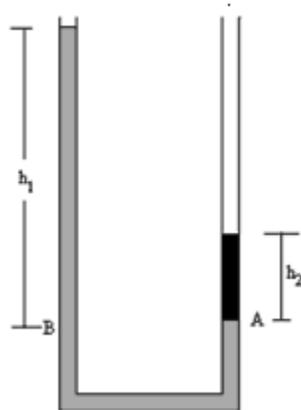
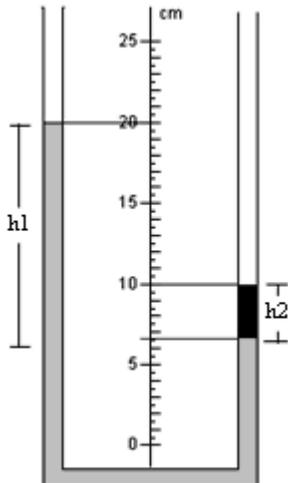


Figura 3 Comparación de dos líquidos

- La presión en B es debida a la presión atmosférica más la altura  $h_1$  de la columna de agua cuya densidad conocemos.

$$P_B = P_O + \rho_1 g h_1$$

Igualando las presiones en A y B, obtenemos



$$P_0 + \rho_2 g h_2 = P_0 + \rho_1 g h_1$$

Entonces:  $\rho_2 / \rho_1 = h_1 / h_2$

A continuación se ilustrara con un ejemplo:

El líquido desconocido se representa en color negro y el agua en gris claro.

**Figura 4** Cálculo de densidad del líquido desconocido

Medimos la altura de la columna ( $h_2$ ) de fluido desconocido sobre la superficie de separación (Fig. 4).

$$(10 - 6.5)\text{cm} = 3.5 \text{ cm}$$

Medimos la altura de la columna ( $h_1$ ) de agua sobre la superficie de separación  $20 - 6.5 = 13.5$  cm. Despejamos la densidad  $\rho_2$  del líquido desconocido:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 * h_1}{h_2} = \frac{1 * 13.5}{3.5} = 3.85 \text{ g/cm}^3$$

## 1.3 Medición de la presión

### 1.3.1 Definición de presión

La presión se define como la cantidad de fuerza ejercida sobre un área unitaria de una sustancia.

$$P = \frac{F}{A} \quad \begin{array}{l} P = \text{presión} \\ F = \text{fuerza} \\ A = \text{área} \end{array} \quad (1.13)$$

*Ecuación dimensional:*  $[p] = [F][L]^{-2} = [M][L]^{-1}[T]^{-2}$  (1.14)

Esta unidad ha recibido el nombre de Pascal (Pa):  $1 N/m^2 = Pa$

Factor de conversión del ST al SI y viceversa:  $9.81 (N/m^2)/(kp/m^2) = 1$

### 1.3.2 Presión absoluta, atmosférica y manométrica

Cundo se realizan cálculos que implican la presión de un fluido, se debe hacer la medición en relación con alguna presión de referencia. Los orígenes más usuales son el vacío absoluto y la presión atmosférica (presión ejercida por el aire en cualquier punto de la atmósfera). Cuando se toma como origen el vacío absoluto, la presión se llama *presión absoluta* y cuando se toma como origen la presión atmosférica local se llama *presión manométrica* (Fig. 5).

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} \quad \begin{array}{l} P_{abs} = \text{Presión absoluta} \\ P_{man} = \text{Presión manométrica} \\ P_{atm} = \text{Presión atmosférica} \end{array} \quad (1.15)$$

1. Un vacío perfecto es la presión más baja posible. Por consiguiente una presión absoluta será siempre positiva.
2. Una presión manométrica que esté por encima de la presión atmosférica es positiva.
3. Una presión manométrica que esté por debajo de la atmosférica es negativa, en ocasiones se le conoce como vacío.
4. La presión manométrica se representara en unidades de Pa(man) o lb/pulg<sup>2</sup> relativa
5. La presión absoluta se indicara en unidades de Pa(abs) o lb/pulg<sup>2</sup> absoluta
6. La magnitud real de la presión atmosférica varía con el lugar y con las condiciones climatológicas.
7. El intervalo de variación normal de la presión atmosférica cerca de la superficie terrestre es aproximadamente de 95 kPa(abs) a 105 kPa(abs) o de 13.8 lb/pulg<sup>2</sup> absoluta a 15.3 lb/pulg<sup>2</sup> a nivel de mar, la presión atmosférica estándar es de 101.3 kPa(abs) o de 14.69 lb/pulg<sup>2</sup>

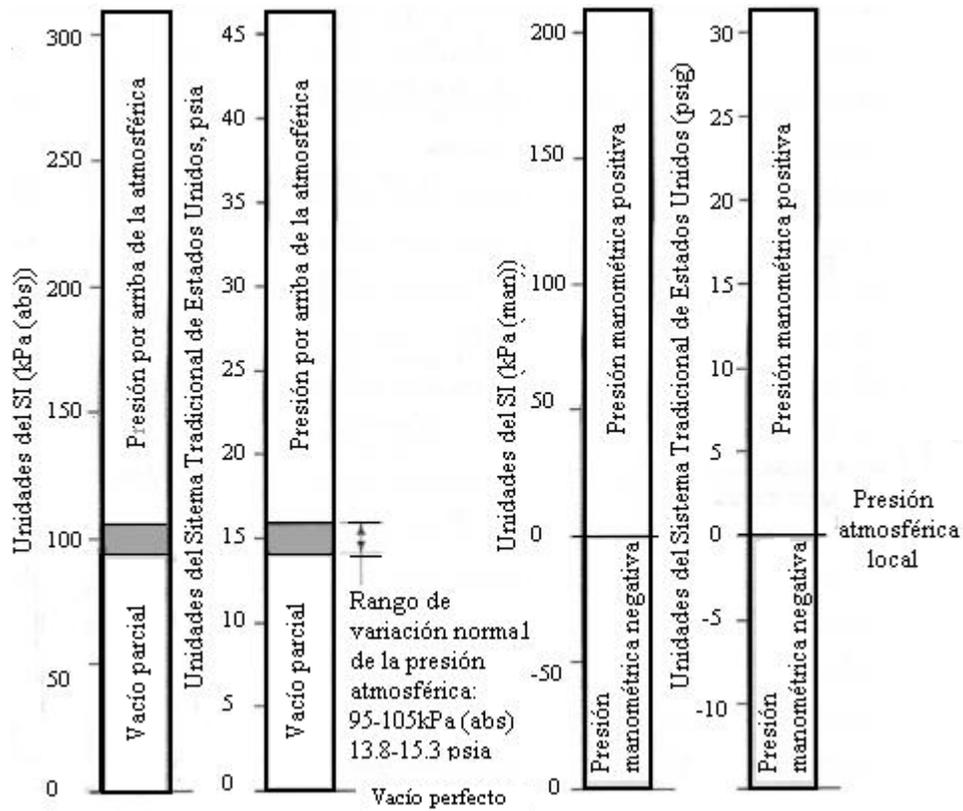


Figura 5 Comparación entre las presiones absoluta y manométrica

### 1.3.3 Presión hidrostática

La presión hidrostática es la fuerza por unidad de área que ejerce un líquido en reposo sobre las paredes del recipiente que lo contiene y sobre cualquier cuerpo que se encuentre sumergido, como esta presión se debe al peso del líquido, esta presión

$$\begin{aligned}
 p &= \rho g h \\
 \rho &= \text{densidad} \\
 g &= \text{gravedad} \\
 h &= \text{altura de la superficie del fluido} \\
 p &= \text{presión hidrostática}
 \end{aligned}
 \tag{1.16}$$

Por tanto, la diferencia de presión entre dos puntos A y B cualesquiera del fluido viene dada por la expresión:

$$P_a - P_b = \rho g (h_a - h_b) = \rho g \Delta h$$

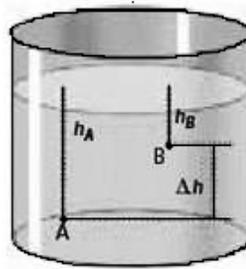


Figura 6 Diferencia de presión

La diferencia de presión hidrostática entre dos puntos de un fluido sólo depende de la diferencia de altura que existe entre ellos.

### 1.3.4 Principio de Pascal

Blaise Pascal describió dos importantes principios:

1. La presión actúa uniformemente en todas direcciones sobre un pequeño volumen de fluido.
2. En un fluido confinado entre fronteras sólidas, la presión actúa perpendicularmente a la frontera

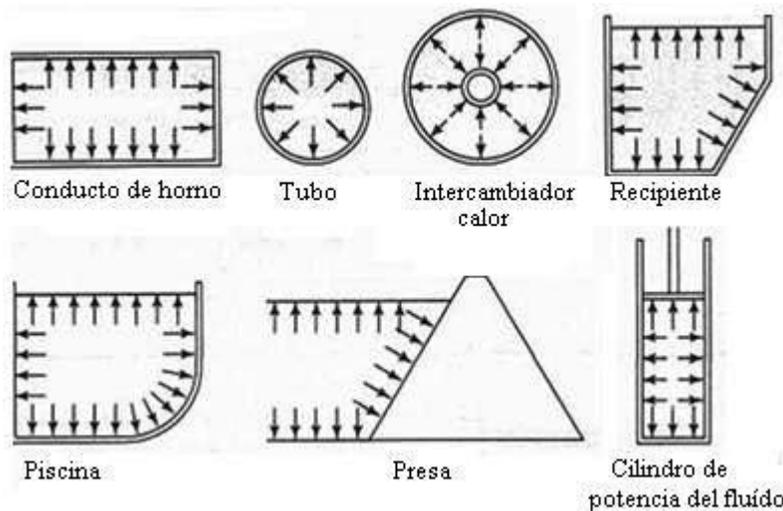


Figura 7 Dirección de la presión de fluido sobre las fronteras, además la presión actúa manera uniforme en todas direcciones sobre un pequeño volumen de fluido

### 1.3.5 Principios de Arquímedes

La fuerza hacia arriba que actúa sobre un objeto total o parcialmente sumergido en un fluido es igual al peso del fluido que desplaza el objeto. Esta fuerza hacia arriba llamada a menudo empuje ascensional, se debe a que la presión en un fluido aumenta con la profundidad. Si el objeto desplaza un volumen  $V$  de fluido de densidad  $\rho$  entonces:

$$u = \rho_f g V \quad \begin{array}{l} p_f = \text{densidad del fluido} \\ g = \text{gravedad} \\ V = \text{volumen del cuerpo} \end{array} \quad (1.17)$$

Si el empuje ascensional sobre el objeto es igual al peso del objeto, éste flotará.

### 1.3.6 Manómetros, barómetros y transductores de presión.

Instrumento de medición de la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Existen, básicamente, dos tipos: los de líquidos y los de gases.

Los manómetros de líquidos emplean, por lo general, como líquido manométrico el mercurio, que llena parcialmente un tubo en forma de U. El tubo puede estar abierto por ambas ramas o abierto por una sola. En ambos casos la presión se mide conectando el tubo al recipiente que contiene el fluido por su rama inferior abierta y determinando el desnivel  $h$  de la columna de mercurio entre ambas ramas. Si el manómetro es de tubo abierto es necesario tomar en cuenta la presión atmosférica  $P_{atm}$  en la ecuación:

$$p = P_{atm} \pm \rho g h \quad (1.18)$$

#### *Barómetro*

La presión atmosférica se mide en pulgadas de mercurio (pulg). Hg) mediante un dispositivo denominado barómetro.

El barómetro de mercurio, inventado por Torricelli (Fig. 8) se considera generalmente como punto de partida e inspiración de los estudios de Pascal sobre presión. Torricelli descubrió que cuando se invierte un tubo lleno de mercurio, sumergiéndolo en un recipiente abierto que contenga el mismo líquido, la columna del tubo desciende solo una cierta distancia. Su razonamiento fue que debía ser la presión atmosférica al actuar sobre la superficie del líquido, la que equilibraba el peso de la columna de mercurio al existir un vacío perfecto en la parte superior del tubo. En una atmósfera normal, la columna será siempre 29.92 pulgadas (760 mm) de altura. Axial pues, 29.92 (generalmente 30 in de Hg) es otro de los equivalentes de la presión de una atmósfera



**Figura 8**  
**Barómetro de**

### *Transductores de presión*

Frecuentemente es necesario cambiar un tipo de señal por otro, esto se hace mediante un transductor, por ejemplo, cuando se necesita cambiar de una señal eléctrica, mA, a una neumática psig, se utiliza un transductor (I/P) que transforma la señal de corriente (I) en neumática (P), como se ilustra gráficamente; la señal de entrada puede ser de 4 – 20 mA y la salida de 3 – 15 psig. Existen muchos otros tipos de transductores, neumático a corriente, voltaje a neumático, etc.

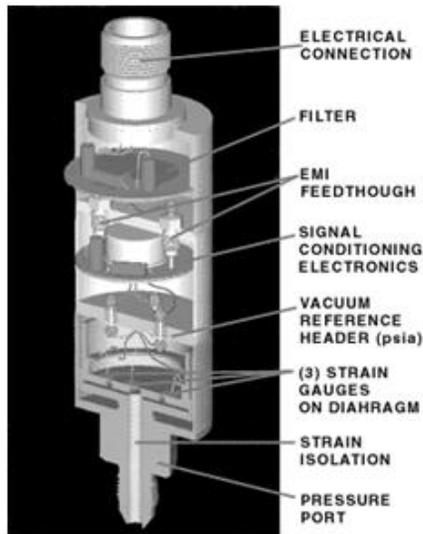


Figura 9 Partes principales de un transductor de presión

### 1.3.7 Problemas de aplicación

*Ejemplo 1.* Conociendo las magnitudes, determine la presión requerida y expresar el resultado en Pa, bar y Psi.

$$P = F/A$$

$$A = 10 \text{ cm}^2 = 0.001 \text{ m}^2$$

$$F = 10\,000 \text{ N}$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{10\,000 \text{ N}}{0.001 \text{ m}^2} = 10\,000\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \text{como} \quad 1 \text{ Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Solución: } P = 10\,000\,000 \text{ Pa} = 100 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \text{como } 10^5 = 1 \text{ bar}$$

$$\text{Solución: } P = 100 \text{ bar} \quad \text{como } 1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psi}$$

$$P = 100 \text{ bar} * \frac{14.5 \text{ Psi}}{\text{bar}}$$

$$\text{Solución } P = 1450 \text{ psi}$$

*Ejemplo 2.* En un lugar se tiene una  $P_{atm}$  equivalente a 94 cm de Hg, en un recipiente cerrado dentro del cual, se ejerce una presión relativa o manométrica de 4 kg/cm<sup>2</sup>. Determine su presión absoluta.

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

a) Procedimiento

$$76 \text{ cm de Hg} = 1.033 \frac{kg}{cm^2}$$

$$96 \text{ cm de Hg} = x$$

$$\text{Solución} \quad x = 5.2776 \frac{kg}{cm^2}$$

b) Procedimiento

$$\text{Como la } \gamma_{Hg} = 13\,600 \frac{kg}{m^3}$$

$$h = 94 \text{ cm de Hg} = 0.94 \text{ m}$$

$$P_{man} = 4 \frac{kg}{cm^2} \quad \text{y} \quad \text{como } \rho = \gamma h$$

$$\rho = 13\,600 \frac{kg}{m^3} * 0.94 \text{ m} = 12\,784 \frac{kg}{m^2}$$

$$\rho = 12\,784 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{Concertir de } \frac{kg}{m^2} \text{ a } \frac{kg}{cm^2}$$

$$\rho = 12\,784 \frac{kg}{m^2} \left(\frac{1m}{100cm}\right)^2 = 1.27 \frac{kg}{cm^2}$$

$$P_{abs} = 4 \frac{kg}{cm^2} + 1.27 \frac{kg}{cm^2} = 5.27 \frac{kg}{cm^2}$$

Solución  $P_{abs} = 5.27 \frac{kg}{cm^2}$

*Ejemplo 3.* Determinar la presión hidrostática para una torre de enfriamiento bajo las condiciones siguientes:

$$P = \rho gh$$

$$h = 300 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 300m$$

$$P = 2\,943\,000 \frac{kg * m * m}{m^3 * s^2}$$

$$P = 2\,943\,000 \frac{N}{m^2}$$

$$1N = \frac{kg * m}{s^2}$$

$$1Pa = \frac{N}{m^2}$$

$$P = 2\,943\,000Pa \approx 30 \times 10^5 Pa$$

$$1bar = 10^5 Pa$$

Solución  $P = 30 \text{ Bar}$

### 1.3.8 Demostraciones prácticas.

#### *La Presa Hidráulica*

El principio de Pascal fundamenta el funcionamiento de las genéricamente llamadas máquinas hidráulicas: la prensa, el gato, el freno, el ascensor y la grúa, entre otras.

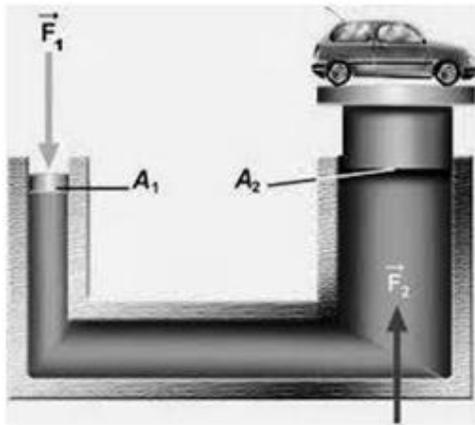


Figura 10 Principio de operación de la prensa hidráulica

Este dispositivo, llamado prensa hidráulica (Fig. 10), nos permite prensar, levantar pesos o estampar metales ejerciendo fuerzas muy pequeñas.

El recipiente lleno de líquido de la figura consta de dos cuellos de diferente sección cerrados. Si se ejerce una fuerza ( $F_1$ ) sobre el pistón pequeño, la presión ejercida se transmite, tal como lo observó Pascal, a todos los puntos del fluido dentro del recinto y produce fuerzas perpendiculares a las paredes. En particular, la porción de pared representada por el pistón grande ( $A_2$ ) recibe una fuerza ( $F_2$ ) de manera que mientras el pistón chico baja, el grande sube. Hay que recordar que la presión sobre los pistones es la misma, no así la fuerza.

Entonces:

Como  $P_1 = P_2$  (dado que la presión interna es la misma para todos los puntos)

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}, \quad \text{por lo tanto:} \quad \frac{F_1 * A_2}{A_1} = F_2$$

## 1.4 Ecuaciones características de la hidrodinámica

### 1.4.1 Velocidades del fluido y ecuaciones de continuidad

La cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos:

- Rapidez de flujo de volumen

$$Q = Av \quad \begin{array}{l} A = \text{área} \\ v = \text{velocidad} \end{array} \quad (1.19)$$

$$\text{Ecuación dimensional:} \quad [Q] = [L]^3 T^{-1} \quad (1.20)$$

$$\text{Unidades en SI:} \quad 1Q = m^3/\text{seg}$$

- Rapidez de flujo de peso

$$W = \gamma Q \quad \begin{array}{l} \gamma = \text{peso específico del fluido} \\ Q = \text{rapidez del flujo volumen} \end{array} \quad (1.21)$$

$$\text{Ecuación dimensional:} \quad [W] = [F][T]^{-1} \quad (1.22)$$

$$\text{Unidades en SI:} \quad 1W = 1 N/\text{seg}$$

- Rapidez de flujo de masa

$$M = \rho Q \quad \begin{array}{l} \rho = \text{densidad del flujo} \\ Q = \text{Caudal} \end{array} \quad (1.23)$$

$$\text{Ecuación dimensional:} \quad [M] = [M][T]^{-1} \quad (1.24)$$

$$\text{Unidades en SI:} \quad 1M = 1 kg/\text{seg}$$

### *Ecuación de continuidad*

El método para calcular la velocidad de flujo de un fluido en un sistema de conducto cerrado, depende el principio de continuidad.

En un tubo, la cantidad de fluido que pasa por cualquier sección en un cierto tiempo es constante, entonces la masa de fluido que pasa por la sección 2 en un tiempo dado, debe ser la misma que fluye por la sección 1 en el mismo tiempo. Esto puede ser expresado como:

$$M_1 = M_2$$

Debido a que  $M = \rho Q = \rho_1 A_1 V_1$  tenemos:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (1.25)$$

Si el fluido que se encuentra en el tubo es un líquido que puede ser considerado incomprensible entonces  $\rho_1$  y  $\rho_2$  son iguales.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1.26)$$

O puesto que  $Q = Av$

$$Q_1 = Q_2$$

Para un flujo estable la rapidez de flujo de volumen es la misma en cualquier sección

### **1.4.2 Principios de la conservación de la energía**

La ley de la conservación de la energía constituye el primer principio de la termodinámica y afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece invariable con el tiempo, aunque dicha energía puede transformarse en otra forma de energía. En resumen, la ley de la conservación de la energía

afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede cambiar de una forma a otra.

Cuando se analizan problemas de flujo en conductos existen tres formas de energía que siempre hay que tomar en consideración

*Energía potencial* es la energía debido a la altitud que un fluido posea.

$$PE = Wz \quad (1.27)$$

*Energía Cinética* es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.

$$KE = \frac{Wv^2}{2g} = \frac{mv^2}{2} \quad (1.28)$$

*Energía de flujo o energía de presión* es la energía que un fluido contiene debido a la presión  $p$  que posee.

$$FE = \frac{W\rho}{\gamma} \quad (1.29)$$

La cantidad total de energía de estas tres formas que posee el elemento de fluido será la suma, representada con:

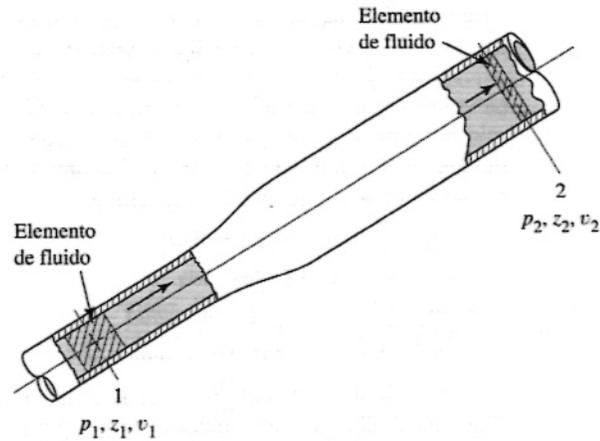
$$E = FE + PE + KE$$

### 1.4.3 Ecuación de Bernoulli

Describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente (Fig. 11) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de

circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.

Como se menciona anteriormente, la energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes (energía potencial, energía cinética y energía de flujo). La siguiente ecuación conocida como Ecuación de Bernoulli consta de estos mismos términos.



**Figura 11 Elementos de fluidos utilizados en la ecuación De Bernoulli**

Aplicado a dos puntos en una línea de corriente:

Un fluido se mueve de la sección 1 a la sección 2 los valores de  $\rho, z, v$  son diferentes en las dos secciones.

$$E_1 = \frac{wP_1}{\gamma} + wz_1 + \frac{wv_1^2}{2g}$$

En la sección 1

$$E_2 = \frac{wP_2}{\gamma} + wz_2 + \frac{wv_2^2}{2g}$$

En la sección 2

El principio de la conservación de la energía requiere que  $E_1 = E_2$

$$\frac{wP_1}{\gamma} + wz_1 + \frac{wv_1^2}{2g} = \frac{wP_2}{\gamma} + wz_2 + \frac{wv_2^2}{2g}$$

El peso del elemento  $w$  es común en todos y se les puede cancelar, a esta se le conoce como ecuación de Bernoulli.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$v =$  velocidad del fluido  
 $z =$  altura desde una cota de referencia  
 $p =$  presión a lo largo de la línea de corriente (1.30)  
 $\gamma =$  peso específico  
 $g =$  gravedad

#### 1.4.4 Ecuación general de la energía.

Es una expansión de la ecuación de Bernoulli que hace posible resolver problemas en los que se presentan pérdidas y adiciones de energía.

Si entre las secciones 1 y 2 se considera el roce y la presencia de mecanismos externos que puedan entregar o retirar energía, entonces el principio de conservación de la energía establece que:

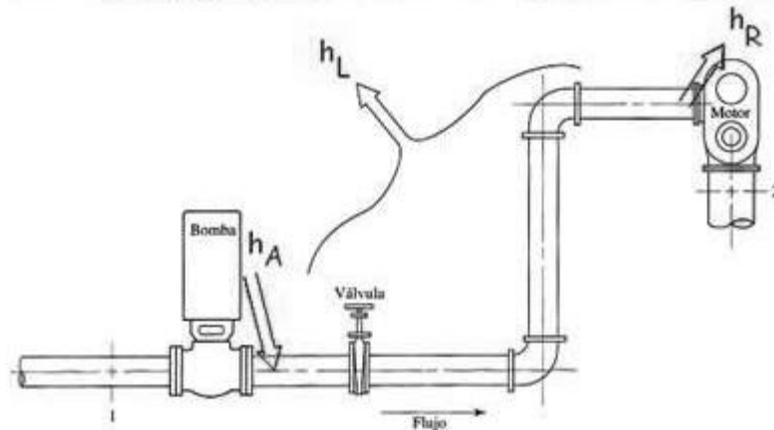


Figura 12 Sistema de tubería y accesorios

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1.31)$$

$h_A =$  Energía entregada al fluido mediante un dispositivo mecánico externo (ej. bomba)

$h_R = \text{Energía retirada desde el fluido mediante un dispositivo mecánico externo (ej. turbina)}$   
 $h_L = \text{Energía perdida por el sistema debido a la fricción}$

Es de suma importancia que la ecuación general de la energía está escrita en la dirección de flujo, es decir, desde el punto de referencia, en la parte izquierda de la ecuación al punto correspondiente en el lado derecho

#### **1.4.5 Conductos y tuberías comerciales.**

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

Es frecuente construir con tuberías de acero líneas de propósito general. Los tamaños estándar se denominan por medio de su tamaño nominal y número de cedula. Los números de cedula están relacionados con la presión permisible de operación. En el apéndice B se presentan las cedulas 40 y 80

*Tubos de acero.* Los tubos estándar de acero se utilizan en sistemas hidráulicos, condensadores, intercambiadores de calor, sistemas de combustible de motores y en sistemas industriales de procesamiento de fluidos. Los tamaños están diseñados según el diámetro externo y el grosor de las paredes. En el apéndice C se presentan los tamaños estándar desde 1/8 de pulgada hasta 2 pulgadas, para varios grosores de pared. Existen disponibles otros grosores de pared.

*Tubos de cobre.* Las líneas de plomería doméstica, para refrigeración y de aire comprimido, con frecuencia utilizan tuberías de cobre manufacturadas como del *tipo K* o del *tipo L* (similar al tipo k pero con un espesor de pared menor). El tipo K tiene un mayor grosor de pared y es recomendable para instalaciones subterráneas. El tipo L es adecuado para tuberías domésticas de propósito general. El tamaño nominal de los tubos de cobre es de

1/8 de pulgada, menos el diámetro exterior real del tubo. En el apéndice D se presentan los datos correspondientes al grueso de pared, diámetro interior y área de flujo, para tubos del tipo K.

*Ductos de hierro dúctil.* A menudo, las líneas de conducto de agua, gas y drenaje se hacen con hierro dúctil debido a su resistencia, ductilidad y relativa facilidad de manejo. Ha sustituido al hierro forjado en muchas aplicaciones. Junto con los tubos, se proporcionan conectores estándar para la instalación adecuada de la tubería, ya sea subterránea o no. Varias clases de conductos de hierro dúctil están disponibles para su uso en sistemas que manejan un intervalo de presiones. En el apéndice E se presentan las dimensiones del conducto clase 150, para operar a 150 lb/pulg<sup>2</sup> (1,03 Mpa) en tamaños nominales que van de 3 a 24 pulgadas. Los diámetros reales interno y externo son mayores que los tamaños nominales.

*Otros tipos de conductos y tuberías-* Los conductos de latón se utilizan con fluidos corrosivos, al igual que el acero inoxidable. Otros materiales utilizados son el aluminio, el plomo, el estaño arcilla, concreto y muchos tipos de plásticos, como el polietileno, el nailon y el PVC.

#### 1.4.6 Ecuaciones de Torricelli

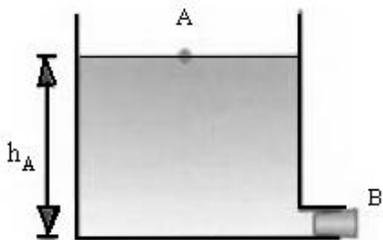


Figura 13 Descarga de un depósito a través de

Es una aplicación del principio de Bernoulli y estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente (Fig. 13), a través de un pequeño orificio, bajo la acción de la gravedad. A partir del teorema de Torricelli se puede calcular el caudal de salida de un líquido por un orificio.ve

Observamos que la velocidad de flujo del sifón depende de la diferencia de elevación entre la superficie libre de líquido y la salida. Para determinar la velocidad del flujo en esta, se escribe la ecuación de Bernoulli entre el punto de referencia en la superficie del fluido y otro en el chorro que sale.

Aplicando el teorema de Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Sin embargo  $p_1 = p_2 = 0$  y  $v_1$  es aproximadamente igual a cero. Así

$$z_1 = z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Luego obtenemos

$$v_2 = \sqrt{2g(z_1 - z_2)}$$

Al asignar a la  $(z_1 - z_2) = h$

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad \begin{array}{l} g = \textit{gravedad} \\ h = \textit{altura} \end{array} \quad (1.32)$$

A partir del teorema de Torricelli se puede calcular el caudal de salida de un líquido por un orificio

Este resultado que se puede deducir de la ecuación de Bernoulli, se conoce como el teorema de Torricelli, quien lo enunció casi un siglo antes de que Bernoulli realizara sus estudios hidrodinámicos

#### 1.4.7 Distribución de velocidad radio hidráulico y pérdidas totales. Tanques y boquillas expuestas a la atmósfera. Sistema en un sifón.

El rozamiento en un conductor cerrado o abierto depende de la superficie mojada, y por lo tanto no depende solo de la sección transversal, sino también de la forma de ésta, que hará que la superficie en contacto con el líquido se mayor o menor.

$$R_H = \frac{A}{PM} \quad \begin{array}{l} A = \text{área transversal} \\ PM = \text{Perímetro mojado de la sección transversal} \end{array} \quad (1.33)$$

Al perímetro se le define como la suma de la longitud de las fronteras de la sección que está en contacto con el fluido

En un canal la superficie en contacto con la atmósfera prácticamente no tiene rozamiento alguno. El radio hidráulico en un canal será la superficie transversal ocupada por el flujo dividida por el perímetro mojado.

En particular en un conducto de sección circular totalmente lleno.

El radio hidráulico de una tubería circular es igual a la mitad del radio de la tubería

$$R_H = \frac{A}{PM} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$$

De igual forma aplicando la ecuación para una sección rectangular:

$$R_H = \frac{A}{PM} = \frac{ab}{2(a+b)}$$

Número de Reynolds para secciones no circulares

$$N_R = \frac{v(D)p}{\eta} = \frac{v(4R)}{\nu}$$

Formula de Darcy para el cálculo de pérdidas primarias, aplicables a tuberías y canales de sección transversal cualquiera

$$h_f = f \frac{L}{4R} \frac{v^2}{2g}$$

EL factor de fricción se encuentra con el diagrama de Moody

*Tanques y boquillas expuestas a la atmósfera. Sistema en un sifón*

Se muestra un sistema de flujo de fluido en el que un sifón (Fig. 14) saca fluido de un tanque y lo arroja a través de una boquilla colocada al final del conducto. Observe que la superficie del tanque A y la corriente libre del fluido que sale por la boquilla (sección f) no está confinada por fronteras sólidas, sino que está expuesta a la atmósfera prevaleciente, por consiguiente la presión manométrica en estas partes es cero cuando estos puntos se utilizan como puntos de referencia de la ecuación de Bernoulli, los términos correspondientes a la cabeza de presión serán cero y se pueden cancelar.

Se puede suponer que el tanque del cual se saca el fluido es bastante grande con el tamaño del área de flujo dentro del conducto. Ahora bien, debido a que  $v = Q/A$ , la velocidad en la superficie del tanque sea muy pequeña. Además cuando utilizamos la velocidad para calcular la cabeza de velocidad,  $v^2/2g$ , elevamos al cuadrado la velocidad, Por estas razones, consideramos que la cabeza de velocidad en la superficie del tanque es muy cercana a cero y la eliminamos de la ecuación.

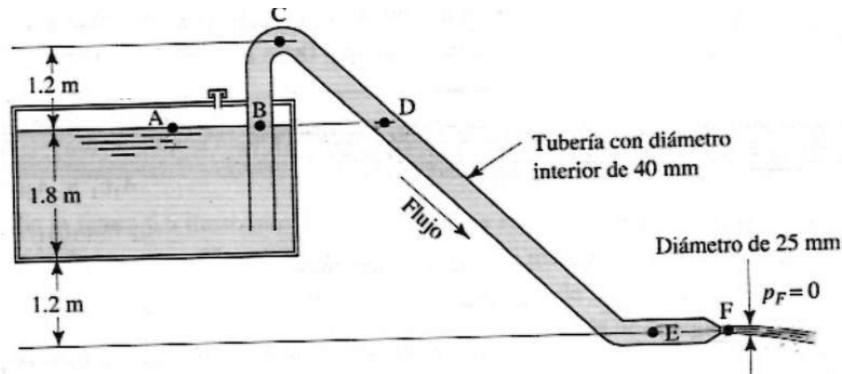


Figura 14 Sistema de un sifón

### 1.4.8 Medidor Venturi.

El efecto Venturi consiste en que la corriente de un fluido dentro de un conducto cerrado disminuye la presión del fluido al aumentar la velocidad cuando pasa por una zona de sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido contenido en este segundo conducto

Un tubo de Venturi (Fig. 15) es un dispositivo inicialmente diseñado para medir la velocidad de un fluido aprovechando el efecto Venturi. Sin embargo, algunos se utilizan para acelerar la velocidad de un fluido obligándole a atravesar un tubo estrecho en forma de cono. Estos modelos se utilizan en numerosos dispositivos en los que la velocidad de un fluido es importante.

La aplicación clásica de medida de velocidad de un fluido consiste en un tubo formado por dos secciones cónicas unidas por un tubo estrecho en el que el fluido se desplaza consecuentemente a mayor velocidad. La presión en el tubo Venturi puede medirse por un tubo vertical en forma de U conectando la región ancha y la canalización estrecha. La diferencia de alturas del líquido en el tubo en U permite medir la presión en ambos puntos y consecuentemente la velocidad.

Cuando se utiliza un tubo de Venturi hay que tener en cuenta la cavitación, el cual ocurre si la presión en alguna sección del tubo es menor que la presión de vapor del fluido, cuando esto ocurre se generan burbujas localmente, que se trasladan a lo largo del tubo. Si estas burbujas llegan a zonas de presión más elevada, pueden colapsar produciendo así picos de presión local con el riesgo potencial de dañar la pared del tubo.

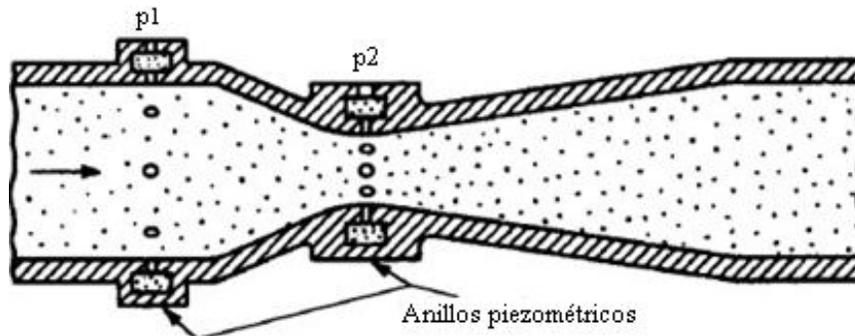


Figura 15 Tubo Venturi

### 1.4.9 Problemas de aplicación.

*Ejemplo 1.* Si la velocidad de un líquido es de 1.65 ft/s en una tubería de 12 in de diámetro ¿Cuál es la velocidad de un chorro de 3 in de diámetro que sale de un orificio hecho en el tubo?

De la ecuación de continuidad  $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = v_1 \left( \frac{\frac{\pi D_1^2}{4}}{\frac{\pi D_2^2}{4}} \right) = v_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 = \frac{1.65 \text{ ft}}{\text{s}} \left( \frac{12}{3} \right)^2 = 26.4 \text{ ft/s}$$

*Ejemplo 2.* Por la tubería de la figura fluyen 0.11 m<sup>3</sup>/s de gasolina (sg = 0.67). Si la presión antes de la reducción es de 415 kPa, calcule la presión en la tubería de 75 mm de diámetro.

$$\frac{P_1}{\gamma_G} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_G} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}; z_1 = z_2$$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.11 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0.15 \text{ m})^2/4} = \frac{6.22 \text{ m}}{\text{s}}; v_1 = v_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 = \frac{24.90 \text{ m}}{\text{s}}$$

$$P_2 = P_1 + \left[ \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \right] \gamma_G = 415 \text{ kPa} + \frac{[6.22^2 - 24.90^2] \text{ m}^2/\text{s}^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} * \frac{0.67(9.81 \text{ kN})}{\text{m}^3}$$

$$= 220 \text{ kPa}$$

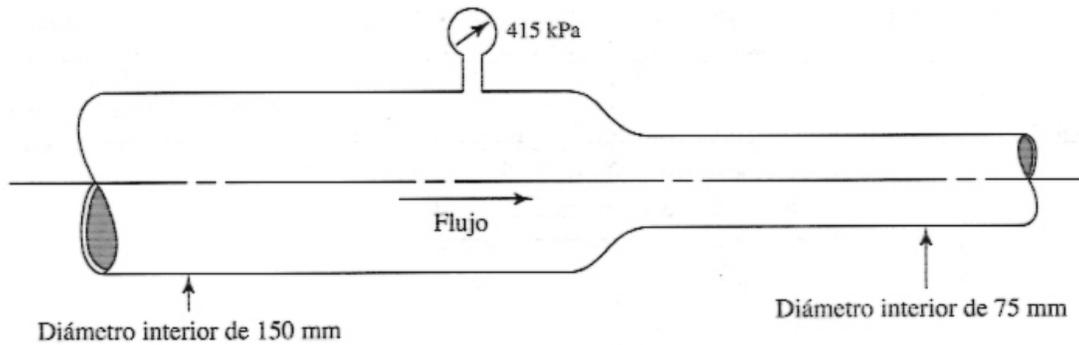


Figura 16 Ejemplo 2

*Ejemplo 3.* ¿Cuál es la profundidad de fluido por arriba de la tobera que se requiere para que circulen 200 gal/min de agua desde el tanque ilustrado en la figura? La tobera tiene 3.00 in de diámetro. }

$$Q = 200 \text{ gal/min} * \frac{1 \text{ ft}^3/\text{s}}{449 \text{ gal/min}} = 0.445 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.445 \text{ ft}^3/\text{s}}{\pi(3\text{in})^2/4} * \frac{144\text{in}^2}{\text{ft}^2} = 9.07 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

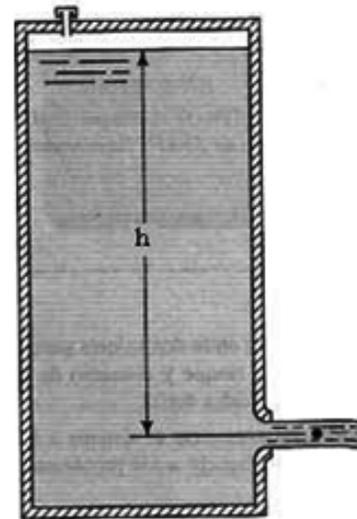


Figura 17 Ejemplo 3

$$v = \sqrt{2g(z_1 - z_2)} = \sqrt{2g(h)}$$

$$h = \frac{v_j^2}{2g} = \frac{(9.07 \text{ ft/s})^2}{2(32.2 \text{ ft/s})} = 1.28 \text{ ft}$$

#### 1.4.10 Demostración práctica.

##### *Ecuación de Torricelli*

El objetivo de esta práctica es verificar experimentalmente que se cumplen las condiciones para la aplicación de la ley de Torricelli y estudiar la relación entre el tiempo transcurrido y la altura de líquido en un depósito.

En esta práctica se comprobará la veracidad de la ley de Torricelli para el caso de un depósito cilíndrico al que se le ha practicado un pequeño orificio en su parte inferior. Para ello se vierte agua en el depósito, se realizan unas marcas en el depósito que indican la altura de agua, y se utiliza un cronómetro para medir el tiempo que transcurre en alcanzar el líquido cada una de las marcas. En primer lugar se abre el orificio para que empiece a salir el líquido y, cuando la altura es de 35 cm, se empieza a contar el tiempo. Se puede observar que, a medida que disminuye la altura de agua en el depósito, la distancia horizontal que alcanza el agua fuera del depósito -conocida como vena líquida- también decrece, es decir, varía la velocidad de salida por el orificio. Si medimos los tiempos transcurridos entre dos marcas consecutivas, se puede ver que no son iguales.



Figura 18 La velocidad del fluido cambia con la altura

# 2 RESISTENCIA EN CONDUCTOS A PRESIÓN

---

## 2.1 Pérdidas por rozamiento

Un fluido en movimiento ofrece una resistencia de fricción al flujo debido al roce, parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica (calor), que se disipa a través de las paredes del conducto en el que el fluido se desplaza.

La magnitud de la pérdida de energía (pérdidas mayores) al interior de un conducto depende de:

1. Las propiedades del fluido
2. La velocidad de flujo
3. Tamaño del conducto
4. La rugosidad de la pared del conducto
5. La longitud del conducto

Dispositivos externos, tales como válvulas y conectores, al controlar o modificar la dirección y/o la rapidez de flujo, también hacen que la energía se disipe en forma de calor.

En general, las pérdidas debidas a la presencia de válvulas y conectores son pequeñas si se comparan con aquellas producidas en la tubería misma. Por esta razón se les llama pérdidas menores.

Ecuación de Darcy

$$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad \begin{array}{l} h_L = \text{pérdida de energía debido a la fricción} \\ D = \text{diámetro de la tubería} \\ v = \text{velocidad promedio del flujo} \\ f = \text{factor de fricción} \\ g = \text{gravedad} \end{array} \quad (2.1)$$

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento, la diferencia entre los dos flujos está en la evaluación del factor de fricción adimensionales  $f$ .

## 2.2 Numero de Reynolds

El comportamiento de un fluido depende bastante de si el flujo es laminar o turbulento. Por esta razón es necesario tener medios para predecir el tipo de flujo sin tener necesidad de observarlo. El número de Reynolds se utiliza para estudiar el movimiento de un fluido, permite predecir el carácter turbulento o laminar de los fluidos en el interior de una tubería.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu} \quad \begin{array}{l} D = \text{diámetro del conducto} \\ v = \text{velocidad promedio del fluido} \\ \nu = \text{viscosidad cinemática} \end{array} \quad (2.2)$$

Estas dos formas de la ecuación son equivalentes, puesto que  $\eta = \nu\rho$ .

$N_R$  es adimensional sin embargo es esencial que todos los términos de la ecuación estén en unidades congruentes, con el fin de obtener el valor numérico correcto.

$$N_R < 2\,000 \text{ flujo laminar}$$

$$N_R > 4\,000 \text{ flujo turbulento}$$

El intervalo  $2\,000 < N_R < 4\,000$  es imposible predecir qué tipo de flujo existe y a esta zona se le conoce como región crítica.

## 2.3 Perdidas en flujo laminar

Cuando existe flujo Laminar el fluido parece moverse como si fuera varias capas una sobre otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea un esfuerzo cortante entre sus capas esto

ocasiona pérdidas por fricción, la energía perdida por fricción en un fluido en régimen laminar se calcula a través de la Ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$h_L = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \quad \text{Valida para flujos laminares } N_R = 2000$$

Como la ecuación de Darcy es válida para todo régimen de flujo, si se igualan las dos relaciones  $h_L$  se cumple que:

$$f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2}$$

$$f = \frac{64\eta}{vD\rho} \text{ y como } N_R = \frac{vD\rho}{\eta}$$

Factor de fricción para flujo laminar

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (2.3)$$

La pérdida en flujo laminar se puede calcular a partir de la ec. Hagen –Poiseuille o a partir de la ecuación de Darcy en la que  $f = 64/N_R$

## 2.4 Pérdidas en flujo turbulento

No podemos determinar el factor de fricción,  $f$ , mediante un simple cálculo como lo hicimos para flujo laminar, pues el flujo turbulento no se conforma de movimientos regulares y predecibles. Sin embargo, flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a la fricción. El flujo turbulento es caótico y varía en forma constante. Por estas razones, para determinar el valor de  $f$  debemos recurrir a datos experimentales.

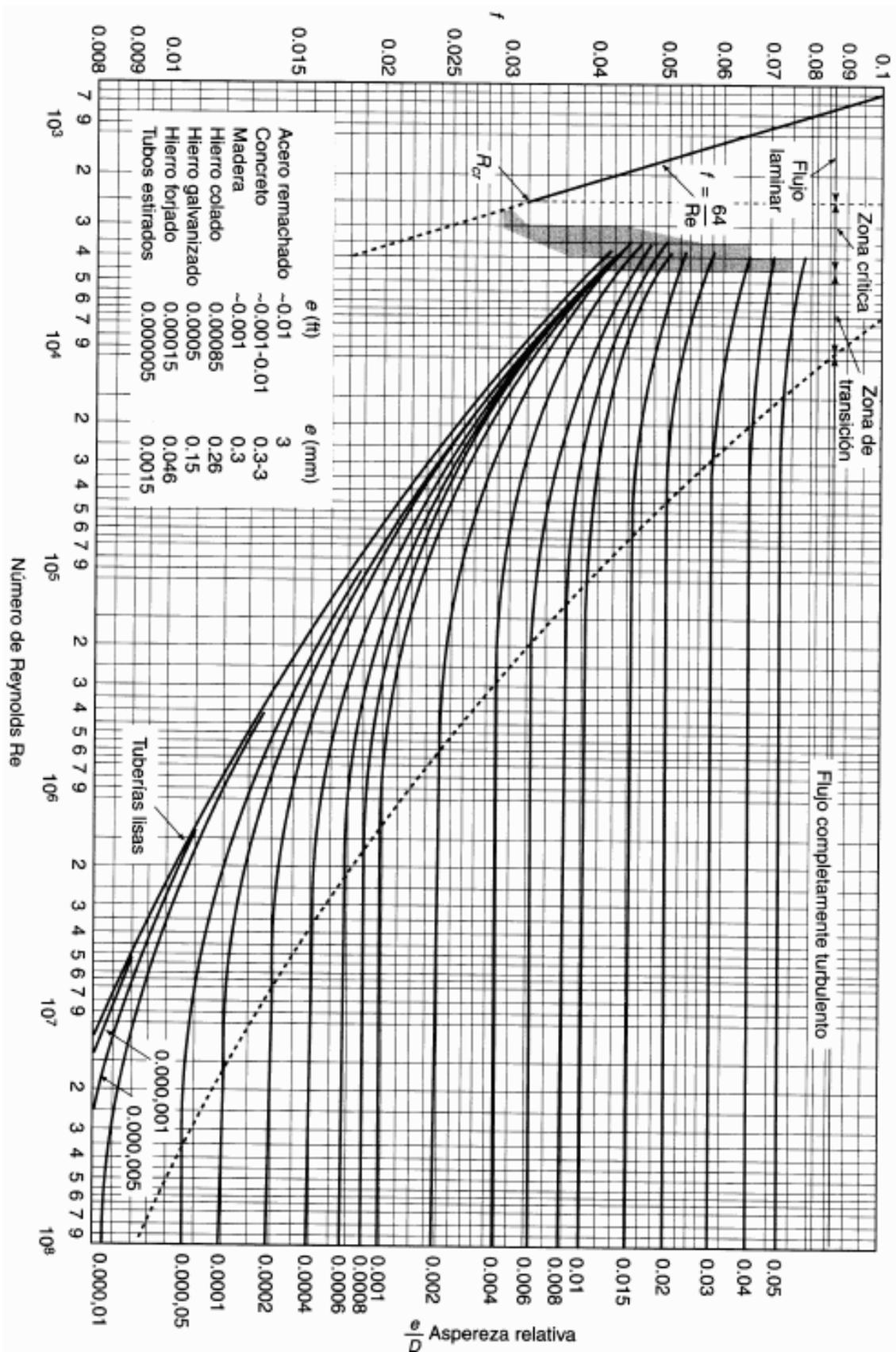
### *El diagrama de Moody*

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody. El diagrama de Moody es un medio exacto y conveniente, se utiliza para ayudar a determinar el valor del factor de fricción  $f$  para el flujo turbulento

La grafica muestra el factor de fricción  $f$  versus el número de Reynolds  $NR$ , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa  $D/e$ .

Se grafica en escalas logarítmicas tanto  $f$  como  $NR$ , debido al rango tan amplio de valores que se obtiene. Para números de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación  $f = 64/NR$  para el flujo laminar. Para  $2000 < NR < 4000$  no hay curvas debido a que esta es la zona crítica entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y no es posible predecir el comportamiento. El cambio de flujo laminar a turbulento, de cómo resultado valores para los factores de fricción dentro de la zona sombreada. Más allá de  $NR = 4000$ , se grafica la familia de curvas para distintos valores de  $D/e$ .

Debe conocerse el valor del número de Reynolds y la rugosidad relativa. Por lo tanto, los datos que se requieren son el diámetro interior de la tubería, el material del que está hecho y el tipo de fluido y su temperatura a partir de los cuales se determinara la viscosidad



## 2.5 Pérdidas en tubos comerciales

Los conductos que se utilizan para transportar fluidos son de dos clases:

- Conductos cerrados o tuberías (se encuentra bajo presión o depresión)
- Conductos abiertos o canales (acueductos, ríos, etc.)

Las pérdidas de carga en tuberías son de dos clases:

*Perdidas primarias:* Son las pérdidas de superficie en el contacto con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas o de fluido entre sí. Tienen lugar en un flujo uniforme, por lo tanto principalmente en los tramos de tubería de sección constante

*Perdidas secundarias.:* Son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones, codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de tuberías. Las pérdidas secundarias tienen poca importancia (de ahí el nombre de pérdidas secundarias), pudiendo despreciarse, o bien se tienen en cuenta al final.

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas, generalmente, por tramos rectos y curvos para ajustarse a la aplicación. Esto origina pérdidas de energía, destinadas a las de la fricción, localizadas en el sitio del cambio de geometría o de la alteración del flujo.

$$h_L = K \frac{v^2}{2g} \quad \begin{array}{l} h_L = \text{Pérdida menor} \\ K = \text{coeficiente de resistencia} \\ v = \text{velocidad promedio del flujo} \end{array} \quad (2.4)$$

El coeficiente de resistencia es adimensional debido a que representa una constante de proporcionalidad entre la pérdida de energía y la carga de velocidad. La magnitud depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida, y a veces de la velocidad de flujo.

*Expansión súbita:* Al cambio en el diámetro de la sección, su velocidad disminuye, lo que ocasiona turbulencia, que a su vez genera pérdida de energía

$$h_L = K \frac{v_1^2}{2g} \quad \begin{array}{l} v_1 = \text{velocidad promedio antes de la expansión} \\ K = \text{depende de la relación de diámetros y velocidad} \\ g = \text{gravedad} \end{array} \quad (2.5)$$

**Tabla 3 Coeficientes de resistencia expansión súbita**

D2/D1	Velocidad $v_1$						
	0.06 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
1.8	0.51	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40
2.0	0.60	0.56	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65
4.0	0.92	0.87	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75
10.0	1.00	0.96	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80
$\infty$	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81

*Pérdida a la salida.* Conforme el fluido pasa de una tubería a un depósito, su velocidad disminuye hasta casi cero. El valor  $K = 1$  sin importar la forma de la salida en el lugar donde el tubo se conecta a la pared del tanque.

$$h_L = 1.0 \left( \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (2.6)$$

*Expansión gradual.* Esto se lleva a cabo al colocar una sección cónica entre las dos tuberías, Las paredes inclinadas tienden a guiar el fluido durante la desaceleración y expansión.

$$h_L = k \left( \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad \begin{array}{l} v_1 = \text{velocidad en la tubería antes de la expansión} \\ K = \text{depende de la relación de diámetros y ángulos} \end{array} \quad (2.7)$$

**Tabla 4 Coeficiente de resistencia expansión gradual**

D2/D1	Ángulos del cono											
	2	6	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
1.0	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
∞	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

La rugosidad de los tubos comerciales no es homogénea, razón por la cual, es difícil definir. Sin embargo se puede caracterizar por un valor medio, que desde el punto de vista de pérdida, es equivalente a una rugosidad uniforme distribuida.

*Contracción súbita.* Corresponde a la acción contraria expansión súbita

$$h_L = K \frac{v_2^2}{2g} \quad \begin{array}{l} v_2 = \text{velocidad aguas abajo de la contracción} \\ K = \text{depende de la relación de diámetros y velocidad} \end{array} \quad (2.8)$$

**Tabla 5 Coeficiente de resistencia contracción súbita**

D2/D1	Velocidad v2								
	0.06 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

*Contracción gradual.* La pérdida de energía en una contracción puede disminuir en forma sustancial si a contracción se hace más gradual.

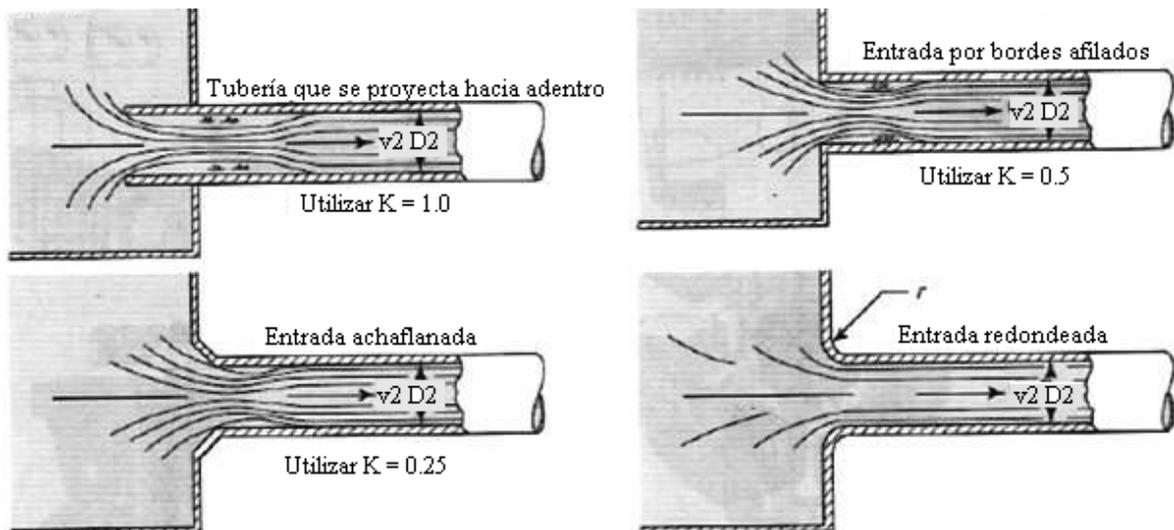
$$h_L = K \frac{v_2^2}{2g} \quad \begin{array}{l} v_2 = \text{velocidad en la tubería pequeña} \\ K = \text{basada en la carga de vel. después de la contracción} \end{array} \quad (2.9)$$

*Perdidas en la entrada.* A la entrada de las tuberías se produce una pérdida por el efecto de la contracción que sufre la vena líquida y la formación de zonas de separación. La figura muestra cuatro configuraciones diferentes y el valor sugerido de K para cada una.

$$h_L = K \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.10)$$

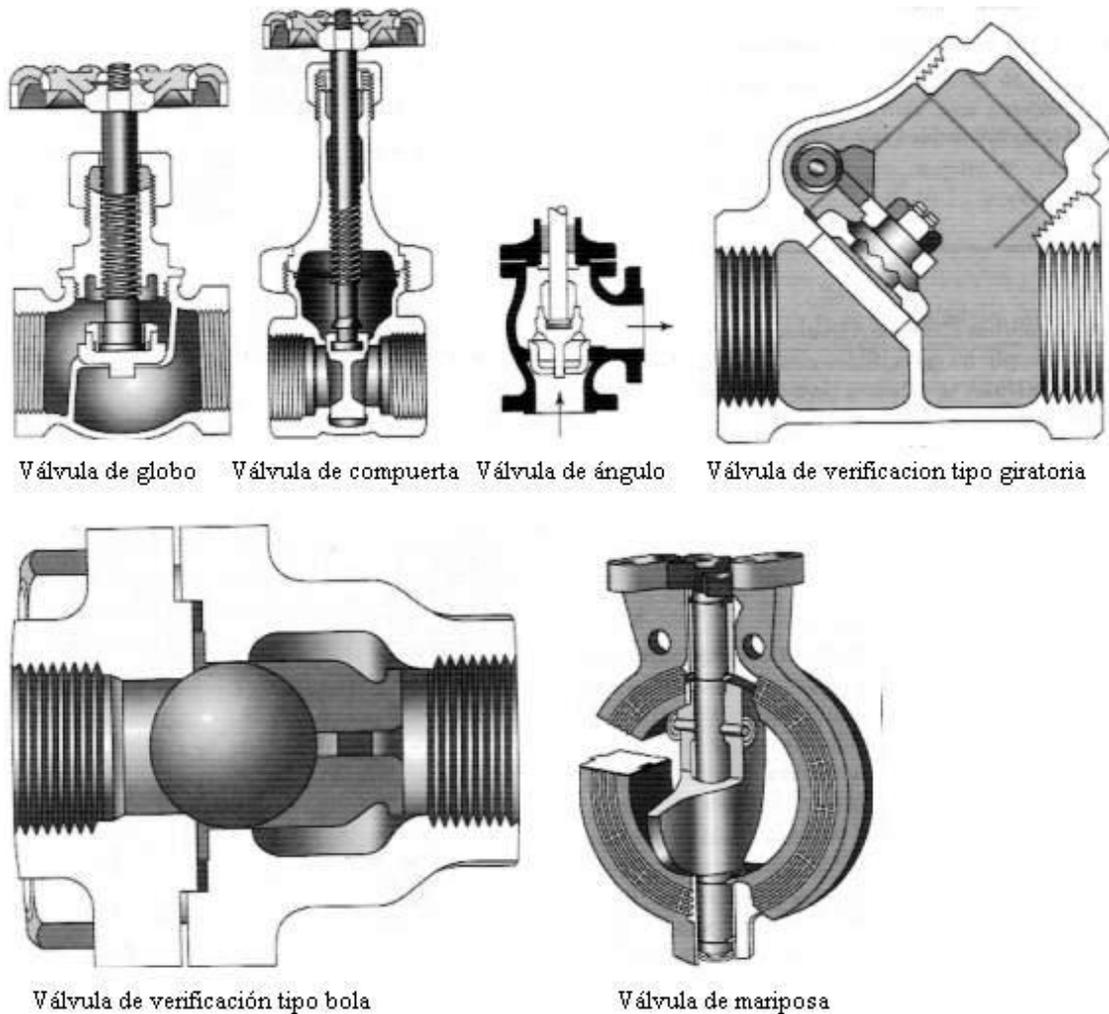
**Tabla 6 Relación de coeficientes**

r/D <sub>2</sub>	K
0	0.50
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
>0.15	0.04(Bien redondeada)



**Figura 19 Coeficientes de resistencia de entrada**

*Coefficientes de resistencia para válvulas y acoplamiento (accesorios).*



**Figura 20 Tipos de válvulas**

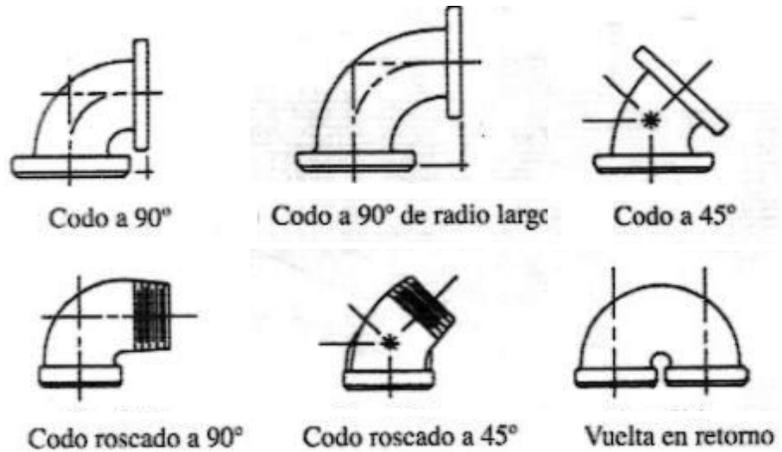
Disponemos de muchas clases de válvulas y acoplamientos de distintos fabricantes, para cumplir las especificaciones de las instalaciones. Los coeficientes de pérdida accesorios, deben ser proporcionados por los fabricantes.

**Tabla 7 Coeficientes de resistencia para válvulas**

Válvulas de globo	$K = 340fr$
Válvulas de ángulo	$K = 150fr$
Válvulas de compuerta	$K = 8fr$
Válvula de verificación tipo giratorio	$K = 100fr$
Válvula de verificación tipo bola	$K = 150fr$
Válvula de mariposa	$K = 45fr$

**Tabla 8 Coeficiente de resistencia para codos**

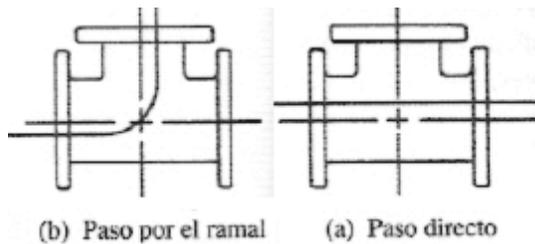
Codo a 90°	K = 30fr
Codo a 90° de radio largo	K = 20fr
Codo a 45°	K = 16fr
Codo roscado a 90°	K = 50fr
Codo roscado a 45°	K = 26fr
Vuelta en retorno	K = 50fr



**Figura 21 Tipos de Codos**

**Tabla 9 Coeficiente de resistencia para Te's**

Paso directo	K = 20fr
Paso por ramal	K = 60fr



**Figura 22 Tipos de Te's**

La pérdida de energía que tiene lugar cuando el fluido circula por una válvula o acoplamiento se calcula con la ecuación  $h_L = K v^2 / 2g$ , Sin embargo, el método para determinar el coeficiente de resistencia K es diferente. El valor de k se obtiene en la forma.

$$K = \left(\frac{Le}{D}\right) f_T \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.11)$$

El valor  $Le/D$  es llamado relación de longitud equivalente y se considera constante para un tipo dado de válvula o acoplamiento. El valor de  $Le$  se denomina longitud equivalente y es la longitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula, la cual tendría la misma resistencia que esta, el termino D es el diámetro interior real de la tubería. El termino fr es el factor de fricción en la tubería a la que está conectada la válvula o acoplamiento, que se da por hecho está en la zona de tubería completa.

Los valores para  $f_r$  varía según el tamaño de la tubería y la válvula, lo que hace que el valor del coeficiente de resistencia  $K$  también varié. Algunos diseñadores prefieren calcular la longitud equivalente de tubería para una válvula y combinar dicho valor con la longitud real de tubo

$$Le = K * D / f_T \quad (2.12)$$

**Tabla 10 Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería  $Le/D$ .**

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $Le/D$
Válvula de globo – abierta por completo	340
Válvula de Angulo – abierta por completo	150
Válvula de compuerta – abierta por completo	8
$\frac{3}{4}$ abierta	35
$\frac{1}{2}$ abierta	160
$\frac{1}{4}$ abierta	900
Válvula de verificación – tipo giratoria	100
Válvula de verificación – tipo bola	150
Válvula de mariposa – abierta por completo, 2 a 8 pulg.	45
10 a 14 pulg	35
16 a 24 pulg	25
Codo estándar a $90^\circ$	30
Codo a $90^\circ$ de radio largo	20
Codo roscado a $90^\circ$	50
Codo estándar a $45^\circ$	16
Codo roscado a $45^\circ$	36
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar con flujo directo	20
con flujo en ramal	60

## 2.6 Problemas de aplicación

*Ejemplo 1.* Determine si el flujo es laminar o turbulento si fluye glicerina a  $25^\circ\text{C}$  en una tubería cuyo diámetro interior es de 150 mm. La velocidad promedio del flujo es de 3.6 m/s

Determinar el número de Reynolds

$$v = 3.6 \text{ m/s}$$

$$D = 0.15m$$

$$\rho = 1258 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 9.60 \times 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Entonces:

$$N_R = \frac{3.6 * 0.15 * 1258}{9.60 \times 10^{-1}} = 708$$

Como  $N_R = 708$ , menor a 2000, el flujo es laminar.

*Ejemplo 2.* Por un tubo de acero de 7/8 in y espesor de pared de 0.065 in, fluye aceite SAE 30 ( $\text{sg} = 0.89$ ) a 45 L/min. Si el aceite esta a 110°C ¿el flujo es laminar o turbulento?

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{45 \text{ L/min}}{2.812 \times 10^{-4} \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{60000 \text{ L/min}} = 2.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$N_R = \frac{vD\rho}{\nu} = \frac{(2.67)(0.01892)(0.89)(1000)}{8 \times 10^{-3}} = 5.61 \times 10^3 \text{ turbulento}$$

*Ejemplo 3.* Por una tubería de acero de 4 in, cedula 40, fluye combustóleo a la tasa máxima para que el flujo sea laminar. Si el liquido tiene una gravedad especifica de 0.895 y viscosidad dinámica de  $8.3 \times 10^{-4} \text{ lb s/ft}^2$ . Calcule la perdida de energía por cada 100 ft de tubo.

$$N_R = 2000; f = 64/N_R = 0.032; N_R = \frac{vD\rho}{\nu}$$

$$v = \frac{N_R \nu}{D\rho} = \frac{(2000)(8.3 \times 10^{-4})}{(0.3355)(0.895)(1.94)} = 2.85 \text{ ft/s}$$

$$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g} = 0.032 * \frac{100}{0.3355} * \frac{(2.85)^2}{2(32.2)} \text{ ft} = 1.20 \text{ ft} = 1.20 \text{ ft} * \text{lb/lb}$$

Ejemplo 4 Determine la pérdida de energía debido a la expansión gradual de un tubo que pasa de 25 mm, a 75 mm, cuando la velocidad de flujo es de 3 m/s en el tubo pequeño y el ángulo del cono del agrandamiento es de 20°

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{75}{25} = 3.0 \quad K = 0.31 \text{ (Tabla 4) para } 20^\circ$$

$$h_L = K \frac{v_1^2}{2g} = 0.31 \left( 3.00 \frac{m}{s} \right)^2 / 2(9.81 \text{ m/s}^2) = 0.142 \text{ m}$$

# 3 GENERALIDADES Y LEYES FÍSICAS DE LA HIDRÁULICA Y LA NEUMÁTICA

---

## 3.1 Generalidades

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

El Aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la ley de los gases ideales.

La hidráulica es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos.

## 3.2 Diferencias entre la hidráulica y la neumática

La Neumática e Hidráulica son tecnologías muy semejantes; ambas aplican los conocimientos científicos sobre fluidos en el diseño de circuitos presentes en todos los ámbitos industriales, sobre todo en los procesos de automatización y control. En todo sistema neumático o hidráulico, se distinguen cuatro elementos:

1. *Elementos generadores de energía:* Compresor en Neumática y Bomba en Hidráulica.
2. *Elementos de tratamiento de los fluidos:* Filtros y reguladores de presión.
3. *Elementos de mando y control:* Tuberías y válvulas
4. *Elementos actuadores:* Cilindros y motores

La diferencia más relevante viene marcada por el tipo de fluido; la Neumática utiliza aire comprimido (muy compresible) y la Hidráulica generalmente emplea aceites (prácticamente incompresibles). Por esta razón, los circuitos neumáticos son abiertos

(escapes al ambiente), mientras que los hidráulicos son cerrados (escapes a un tanque). Además hay otras diferencias:

#### NEUMÁTICA:

- Cargas por debajo de los 3000 Kg
- Desplazamientos rápidos.
- Motores de alta velocidad con más de 500.000 rpm.
- Control de calidad, etiquetado, embalaje, herramientas portátiles...

#### HIDRÁULICA:

- Cargas elevadas tanto en actuadores lineales como en motores de par elevado.
- Control exacto de la velocidad y parada.
- Industrias metalúrgicas, máquinas herramientas, prensas, maquinaria de obras públicas, industria naval y aeronáutica, sistemas de transporte,...

### 3.3 Cálculos básicos de la Neumática e Hidráulica

A partir de la definición de presión:

$$P_{abs} = P_{ma} - P_{atm}$$

Obtenemos  $P_{atm} = P_{abs} - P_{man}$

- Presión manométrica positiva  $P_{atm} = P_{abs} - (+P_{man}) = P_{abs} - P_{man}$
- Presión manométrica negativa  $P_{atm} = P_{abs} - (-P_{man}) = P_{abs} + P_{man}$

Una presión manométrica es aquella que se presenta en el “interior” de un recipiente o de un conducto y se puede medir en unidades  $[F][L]^{-2}$  o en unidades de  $[L]$  de columna de liquido  $[H_2O], H_g$

$$P_{atm} = \begin{matrix} 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ 14.7 \text{ lb/plg}^2 \\ 760 \text{ mm de Hg} \end{matrix}$$

A partir de la definición de Presión hidrostática:  $p = \rho gh = \gamma h$ ;  $h = \frac{p}{\gamma}$

Sustituyendo  $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$  (peso específico del agua)

$$h = \frac{1.033 \times 10^4 \text{ kg/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3} = 10.33 \text{ m de H}_2\text{O Carga atmosférica al nivel del mar}$$

También se tiene que:

$$1 \text{ bar} = 0.9869 \text{ atm} \approx 1 \text{ atm} = 1 \times 10^6 \text{ dinas/cm}^2$$

Y de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades y considerando la 2ª ley de Newton:

$$F = ma = \left[ \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \text{ Unidad de fuerza}$$

A dicha unidad se le denomina newton (N) considerando la definición de presión y sustituyendo unidades

$$P = \frac{F}{A} = \frac{N}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg} * \text{m/s}^2}{\text{m}^2} = \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2} \right] \text{ Unidad de presión}$$

A dicha unidad de presión se le llama pascal (Pa) o sea que:

$$1 \text{ Pa} = \frac{N}{\text{m}^2} = \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2} \right] \text{ Unidad de fuerza}$$

Y como el pascal es una unidad de presión muy pequeña se utiliza el múltiplo de mil ( $10^3$ ) del pascal o sea el kilopascal (kPa), y el múltiplo cien ( $10^2$ ) del kilopascal, con el cual resulta el llamado bar, es decir

Tabla 11 Equivalencias de presión

EQUIVALENCIAS DE PRESIÓN Y CARGA DE AGUA									
UNIDAD	Lbs-pulg <sup>2</sup>	Lbs/ pie <sup>2</sup>	Atmósferas	Kg/ cm <sup>2</sup>	Pulg. de agua	Pies de agua	Pulg. de Hg	mm de Hg	BARS.
Lbs/pulg <sup>2</sup>	1	144.0	0.068046	0.070307	27.7276	2.3106	2.0360	51.7150	0.06895
Lbs/pie <sup>2</sup>	0.006945	1	0.000473	0.000488	0.1926	0.01605	0.0141139	0.35913	0.000479
Atmósferas	14.696	2,116.22	1	1.0332	407.484	33.9570	29.921	760.0	1.01325
Kg-cm <sup>2</sup>	14.2233	2,048.16	0.96784	1	394.27	32.864	28.959	735.558	0.9807
Pulg. de agua	0.03607	5.184	0.002454	0.00254	1	0.08333	0.0734	1.865	0.00249
Pies de agua	0.43278	62.3205	0.029449	0.03043	12.0	1	0.8811	22.381	0.02964
Pulg. de Hg.	0.49115	70.726	0.033421	0.03453	13.617	1.1349	1	25.40	0.03386
mm de Hg.	0.019337	2.7845	0.0013158	0.0013595	0.5361	0.04468	0.03937	1	0.001333
BARS.	14.5036	2,068.55	0.98692	1.0197	402.1	33.51	29.53	750.0	1

*Unidades de Fuerza.* Como Unidades de fuerza se tiene: kg, lb, etc.

$$1kg = 2.2lb$$

$$1hg = 9.81N$$

$$1gr = 980.66 \text{ dinas}$$

*Factores de Transformación* Conociendo la equivalencia que se pretende transformar, por ejemplo en el sistema técnico la unidad de masa es el UTM, y su factor de conversión es:

$$1 \text{ UTM} = 9.81 \text{ kg} \quad \therefore \frac{9.81 \text{ kg}}{\text{UTM}} = 1$$

En el SI la unidad de Longitud es el metro y del tiempo el segundo y como factor de conversión de las unidades de fuerza es:

$$1 \text{ Kp} = 9.81 \text{ N} \quad \therefore \frac{9.81 \text{ N}}{\text{Kp}} = 1$$

En el sistema ingles unidad de masa y longitud es el slug y el pie y como factor de conversión se tiene

$$1 \text{ slug} = 14.59 \text{ kg} \quad \therefore \frac{14.59 \text{ kg}}{\text{slug}} = 1$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} \quad \therefore \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} = 1$$

Al SI y al Sistema Técnico

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg} \quad \therefore \frac{0.454 \text{ kg}}{\text{slug}} = 1$$

*Unidad de volumen.*

Tabla 12 Equivalencia Volumen

EQUIVALENCIAS DE PESO Y VOLUMEN DE AGUA							
UNIDAD	GALÓN (US)	GALÓN IMPERIAL	PULGADAS CÚBICAS	PIES CÚBICOS	METROS CÚBICOS	LITROS	LIBRAS
GALÓN (US)	1.0	0.833	231.0	0.1337	0.00378	3.785	8.33
GALÓN IMPERIAL	1.20	1.0	277.41	0.1605	0.00455	4.546	10.0
PULGADAS CÚBICAS	0.004329	0.003607	1.0	0.00057	0.000016	-	0.0361
PIES CÚBICOS	7.48	6.232	1,728.0	1.0	0.0283	28.317	62.425
METROS CÚBICOS	284.17	220.05	-	35.314	1.0	1,000	2,204.5
LITROS	0.26417	0.220	61.023	0.0353	0.001	1.0	2.205
LIBRAS	0.12	0.1	27.68	0.016	-	0.454	1.0

*Unidades de potencia.* Se define como el concepto de potencia consumida o tomada por el cilindro y se expresa en:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Hp} &= 1.013 \text{ CV} = 745.6 \text{ Watts} & \text{CV} &= \text{caballos de vapor} \\
 1 \text{ CV} &= 0.9863 \text{ Hp} = 735.5 \text{ Watts} & \text{Hp} &= \text{caballos fuerza} \\
 & & \text{watts} &= \text{potencia eléctrica}
 \end{aligned}$$

1 Hp del compresor entrega aproximadamente 100 L/min de aire comprimido

*Unidad de temperatura.* Como unidad de temperatura se tiene: °C, °F, °R, °K

$${}^{\circ}\text{C} = \frac{{}^{\circ}\text{F} - 32}{1.8} \tag{3.1}$$

$$^{\circ}F = 1.8^{\circ} * ^{\circ}C + 32 \quad (3.2)$$

$$^{\circ}R = ^{\circ}F + 460 \quad (3.3)$$

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273 \quad (3.4)$$

*Unidad de Caudal.*

Tabla 13 Equivalencia de caudal

UNIDADES DE CAUDAL DE AGUA								
UNIDAD	US GALONES /MIN	GALONES IMPERIALES/ MIN	MILLONES DE US GALONES/ DIA	Pie <sup>3</sup> /seg.	m <sup>3</sup> /hora	Litros/ seg.	Barriles /min.	Barriles /día
US GALONES/MIN.	1	0.8327	0.00144	0.00223	0.02271	0.0631	0.0238	34.286
GALONES IMPERIALES/MIN.	1,201	1	0.00173	0.002676	0.2727	0.0758	0.02859	41.176
MILLONES DE US GALONES/DIA	694.4	578.25	1	1.547	157.7	43.8	16.53	23,810
Pie <sup>3</sup> /seg.	448.83	373.7	0.646	1	101.9	28.32	10.686	15,388
m <sup>3</sup> /seg.	15,850	13,199	22.83	35.315	3,600	1,000	377.4	543,447
m <sup>3</sup> /min.	264.2	220	0.3804	0.5883	60.0	16.667	6.290	9,058
m <sup>3</sup> /hora	4.403	3.67	0.00634	0.00982	1	0.2778	0.1048	151
Litros/seg.	15.85	13.20	0.0228	0.0353	3.60	1	0.3773	543.3
Litros/minuto	0.2642	0.220	0.000380	0.000589	0.060	0.0167	0.00629	9.055
Barriles/min.	42	34.97	0.0605	0.09357	9.5256	2.65	1	1,440
Barriles/día	0.0292	0.0243	0.000042	0.000065	0.00662	0.00184	0.00069	1

*Unidad de área.*

AREA O SUPERFICIE						
UNIDAD	PULGADAS CUADRADAS	PIES CUADRADOS	ACRES	MILI-METROS CUADRADOS	CENTI-METROS CUADRADOS	METROS CUADRADOS
PULGADAS CUADRADAS	1	0.006944	-	645.16	6.4516	0.00064516
PIES CUADRADOS	144	1	-	92,903.04	929.0304	0.09290
ACRES	-	43,560	1	-	-	4,046.8564
MILÍMETROS CUADRADOS	0.00155	-	-	1	0.01	-
CENTÍMETROS CUADRADOS	0.1550	0.001076	-	100	1	0.0001
METROS CUADRADOS	1,550.0031	10.76391	0.000247	-	10,000	1

*Propiedades de carga o energía.* Las pérdidas de carga de energía son debidas al rozamiento del aire con las paredes del conducto y válvulas y se expresan en unidades de

presión.

Estas pérdidas deben ser mínimas con el fin de obtener una mayor eficiencia del proceso, según fabricantes, se deben permitir en un sistema de 0.1 a 0.3 bar.

*Fuerzas del embolo.* Las perdidas por rozamiento se consideran de un 3 a un 20% de la fuerza teórica (valor promedio 10%).

$$F_t = A * P = [N] \quad (3.5)$$

Así el área útil del embolo es:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0.785 D^2 \quad \begin{array}{l} A = \text{área del cilindro} \\ D = \text{diámetro del actuador} \end{array} \quad (3.6)$$

Y el área útil de retroceso es:

$$A = \left( \frac{D^2 - d^2}{4} \right) \pi = 0.785 D^2 \quad \begin{array}{l} D = \text{diámetro mayor} \\ d = \text{diámetro} \end{array} \quad (3.7)$$

$$\text{Por lo que la fuerza real de trabajo será } F_r = F_t - (10\%F_t) \quad (3.8)$$

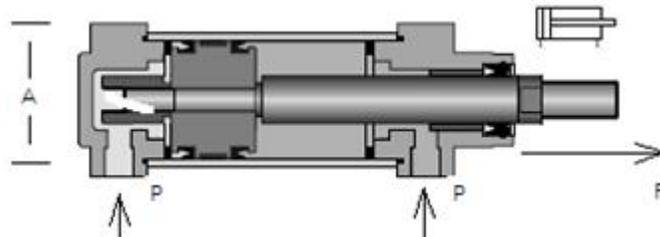


Figura 23 Cilindro de doble efecto

*Consumo de aire en cilindros.* Con la presión de servicio, el diámetro y la carrera el consumo de aire se puede determinar a partir de:

Para un cilindro de simple efecto

$$Q = s(cm) * n(ciclos/min) * q(lt/cm) = \left[ \frac{lt}{min} \right] \quad (3.10)$$

Para un cilindro de doble efecto

$$Q = 2[s(cm) * n(ciclos/min) * q(lt/cm)] = \left[ \frac{lt}{min} \right] \quad (3.11)$$

*Velocidad en los cilindros.* La velocidad en los cilindros puede ser medida en con la siguiente formula  $m/s, ft/s, in/s, cm/s, etc.$

$$V = \frac{L}{t} \quad \begin{array}{l} L = \text{carrera del cilindro} \\ t = \text{tiempo del recorrido} \end{array} \quad (3.12)$$

Para el control de la velocidad existen los siguientes casos:

1. Para disminuir la velocidad se utiliza una válvula reguladora de caudal con check integrado
2. Para incrementar la velocidad se tiene
  - a) Con una válvula de escape rápido (más recomendable)
  - b) Colocar la válvula direccional o de mando lo más cerca posible al cilindro
  - c) Incrementar el diámetro del cilindro así como su válvula direccional
  - d) Colocar una válvula mayor a la especificada, así como sus conexiones correspondientes

### *Cálculos técnicos hidráulica*

Velocidad del cilindro cuando se conoce su tamaño y caudal

$$v = \frac{Q(gpm) * 231}{A(plg^2)} = \left[ \frac{plg}{min} \right] \quad (3.13)$$

Flujo requerido para una velocidad determinada

$$Q = \frac{A(plg^2) * v(plg/min)}{231} = [gpm] \quad (3.14)$$

Fuerza desarrolla para una presión determinada

$$F = P(psi) * A(plg^2) = [lb] \quad (3.15)$$

Presión ejercida para una presión determinada

$$P = \frac{F(lb)}{A(plg^2)} = [psi] \quad (3.16)$$

Potencia requerida por el motor que acciona a la bomba hidráulica

$$P_{ot} = \frac{Q(gpm) * P(psi)}{1714 * \eta(\%)} = [Hp] \quad (3.17)$$

La velocidad del aceite en tuberías es muy importante por las pérdidas de energía, originadas por el movimiento y a elementos tales como válvula, codos, cambios de dirección, etc.

Los porcentajes de velocidad recomendados por fabricantes son:

- a) En la línea de succión de 2 a 4 ft/s
- b) En las líneas de presión o de trabajo de 7 a 20 ft/s
- c) En la línea de descarga de 10 a 15 ft/s

Es importante considerar en el cálculo de las pérdidas de carga las características del flujo (laminar, turbulento).

*Tamaño de la tubería*

Partiendo de  $Q = v * A$

$$A = \frac{Q(gpm) * 0.0021}{v(ft/s)} = [ft^2] \quad (3.18)$$

$$A = \frac{Q(gpm) * 0.3208}{v(ft/s)} = [plg^2] \quad (3.19)$$

Diámetro de la tubería de presión

$$d_p = 0.145\sqrt{Q} = [plg] \quad (3.20)$$

También se tiene:

$$v = \frac{Q(lt/min) * 0.166}{A(cm^2)} = [m/s] \quad (3.21)$$

Diámetro de la tubería de succión

$$d_s = 0.320\sqrt{Q} = [plg] \quad (3.22)$$

$$A = \frac{\pi}{4}d^2 = 0.785d^2 \quad (3.23)$$

*Potencia y trabajo.* El trabajo se define como la fuerza que es ejercida a través de una distancia, es decir:

$$W = F_{za} * D_{ist} = [lb * ft] = [Kg * m] \quad (3.24)$$

Y al considerar el tiempo que tarda en efectuarse el trabajo, se obtiene entonces, la potencia.

$$P_{ot} = \frac{F_{za} * D_{ist}}{tiempo} = \frac{W}{t} = \left[ \frac{lb * ft}{s} \right]$$

Y con

$$v = \frac{dist}{tiempo}$$

También se obtiene

$$P_{ot} = F_{za} * v = \left[ \frac{lb * ft}{s} \right] \quad (3.25)$$

*Potencia en un sistema hidráulico.* En un sistema hidráulico la velocidad se considera a través del gasto (Q) y la fuerza a través de la presión (P).

$$P_{ot} = \frac{F_{za} * D_{ist}}{tiempo} = F_{za} * v \quad (3.25)$$

Y de acuerdo a la definición general de potencia

$$P_{ot} = Q(gpm) * P(psi) \quad (3.26)$$

*Demostración*

Desarrollando  $F = PA$

$$P_{ot} = \frac{Presion * Area * D_{ist}}{tiempo} = F_{za} * v$$

Y como  $volumen = Area * distancia$

$$P_{ot} = \frac{Presion * volumen}{tiempo} \text{ y como } Q = \frac{volumen}{tiempo}$$

Por lo tanto se ratifica

$$P_{ot} = Q(gpm) * P(psi)$$

Y como 1 gal = 231 plg<sup>3</sup> y 1 ft = 12 plg.

$$P_{ot} = Q \frac{(galon)}{min} * \frac{231 \text{ plg}^3}{galon} * P \frac{lb}{plg^2} * \frac{ft}{12plg} = \frac{231}{12} \left[ \frac{lb * ft}{min} \right]$$

Por lo que convertir a la unidad estándar de la potencia (Hp), se tiene:

$$\frac{231}{12} \left[ \frac{lb * ft}{min} \right] = \frac{231}{12 * 33000} \left[ \frac{lb * ft}{min} \right] = 0.000583Hp$$

33,000 lb que son levantadas 1 ft en 1 minuto y 550 lb que son levantadas 1 ft en 1 seg.

Lo que significa que el fluido de un galón por minuto o una libra por pulgada cuadrada es igual a 0.000583 Hp. Así la potencia total en cualquier condición del fluido resulta ser la potencia hidráulica  $P_h$  proporcionada por la bomba al sistema es decir:

$$P_h = Q(gpm) * P(psi) * 0.000583 = Hp$$

También se tiene

$$P_h = \frac{Q(gpm) * P(psi) * 0.583}{1000} = Hp$$

$$P_h = \frac{Q(gpm) * P(psi)}{1714} = [Hp]$$

$$P_h = \frac{Q(\text{lt}/\text{min}) * P(\text{kg}/\text{cm}^2)}{450} = [\text{CV}]$$

$$P_h = \frac{Q(\text{l}/\text{min}) * P(\text{bar})}{448} = [\text{CV}]$$

$$P_h = \frac{Q(\text{lt}/\text{min}) * P(\text{kPa}) * \delta}{60000} = [\text{kW}]$$

Se resume que esta potencia hidráulica es la que proporciona la bomba al sistema, por lo que la potencia para impulsar la bomba ( $P_{\text{ot req}}$ ) debe ser mayor, debido a que existe pérdidas de energía en el sistema.

Según fabricantes se puede considerar una eficiencia promedio para bombas del 80%. Por lo que para determinar la potencia requerida a la entrada de la bomba será:

$$P_{\text{req}} = Q(\text{gpm}) * P(\text{psi}) * \frac{0.000583}{0.80}$$

$$P_{\text{req}} = Q(\text{gpm}) * P(\text{psi}) * 0.0007 = [\text{Hp}]$$

O también se tiene

$$P_{\text{req}} = \frac{Q(\text{lt}/\text{min}) * P(\text{kg}/\text{cm}^2)}{450 * 0.8} = [\text{CV}]$$

Para cuando se trabaja con relación de torsión

$$T = \frac{63025 * P_h(\text{Hp})}{360} = [\text{CV}]$$

$$P_h = \frac{T(\text{lb} * \text{plg}) * \eta(\text{rpm})}{63025} = [\text{Hp}]$$

$$P_h = \frac{T(kg * m) * \eta(rpm)}{717} = [CV]$$

### 3.4 Fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas

La *presión hidrostática* es la parte de la presión debida al peso de un fluido en reposo. En un fluido en reposo la única presión existente es la presión hidrostática, en un fluido en movimiento además puede aparecer una presión hidrodinámica adicional relacionada con la velocidad del fluido.

La *presión hidrodinámica* o es la presión termodinámica dependiente de la dirección considerada alrededor de un punto que dependerá además del peso del fluido del estado de movimiento del mismo.

### 3.5 Propiedades del aire

El aire es caracterizado por su fluidez, compresibilidad y elasticidad, es una energía fácilmente transportable, pero no se recomienda grandes distancias en su distribución debido a las pérdidas de carga que se originan en tuberías y accesorios de unión. Se pueden almacenar en depósitos que eviten el continuo funcionamiento de compresores con lo cual se alarga la vida de estas máquinas.

Propiedades del aire comprimido que han contribuido a su popularidad

- *Almacenamiento*: Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.
- *Temperatura*: El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura, garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- *Resistencia al entorno*: No existe ningún riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario disponer instalaciones antideflagrantes, que son caras.

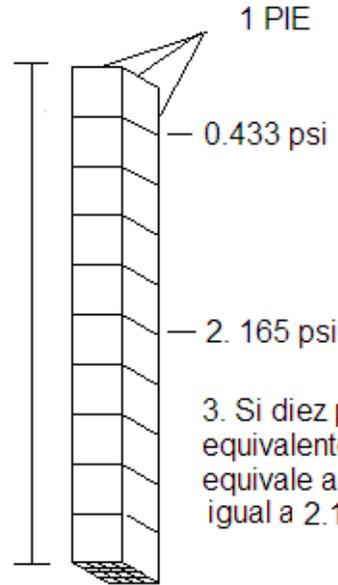
- *Limpio del entorno:* No produce ningún ensuciamiento. Esto es muy importante por ejemplo, en las industrias alimenticias, de la madera, textiles y del cuero.
- *Economía:* La concepción de los elementos de trabajo es simple si, por tanto, precio económico.
- *Velocidad:* Es un medio de trabajo muy rápido y, por eso, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. (La velocidad de trabajo de cilindros neumáticos pueden regularse sin escalones.)
- *Simplicidad de diseño y control.* Los componentes neumáticos son de configuración sencilla y se montan fácilmente para proporcionar sistemas automatizados extensos con un control relativamente sencillo.
- *Fuerza:* El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar), el límite, también en función de la carrera y la velocidad, es de 20.000 a 30.000 N (2000 a 3000 kp).
- *Seguridad.* No presenta peligro de incendio en áreas de riesgo elevado y el sistema no está afectado por sobrecarga, puesto que los actuadores se detienen o se sueltan simplemente. Los actuadores neumáticos no producen calor.

### **3.6 Presión de una columna de fluido**

Esta expresión indica que la presión total ejercida sobre un fluido, depende únicamente de la profundidad, ya que la densidad  $\rho$ , la aceleración de gravedad y la presión atmosférica  $P_0$  son constantes, por esto se dice que la presión que se ejerce sobre un fluido, se ejerce con la misma magnitud a todas partes del fluido (Fig. 25). Esto último es lo que se conoce como Principio de Pascal.

1. Una seccion de pie cuadrado de agua, de 10 pies de alto contiene 10 pies cubico. Si cada pie cubico pesa 62.4 libras

2. El peso total aqui es de 624 libra. La presion debida al peso es de  $624/144$  pulgadas ó 4.33 psi.



3. Si diez pie de agua son un equivalente a 4.33 psi, un pie equivale a 0.433 psi, 5 pies igual a 2.165 psi, etc.

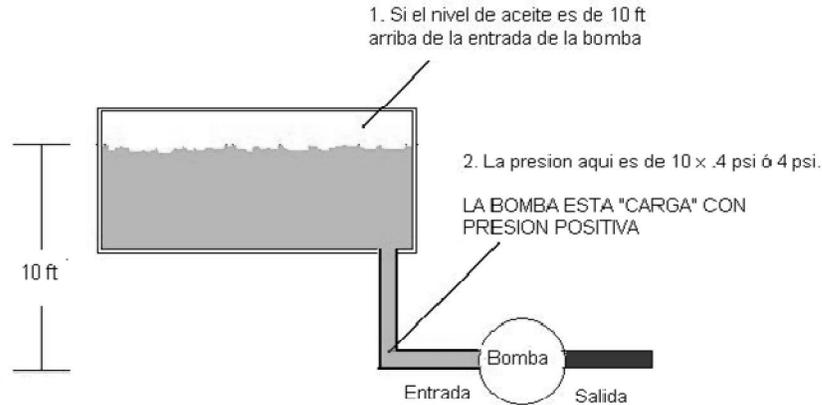
Figura 24 Comportamiento de la presión en una columna

### 3.7 Carga positiva y carga negativa

El peso de un volumen de aceite varía de grado, como su viscosidad (espesor). Sin embargo la mayoría del aceite hidráulico pesa de 55 a 58 libras por pie cúbico en porcentajes de operación normal.

Una consideración importante del peso del aceite es el efecto de este es la entrada de la bomba. El peso del aceite causará una presión de .4 psi, más o menos al fondo de una columna de aceite de un pie. Por cada pie adicional de peso, este será .4 psi más. Así que para estimar de cualquier columna de aceite, simplemente multiplíquelo por .4psi.

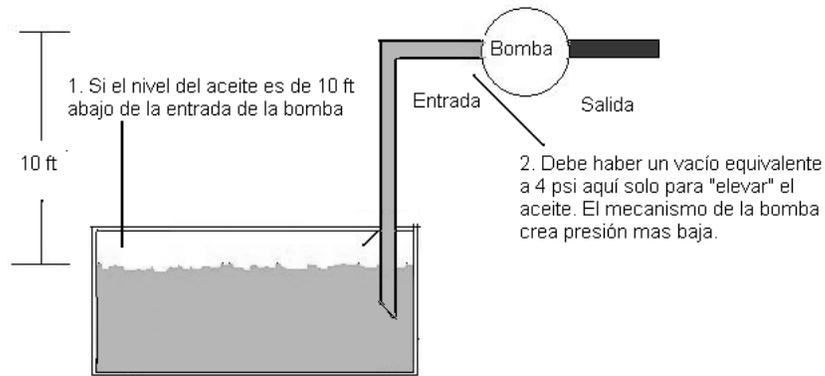
Cuando el nivel del depósito de aceite está más arriba de la entrada de la bomba, se tiene una presión positiva para forzar el aceite dentro de la bomba. Sin embargo, si la bomba está localizada arriba del nivel del aceite, un vacío equivalente a .4 psi por pie se necesita para “levantar” el aceite a la entrada de la bomba.



Nivel de aceite arriba de la bomba carga la entrada

**Figura 25 Carga positiva**

Realmente el aceite no es levantado por el vacío, ya que es forzado por la presión atmosférica dentro del vacío creado a la entrada de la bomba cuando la bomba está funcionando. El agua y varios fluidos hidráulicos son más pesados que el aceite, y por esos requieren más vacío por pie para levantarlos.



Nivel del aceite abajo requiere de un vacío para "levantar" el aceite.

**Figura 26 Carga negativa**

### 3.8 Como se produce la presión

La presión se crea cuando el flujo encuentra resistencia. La resistencia puede venir de (1) una carga en un actuador o (2) una restricción (u orificio) en la tubería.

En la figura una bomba de 10 gpm tiene una salida conectada a una válvula de alivio

ajustada a 1000 psi y una llave de agua común y corriente. Si la llave está completamente abierta, el abastecimiento de agua fluye sin restricción y no marca nada el medidor de presión.

Ahora suponga que la llave es gradualmente cerrada. Esta resistirá el flujo y causará presión que se creará en el lado de contra-corriente. Así como se vaya restringiendo la salida, este tomará gradualmente más presión para empujar los 10 gpm a través de la restricción. Sin la válvula de alivio, ahí teóricamente no habría límite de presión creada, En realidad, o algo se rompería o la bomba atascaría al primer componente

La presión se origina siempre que existe una resistencia al flujo de un fluido o a una fuerza que trata de hacer fluir al fluido. La tendencia a originar flujo (o el empuje) puede ser suministrado por una bomba mecánica o simplemente por el peso propio del fluido.

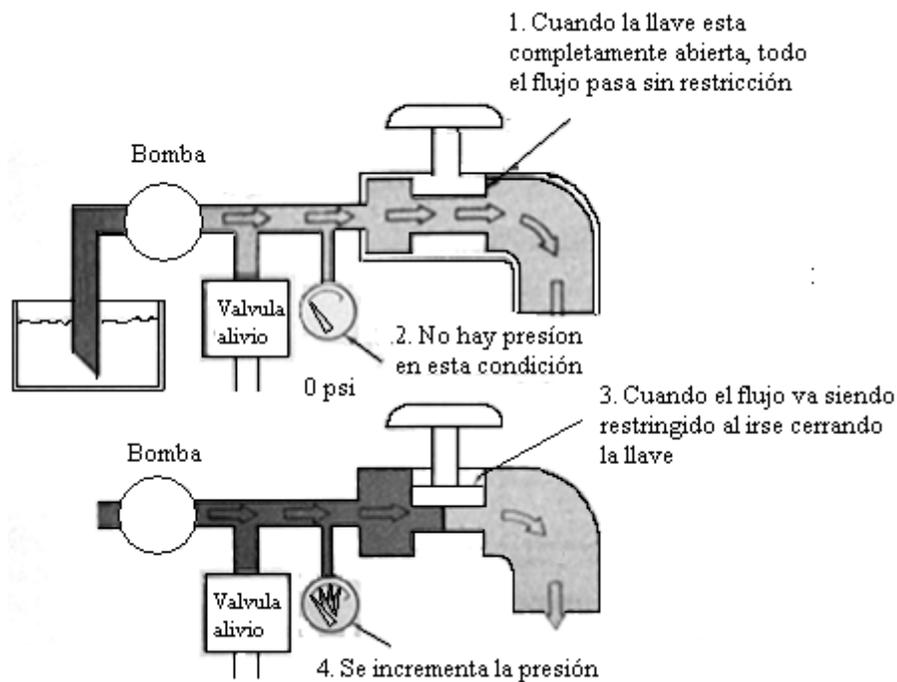


Figura 27 Presión causada por una restricción

### 3.9 Presión diferencial

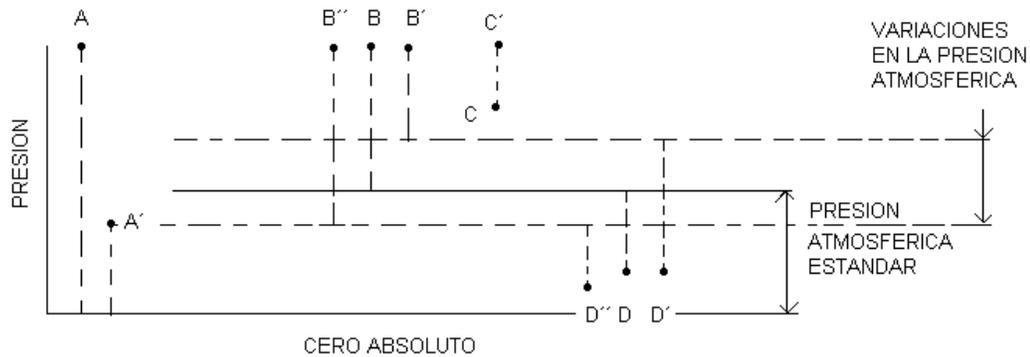


Figura 28 Clases de presión

La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'. El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D"). Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío. Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

### 3.10 Problema de aplicación

*Ejemplo 1* Considere que un peso de 8000 lb va a ser levantado a una altura de 30 plg donde la presión de servicio se limita a 1000 lb/plg<sup>2</sup> determinar el área del pistón y el tamaño de la bomba.

a) *El área del pistón*

$$A = \frac{F(lb)}{A(plg^2)} = \frac{8000lb}{1000plg^2} = 8 plg^2$$

Considerando un factor de seguridad, se selecciona un pistón ligeramente mayor, el cual puede ser de 10 plg<sup>2</sup>.

Como consecuencia, la presión de servicio permite levantar una carga de

$$F = P(\text{psi}) * A(\text{plg}^2) = 1000 \text{ lb/plg}^2 * 10 \text{ plg}^2 = 10000 \text{ lb}$$

Como puede observarse  $10000 \text{ lb} > 8000 \text{ lb}$ , lo cual es recomendable para mayor seguridad del proceso

b) *Tamaño de la bomba*

Considerando una velocidad del pistón de  $10 \text{ plg/seg}$  resulta

$$Q = \frac{A(\text{plg}^2) * v(\text{plg/min})}{231} = \frac{10 \text{ plg/seg} * 10 \text{ plg}^2}{231} = 0.433 \text{ plg}^3/\text{seg}$$

Realizamos la conversión de unidades

$$0.433 \text{ plg}^3/\text{seg} * 60 \text{ seg/min} = 25.97 \text{ plg}^3/\text{min} = 26 \text{ gpm}$$

Y la potencia requerida para impulsar la bomba será:

$$P_{req} = Q(\text{gpm}) * P(\text{psi}) * 0.0007 = [\text{Hp}]$$

$$P_{req} = 26 \text{ gpm} * 1000 \text{ psi} * 0.0007 = 18.2 \text{ Hp}$$

$$P_{req} = 20 \text{ Hp Valor comercial}$$

Y para una velocidad de giro considerando en el motor eléctrico de  $2000 \text{ rpm}$  se tiene

$$N_p = \frac{f * 120}{\eta} = \frac{60 * 120}{2000} = 4 \text{ polos}$$

*Ejemplo 2* Determinar la fuerza real o efectiva de trabajo de un cilindro, tanto de empuje como de retroceso para las siguientes condiciones:

$$D = 50\text{mm} = 0.05\text{m}$$

$$d = 12\text{mm} = 0.012\text{m}$$

$$p = 6\text{bar} = 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$F_R = 10\% \text{ de la fuerza teórica}$$

Así el área del embolo

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = 0.785 D^2 = 0.785 (0.05\text{m})^2 = 19.625 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

Área del vástago

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = 0.785 d^2 = 0.785 (0.012 \text{ m})^2 = 113.04 \times 10^{-6} \text{m}^2$$

Por lo tanto el área efectiva del retroceso será:

$$A = \left( \frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d^2 \right) = 19.625 \times 10^{-4} \text{m}^2 - 113.04 \times 10^{-6} \text{m}^2 = 18.510^{-4} \text{m}^2$$

*Fuerza teórica de empuje en el avance*

$$F_t = 19.625 \times 10^{-4} \text{m}^2 * 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1177.5 \text{ N}$$

$$\text{Fuerza de rozamiento } F_R = 10\% F_t = 117.75$$

Por lo tanto la fuerza real es

$$F_r = F_t - (10\% F_t) 1177.5 \text{ N} - 117.75 \text{ N} = 1060 \text{ N}$$

$$F_r = 1060 \text{ N} = \frac{1060 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 109 \text{ kg} = 239.81 \text{ lb}$$

*La fuerza de empuje teórica en el retroceso será:*

$$F_t' = 18.5 \times 10^{-4} \text{m}^2 * 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1110 \text{ N}$$

Y su fuerza de rozamiento será  $F_R' = 10\%F_t' = 11.1 \text{ N}$

Por lo que la fuerza real de empuje de retroceso será

$$F_r' = F_t' - (10\%F_t') = 110 \text{ N} - 11.1 \text{ N} = 999 \text{ N} = \frac{999 \text{ N}}{9.81 \text{ m/s}} = 102 \text{ kg} = 224.4 \text{ lb}$$

# 4 NEUMÁTICA

---

## 4.1 Generalidades

Los sistemas neumáticos e hidráulica se complementan con los eléctricos y electrónicos lo que les permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad. Utilizan válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. El PLC (programmable logic controller) les permite programar la lógica de funcionamiento de un cilindro o de un conjunto de cilindros realizando una tarea específica.

Para comandar un solo cilindro, es necesario, a veces, de una serie de elementos auxiliares, que hacen que la solución de un problema, aparentemente elemental, se convierta en todo un ejercicio cuyo resultado final solo será acertado si se conoce bien la tecnología y se aplica.

Par encontrar la mejor solución a un determinado proceso industrial es siempre conveniente conocer el mecanismo que hay que accionar y el funcionamiento específico que este

## 4.2 Unidad de potencia hidráulica y neumática

### *Potencia hidráulica*

La potencia mecánica que un cilindro o un motor transmite a un objeto que opone resistencia, es también la potencia Hidráulica requerida en ese cilindro o motor

En la hidráulica industrial no se emplean los términos que se utilizan en la expresión mecánica, es decir “ft” (m) y “lbf” (N), sino en términos hidráulicos “PSI” (Pa) y “GPM” (lpm), lo que hace necesario realizar una conversión.

$$Potencia_i = Caudal * Presión \tag{4.1}$$

Para calcular la potencia desarrollada por un cilindro o por un sistema hidráulico

$$\text{Caballos de fuerza (Hp)} = \text{gpm} * \text{psi} * 0.000583 \quad \text{Watts} = \text{Hp} * 745$$

Para calcular la potencia desarrollada en un motor hidráulico

$$\text{Caballos de fuerza (Hp)} = \frac{\text{rpm} * \text{Par}(\text{lb} - \text{pulg})}{63.025} \quad \text{Watts} = \text{Hp} * 745$$

### *Potencia neumática*

*Fuerza.* La fuerza teórica de salida ejercida por un cilindro viene dada por:

$$F = pS = p \frac{\pi D^2}{4} \quad \begin{array}{l} p = \text{presión absoluta del fluido} \\ S = \text{área de la superficie útil} \end{array} \quad (4.2)$$

*Cilindros.* La sección activa del cilindro, al ser éste generalmente circular, viene dada por:

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.3)$$

*Carrera.* Viene dada por la diferencia de posición entre las dos situaciones extremas del émbolo. Al efectuar los cálculos de esfuerzos debe tenerse en cuenta que en el sentido de entrada del vástago la superficie es más pequeña, puesto que es preciso descontar la superficie del vástago.

$$S_1 = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} \quad \begin{array}{l} D = \text{diámetro interior del tubo} \\ d = \text{diámetro del vástago} \end{array} \quad (4.4)$$

Y la fuerza de entrada, por tanto, que efectúa el cilindro es:

$$F_1 = p\pi \frac{D^2 - d^2}{4} \quad (4.5)$$

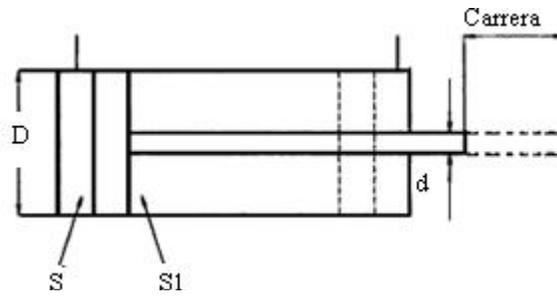


Figura 29 Cilindro neumático con sus constantes indicadas

Volumen de salida

$$V = \frac{\pi D^2}{4} C \quad (4.6)$$

Volumen de entrada

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} C \quad (4.7)$$

El volumen de aire consumido por el cilindro en cada ciclo viene dado por:

$$V_c = (V + V_1)(P + 1) \quad (4.8)$$

Valor que multiplicado por el número de ciclos que efectúa el cilindro en la unidad de tiempo nos proporcionara el consumo

Para los estudios de rendimiento, indispensables en los análisis económicos de instalaciones, es imprescindible introducir el concepto de potencia de un fluido en movimiento.

El aire comprimido en la neumática, como el aceite en la oleohidráulica, son vehículos a través de los cuales se transmite potencia de una fuente exterior de energía – en general un motor eléctrico o de combustión interna- a unos receptores (cilindros, o motores), aunque según principios más diferentes de los que pudieran parecer a primera vista, ya que en hidráulica no hay ( en primera aproximación) acumulación de energía, sino una adecuación

de la energía producida (o mejor transformada) a la energía utilizada, mientras en neumática tenemos energía acumulada en la propia masa de aire comprimido.

La potencia instantánea consumida por un receptor podemos escribirla  $P_{ot} = F * v$ . Supongamos, para una comprensión más fácil, que este receptor es un cilindro.

La fuerza teórica ejercida por un cilindro viene dada por:

$$F = pS = p \frac{\pi D^2}{4} \quad \begin{array}{l} p = \text{presión absoluta del fluido} \\ S = \text{área de la superficie útil} \end{array} \quad (4.9)$$

El volumen que se crea por unidad de tiempo al avanzar el cilindro es  $V$ , siendo a  $v$  su velocidad lineal instantánea. Luego el caudal de fluido que viene a ocupar este volumen es  $q = v * s$

Así pues, la expresión de la potencia queda

$$P_{ot} = F * v = ps \frac{q}{s} = pq \quad (4.10)$$

Si expresamos la presión en  $N/m^2$  y el caudal en  $m^3/s$  la potencia se expresa en watts.

### 4.3 Construcción de la red principal

La neumática precisa de una estación de generación y preparación del aire comprimido y de una red de tuberías de distribución, un sistema neumático básico se compone de dos secciones principales.

- El sistema de producción y distribución de aire
- Sistema de consumo de aire

## El sistema de producción y distribución de aire

1. *Compresor.* El aire tomado a presión atmosférica se comprime y se entrega a presión más elevada al sistema neumático. Se transforma así la energía mecánica en energía neumática.
2. *Motor eléctrico.* Suministra la energía mecánica al compresor. Transforma la energía eléctrica en mecánica.

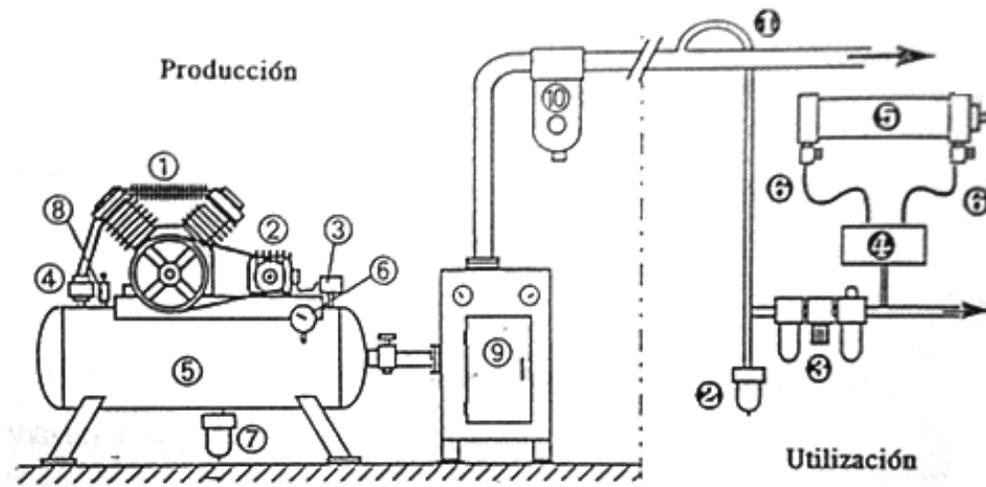


Figura 30 Red de distribución de aire

3. *Presostato.* Controla al motor eléctrico detectando la presión en el depósito. Se regula la presión máxima a la que se desconecta el motor y a la presión mínima a la que vuelve a arrancar el motor.
4. *Válvula antirretorno.* Deja pasar el aire comprimido del compresor al depósito e impide su retorno cuando el compresor está parado.
5. *Deposito.* Almacena el aire comprimido. Cuanto más grande sea su volumen, más largos son los intervalos entre los funcionamientos del compresor.
6. *Manómetro.* Indica la presión del depósito.

7. *Purga.* Purgar el agua que se condensa en el depósito.
8. *Válvula de seguridad.* Expulsa el aire comprimido si la presión en el depósito sube por encima de la presión permitida.
9. *Secador de aire refrigerado.* Enfría el aire comprimido hasta pocos grados por encima del punto de congelación y condensa la mayor parte de la humedad del aire, lo que evita tener agua en el resto del sistema.
10. *Filtro de línea.* Sirve para mantener la línea libre de polvo, agua y aceite

#### *Sistema de consumo de aire*

1. *Purga de aire.* Para el consumo, el aire es tomado de la parte superior de la tubería principal para permitir que la condensación ocasional permanezca en la tubería principal; cuando alcanza un punto bajo, una salida de agua desde la parte inferior de la tubería irá a una purga automáticamente eliminando así el condensado
2. *Purga de Automática.* cada tubo descendiente deberá tener una purga en su extremo inferior. El método más eficaz es una purga automática que impide que el agua se quede en el tubo en el caso en que se descuide la purga manual
3. *Unidad de acondicionamiento de aire.* Acondiciona el aire comprimido para suministrar el aire limpio a una presión óptima y ocasionalmente añade lubricante para alargar la duración de los componentes del sistema neumático que necesitan lubricación
4. *Válvula direccional.* Proporciona presión y pone a escape alternativamente las dos conexiones del cilindro para controlar la dirección del movimiento
5. *Actuador.* Transforma la energía potencial del aire comprimido en trabajo mecánico

6. *Controladores de velocidad.* Permite una regulación fácil y continua de la velocidad de movimiento del actuador

#### **4.4 Red de aire comprimido**

Se entiende red de aire comprimido al conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas fijamente unidas entre si y que conducen el aire comprimido a los puntos de toma para los equipos consumidores individuales, Los criterios principales de una red son la velocidad de circulación y la caída de presión en la tuberías así como la estanqueidad de la red en conjunto.

*Tubería principal.* Es la línea que sale del conjunto de compresores y conduce todo el aire que consume la planta. Debe tener la mayor sección posible para evitar pérdidas de presión y prever futuras ampliaciones de la red con su consecuente aumento de caudal.

*Tuberías secundarias.* Se derivan de la tubería principal para conectarse con las tuberías de servicio. El caudal que por allí circula es el asociado a los elementos alimentados exclusivamente por esta tubería. También en su diseño se debe prever posibles ampliaciones en el futuro.

*Tuberías de servicio.* Son las que surten en sí los equipos neumáticos. En sus extremos tienen conectores rápidos y sobre ellas se ubican las unidades de mantenimiento. Debe procurarse no sobre pasar de tres el número de equipos alimentados por una tubería de servicio.

##### *Parámetros*

Al iniciar el proceso de diseño de una instalación de aire comprimido se deben investigar todas las aplicaciones que se usarán y su ubicación en la planta. Se debe estimar la presión a la cual se desea trabajar para establecer el funcionamiento del compresor y de la red. Generalmente una red industrial de aire comprimido tiene presiones de 6 y 7 bar.

*Caudal.* El caudal de la red deberá ser diseñado con base en la demanda. Los dispositivos neumáticos traen en sus catálogos métodos para estimar su consumo.

*Pérdida de presión.* Los componentes de una red de aire comprimido como codos, Tés, cambios de sección, unidades de mantenimiento, y otras se oponen al flujo generando pérdidas de presión. Garantizar que las pérdidas estén en los límites permisibles es una labor esencial del diseño.

*Velocidad de circulación.* Esta velocidad debe controlarse puesto que su aumento produce mayores pérdidas de presión.

#### *Diseño de una red de diseñando*

Mediante un análisis de las características técnicas de las maquinarias que intervienen en el proceso productivo de la empresa, se debe identificar qué maquinarias consumen aire comprimido y a qué área pertenecen dentro del Layout de la empresa.

Al iniciar el proceso de diseño de una instalación de aire comprimido se deben investigar todas las aplicaciones en las que se requiere el uso de aire comprimido y su ubicación en la planta.

Para eso es necesario contar con los siguientes datos:

*Layout de la planta.* La primera labor de diseño de una red de aire comprimido es levantar u obtener un plano de la planta, donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire, anotando su consumo y presión requerida. Lo ideal sería tener concentrados por áreas los equipos y máquinas que necesiten aire comprimido, para evitar el diseño de una red de aire grande y costoso.

*Tipo de sistema de aire comprimido existente en la planta y sus respectivos equipos:*

Si existiera, es necesario conocer el sistema de aire comprimido con el que cuenta la empresa, con el objeto de identificar si es necesario realizar mejoras al diseño, o cambiarlo

totalmente. En el caso de cambiar el sistema, con ésta información se podrá identificar qué equipo, tuberías, codos, compresores, mangueras, etc., puede ser reutilizado.

*Presión actual, pérdidas y velocidades de aire existente en la planta.* Esta información es importante ya que, con ella se podrá identificar si la presión con la que cuenta la empresa es la adecuada para un sistema de aire comprimido y para el correcto funcionamiento del compresor y de la red.

Generalmente, los componentes de una red de aire comprimido como codos, tuberías en “T”, cambios de sección, unidades de mantenimiento y otras, se oponen al flujo generando pérdidas de presión.

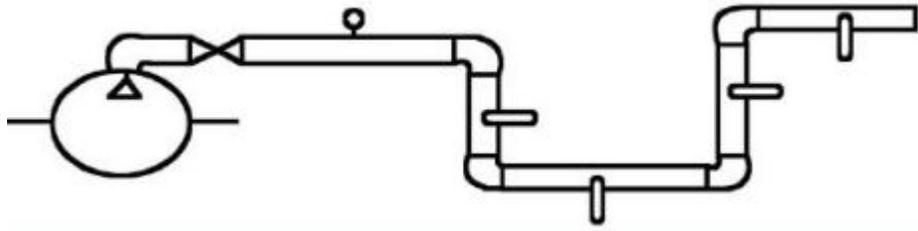
*Demanda general de aire por máquina y tiempo de uso de éstas.* Es necesario conocer el caudal de la red existente o de la nueva a instalar, ya que el sistema de aire comprimido deberá ser diseñado en base a la demanda. Los equipos y máquinas con sistemas neumáticos traen en sus catálogos métodos para estimar su demanda y obtener datos utilizables en el cálculo del caudal total del sistema.

Otro factor importante es la determinación del tiempo de uso de aire comprimido de los equipos y maquinarias, ya que éste servirá también para el cálculo del sistema de aire comprimido, evitando así su sobre dimensionamiento.

*Elección del tipo de sistema de aire comprimido a instala* Se debe conocer la zona de acumulación de agua en la red, para determinar cuál es el tipo de sistema de distribución de aire más adecuado para ser implementado en la empresa.

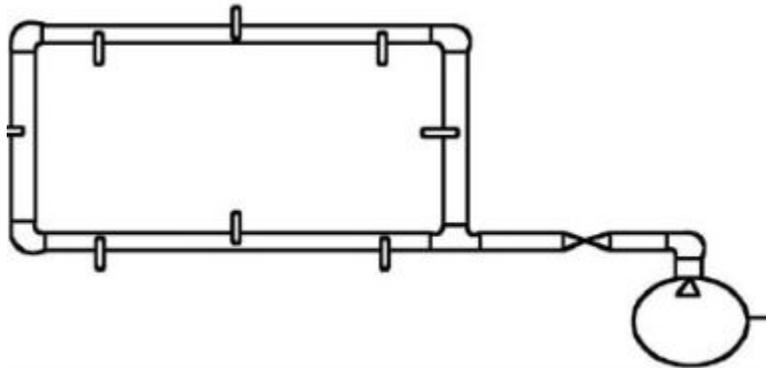
Existen varias posibles configuraciones de una red de aire comprimido.

*Red abierta.* Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio tal como se muestra en la siguiente figura. La poca inversión inicial Necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja.



**Figura 31** Diseño de una red abierta

*Red Cerrada.* En esta configuración la línea principal constituye un anillo tal como se muestra en la Figura La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción.



**Figura 32** Diseño de una red cerrada

*Red interconectada.* Esta configuración es igual a la cerrada pero con la implementación de bypass entre las líneas principales tal como se muestra en la Figura de configuraciones Este sistema presenta un excelente desempeño frente al mantenimiento pero requiere la inversión inicial más alta. Además, la red interconectada presenta los mismos problemas que la cerrada.

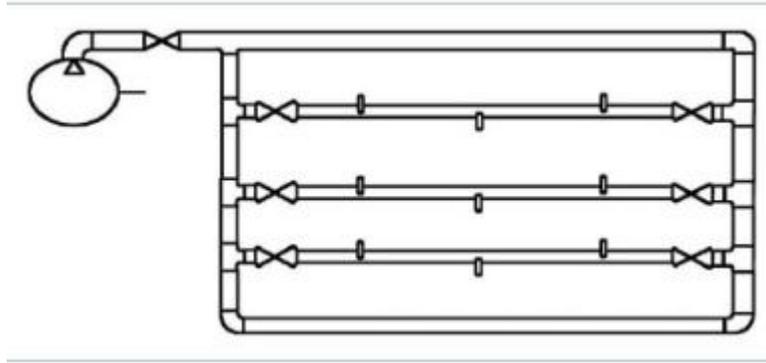


Figura 33 Diseño de una red interconectada

#### 4.5 Diámetro de la tubería principal

Para la determinación del diámetro interior la magnitud decisiva es el consumo de aire comprimido más una reserva adicional para los equipos neumáticos que en corto tiempo puedan incorporarse. Además de esto, existen valores procedentes de la práctica, que indican cuáles deben ser la velocidad de circulación y la caída de presión en la tubería para conseguir una rentabilidad óptima.

La selección del diámetro interior de la tubería depende de:

1. La velocidad de circulación admisible
2. La pérdida admisible de presión
3. La presión de trabajo
4. El número de puntos de estrangulación existente en la tubería
5. Longitud de la tubería.

La mejor forma de calcular las tuberías es utilizando ábacos que elaboran los propios fabricantes de compresores y que de una forma rápida permiten determinar la sección necesaria.

- En la escala A se muestra el valor de la longitud estimada de la tubería en (m).

- En la escala B el caudal de aire que se supone ser puede ser consumido considerando futuras ampliaciones de puntos de trabajo.
- El Eje C se emplea como línea de referencia para las combinaciones anteriores.
- La escala D se toma los diámetros interiores de la tubería.
- En E las presiones de utilización de aire en los consumidores.
- En G Las caídas de presiones o pérdidas de cargas en las tuberías.
- En F referencia para ensamblar valores entre las distintas escalas.

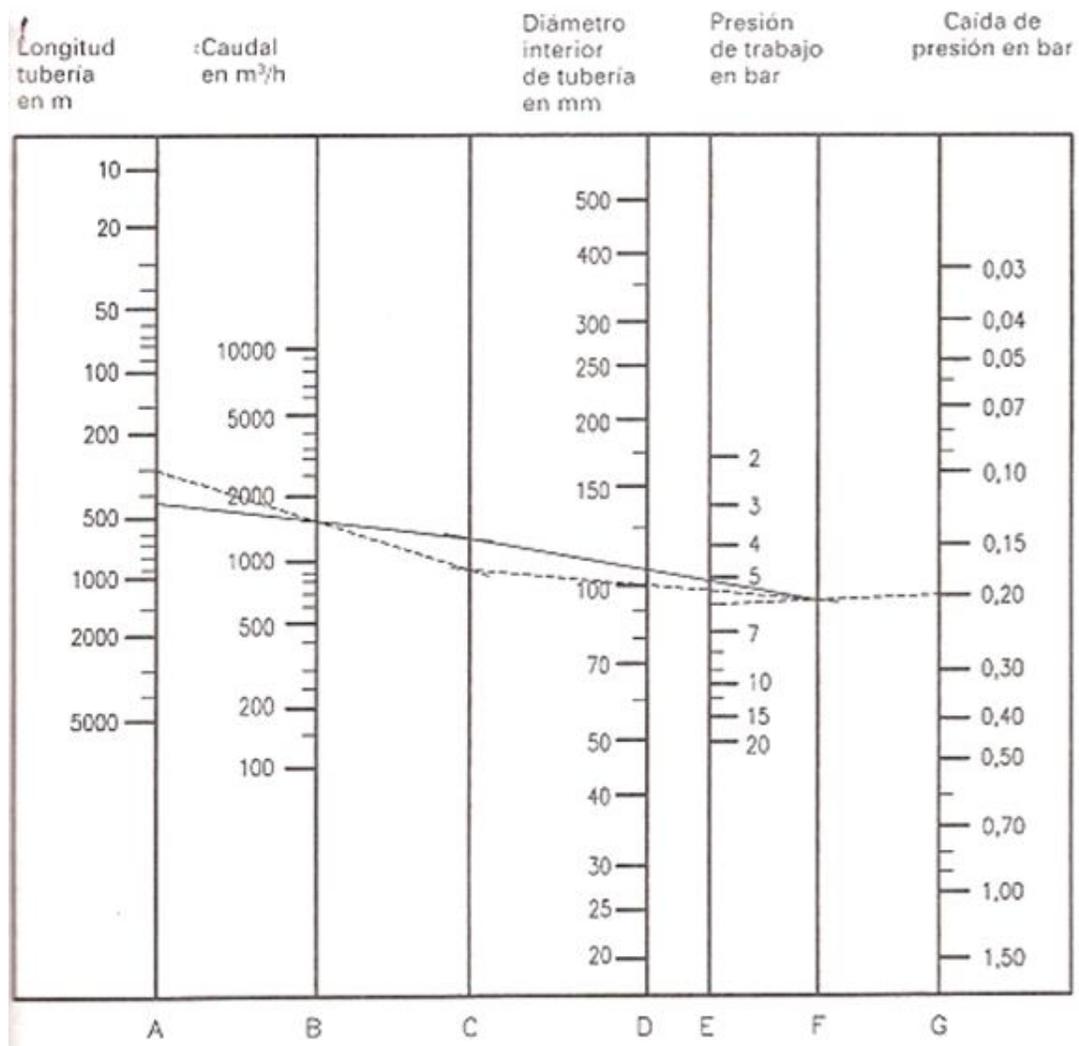


Figura 34 Ejemplo de Abaco para el cálculo de tuberías

## 4.6 Válvulas de alivio limitadoras de presión y Presostatos hidroeléctrico

### *Presostatos neumáticos*

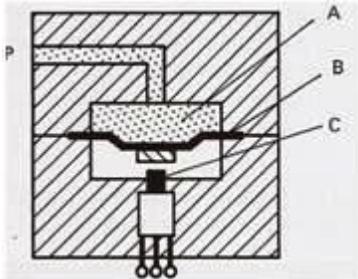


Figura 35 Presostato

Los Presostatos son unos elementos cuya misión consiste en captar una presión prefijada y transformarla en una señal eléctrica. Esta presión suele ser regulable de desde 0,5 bar a 10 bar aproximadamente. Son aparatos sin contacto mecánico y pueden ser instalados en cualquier parte del circuito que genere esa presión de mando

Su empleo ideal es como dispositivo de seguridad, alarma, etc., consta de una cámara de aire **A** que al alcanzar determinada presión, deforman una membrana elástica **B** portadora de una plaquita conductora. Al comprimir el contacto **C**, cierra y abre un circuito eléctrico que es aprovechado para producir una señal.

### *Válvulas limitadoras de presión*

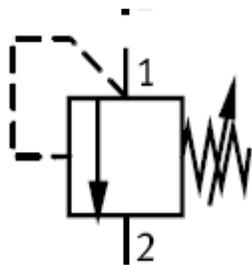


Figura 36 Símbolo esquemático

Las válvulas limitadoras de presión impiden la elevación de la presión máxima admisible en un sistema. Es un componente de todo equipo producto de aire comprimido, pero apenas se emplea en los equipos neumáticos.

Las válvulas limitadoras de presión sirven para seguridad, puesto que al sobrepasar la presión máxima permitida en el sistema abre hacia la atmósfera libre el orificio de salida y escapa el exceso de presión hasta el valor nominal, cerrándose el orificio de escape por la fuerza de un muelle.

Para montar una válvula limitadora de presión en una tubería del circuito ha de hacerse en derivación.

### *Presostatos hidroeléctrico*

Consta básicamente de carcasa (1), conjunto de montaje con pistón (2), resorte de compresión (3), elemento de ajuste (4) y microconmutador (5). La presión a supervisar actúa sobre el pistón (2). Este se apoya sobre el platillo de resorte (6) trabajando contra la fuerza ajustable en forma continua del resorte (3). El platillo (6) transmite el movimiento del pistón (2) al microconmutador (5). De este modo se conecta o desconecta el circuito de corriente eléctrica según el diseño de la conexión.

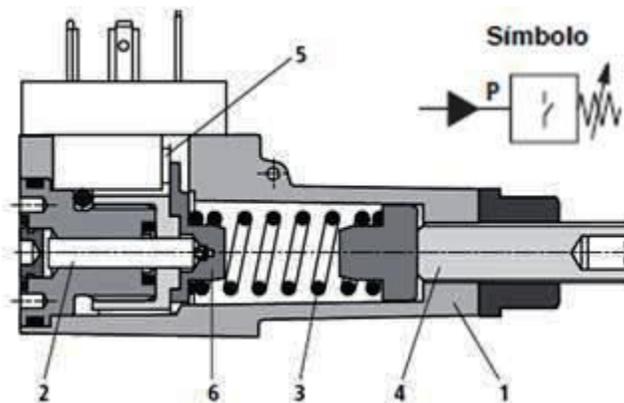


Figura 37 Partes principales de un Presostato

## **4.7 Sistema de enfriamiento**

Los sistemas de refrigeración se basan en principios termodinámicos y están diseñados para promover el intercambio de calor entre el proceso y el refrigerante y para facilitar la liberación del calor irrecuperable al medio ambiente. Los sistemas de refrigeración industrial pueden clasificarse en función de su diseño y de su principio básico de funcionamiento: agua o aire, o una combinación de ambos.

El intercambio calorífico entre el medio de proceso y el refrigerante se intensifica a través de intercambiadores, donde el refrigerante descarga su calor al ambiente. En los sistemas abiertos, el refrigerante está en contacto con el ambiente, cosa que no ocurre en los sistemas cerrados, donde el refrigerante o el medio de proceso circulan por tubos.

Los sistemas sin recirculación suelen utilizarse en instalaciones de gran capacidad que disponen de un suministro suficiente de agua para la refrigeración y que están situadas junto a una masa de aguas superficiales que sirve como medio receptor de los vertidos. Cuando no se dispone de un suministro de agua fiable, se utilizan sistemas con recirculación (torres de refrigeración).

En las torres de recirculación abiertas, el agua refrigerante se enfría por contacto con una corriente de aire. Estas torres están equipadas con dispositivos que aumentan la superficie de contacto de aire y agua. La corriente de aire puede crearse por tiro natural o por tiro mecánico utilizando ventiladores. Las instalaciones de pequeña o gran capacidad utilizan mucho las torres de tiro mecánico, mientras que las instalaciones de gran capacidad (como las industrias eléctricas) utilizan principalmente las torres de tiro natural.

En los sistemas de circuito cerrado, los tubos por los que circula el refrigerante o el medio de proceso tienen su propio sistema de refrigeración con el que enfrían la sustancia que contienen. En los sistemas de proceso húmedo, la corriente de aire enfría por evaporación los tubos o rociados con agua. Los sistemas de proceso seco sólo utilizan la corriente de aire.

La presencia de humedad en el aire comprimido es siempre perjudicial para las automatizaciones neumáticas, pues causa serias consecuencias. Es necesario eliminar o reducir al máximo esta humedad. Lo ideal sería eliminarla del aire comprimido de modo absoluto, lo que es prácticamente imposible. Aire seco industrial no es aquel totalmente exento de agua; es el aire que, después de un proceso de deshidratación, fluye con un contenido de humedad residual de tal orden que puede ser utilizado sin inconveniente. Con las debidas preparaciones, se consigue la distribución del aire con valor de humedad bajo y tolerable en las aplicaciones encontradas. La adquisición de un secador de aire comprimido puede figurar en el presupuesto de una empresa como una alta inversión. En algunos casos, se verifica que un secador llega a costar 25% del valor total de la instalación del aire

Los medios utilizados para secado del aire son múltiples. Nos referiremos a los tres más importantes, tanto por los resultados finales obtenidos como por su mayor difusión.

## Secado por Refrigeración

El método de deshumificación del aire comprimido por refrigeración consiste en someter el aire a una temperatura suficientemente baja, con el fin de que la cantidad de agua existente sea retirada en gran parte y no perjudique de modo alguno el funcionamiento de los equipos, por la capacidad del aire de retener humedad está en función de la temperatura.

Además de remover el agua, produce en el compartimento de enfriamiento, una emulsión con el aceite lubricante del compresor, ayudando a la remoción de cierta cantidad de aceite.

El método de secado por refrigeración es bastante simple.

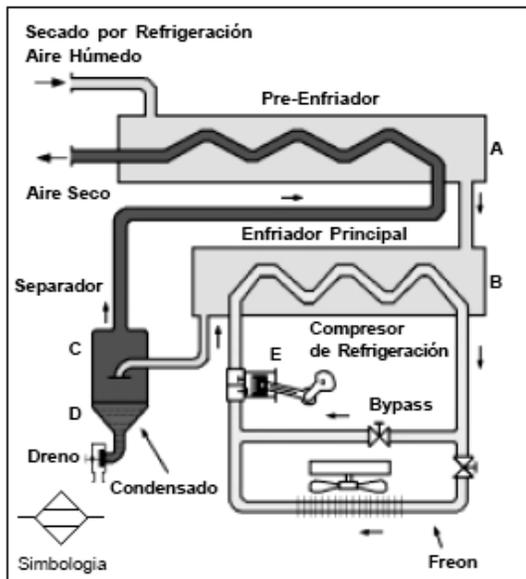


Figura 38 Proceso de Secado por refrigeración

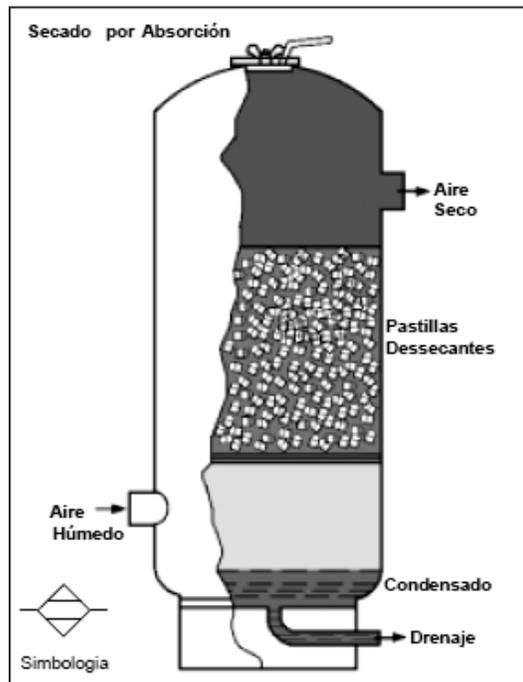
El aire comprimido (A.C.) entra, inicialmente, en un pre-enfriador (cambiador de calor) (A), sufriendo una caída de temperatura causado por el aire que sale del enfriador principal (B).

En el enfriador principal el aire es enfriado aún más, pues está en contacto con un circuito de refrigeración. Durante esta fase, la humedad presente en A.C. forma pequeñas gotas de agua corriente llamadas condensadas y que son eliminadas por el separador (C), donde el agua depositada es evacuada a través de un drenaje (D) para la atmósfera.

La temperatura de A.C. es mantenida entre 0,65 y 3,20°C en el enfriador principal, por medio de un termostato que actúa sobre el compresor de refrigeración (E). El A.C. seco se retorna nuevamente al intercambiador de calor inicial (A), causando el pre-enfriamiento en el aire húmedo de entrada, recogiendo parte del calor de este aire.

El calor adquirido sirve para recuperar su energía y evitar el enfriamiento por expansión, que ocasionaría la formación de hielo, en caso que fuese lanzado a una baja temperatura en la red de distribución, debido a la alta velocidad.

### *Secado por Absorción*



**Figura 39** Proceso de secado por absorción

Es el método en el cual se utiliza en un circuito una sustancia sólida o líquida, con capacidad de absorber otra sustancia líquida o gaseosa.

Este proceso es también llamado Proceso Químico de Secado, pues el aire es conducido en el interior de un volumen a través de una masa higroscópica, insoluble y deliquescente que absorbe la humedad del aire, ocurriendo una reacción química. Las sustancias higroscópicas son clasificadas como insolubles cuando reaccionan químicamente con el vapor de agua, sin licuarse.

Son deliquescentes cuando, al absorber el vapor del agua, reaccionan y se convierten en líquidas.

Las principales sustancias utilizadas son:

Cloruro de Calcio, Cloruro de Litio, Dry-o-Lite. Con la consecuente disolución de las sustancias, es necesaria una reposición regular; en caso contrario, el proceso sería deficiente.

La humedad retirada y las sustancias diluidas son depositadas en la parte inferior del tanque, en el punto de drenaje, de donde son eliminadas hacia la atmósfera.

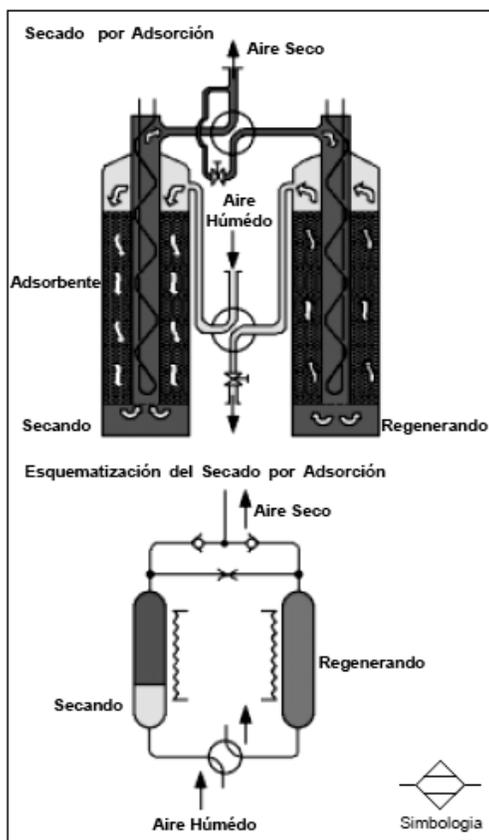
### *Secado por Adsorción*

Es la fijación de las moléculas de una sustancia en la superficie de un adsorbente generalmente poroso y granulado, o sea, es el proceso de depositar moléculas de una

sustancia (ej. agua) en la superficie de otra sustancia, generalmente sólida (ej.  $\text{SiO}_2$ ). Este método también es conocido como Proceso Físico de Secado.

*El proceso de adsorción es regenerativo; la sustancia adsorbente, después de estar saturada de humedad, permite la liberación de agua cuando es sometida a un calentamiento regenerativo.*

Para secar el aire por adsorción existen dos tipos básicos de secadores:



**Figura 40 Secado por adsorción**

Torres Dobles: es el tipo más común. Las torres son rellenas con Óxido de Silicio  $\text{SiO}_2$  (Silicagel), Alúmina Activa  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y otros materiales.

A través de una válvula direccional, el aire húmedo es orientado hacia una torre donde se realizará el secado del aire. En la otra torre ocurrirá la regeneración de la sustancia absorbente que podrá ser hecha por la inyección de aire caliente; en la mayoría de los casos, por resistencia y circulación de aire seco.

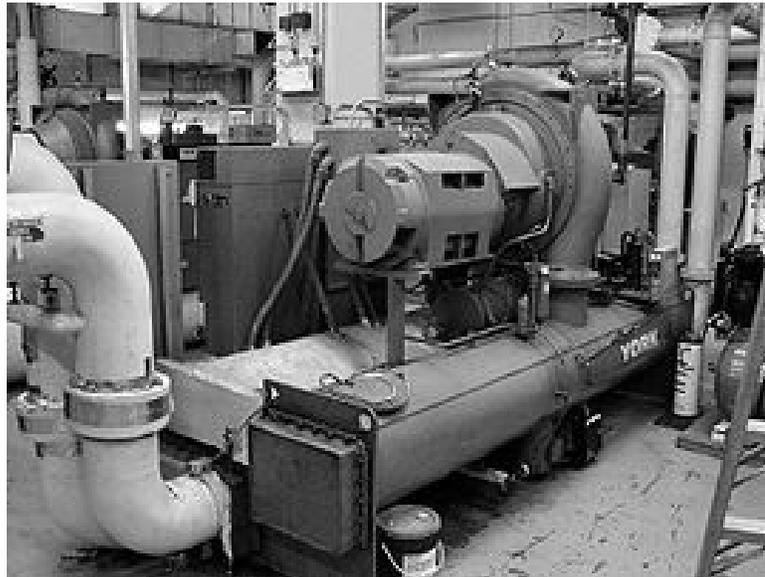
Habiendo un calentamiento de la sustancia, provocaremos la evaporación de la humedad. Por medio de un flujo de aire seco y agua en forma de vapor se arrastrará hacia la atmósfera.

Terminado un período de trabajo preestablecido, se invierte la función de las torres, por control manual o automático en la mayoría de los casos; la torre que seca el aire pasa a ser regenerada y la otra inicia el secado.

Al realizarse el secado del aire con las diferentes sustancias, es importante estar atento a la máxima temperatura del aire seco, como también a la temperatura de regeneración de la sustancia. Estos importantes factores deben tenerse en cuenta para un buen desempeño del secado.

### *Enfriador de agua*

Un Chiller (o enfriador de agua) es un aparato industrial que produce agua fría para el enfriamiento de procesos industriales. La idea consiste en extraer el calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. Así, el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva. El agua ahora "caliente" retorna al chiller adonde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.



**Figura 41 Chiller**

Un chiller es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión (evaporación), refrigerante y tuberías, además de bomba de impulsión de agua a/desde el proceso, sistema electrónico de control del sistema, depósito de agua, gabinete, etc. Distintos procesos requieren alimentarse con distintos caudales, presiones y temperaturas

de agua. El agua se puede enfriar a temperaturas finales que alcanzan los 20C o inclusive temperaturas negativas con la adición de anticongelantes, como por ejemplo -20C (20C bajo cero).

# 5 FORMA BÁSICA DE UN CIRCUITO HIDRÁULICO Y NEUMÁTICO

---

## 5.1 Actuadores de trabajo

En los sistemas hidráulicos y neumáticos la energía es transmitida a través de tuberías. Esta energía es función del caudal y presión del aire o aceite que circula en el sistema.

El cilindro es el dispositivo más comúnmente utilizado para conversión de la energía antes mencionada en energía mecánica.

Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso.

Los *actuadores hidráulicos* convierten la energía hidráulica disponible en trabajo mecánico, se dividen en dos tipos básicos:

- Lineales
- Rotatorios

Los *actuadores neumáticos* se clasifican en dos grandes grupos

- Cilindros
- Motores

Aunque el concepto de motor se emplea para designar a una maquina que transforma la energía en trabajo mecánico, en neumática solo se habla de un motor si es generado un movimiento de rotación, aunque también es frecuente llamar a los cilindros motores lineales.

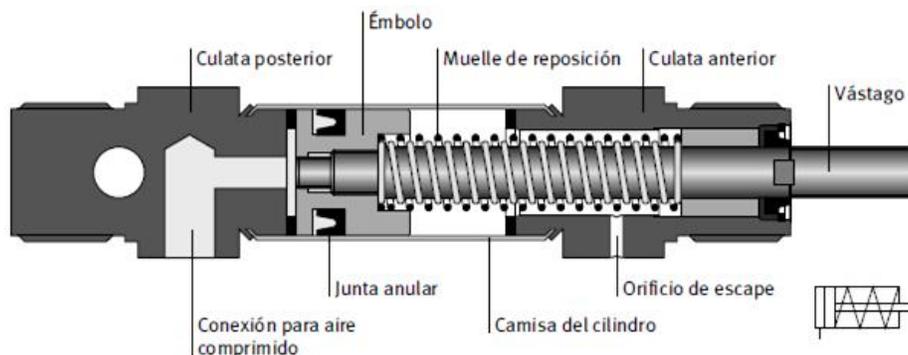
### *Cilindros neumáticos*

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

#### *Simple efecto*

- El cilindro de simple efecto recibe aire a presión sólo en un lado.
- La descarga de aire tiene lugar por el lado opuesto.
- Los cilindros de simple efecto sólo pueden ejecutar el trabajo en el sentido de avance o en el de retroceso (según la versión).
- El retroceso (o el avance) del vástago tiene lugar por medio de la fuerza de un muelle incluido en el cilindro o se produce por efecto de una fuerza externa.



**Figura 42 Partes de un cilindro de simple efecto**

#### *Doble efecto*

- El cilindro de doble efecto es accionado en ambos sentidos por aire a presión.

- El cilindro de doble efecto puede ejecutar trabajos en ambos sentidos de movimiento.
- En los cilindros de vástago simple, la fuerza ejercida sobre el émbolo es algo mayor en el movimiento de avance que en el de retroceso.

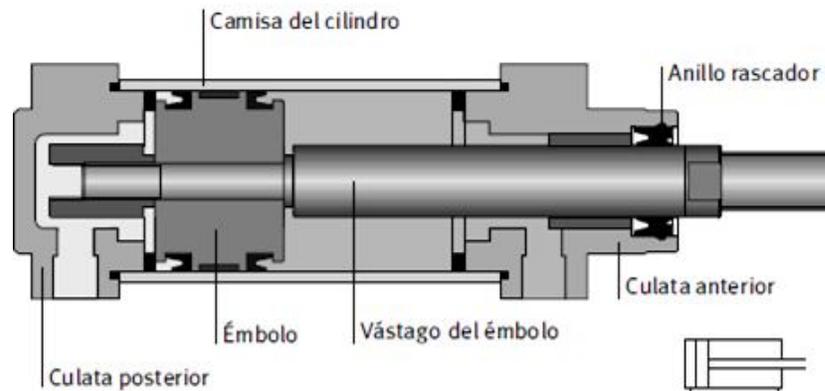


Figura 43 Cilindro de doble efecto

### *Motores neumáticos*

Se encargan de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación. El proceso se desarrolla de forma inversa al de la compresión.

- Son ligeros y compactos
- El arranque y el paro es muy rápido, pueden trabajar con velocidad y par variable sin necesidad de un control complejo.
- Baja inercia

En neumática se emplean principalmente.

- *Motores de paleta*

Estos motores tienen un rotor montado excéntricamente en un cilindro, con paletas longitudinales alojadas en ranuras a lo largo del rotor.

El par se origina cuando el aire a presión actúa sobre las paletas. El número de paletas suele ser de 4 a 8. Normalmente cuatro o cinco paletas son suficientes para la mayoría de las aplicaciones. Se utilizan mayor número de paletas cuando se necesita mejorar la fiabilidad de la máquina y su par de arranque.

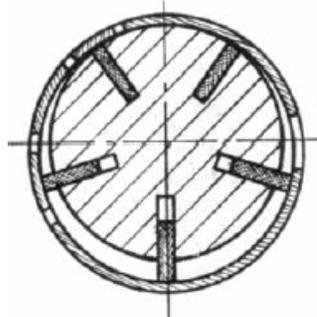


Figura 44 Motor de paletas

Los motores de paletas giran desde 3000 a 25000 R.P.M., en vacío.

Los motores de paletas giran a velocidades altas y desarrollan más potencia en relación su peso que los motores de pistones, sin embargo tienen un par de arranque menos efectivo.

- *Motores de pistones*

Los motores neumáticos de pistones tienen de 4 a 6 cilindros. La potencia se desarrolla bajo la influencia de la presión encerrada en cada cilindro.

Trabajan a revoluciones más bajas que los motores de paletas. Tienen un par de arranque elevado y buen control de su velocidad. Se emplean para trabajos a baja velocidad con grandes cargas.

Pueden tener los pistones colocados axial o radialmente.

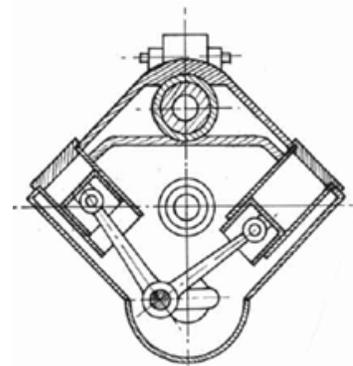


Figura 45 Motor de pistones

## 5.2 Motores hidráulicos en circuitos

Los motores hidráulicos convierten la energía disponible en un sistema hidráulico en energía mecánica rotatoria. Son dispositivos de desplazamiento positivo, es decir mientras

reciban un caudal constante de fluido, la velocidad del eje permanecerá relativamente constante, independientemente de la presión.

Los motores hidráulicos operan en base en un desbalance que ocasiona la rotación del eje. Este desbalance se genera en diversas formas, que dependen del tipo del motor,

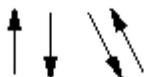
Los motores hidráulicos empleados en un sistema industrial se pueden clasificar en:

- *Motores de paleta*
- *Motores de engranes*
- *Motores de pistón*

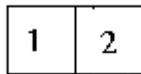
### 5.3 Válvulas de control

Una válvula controladora direccional consiste de un cuerpo, con una serie de conductos internos y de una parte móvil. La parte móvil puede – al adoptar diferentes posiciones – desconectar o comunicar entre si los conductos internos.

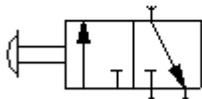
La Simbología de cualquier válvula direccional se puede identificar por 4 ítems fundamentales



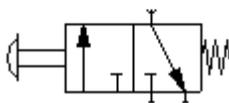
*Número de vías.* Son en número de conexiones de trabajo que posee la válvula, se representan de la siguiente manera



*Número de posiciones.* Son las cantidades de maniobras que las válvulas pueden ejecutar cuando son accionadas



*Tipos de accionamiento.* Se indica de qué manera se accionará la válvula, en nuestro caso es por botón.



*Tipo de retorno.* Indica la manera que conmuta la válvula luego de ser accionada, en nuestro caso es mecánica por resorte

## 5.4 Bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas convierten la energía neumática transmitida por un primario (motor eléctrico, motor de combustión interna, etc.) en energía hidráulica. La acción de bombear es la misma para todas las bombas. Se genera un volumen creciente en el lado de succión y un volumen decreciente en el lado de presión. Sin embargo, los componentes que lleva a cabo esta función no son los mismos en todas las bombas. En un sistemas hidráulico industrial, el tipo de bomba es utilizado es de desplazamiento positivo. Hay muchas bombas de desplazamiento positivo.

- *Bombas de paleta*

Son típicas en los sistemas hidráulicos de dirección de las máquinas.

Constan de varias partes:

- Anillo excéntrico.
- Rotor.
- Paletas.
- Tapas o placas de extremo.

El accionamiento se efectúa por medio de un eje estriado que engrana con el estriado interior del rotor. Hay diversos diseños para conseguir el contacto entre la paleta y el anillo; en unos se utiliza la propia fuerza centrífuga que les imprime el giro del rotor, en estos modelos se requiere una velocidad mínima de giro para garantizar el correcto apoyo de la paleta sobre el anillo; en otros modelos esta fuerza centrífuga se refuerza con unos muelles colocados entre la paleta y su alojamiento en el rotor, esto disminuye la velocidad mínima necesaria para el apoyo; otros modelos utilizan una reducida presión hidráulica para empujar la paleta.

Las bombas de paletas son relativamente pequeñas en función de las potencias que desarrollan y su tolerancia al contaminante es bastante aceptable.

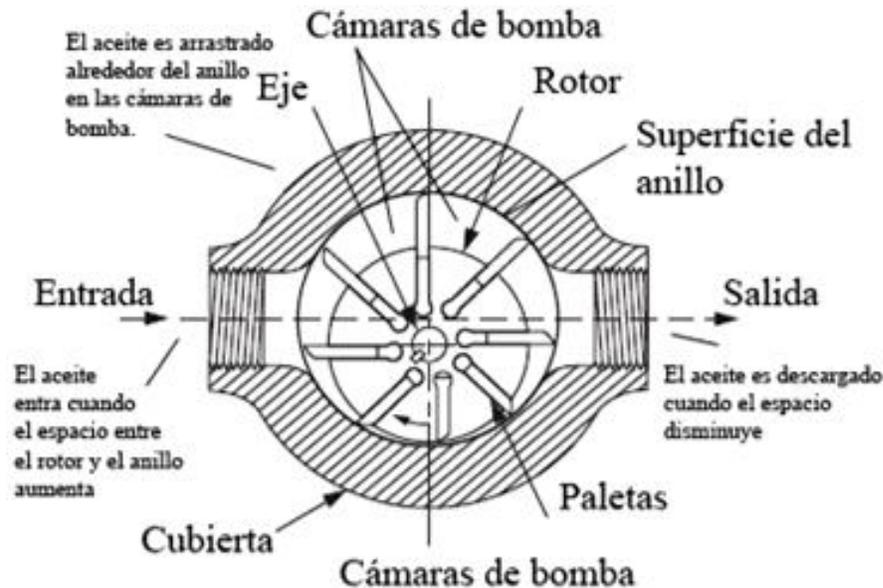


Figura 46 Bombas de paletas

El aceite entra por el lado izquierdo, donde es recogido por las paletas que se abren por la fuerza centrífuga y es impulsado hacia el lado de presión por las mismas hasta incorporarse a la salida de presión, unas ranuras especiales en el rotor, conectan el lado de presión con la parte inferior de las paletas para ayudar a la fuerza centrífuga a impulsarlas hacia fuera.

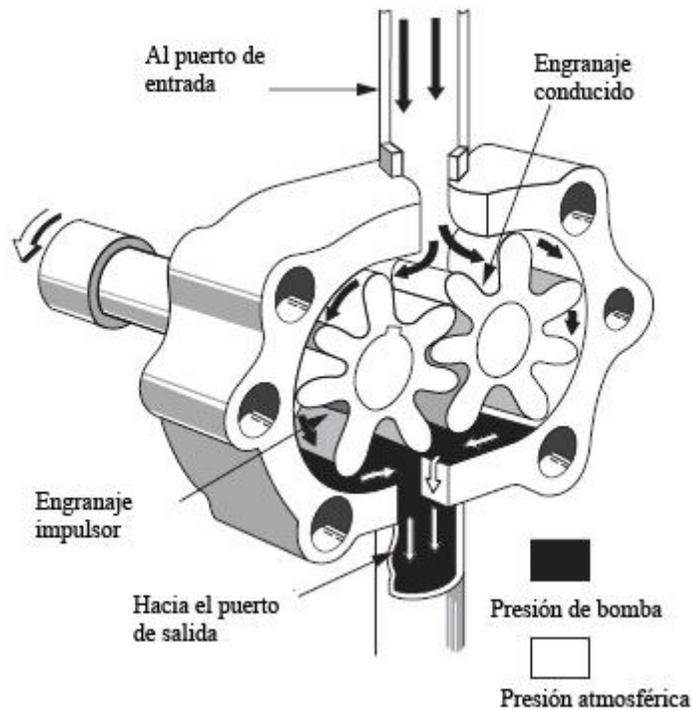
La aspiración se produce al incrementar el volumen de la cámara durante el giro.

Cuanto menores sean las tolerancias entre el extremo de la paleta y el anillo y entre estas y las placas de presión, mejor será el rendimiento de la bomba.

- *Bombas de engranes*

Esta es una de los tipos más populares de bombas de caudal constante, Sobre todo si es de engranajes exteriores. En su forma más común, se componen de dos piñones dentados acoplados que dan vueltas, con un cierto juego, dentro de un cuerpo estanco. El piñón motriz está enchavetado sobre el árbol de arrastre accionando generalmente por un motor

eléctrico. Las tuberías de aspiración y de salida van conectadas cada una por un lado, sobre el cuerpo de la bomba.



**Figura 47** Bomba de engranes

A consecuencia del movimiento de rotación que el motor le provoca al eje motriz, éste arrastra al engranaje respectivo el que a su vez provoca el giro del engranaje conducido (segundo engranaje). Los engranajes son iguales en dimensiones y tienen sentido de giro inverso.

Con el movimiento de los engranajes, en la entrada de la bomba se originan presiones negativas; como el aceite que se encuentra en el depósito está a presión atmosférica, se produce una diferencia de presión, la que permite el traslado de fluido desde el depósito hacia la entrada de la bomba (movimiento del fluido). Así los engranajes comienzan a tomar aceite entre los dientes y a trasladarlo hacia la salida o zona de descarga.

Los dientes de los piñones al entrar en contacto por el lado de salida expulsa el aceite contenido en los huecos, en tanto que el vacío que se genera a la salida de los dientes del engranaje provoca la aspiración del aceite en los mismos huecos.

- **Bombas de pistón**

El mecanismo de bombeo de la **bomba de pistones radiales** consiste en un barril de cilindros, pistones, un anillo y una válvula de bloqueo.

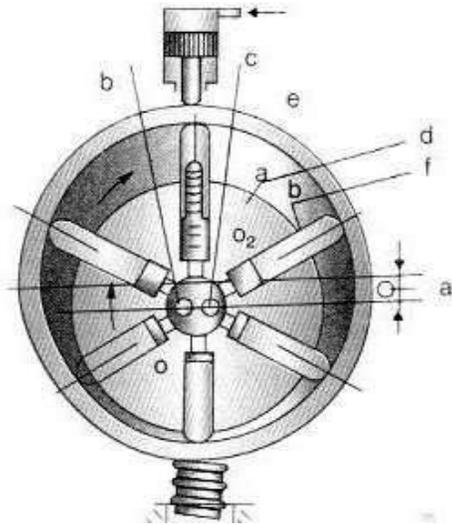


Figura 48 Bomba de pistón

Este mecanismo es muy similar al de una bomba de paletas, sólo que en vez de usar paletas deslizantes se usan pistones.

El barril de cilindros que aloja los pistones está excéntrico al anillo. Conforme el barril de cilindros gira, se forma un volumen creciente dentro del barril durante la mitad de la revolución, en la otra mitad, se forma un volumen decreciente. El fluido entra y sale de la bomba a través de la válvula de bloqueo que está en el centro de la bomba.

Con las bombas de alta velocidad, de pistones radiales con válvulas de asiento, se obtienen eficiencias volumétricas sumamente altas, a valores de un 98%. Por lo general cada cilindro o cualquier otra cámara en la bomba es pequeño en relación bloque de acero que la rodea, y los pistones están tan pulidos que se adaptan a los cilindros sin necesidad de empaquetadura alguna.

Naturalmente que en esta juega un rol fundamental la viscosidad del aceite por lo que en los sistemas hidráulicos que emplean este tipo de bombas la temperatura del sistema debe estar siempre lo más baja y constante posible.

La descarga de cada cilindro adopta la forma de pequeñas pulsaciones de muy alta frecuencia.

## 5.5 Mandos neumáticos de simple y doble efecto

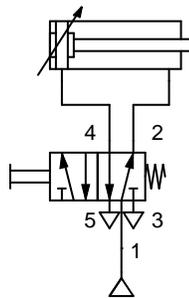
### *Mando de un cilindro de simple efecto*

El vástago de un cilindro de simple efecto debe salir al accionar un pulsador y regresar inmediatamente al soltarlo.

Para realizar este mando se precisa una válvula distribuidora 3/2 cerrada en posición de reposo. Al accionar dicha válvula, el aire comprimido pasa de P hacia A; el conducto R está cerrado. Por el efecto del muelle de reposición de la válvula, el cilindro es pone en escape de A hacia R; el empalme de alimentación P se cierra.

### *Mando de un cilindro de doble efecto*

El vástago de un cilindro de doble efecto debe salir o entrar según se accione una válvula. Este mando de cilindro puede realizarse tanto con una válvula distribuidora 4/2 como con una 5/2.



**Figura 49 Mando de un cilindro de doble efecto con válvula 5/2**

La unión de los conductos de P hacia B y de A hacia R en la 4/2 mantiene el vástago entrado en la posición final de carrera. Al accionar el botón de la válvula se establece la unión de P hacia A y de B hacia R. El vástago del cilindro se mueve hasta la posición final de carrera. Al soltar el botón, el muelle recuperador de la válvula hace regresar ésta a la posición Inicial. El vástago del cilindro vuelve a entrar hasta la posición final de carrera.

Si se emplea una válvula distribuidora 5/2, el escape se realiza por R ó S. Para regular la velocidad, basta incorporar válvulas de estrangulación.

## 5.6 Válvulas anti-retorno, válvula de escape rápido y reguladora de caudal

### *Válvula antirretorno*

- Libera el paso en un sentido
- Bloquea el paso en el sentido contrario
- Cuando la fuerza del aire es superior a la tensión previa del muelle, el obturador se levanta de su asiento

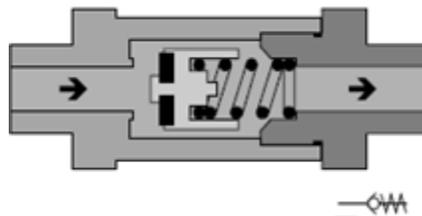


Figura 50 Válvula antirretorno

### *Válvula de escape rápido*

- Se utiliza para la descarga rápida del aire en elementos de trabado
- La velocidad del embolo del cilindro puede aumentarse casi hasta el valor máximo posible dado que, durante el movimiento, disminuye la resistencia de paso del aire de escape
- Debe instalarse lo más cerca posible del cilindro

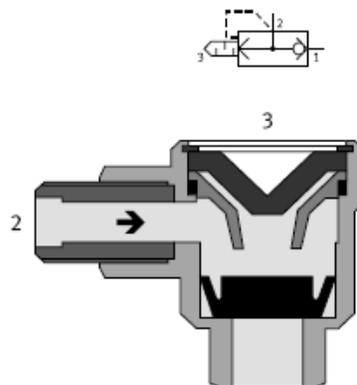


Figura 51 Válvula de escape rápido

## Válvulas Regulatoras de Caudal

### *Válvula de estrangulación*

Estas válvulas influyen sobre la cantidad de circulación de aire comprimido; el caudal se regula en ambos sentidos de flujo.

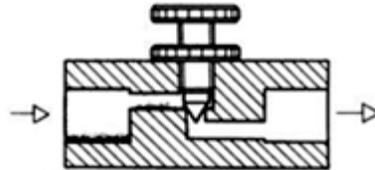
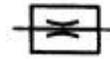


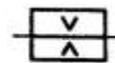
Figura 52 Válvula de estrangulación

Válvulas regulatoras de caudal, de estrangulación constante:

1. Válvula de estrangulación. En esta válvula, la longitud del tramo de estrangulación es de tamaño superior del diámetro.

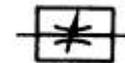


2. Válvula de restricción de turbulencia. En esta válvula la longitud del tramo de estrangulación es de tamaño inferior al diámetro.

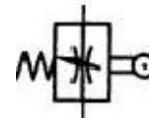


Válvulas regulatoras de caudal, de estrangulación Variable:

1. Válvula de estrangulación regulable



2. Válvula de estrangulación de accionamiento mecánico, actuado contra la fuerza de un muelle



## 5.7 Demostraciones prácticas

Circuito de memoria y control de la velocidad de un cilindro

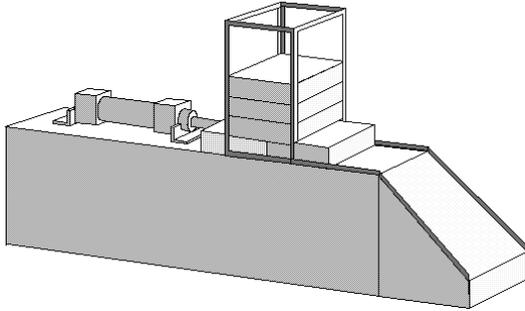


Figura 53 Croquis de situación

Un cilindro de doble efecto debe avanzar al completamente cuando se acciona un pulsador y debe retroceder una vez ha avanzado completamente (final de carrera). El cilindro debe continuar avanzando incluso si se ha soltado el pulsador. La velocidad del cilindro debe ser regulable

*Solución:* La válvula 1v3 es pilotada por la válvula A, únicamente si es accionado el botón pulsador PB1, si esto ocurre el cilindro 1A1 avanza. Una vez que el cilindro llega al final de carrera 1S2 la válvula B se activa y pilota a la válvula 1v3 si se ha liberado el pulsador PB1. Si el pulsador esta mantenido cuando el cilindro llega delante, permanecerá allí hasta que se suelte. El elemento final de control 1v3 es una válvula de memoria y su última posición es mantenida hasta que se reciba una señal inversa de pilotaje. Las velocidades de avance y retroceso se controlan por medio de reguladores de flujo 1v1 y 1v2 y en ambos casos el control es por estrangulación del escape. Si la válvula de rodillo se fija en la posición media del cilindro, éste avanzara solo hasta allí.

La válvula biestable 1v3 al montarse por primera vez, puede estar en cualquiera de las dos posiciones. Exteriormente no puede apreciarse en qué posición se halla. Si hay un accionamiento manual auxiliar, la válvula debería accionarse manualmente por 12 antes de conectar el aire para asegurar que el cilindro permanece retraído inicialmente.

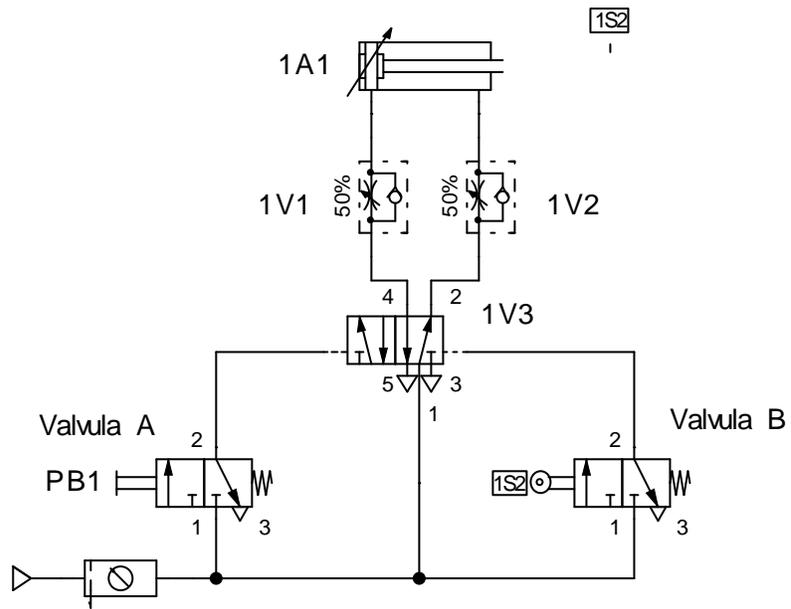


Figura 54 Diagrama Neumático

# 6 CIRCUITOS HÍBRIDOS

---

## 6.1 Circuitos neumáticos básicos

### 6.1.1 Mando de un cilindro de simple efecto.

El vástago de un cilindro de simple efecto debe salir al accionar un pulsador y regresar inmediatamente al soltarlo.

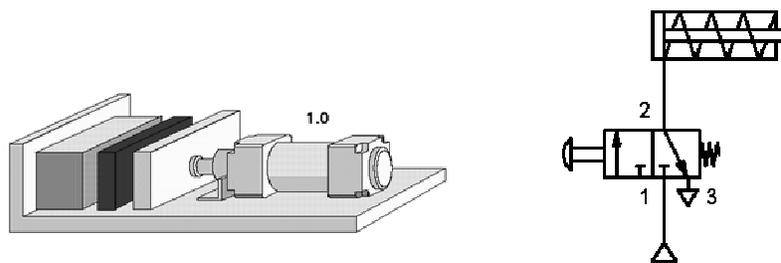


Figura 55 Mientras que esté activado el pulsador, el cilindro deberá continuar sujetando la pieza. Al soltar el pulsador, deberá abrir la unidad de sujeción

### 6.1.2 Mando de un cilindro de doble efecto.

El vástago de un cilindro de doble efecto debe salir o entrar según se accione la válvula.

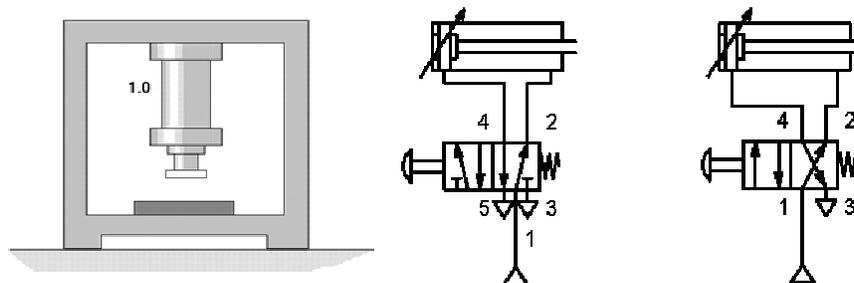


Figura 56 La prensa vertical deberá avanzar al oprimir un pulsador y retroceder cuando se suelte dicho pulsador

### 6.1.3 Regulación de velocidad de los cilindros.

La regulación de la velocidad de salida del vástago de un cilindro de simple efecto

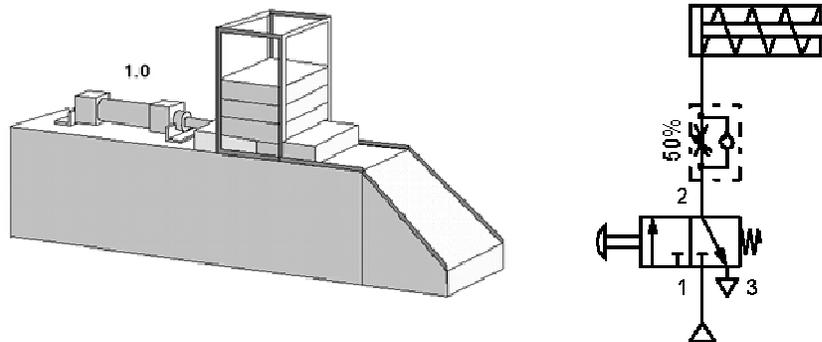


Figura 57 Para retirar piezas de un cargador, el vástago de un cilindro deberá avanzar hasta el final de carrera al oprimir un pulsador, al soltar el pulsador deberá retroceder.

### 6.1.4 Mando con selector de circuito.

El vástago de un cilindro debe poderse hacer salir de dos puntos diferentes

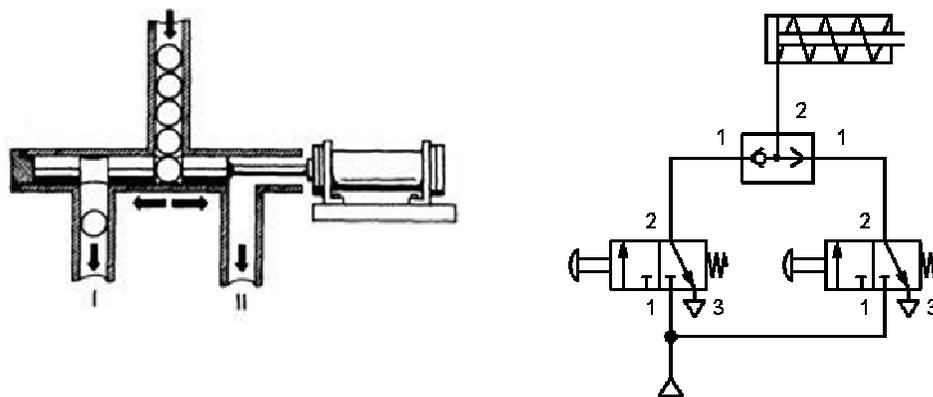


Figura 58 Distribución alternativamente entre los conductos I y II (por gravedad). La señal puede ser dada mediante un pulsador manual o por una válvula de pedal

### 6.1.5 Mando con una válvula de simultaneidad.

Al accionar los dos botones pulsadores, la posición de las válvulas se invierten y el vástago debe salir.

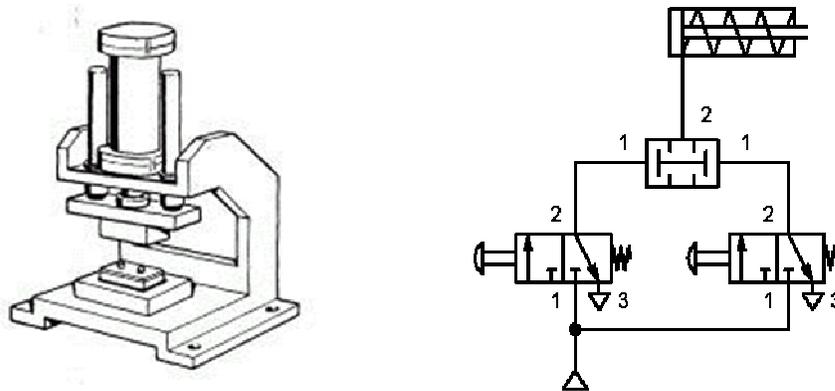


Figura 59 Al accionar dos pulsadores, un cilindro ha de remachar dos placas

### 6.1.6 Aumento de la velocidad de los cilindros.

La velocidad de retorno del vástago de un cilindro de simple efecto ha de ser elevada por medio de una válvula de escape rápido. La válvula de escape rápido hace salir el aire inmediatamente a la atmósfera. El aire no tiene que recorrer toda la tubería ni atravesar la válvula

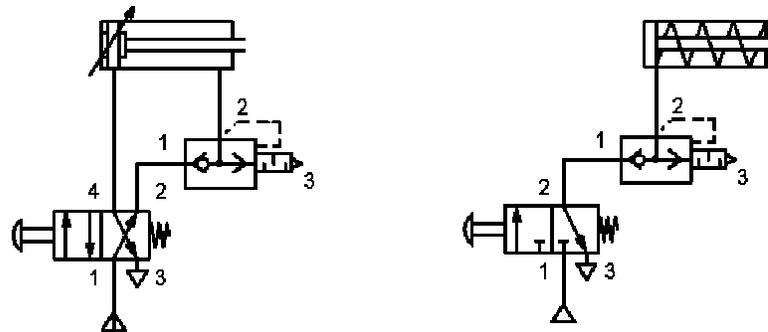


Figura 60 Al accionar el botón e invertir la posición de la válvula, el aire debe escapar muy rápidamente de la cámara delantera del cilindro.

### 6.1.7 Mando indirecto de un cilindro de simple efecto.

El cilindro de simple efecto deberá avanzar al oprimir un botón y deberá retroceder al soltar el botón pulsador.

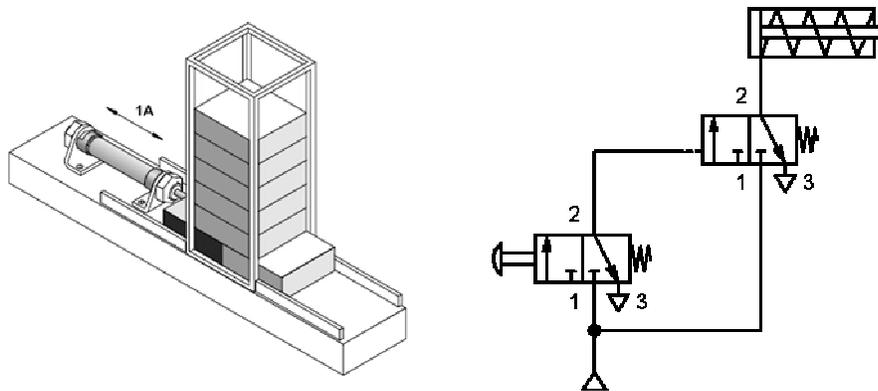


Figura 61 El suministro de blanks de aluminio para válvulas a la operación de maquinado. Cuando se acciona un pulsador, al dejar de presionar PB el cilindro regresa en forma inmediata.

### 6.1.8 Mando indirecto de un cilindro de doble efecto

El cilindro de doble efecto deberá avanzar al oprimir un botón y deberá retroceder cuando se oprima otro botón pulsador.

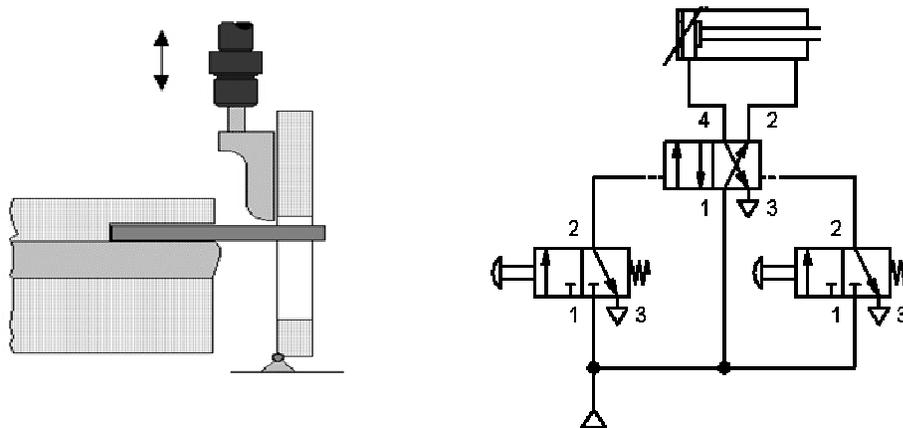


Figura 62 Un dispositivo debe realizar el doblado de placas de metal, el avance y el retroceso del actuador es por medio de una válvula manual.

### 6.1.9 Retroceso de un cilindro de doble efecto por final de carrera.

Al presionar el botón, el cilindro de doble efecto avanzara, una vez que el vástago active el limite switch 1S1, éste a su vez activara la válvula 4/2 la cual invertirá su posición y permitirá que el vástago retroceda.

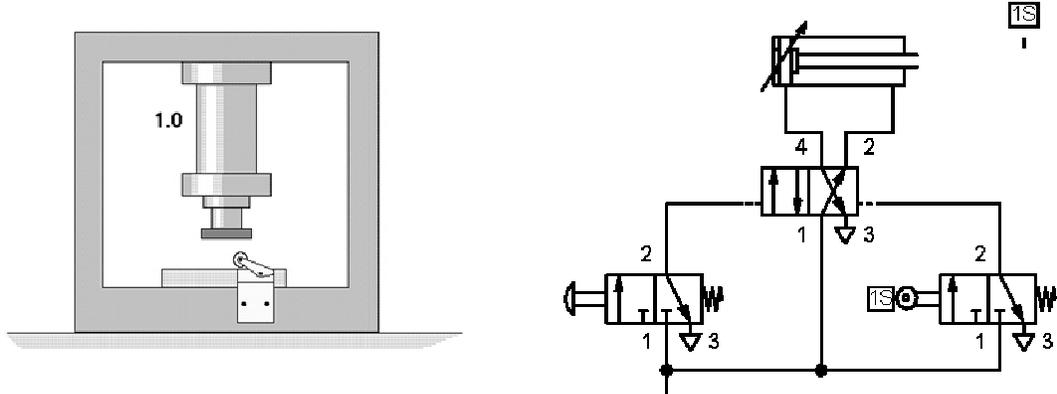


Figura 63 El cilindro deberá retroceder automáticamente, un interruptor de final de carrera accionado por rodillo se encarga de detectar la posición de mecanizado

### 6.1.10 Mando en función del tiempo

Representación simbólica de un temporizador

El aire comprimido entra a través de una válvula de estrangulación en un acumulador (Fig. 61). De acuerdo con el ajuste del tornillo, afluye más o menos aire en un intervalo de tiempo al acumulador en el que, al cabo de un tiempo, alcanza una presión determinada. El tiempo ajustable necesario para el llenado del acumulador es el retardo entre la entrada de la señal.

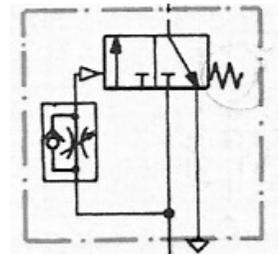


Figura 64  
Temporizador

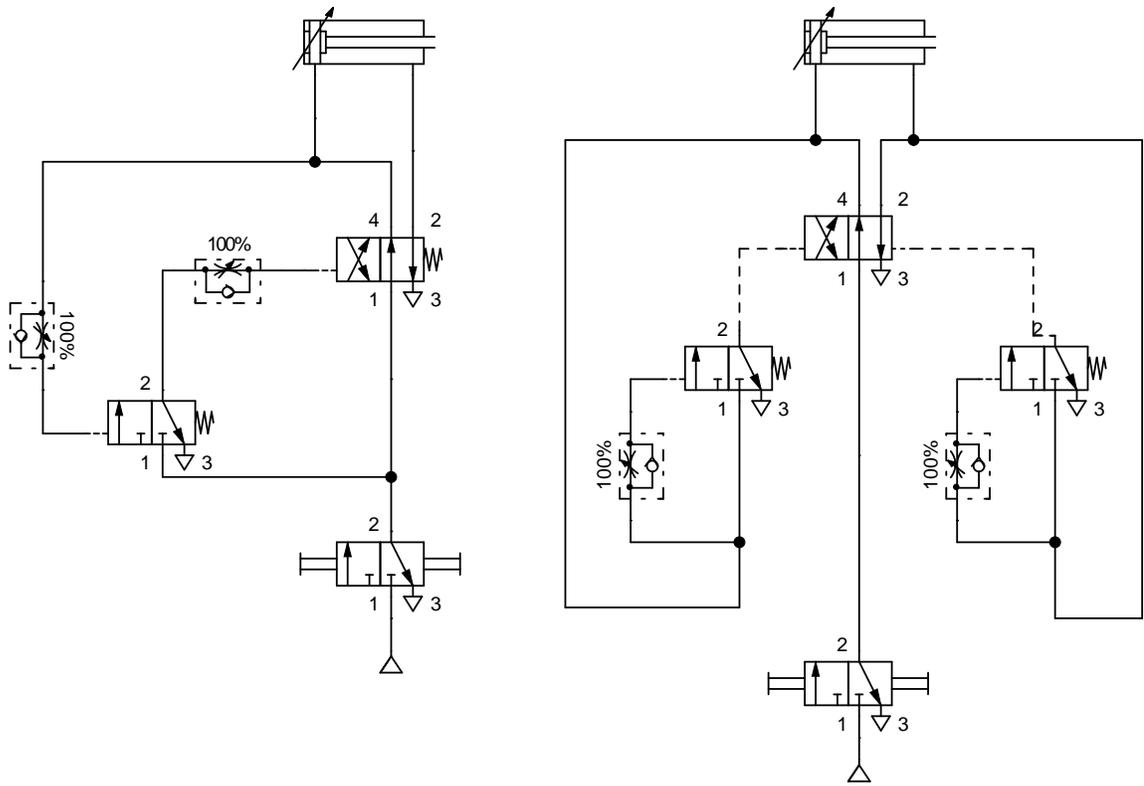


Figura 65 Mando en función del tiempo

## 6.2 Diagramas de mando

Los diagramas de movimiento y de mando, representan para un determinado grupo de elementos, el desarrollo de funcionamiento.

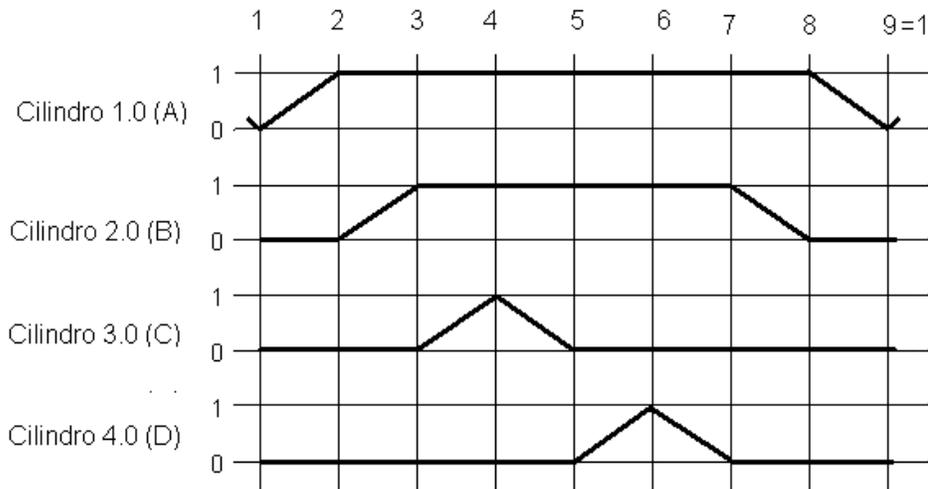
Por este motivo se utiliza la expresión diagrama de Funcionamiento

### *Diagramas de movimiento*

El diagrama de movimiento representa los procesos y estados de los elementos de trabajo (cilindros, unidades de avance, etc.) En una coordenado se registra el recorrido (carrera del elemento de trabajo), en la otra las fases (diagrama de espacio-fase)

Mediante estos diagramas puede reconocerse de manera sencilla el desarrollo de los movimientos de las maquinas automáticas.

Existe la posibilidad de indicar también el tiempo, adicionalmente a este diagrama espacio tiempo

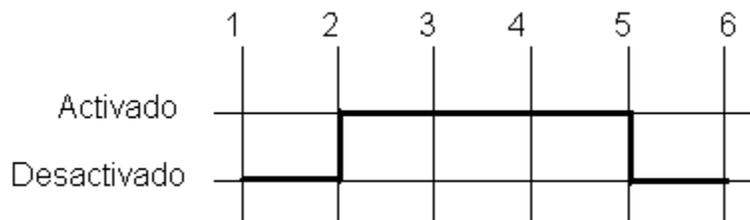


**Figura 66 Diagrama de movimiento**

### *Diagramas de mando*

En los diagramas de mando se registran correspondiendo con las fases, los estados de conexión de los elementos emisores de señales.

Aquí el tiempo de conexión no se tienen en cuenta solamente es importante del estado abierto y cerrado de cualquier emisor de señal.



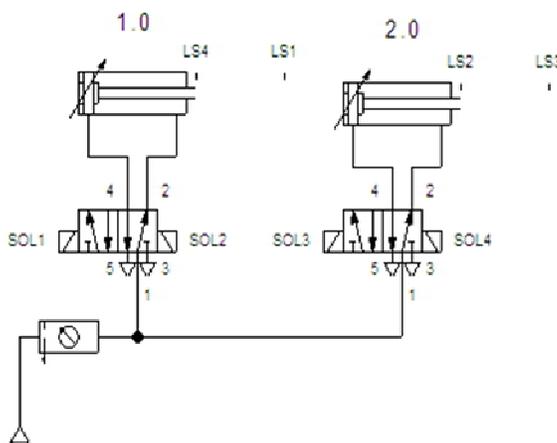
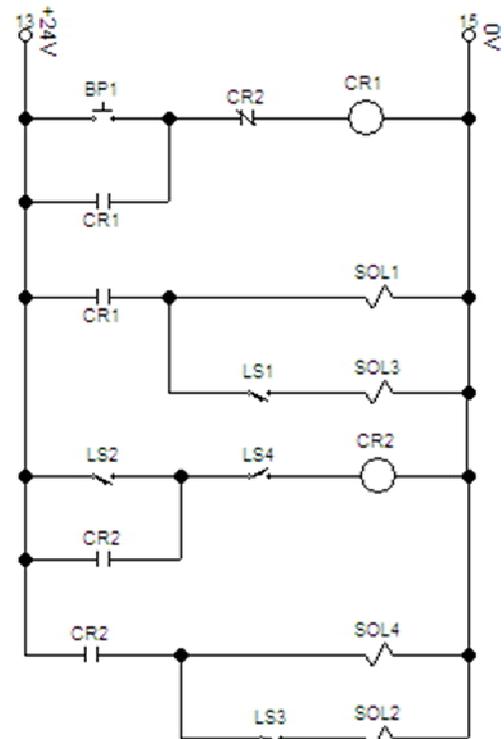
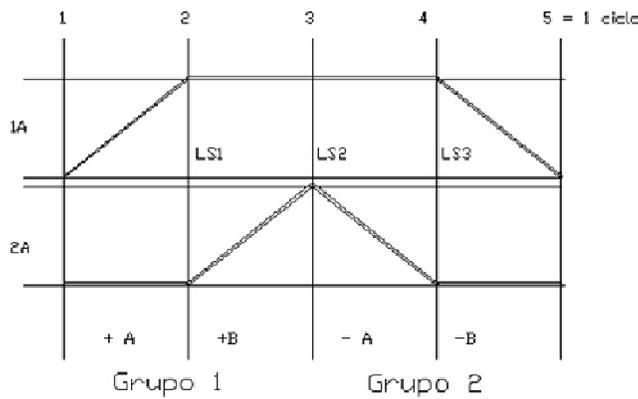
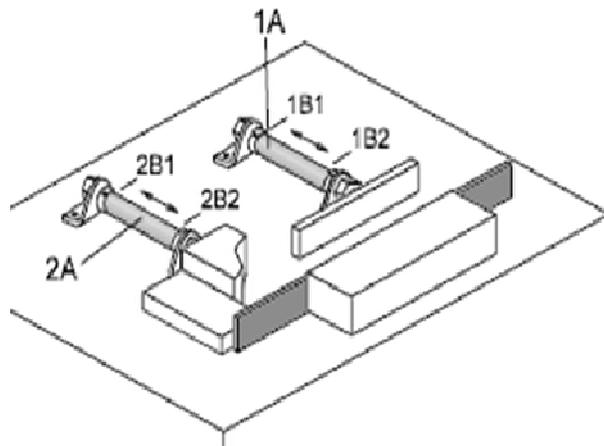
**Figura 67 Diagrama de mando**

En el ejemplo de arriba representado, un final de carrera emite una señal al inicio de la fase 2 y deja de emitir al terminar la fase 5

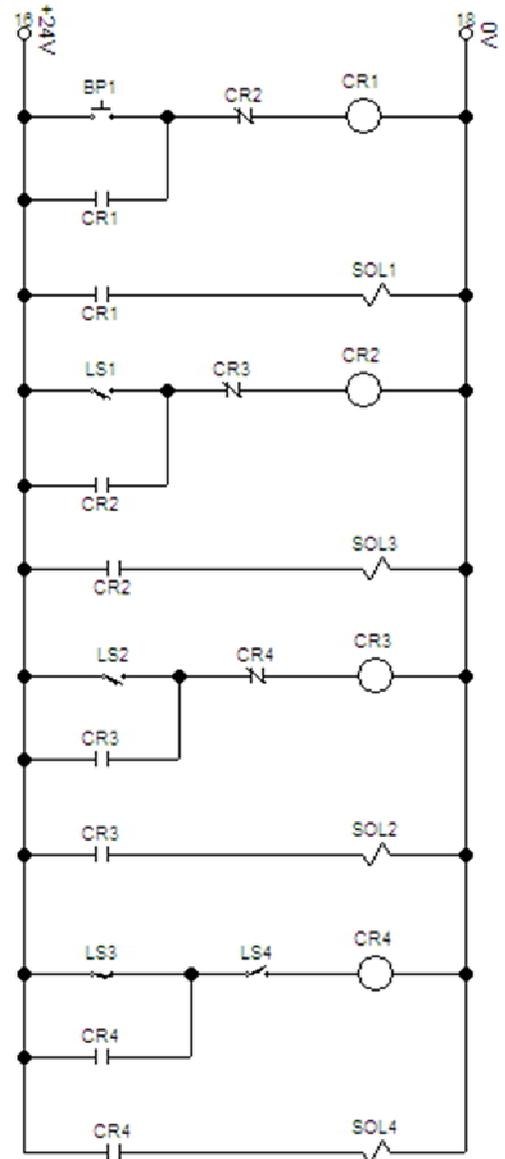
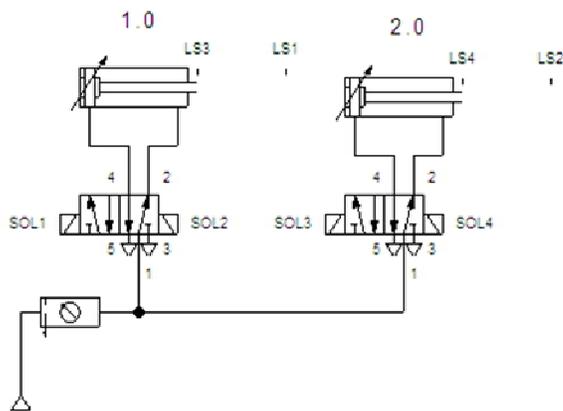
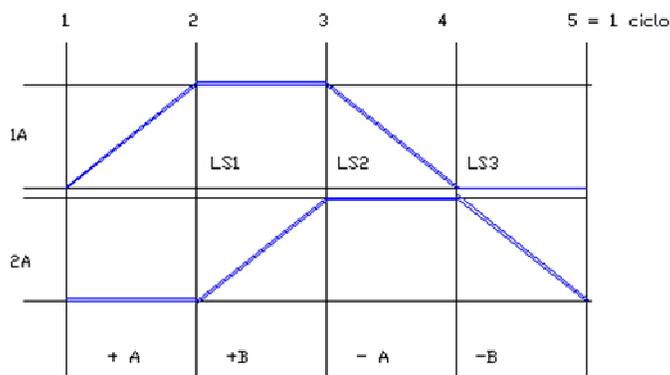
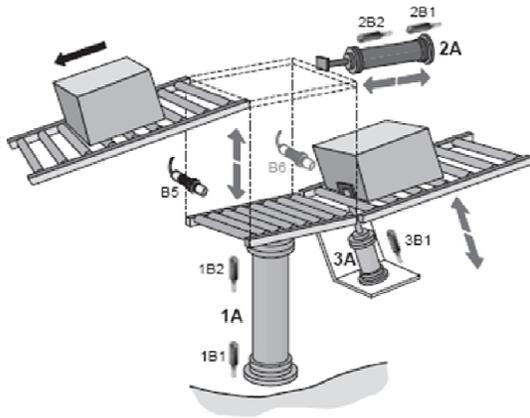
### **6.3 Mandos secuenciales**

El mando secuencial funciona en dependencia del movimiento, pudiendo estar presentes elementos temporizadores como complemento. En esta modalidad de mando, una función origina la siguiente función. Si para cualquier causa una función no se efectúa, la siguiente tampoco tiene lugar y el mando permanece en la posición de perturbación. El mando está dividido en una serie de secuencias independientes que pueden desarrollarse una tras otra y al mismo tiempo. Un mando secuencial precisa más emisores de señal que cualquier otra modalidad de mando; pero en él se cumple con seguridad el desarrollo previsto de las funciones.

*Control de dos cilindros método cascada*



## Control de dos cilindros método paso a paso



## 6.4 Construcción de componentes eléctricos y la forma en que operan

### 6.4.1 Divisor de voltaje

Es un dispositivo de resistencia variable que se utiliza para reducir el valor de la señal eléctrica o de un voltaje. También se les podría llamar un control de ganancia atenuador según su diseño y aplicación. El control de volumen de un radio o de la TV es un atenuado. Combinando el ajuste de ese control se aumenta o disminuye la resistencia del circuito, y se eleva o se baja la intensidad de la señal.

### 6.4.2 Solenoide

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Un solenoide es un dispositivo electromecánico convierte la energía eléctrica en movimiento lineal. Se utilizan principalmente para accionar las válvulas direccionales y son típicamente dispositivos todo/nada. Están disponibles para funcionar en CC y CA para todas las tensiones normalizadas. Para entender su funcionamiento es necesario examinar brevemente los principios del electromagnetismo.

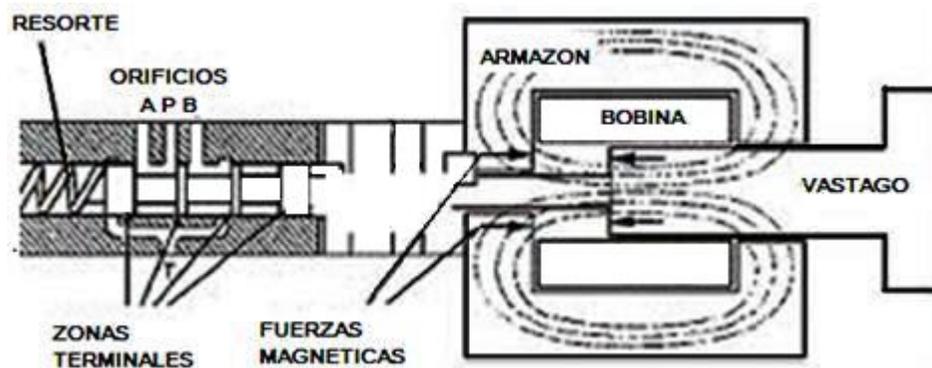


Figura 68 Solenoide

Electromagnetismo. Una corriente eléctrica que circula a través de un conductor rectilíneo crea un campo magnético circular al mismo. La dirección de este campo depende de la

dirección de la corriente que pasa por el conductor. Normalmente este campo es débil y no afecta a los componentes a su alrededor. No obstante, si el conductor tiene la forma de bobina formada por muchas espiras de hilo conductor, la intensidad del campo magnético aumentara. Este campo, formado por muchas líneas de fuerza, se crea alrededor de la parte del exterior de la bobina y también a lo largo de su línea central.

Mientras la corriente circula por el conductor, la bobina actúa como un electroimán y tiene polo norte y polo sur como cualquier otro imán. La intensidad de esta acción magnética puede aumentarse añadiendo más espiras metálicas, aumentando la corriente que la atraviesa, o colocando un núcleo de hierro dulce dentro de la bobina. Si se permite que el núcleo de hierro se mueva, se centra dentro de la bobina cuando la intensidad de corriente crea una acción magnética. Cuanto mayor sea el campo magnético, mayor será la fuerza centradora.

### **6.4.3 Relé**

El relé, que funciona de manera muy parecida a un solenoide, es un dispositivo electromagnético formado por una bobina con un núcleo de hierro dulce y contactos eléctricos instalados encima, pero aislados eléctricamente de la armadura. Como se muestra en la Fig. 67, el circuito de control contiene generalmente el solenoide de relé, los contactos del interruptor y un suministro de potencia de baja tensión. Los contactos del interruptor en el circuito de la bobina actúan como un dispositivo de pilotaje y pueden ser conectados de un interruptor de botón, interruptor por caída de presión, temporizador, o los contactos de otro relé.

Cuando se suministra corriente a la bobina, el campo magnético resultante atrae a la armadura y los contactos hacia la bobina. El relé está en posición excitada cuando la armadura a entrado completamente. Los contactos que estaban abiertos ahora están cerrados. Estos contactos se denominan NC (normalmente cerrado) y NA (Normalmente abiertos) Los términos NC y NA se refieren a la condición cuando la bobina del relé esta desexcitada.

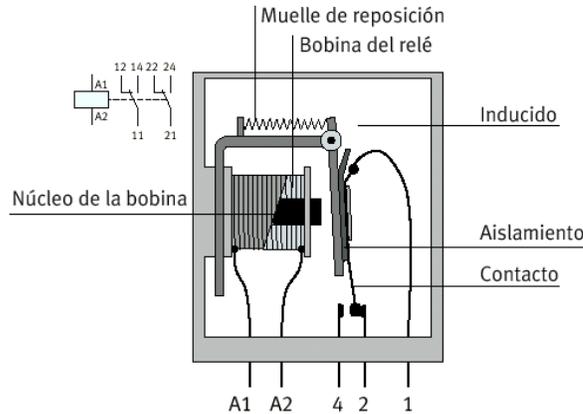


Figura 69 Funcionamiento del Relé

#### 6.4.4 Transformador

Una de las principales razones por la que se emplea la corriente alterna y no la continua en la producción, transporte, distribución y consumo de la electricidad es que este tipo de corriente es muy fácil de elevar y reducir su tensión mediante el transformador.

Gracias al transformador se puede aumentar la tensión antes de transportar la energía a grandes distancias por líneas de alta tensión, con el fin de reducir la intensidad.

Con ellos también se puede reducir la tensión con el fin de distribuirla y consumirla a valores que sean seguros para las personas que manipulan los sistemas eléctricos. Un transformador es un dispositivo que transfiere energía de CA de un circuito a otro sin contacto eléctrico entre ellos.

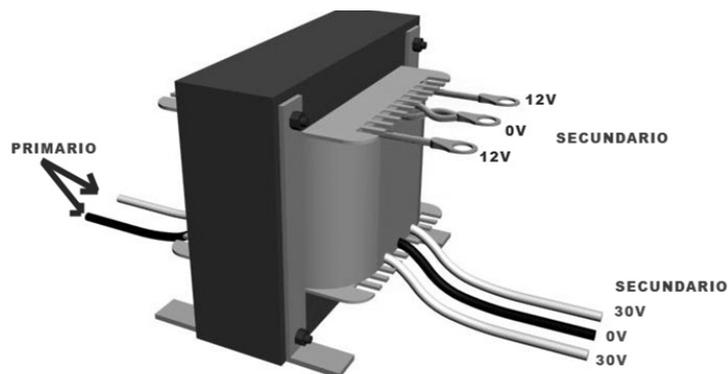


Figura 70 EL transformador puede ser elevador o reductor

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas

sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio. Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente.

#### **6.4.5 Diodo rectificador**

Aunque la mayoría del equipo eléctrico se conecta a un suministro de corriente alterna, los circuitos contenidos en este equipo requiere frecuentemente tensiones de corriente continua para su funcionamiento. El proceso de convertir de CA a CC se denomina rectificación. El diodo es dispositivo utilizado para originar este cambio.

Los diodos se fabrican con material semiconductor. Este material no es normalmente ni buen conductor ni un buen aislador. En la construcción del diodo se utilizan dos tipos de material semiconductor tipo P y tipo N. Los dos tipos de materiales semiconductores están situados dentro del cuerpo del diodo y el área de contacto se denomina unión.

Debido a su construcción la corriente solo puede circular a través de la unión y del diodo de una sola dirección y solo bajo ciertas condiciones. Esta capacidad de permitir el paso de la corriente en un solo sentido y de bloquearla en el otro es lo que permite la rectificación de la CA en impulsos de CC.

#### **6.4.6 Fuente de alimentación**

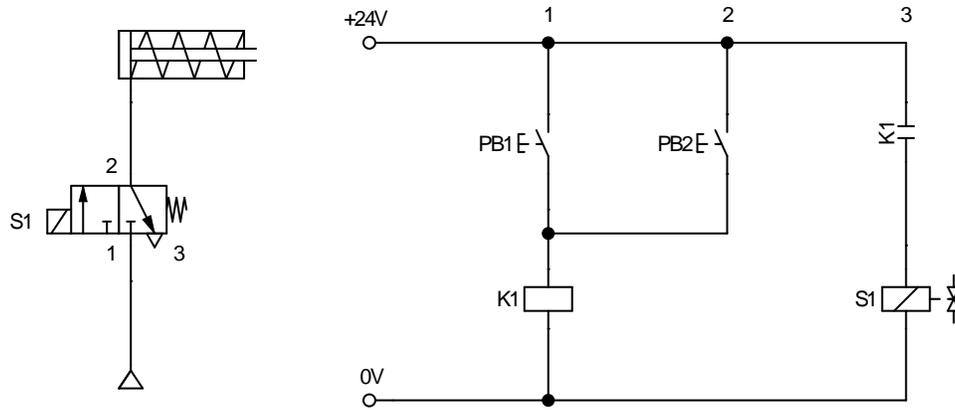


Es un dispositivo (Fig. 71) que convierte la tensión alterna de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta (ordenador, televisión, impresora, router, etc.)

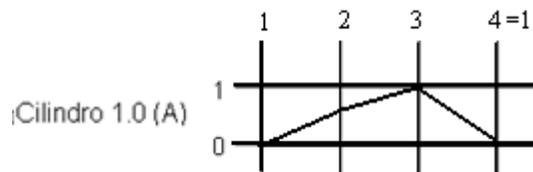
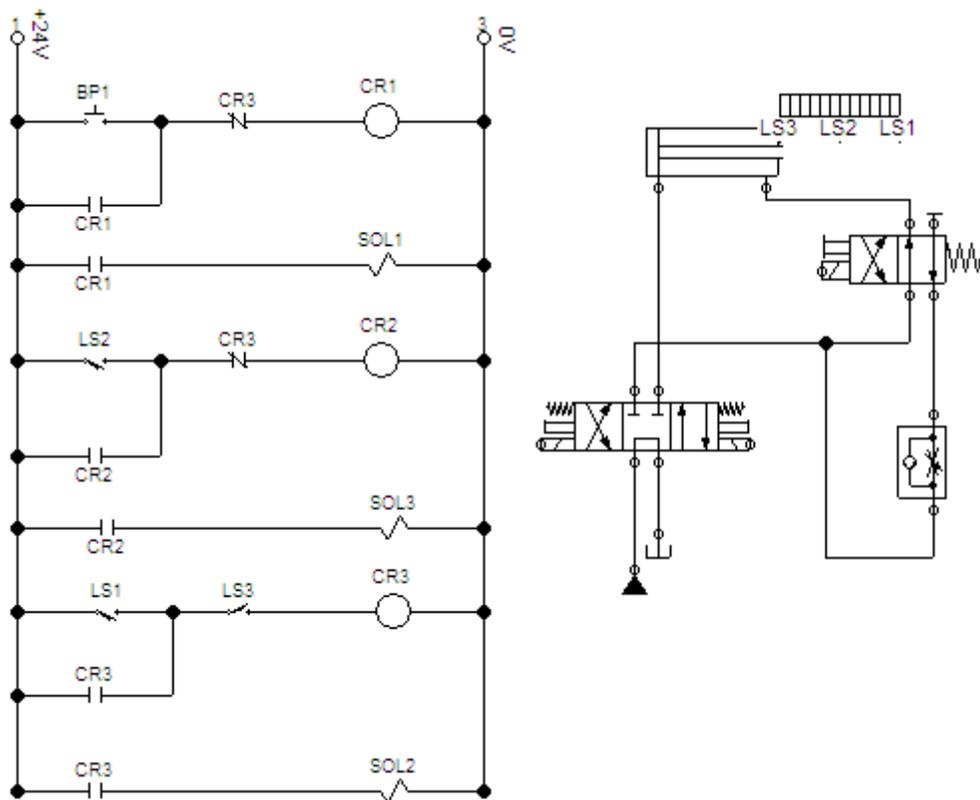
**Figura 71 Fuente Festo  
85-265 VAC (47-63 Hz)**

## 6.5 Diseño de circuitos electro-hidráulicos y electro-neumáticos

- Circuito OR



- Circuito avance rápido y lento, con regreso rápido



## 6.6 Demostraciones prácticas

Simulación de circuito neumático

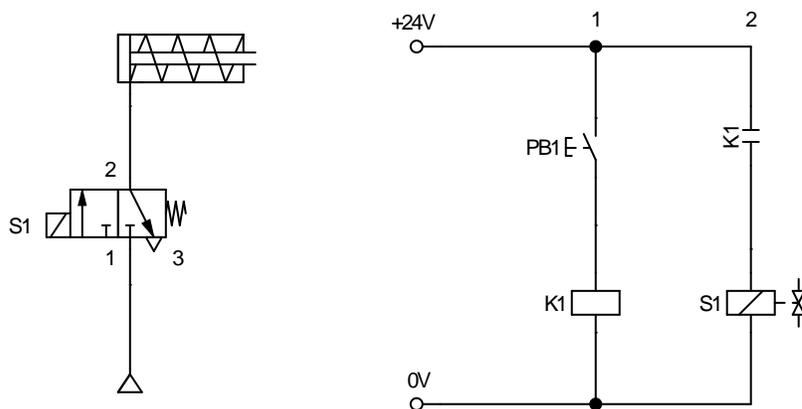


Figura 72 Circuito original

Cuando se acciona Boton\_2 este energizara la bobina del relevador (R1) cerrando su contacto, una vez que este contacto cierra la solenoide de la válvula se energiza ocasionando que la válvula cambie de estado. Si el Boton\_2 se deja de oprimir el cilindro retrocederá.

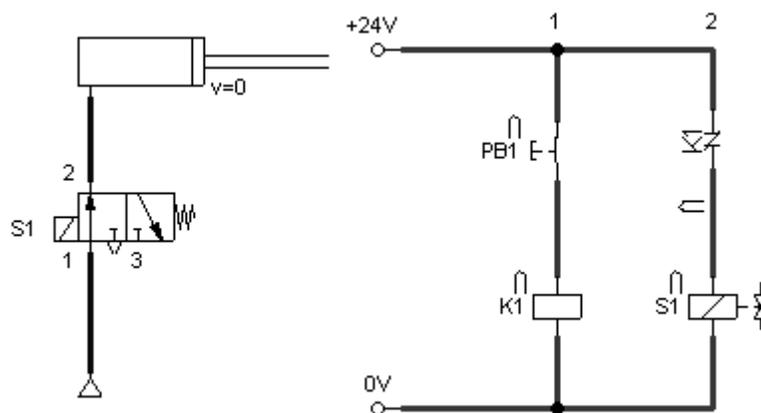


Figura 73 Activación del circuito

# 7 SENSORES

---

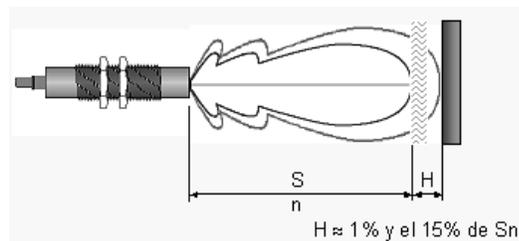
## 7.1 Generalidades

Antes de iniciar formalmente con los conceptos de sensores veamos primero algunos términos de uso común.

Factor de corrección Representa la distancia de sensado entre el sensor y el objeto (que es de material diferente al acero y este tiene un factor 1.0)}

Zona libre. Es el espacio alrededor del sensor de proximidad, el cual debe mantenerse despejado de materiales que puedan afectar las características de sensado.

Histéresis. Es la distancia entre el punto de operación cuando un objeto se aproxima a la cara del sensor y al punto donde el objeto se separa o se mueve alejándose de la cara del sensor. Este concepto es medido como un porcentaje (%).



**Figura 74 Histéresis**

Alcance nominal ( $S_n$ ). Es la distancia a la cual aproximado la placa de medida de superficie sensible se produce el cambio de estado de la señal de salida

Salida dinámica. La salida de un sensor que se mantiene energizada durante un tiempo, independientemente del tiempo que está siendo sensado el objeto.

Salida estática. La salida del sensor esta energizado únicamente mientras el objeto sensado está presente.

NPN. El sensor cambia la carga al terminal negativo. La carga debe estar conectada entre la salida del sensor y el terminal positivo.

PNP. El sensor cambia la carga al terminal positivo. La carga debe estar conectada entre la salida del sensor y el terminal negativo.

NEMA. National Electrical Manufacturers Association. Asociación nacional de productos eléctricos.

Máxima corriente de carga. Máximo nivel de corriente que fluye a través del sensor cuando este está activado (ON).

Corriente de mantenimiento. Corriente que el sensor utiliza para mantener su circuitería interna y que la toma de su propia fuente de voltaje.

Blindaje. Protección de malla metálica que cubre o envuelve algunos sensores, para evitar que algún objeto metálico que este cercano al sensor la active sin que este sea el que se desea sensar. Eliminar señales electromagnéticas que puedan interferir en las características de sensado.

Salida programable: (N.A. o N.C.) Salida que se puede cambiar de N.A. a N.C. o de N.C. a N.A. promedio de un interruptor o cable de puente. También se conoce como salida seleccionable

Estado sólido. Todos aquellos elementos o circuitos que utilizan semiconductores sin partes móviles.

Tiempo de respuesta. Es el tiempo cuando el objeto llega a la distancia de operación y cuando la salida alcanza un porcentaje específico del valor final.

Repetibilidad. La diferencia entre dos situaciones de operación, medidas de temperatura o voltaje. Es expresado como un porcentaje (%) del rango total de la distancia de operación.

Distancia efectiva de operación: (Sr) La distancia de operación de un interruptor de proximidad individual medida a una temperatura, voltaje y condiciones de montaje establecidas

Zona libre: El área alrededor del interruptor de proximidad que debe mantenerse libre de materiales de amortiguación.

**Tabla 14 Código de colores para sensores**

COLOR	
black (negro)	BK
brown (marrón)	BN
red (rojo)	RD
yellow (amarillo)	YE
green (verde)	GN
blue (azul)	BU
grey (gris)	GY
white (blanco)	WH
gold (dorado)	GD
green/yellow (verde/amarillo)	GN/YE

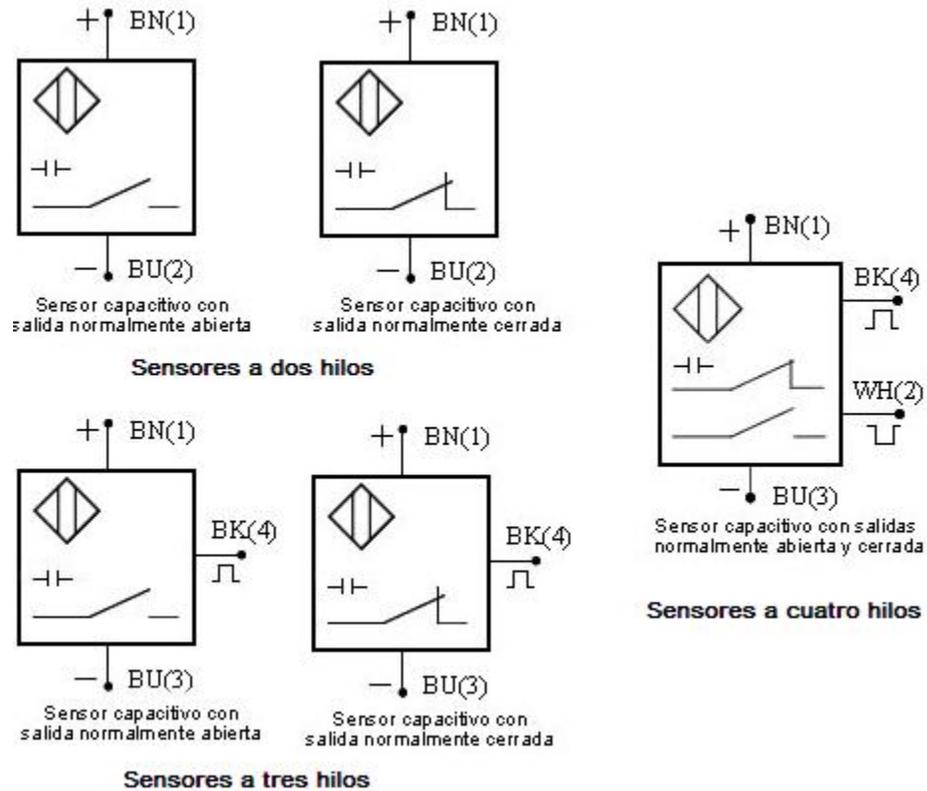


Figura 75 Simbología de sensores

## 7.2 Sensores de proximidad

Defectos y cambios de piezas desgastadas causan tiempos de paro de las costosas maquinas. Estos tiempos de paros o mantenimientos aumentan los gastos de la producción. Para reducir al mínimo semejantes gastos se estuvieron buscando alternativas y una de ellas fue diseñar el detector de proximidad. Este tipo de detector reconoce un material que se aproxima. Este tipo de sensor reconoce un material que se aproxima e inicia un proceso de conmutación.

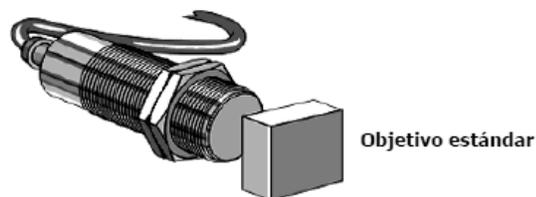


Figura 76 Sensor de proximidad

En todos los casos que se requiere conmutar.

- Sin contacto y por lo tanto sin esfuerzo y libre de mantenimiento.
- Libre de desgaste y por lo tanto larga duración.
- Electrónico y por lo tanto preciso durante muchos años.
- Bajo condiciones ambientales extremas.

Ideales en las instalaciones de transporte, maquina de embalaje, maquinaria para trabajar la madera, equipos de envase, maquinaria para moldear plástico, maquinas textiles y otras muchas cosas



Figura 77 Tipo de montaje

### 7.2.1 Sensores inductivos

Los sensores inductivos son “interruptores electrónicos” de característica estática que actúan sin elementos electromecánicos

Su principio se basa en el funcionamiento de un circuito oscilante LC de alta frecuencia, que deja de oscilar frente a la proximidad de un objeto metálico, sea cual fuera la naturaleza del metal.

Su acción detectora consiste en que el circuito inductivo del oscilador se encuentra abierto por la cabeza sensible del detector, cerrándose sus líneas de fuerza a través del aire. Al acercarse un objeto metálico se produce variaciones en el circuito oscilante que provocan la amortiguación y el cese de las oscilaciones

### **7.2.2 Sensores capacitivos**

Los detectores capacitivos son así mismos interruptores electrónicos de características estáticas que actúan sin la intervención de elementos electromecánico.

Su principio de acción se basa en el funcionamiento de un circuito oscilante RC, ajustado a su punto crítico próximo al de oscilación, que se inicia al modificarse alguna de las constantes del círculo.

La función detectora se realiza por el condensador del circuito oscilante y cuyas placas, formando partes de la cabeza sensible del detector, cierran las líneas del campo eléctrico a través del aire. Al aproximar a este condensador un objeto, con una constante dieléctrica superior a la del aire, se provoca una variación en su capacidad que ocasiona el desequilibrio del círculo y el inicio de las oscilaciones.

Esta variación de la capacidad, producidas por la proximidad de un objeto o sustancia de las características citadas es función no solo de la constante dieléctrica sino también de su volumen y densidad.

Estos sensores pueden detectar tanto objetos metálicos como no metálicos; pero son más frecuentemente usados para detectar sólidos o líquidos no metálicos.

Los sensores capacitivos, cuando detectan objetos metálicos, hacen uso del cambio en capacidad que ocurre cuando el objeto a sensar actúa como una placa de capacitor, para lo cual el sensor actúa como la otra placa. Cuando detectan objetos no metálicos, hacen uso de la alteración en el dieléctrico entre las dos placas. Esta alteración es causada por la masa del objeto.

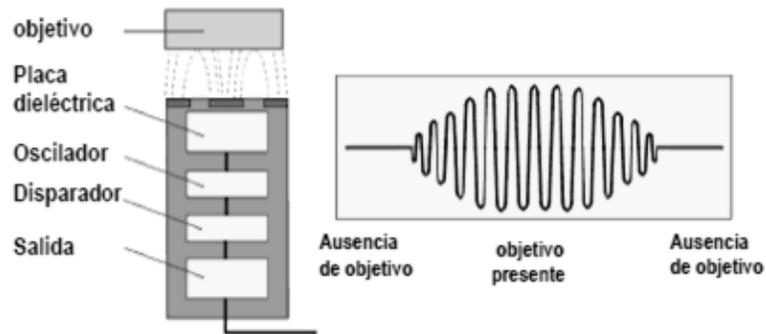


Figura 78 Operación del sensor capacitivo

### 7.2.3 Aplicaciones

Aplicaciones en sensores inductivos

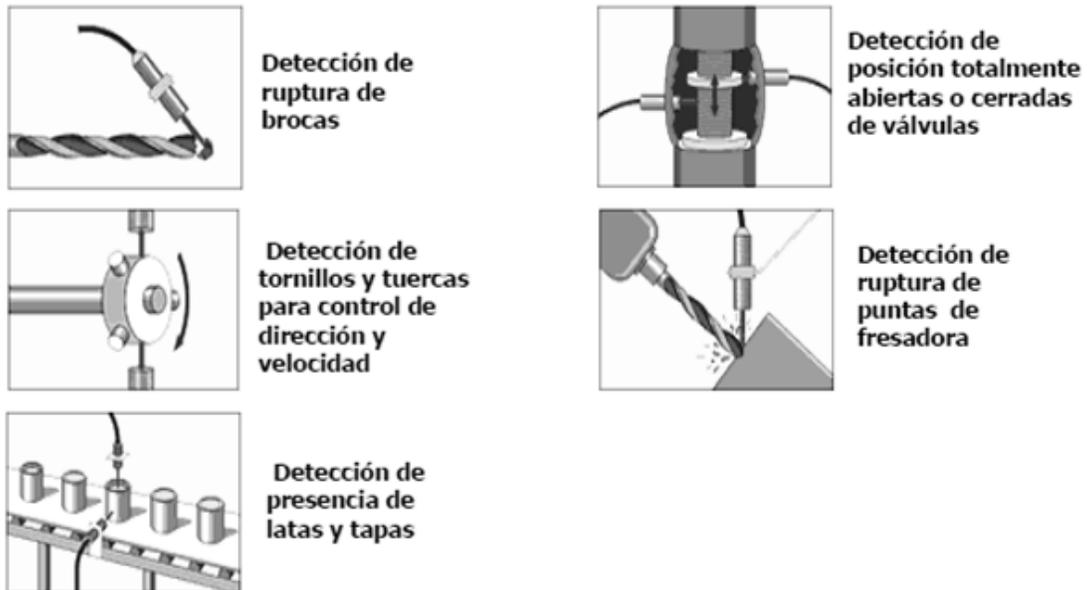
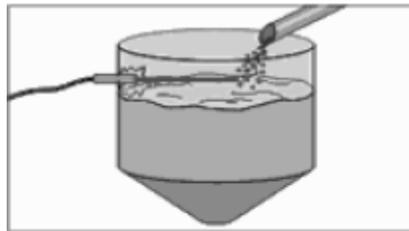
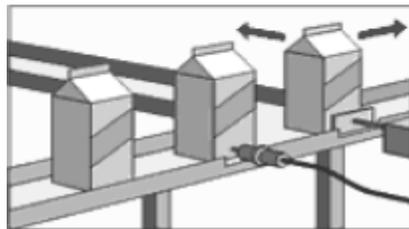


Figura 79 Aplicaciones para sensores inductivos



Control de nivel de llenado de sólidos en un recipiente



Detección de fluidos en contenedores tal como leche en botes de cartón

Figura 80 Aplicacion para sensores capacitivos

### 7.2.4 Ejemplos de sensores

#### *Sensor de proximidad inductivo*

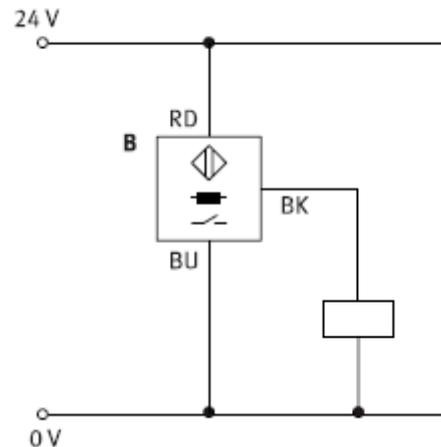
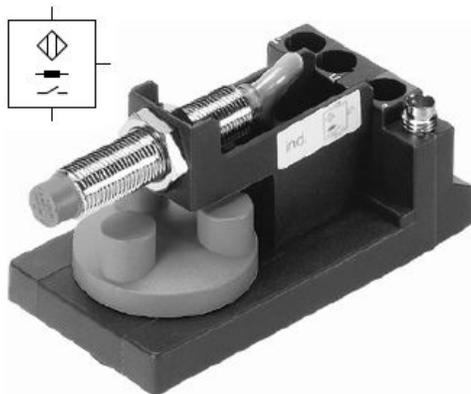


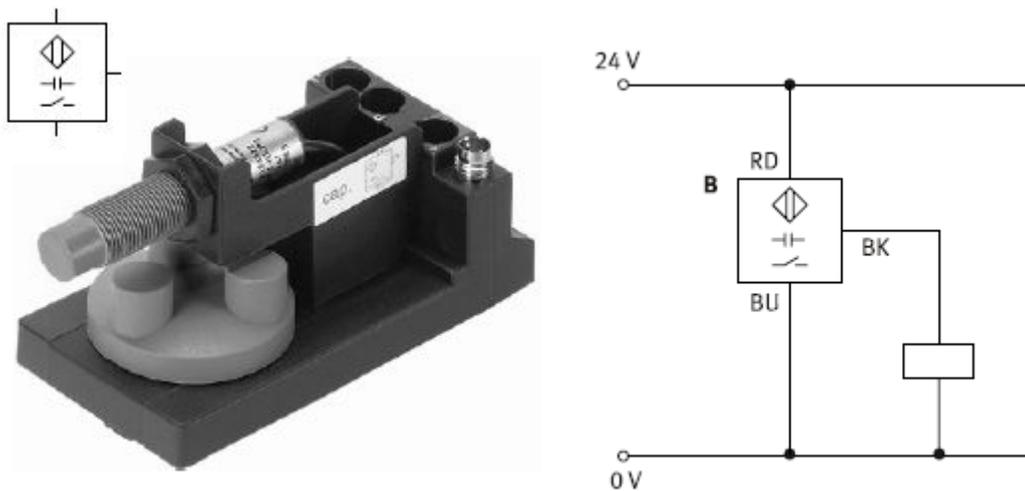
Figura 81 Sensor inductivo y su diagrama de conexión

Para que la unidad funcione correctamente deberá tenerse en cuenta la polaridad. Las conexiones de tensión de funcionamiento están identificadas con los colores rojo (positivo), azul (negativo) y negro (salida de señales). La carga se conecta a la salida de conmutación y se une al polo negativo de la alimentación de corriente.

Parte eléctrica	
Tensión de conmutación	10-30 VDC
Ondulación residual	Máx. 10%

Distancia nominal de conmutación	4 mm
Frecuencia de conmutación	Max 800 Hz
Estado inicial	Contacto normalmente abierto, conmutación a positivo
Clase de protección	IP65 <sup>1</sup>
Conexión	Conector de seguridad de 4 mm
Compatibilidad electromagnética	CE <sup>2</sup>
Emisión de interferencias	Homologación según Ne 500 81-1
Resistencia a interferencias	Homologación según Ne 500 82-1

### *Sensor capacitivo de proximidad*



**Figura 82 Sensor capacitivo y Diagrama de conexión**

Para que la unidad funcione correctamente deberá tenerse en cuenta la polaridad. Las conexiones de tensión de funcionamiento están identificadas con los colores rojo (positivo), azul (negativo) y negro (salida de señales). La carga se conecta a la salida de conmutación y se une al polo negativo de la alimentación de corriente.

<sup>1</sup> Grado de protección es un estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional 60529 que clasifica el nivel de protección que provee una aplicación eléctrica contra la intrusión de objetos sólidos o polvo, contactos accidentales o agua

<sup>2</sup> Se apoya en la directiva 93/68/EEC. Establecida por la Comunidad Europea y es el testimonio por parte del fabricante de que su producto cumple con los mínimos requisitos legales y técnicos en materia de seguridad de los Estados miembros de la Unión Europea.

Parte eléctrica	
Tensión de conmutación	10-30 VDC
Ondulación residual	Máx. 10%
Intensidad en reposo	Aprox. 15mA
Distancia nominal de conmutación	4 mm
Frecuencia de conmutación	Max 100Hz
Estado	Contacto normalmente abierto, conmutación a positivo
Corriente de conmutación	Máx. 200 mA
Potencia de conmutación	Máx. 4.8 W
Clase de protección	IP65
Conexión	Conector de seguridad de 4 mm
Compatibilidad electromagnética	CE
Emisión de interferencias	Homologación según Ne 500 81-1
Resistencia a interferencias	Homologación según Ne 500 82-1

## 7.3 Sensores fotoeléctricos

### 7.3.1 Sensor emisor receptor

La utilización de estos sistemas, depende ante todo de la aplicación y del ambiente circundante

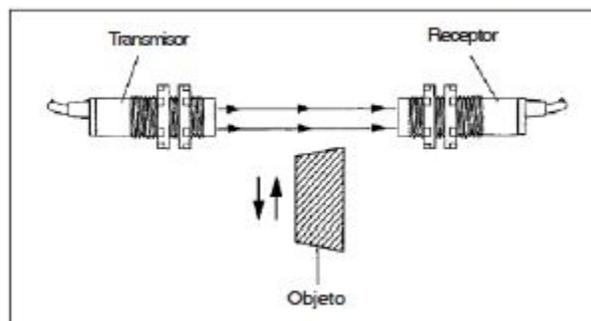


Figura 83 Emisor - Receptor

Los sensores fotoeléctricos generalmente utilizan luz roja o infrarroja pulsante. Esta tecnología ofrece las ventajas siguientes:

- Alta inmunidad a la luz ambiente
- Máximo rango de sensibilidad
- Temperatura reducida, y con ello una duración de vida mayor de los diodos de transmisión.

En éste sistema, el receptor y el transmisor de señal, están separados. La luz emitida por el transmisor viene analizada por el receptor. La interrupción del haz luminoso (debido a un objeto) es evaluada, y produce la conmutación en la salida.

#### Ventajas

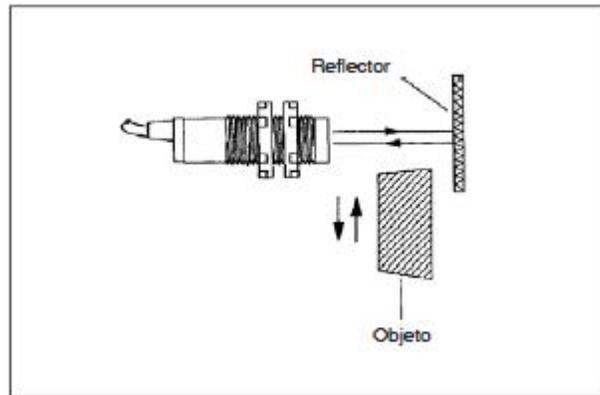
- Sensibilidad a gran distancia; el haz luminoso sólo deberá viajar en una dirección, del transmisor al receptor.
- Alta seguridad operacional, las interferencias por reflexión, rara vez disparan el receptor.
- Detección de objetos muy pequeños, posible mediante el uso de lentes o de filtros adicionales.

#### Desventajas

- Elevado coste de instalación, debido a tener que montar dos aparatos, cableados y ajustados.
- 

### **7.3.2 Sensor retroreflectivo (Reflex)**

Los sensores retro-reflectantes tienen el generador de luz y el receptor, en un mismo cuerpo. El haz luminoso emitido por la fuente, será reflejado hacia atrás, al receptor, mediante un reflector (por ejemplo reflectores triples o cinta reflectora), cualquier interrupción del haz luminoso viene evaluada por el receptor, y con ello la conmutación de la salida.



**Figura 84 Modo de operación de sensor reflex**

#### Ventajas

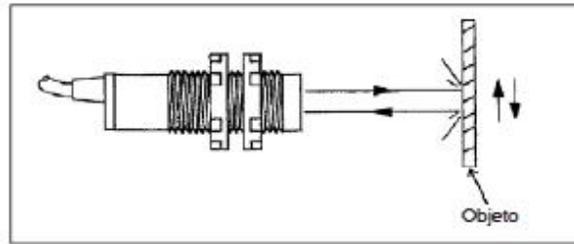
- Facilidad de instalación del sensor y del reflector.
- El reflector puede montarse en objetos móviles, por ejemplo en cintas transportadoras

#### Desventajas

- Distancia sensible inferior al sistema de emisor receptor separados, debido a que el haz luminoso debe recorrer doble distancia, del emisor al reflector, y retorno al receptor.
- Los objetos brillantes pueden ocasionar reflexiones y con ello errores.

### **7.3.3 Sensor de reflexión difusa**

Los sensores de reflexión difusa, tienen la fuente de luz y el receptor en un mismo cuerpo. La luz emitida por la fuente viene reflejada de forma difusa por el objeto detectado. Una parte de éste reflejo retorna al receptor y con ello se conmuta la salida al excederse una determinada intensidad. Así la textura y el color del superficie del objeto tiene una gran influencia en la detección (presencia / ausencia) de objetos.



**Figura 85 Modo de operación del sensor de reflexión difusa**

La reflectividad de la superficie del objeto a detectar afecta la distancia sensible, así se debe especificar un factor de corrección, o factor de re-emisión. Este valor puede variar desde menos del 10% para plástico negro mate, hasta el 200% para hojas de aluminio puro (valores especiales bajo demanda). Generalmente recomendamos una prueba de aplicación al objeto específico a efectuar en las condiciones de ambiente, como son la suciedad, la humedad, con objeto de determinar el sensor óptimo.

#### Ventajas

- Instalación muy fácil
- Reflexión no necesaria

#### Desventajas

- Son necesarias distintas distancias y ajustes de sensibilidad, según el objeto a detectar (superficie, color)

### 7.3.4 Aplicaciones

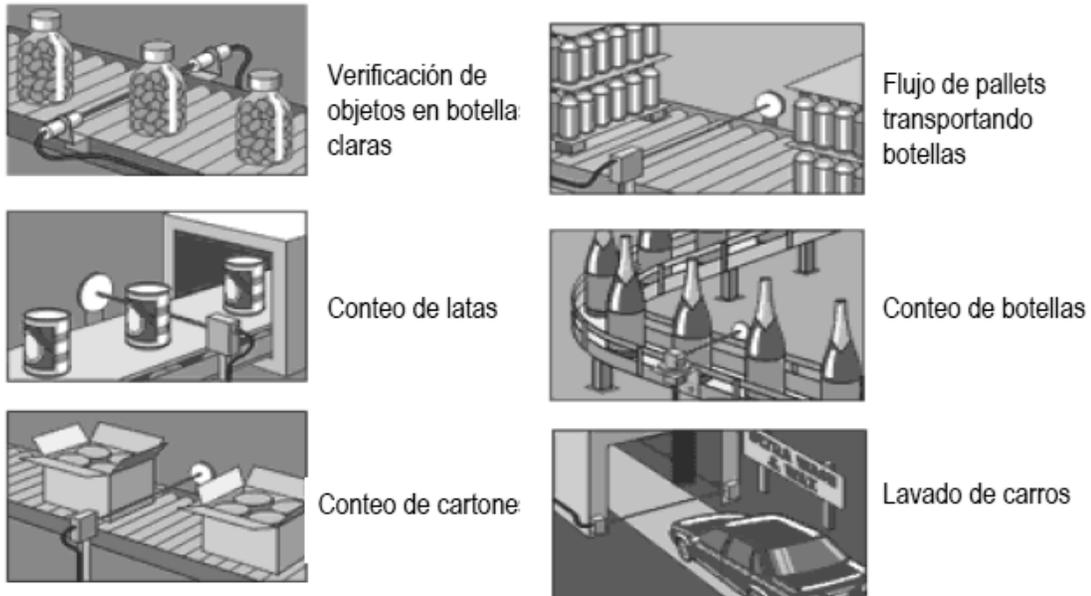


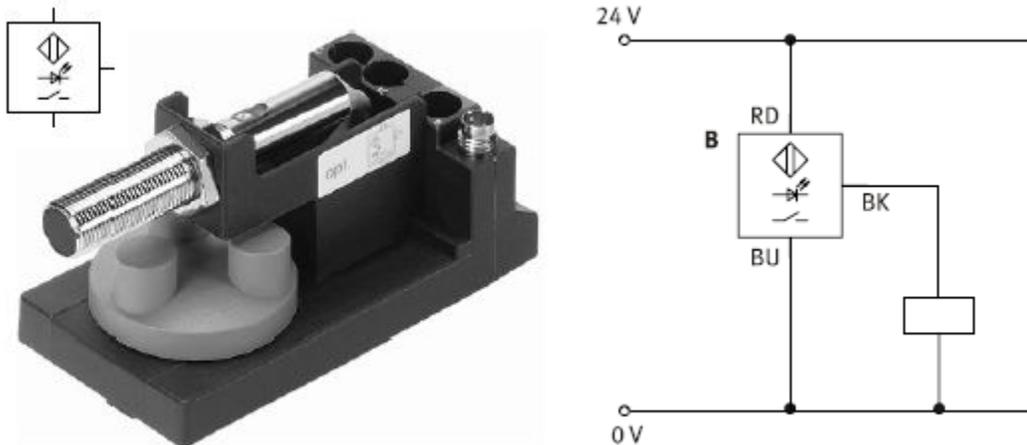
Figura 86 Aplicacion de sensores

### 7.3.5 Ejemplo de sensor

#### *Sensor de posición óptico*

Los detectores de posición ópticos tienen un emisor y un receptor. Tratándose de detectores de reflexión directa, el emisor y el receptor se encuentran en un mismo cuerpo. El emisor emite intermitentemente rayos de luz roja visible. El objeto detectado refleja una parte de dicha luz. El semiconductor del receptor detecta esta luz reflejada, provocando un cambio del estado de conmutación. El objeto detectado puede tener una superficie brillante, mate, transparente u opaca. Únicamente tiene que reflejar de modo directo o difuso una suficiente cantidad de luz. La distancia de conmutación puede regularse mediante un potenciómetro.

Para que la unidad funcione correctamente deberá tenerse en cuenta la polaridad. Las conexiones de tensión de funcionamiento están identificadas con los colores rojo (positivo), azul (negativo) y negro (salida de señales). La carga se conecta a la salida de conmutación y se une al polo negativo de la alimentación de corriente



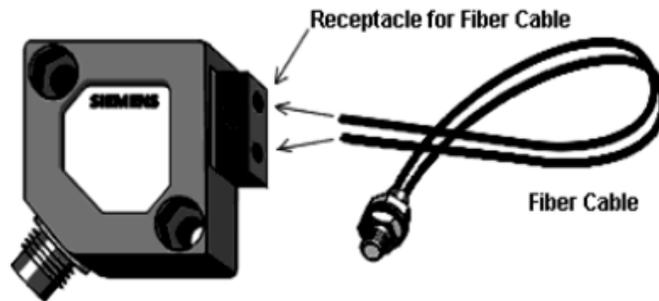
Parte eléctrica	
Tensión de conmutación	10-30 VDC
Ondulación residual	Máx. 10%
Distancia nominal de conmutación	De 0 hasta 100 mm (regulable)
Frecuencia de conmutación	Máx. 200 Hz
Estado	Contacto normalmente abierto, conmutación a positivo
Corriente de conmutación	Máx. 100 mA
Clase de protección	IP65
Conexión	Conector de seguridad de 4 mm
Cable	Con conector tipo clavija de 4mm
Compatibilidad electromagnética	CE
Emisión de interferencias	Homologación según Ne 500 81-1
Resistencia a interferencias	Homologación según Ne 500 82-1

## 7.4 Sensores fibras ópticas Generalidades sobre la fibra óptica

### 7.4.1 Que son las fibras ópticas

#### Modos de detección

Los sensores fotoeléctricos normales, los sensores fotoeléctricos, se ofrecen en dos modos de detección: de haz transmitido y difuso. La detección reflectiva se puede lograr en un modo difuso o modo retroreflectivo.



**Figura 87** Las señales de luz no generan ruido eléctrico o magnético

La detección difusa normal con cables de fibra óptica es similar a la detección con técnicas fotoeléctricas con lentes. Cuando estos sensores son ajustados a su máxima sensibilidad, utilizando cables de fibra óptica bifurcados, pueden detectar objetos extremadamente pequeños. Los cables de fibra óptica individuales se pueden usar para aplicaciones de modo difuso más especializadas

La detección retrorreflectiva normal es posible con las fibras ópticas, pero la detección retrorreflectiva polarizada no lo es. En algunas aplicaciones será necesario reducir la sensibilidad del sensor para evitar la detección difusa del objeto.

La detección de haz transmitido, el modo de detección más confiable, requiere de dos cables individuales de fibra óptica. Los objetos son detectados cuando interrumpen la trayectoria de luz establecida entre los cables emisor y receptor.

#### **7.4.2 Características de los cables ópticas**

Los cables de fibra óptica pueden estar hechos de vidrio o de plástico y se pueden categorizar como individuales (de haz transmitido) o bifurcados (difuso).

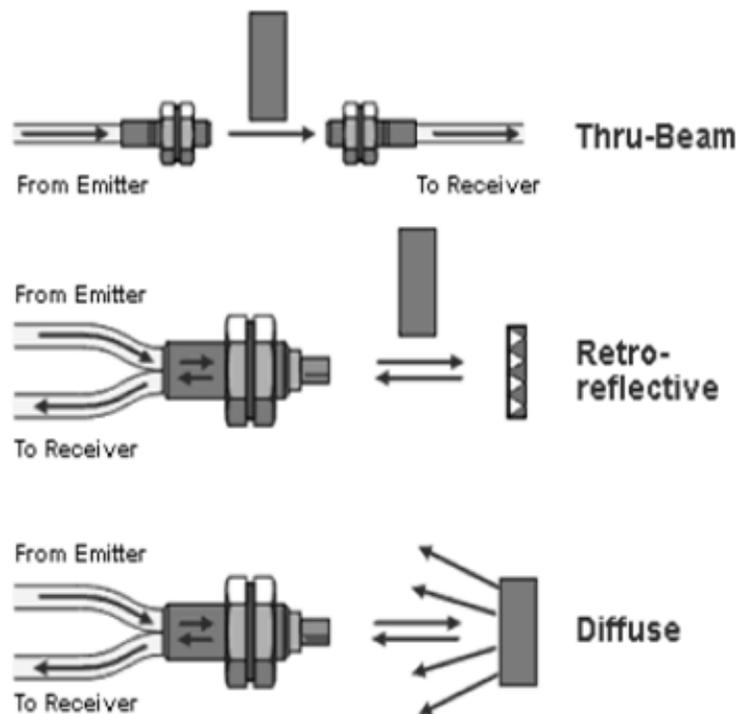
Los cables de fibra óptica contienen varios hilos de fibra de vidrio muy delgada que están unidos en una vaina flexible. Normalmente más durables que sus contrapartes, los cables de fibra óptica de vidrio resisten temperaturas mucho más altas; cables de fibra óptica de vidrio con forro de acero inoxidable con clasificación de 260 °C (500 °F). Se pueden obtener cables de vidrio especiales clasificados para uso en temperaturas de hasta 482 °C

(900 °F). La mayoría de los cables están disponibles con recubrimiento de PVC o de acero inoxidable flexible. Si bien los cables con forro de PVC son generalmente menos costosos, el forro de acero inoxidable ofrece mayor duración y permite que los cables resistan altas temperaturas. Las fibras de vidrio se pueden usar con fuentes de luz LED infrarrojos o visibles.

Los cables de fibra óptica de plástico constan de un monofilamento de acrílico y, puesto que las fibras de plástico absorben la luz infrarroja, son más eficientes cuando se usan con fuentes de LED rojo visible.

### *Longitud del cable*

- Determine la distancia del sensor al objeto, incluyendo el radio de flexión requerido.
- Las distancias más largas reducirán las distancias de detección ya que los cables de fibra óptica tienen resistencia a la transferencia de luz.
- La pérdida de luz es aproximadamente del 10% por cada pie



**Figura 88 Configuración para la fibra óptica**

### 7.4.3 Aplicaciones

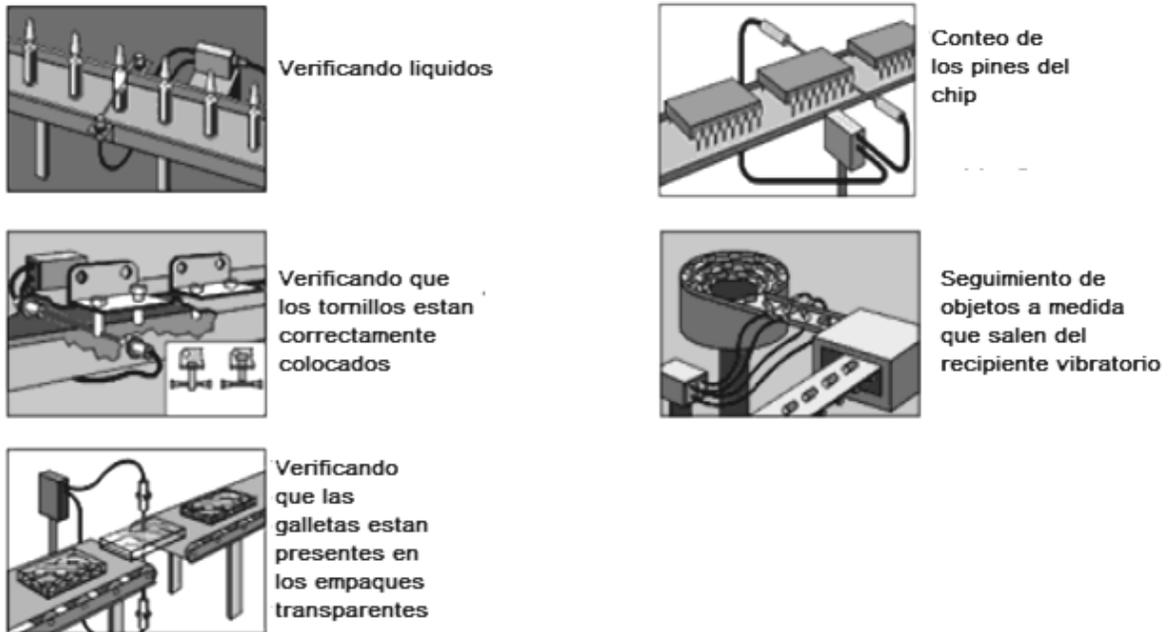


Figura 89 Aplicacion de sensores de fibra óptica

### 7.4.4 Ejemplo de sensor

Las barreras de luz constan de un emisor y un receptor. En el caso de unidades de fibra óptica, el emisor y el receptor están montados en un mismo cuerpo.

El emisor de la unidad de fibra óptica emite luz roja visible y pulsante. La luz se irradia a lo largo del conductor óptico, que está provisto de un cabezal de detección que se coloca en la zona de detección de piezas. La luz se refleja a lo largo del conductor óptico hacia el receptor, que está montado en el mismo cuerpo del emisor. Dependiendo del tipo de fibra óptica, esta unidad puede utilizarse como barrera de luz de reflexión o barrera de luz unidireccional.

- Si se utiliza como barrera de luz unidireccional, se aplica lo siguiente:

El objeto a detectar puede reflejar una cantidad indistinta de luz, aunque sólo debe permitir el paso de una mínima cantidad de luz.

Tratándose de piezas transparentes, es decir, piezas que dejan pasar el haz de luz, es posible ajustar (dentro de determinados límites) la debilitación del haz de luz utilizando un potenciómetro.

- Si se utiliza como barrera de luz de reflexión, se aplica lo siguiente:

La pieza a detectar puede ser reflectante, mate, transparente u opaca. Únicamente debe reflejar una cantidad suficiente de luz, ya sea de modo directo o difuso.

El detector de posición tiene salidas PNP, lo que significa que, en estado activado, la línea de transmisión de señales cambia a positivo. La conexión de la carga se realiza entre la salida de señales del detector de posición y la masa. Los diodos luminosos (LED) indican el estado de conmutación.

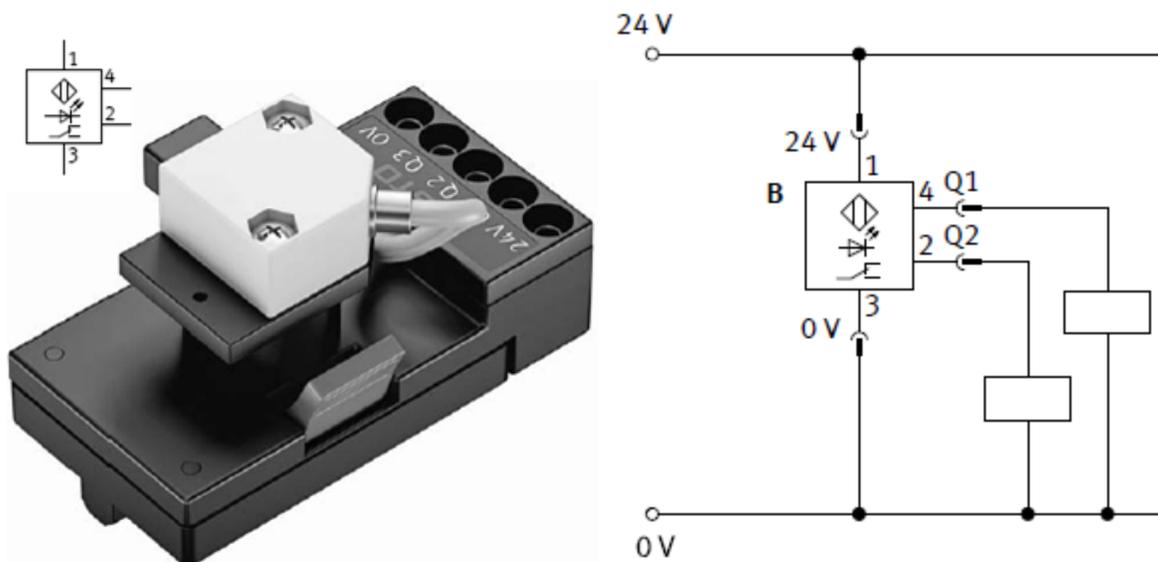


Figura 90 Sensor Festo

Información general	
Alcance	0-120 mm
Tipo de luz	rojo
Posibilidad de ajuste	potenciómetro

Parte eléctrica	
Tensión de conmutación	10-30 VDC
Ondulación residual admisible	≤ 20%

Intensidad de reposo	$\leq 25$ mA
Salida	PNP, contacto normalmente abierto/cerrado/antivalente
Indicación de estado de conmutación	LED amarillo
Corriente de salida	Máx. 200 mA
Frecuencia de conmutación	Máx. 1000 Hz
Estado	Contacto normalmente abierto, conmutación a positivo
Corriente de conmutación	Máx. 100 mA
Indicación de reserva de función	LED verde
Margen de la temperatura ambiente	-25 – 55 °C
Clase de protección	IP65
Conexión	Bornes para conectores de seguridad de 4 mm



Información general	
Diámetro de la fibra	1mm
Largo	2000 mm
Zona de detección	Máx. 0 ... 120mm, min 0... 24 mm
Temperatura ambiente	40... + 70 °C
Clase de protección	IP65

## 7.5 Sistemas de visión

La preparación de un programa de control es muy sencilla: El usuario toma imágenes de referencia de diversas piezas y, a continuación, define los criterios de control, por ejemplo medición de distancias, ángulos o superficies. Adicionalmente se define como criterio de control un margen de tolerancia, dentro del cual la pieza es considerada buena. Hasta 64 criterios pueden incluirse en un programa de control; hasta 256 programas de control puede memorizarse en la cámara. La cámara también permite realizar tareas de clasificación, ya que es posible memorizar y distinguir hasta 16 tipos de piezas diferentes en cada programa de control. Los parámetros calculados por la cámara no dependen de la orientación y posición de la pieza, ya que son determinados en términos relativos en función de la

posición de la pieza. Por ello, no importa que la pi pieza gire y/o se mueva durante el proceso de control.

El comportamiento de la cámara durante la operación de control se determina en la modalidad de evaluación. Se dispone de cuatro modalidades

#### *Diferencia entre sensores CCD y CMOS*

- Los sensores CCD crean imágenes de alta calidad y con poco ruido, debido a que usan una tecnología que permite transportar la información sin perder calidad. Los sensores CMOS tradicionalmente son más sensibles al ruido.
- Debido a que en los sensores CMOS tienen varios transistores colocados alrededor del mismo, la sensibilidad a la luz tiende a ser menor.
- Los sensores CMOS consumen poca energía a diferencia del CCD. Un sensor CCD puede llegar a consumir 100 veces la energía que un sensor CMOS equivalente.
- Para la fabricación de los sensores CMOS se puede usar casi cualquier tipo de línea de producción de silicón, así que tienden a ser más económicos comparados a los sensores CCD.
- Los sensores CCD llevan mucho más tiempo en el mercado, por ello es que son un producto más maduro, y tienden a tener una mayor calidad y más píxeles.

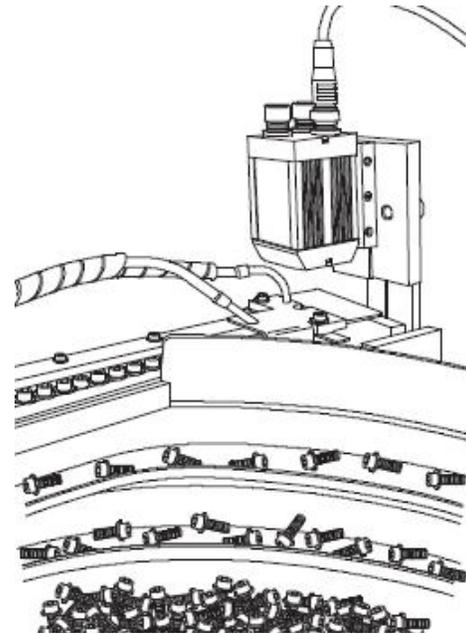
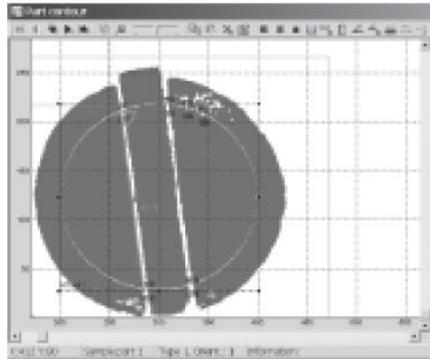
Por todo esto se puede ver que los sensores CCD son usados en cámaras que tienden a tener una mejor calidad con muchos píxeles y una gran sensibilidad a la luz. Pero los sensores CMOS están mejorando continuamente y se encuentran en un punto en el cual están por conseguir la misma calidad que los sensores CCD.

#### **7.5.1 Aplicaciones**

Diferenciación de tipos de tornillos

- Detección de posiciones y de orientación de las piezas
- Posicionamiento de ejes
- Control de calidad en 2 D
- Identificación de tipos de piezas

- Clasificación de material

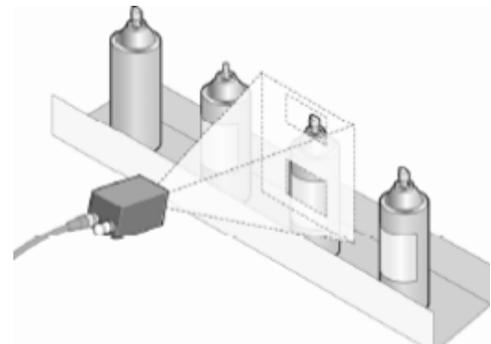


**Figura 91** Cámara de visión instalada para la identificación y separación de tornillos

El software gratuito y fácil de usar permite configurar detectores individuales. Estos detectores pueden vincularse lógicamente para una sola salida, o utilizarse para diferentes productos. La retroalimentación detallada también hace que la configuración de los parámetros ideales sea rápida y fácil.

#### *Detección de características específicas en botellas*

En esta aplicación, hay dos detectores virtuales configurados y vinculados lógicamente para generar una salida de paso/rechazo. El MultiSight detecta la presencia tanto de la boquilla como de la etiqueta. El primer detector virtual se configura con un detector tipo coincidencia de patrón para detectar la boquilla. El segundo detector usa un detector tipo brillo para detectar la presencia de la etiqueta. El MultiSight realiza la función AND con



**Figura 92** Detección de boquilla y etiqueta

los resultados de los dos detectores y genera una salida de paso / rechazo.

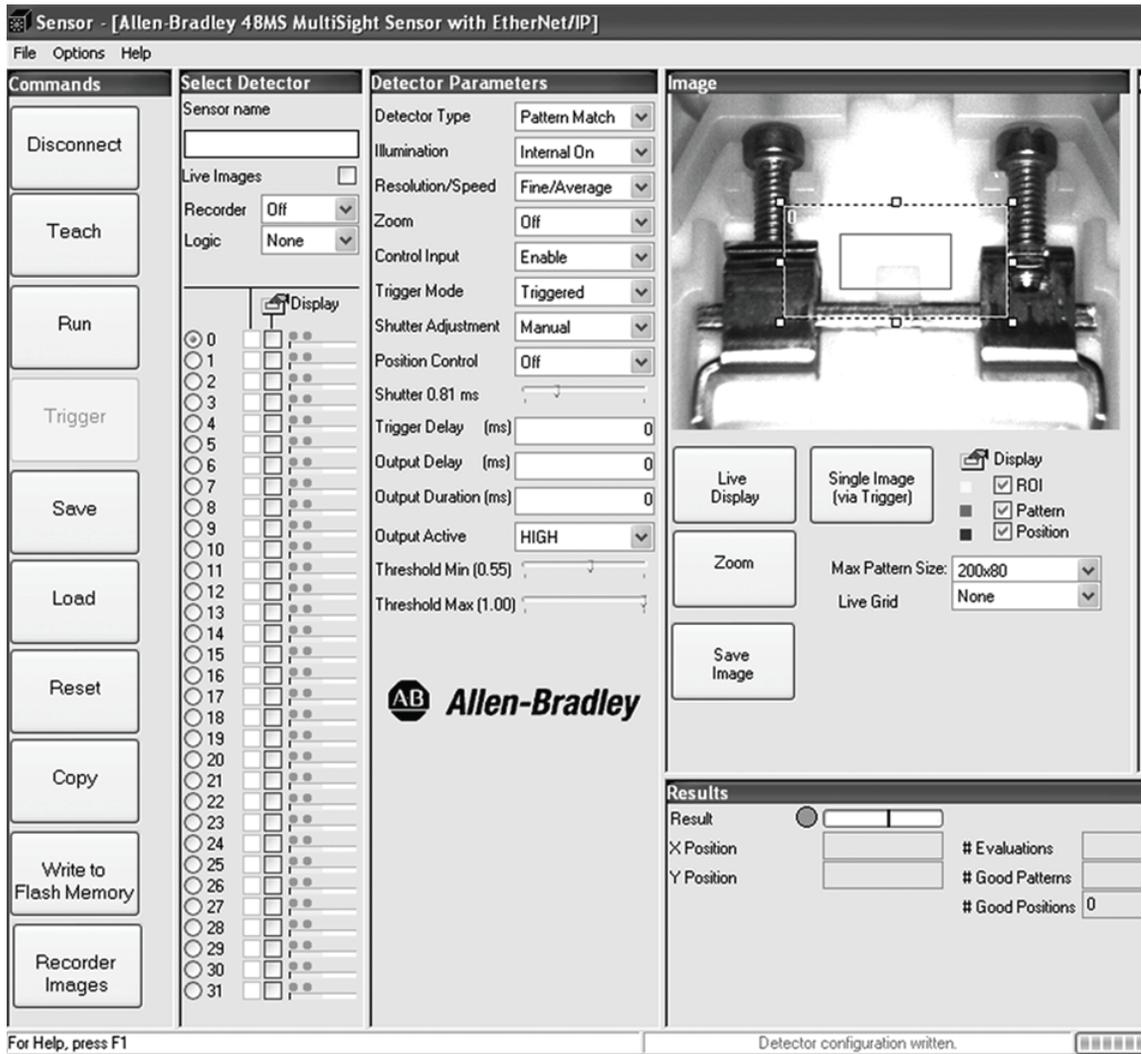


Figura 93 Vista general del software para programación del sensor

### 7.5.2 Ejemplos de sensores.

El es un sensor de visión multifunciones autónomo, que maneja hasta 10 inspecciones diferentes simultáneamente en la versión básica y hasta 32 inspecciones en la versión avanzada, y pasa una señal sencilla de OK/No OK a un PLC o a un controlador de proceso externo. La incorporación de un controlador de cámara, óptica, iluminación, comunicaciones y aprobado/desaprobado en un paquete ahorra bastante tiempo de instalación y coste de hardware, lo que reduce el coste total de adquisición.

El sensor de visión integra un elemento CCD de 640 x 480 pixeles de alta resolución con óptica, que emplea tres herramientas de inspección diferentes: coincidencia de patrón, contraste y brillo. Estas capacidades combinadas permiten que el sensor 48MS realice hasta 10 ó 32 inspecciones diferentes simultáneamente, entre las que se incluyen operaciones lógicas y regiones de intereses diferentes. En los procesos de envasado y ensamblaje generalmente se requieren múltiples inspecciones que incluyen etiquetado, codificación, calidad de impresión, integridad y orientación

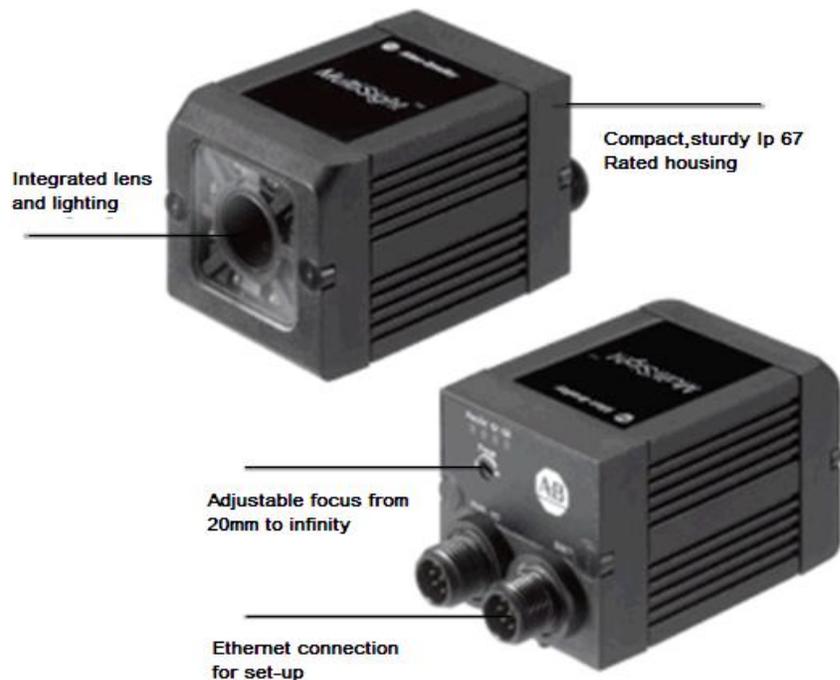


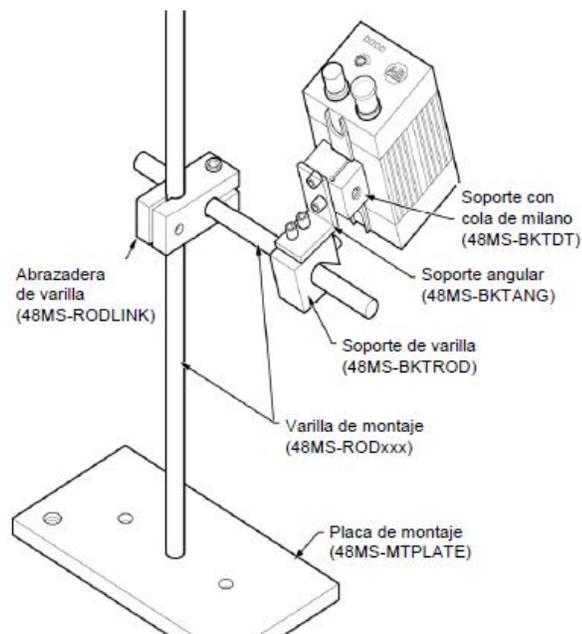
Figura 94 Sensor 48MS MultiSight de Allen-Bradley

La unidad 48MS las evalúa con una sola señal de OK/No OK que luego puede pasarse al controlador del proceso. Las imágenes de los objetos pueden almacenarse dentro del sensor de visión y transferirse a un sistema de operador mediante una interfaz Ethernet. La combinación de todas estas capacidades en una unidad hace que el sensor 48MS sea extraordinariamente versátil para una amplia variedad de operaciones de inspección automatizadas, tales como aplicaciones de ensamblaje y envasado en industrias como la automotriz, de alimentos y bebidas, de ciencias biológicas, etc.

El sensor un envolvente industrial con clasificación que lo hace ideal para uso en una

amplia variedad de entornos industriales. La iluminación del indicador LED incorporado puede encenderse o apagarse, y puede combinarse con iluminación externa si es necesario, para lograr un reconocimiento de imágenes aún mejor.

Además de la facilidad de instalación, la configuración tipo “enseñar e inspeccionar” proporciona una rápida puesta en marcha y permite que se puedan modificar fácilmente los parámetros de inspección en caso de cambios de producto.



**Figura 95 Instalación típica  
MultiSight**

# 8 CONTROL DE MOTORES

---

## 8.1 Elementos de control

### 8.1.1 Generalidades

En cualquier proceso de la industria moderna podemos encontrar motores eléctricos.

La óptima utilización de los circuitos de accionamiento está acrecentando su importancia a la hora de asegurar la rentabilidad de las operaciones. El “Control de Motores” ayudará a:

- Optimizar el uso de sus sistemas
- Reducir los costes de mantenimiento
- Incrementar la seguridad de las operaciones.

En nuestros días es cada vez es mayor el número de maquinas que trabajan de un modo automático. El funcionamiento automático se obtiene solamente por la acción del motor y del control de la maquina, siendo éste, eléctrico o una combinación de Control Mecánico y Eléctrico lo que viene a construir los Controladores de motores.

Un controlador de motores es un dispositivo que regula, manda o gobierna las funciones que realiza un motor o maquina.

Los controladores realizan varias funciones que son las siguientes:

- Arranque
- Regulación de potencia y velocidad
- Inversión
- Protección
- Parada

## Funciones de los controles

- *Arranque.* Acelera el motor del reposo a su velocidad nominal.
- *Paro.* Es una acción de frenado en la que el motor se lleva de la velocidad nominal de función a la de reposo
- *Inversión de rotación.* Es cambiar el sentido de giro de un motor, el cual podría ser una operación continua.
- *Control de velocidad.* Es mantener el motor funcionando con velocidad muy precisa y/o permitir variaciones de velocidad, dentro de ciertos rangos ajustables.
- *Protección vs sobre corriente.* Se refiere a resguardar el motor contracorrientes de corto circuito y fallas de tierra.
- *Protección vs sobre cargas.* Protección contra carga excesiva del motor, por bajo voltaje o falla de una fase.
- *Protección vs inversión de fase.* Es cuando un motor trifásico invierte repentinamente su rotación al intercambiar dos fases de alimentación.
- *Protección vs inversión de corriente.* Al igual que el anterior produce inversión de rotación causada por la inversión de la corriente
- *Protección vs sobre velocidad.* Protege al motor contra un aumento de velocidad por encima de la velocidad nominal.

### 8.1.2 Clasificaciones

Los elementos se pueden dividir de acuerdo en su función en:

*Elementos de mando:* Son los elementos que dan la orden, como paro, arranque, etc. Los ejemplos clásicos son:

- Botón Pulsador (NC. NA.)
- Selector (2 y 3 posiciones)
- Limit switch (Micro)
- Interruptores (nivel, presión, temperatura.)

*Elementos coordinadores:* Recogen la orden que emite los elementos de mando, la interpretan y la envía al elemento final de control

- Relevador de control
- Relevadores de sobrecarga
- Relevadores de tiempo

*Elementos finales:* Llevan a cabo la acción ordenada y coordinada

- Motor
- Solenoide
- Foco piloto

Un control eléctrico es un dispositivo o grupo de dispositivos que regulan las funciones de un motor o maquina en orden de sucesión predeterminado.

Tomando en cuenta su operación los motores se pueden clasificar en:

- *Manuales:* EL operador debe activar un botón para que se realice cualquier cambio en las condiciones de funcionamiento del equipo.
- *Semiautomáticos:* El operador acciona los dispositivos manualmente, para iniciar un cambio en la operación del circuito, pudiendo ser de un lugar remoto y el arrancador del motor es del tipo electromagnético.
- *Automáticos:* Aquí no hay intervención del operador, pues el controlador cambia por si mismo su estado de operación.

### 8.1.3 Descripción y estudio de los elementos de control

#### 8.1.3.1 Funcionamiento

Explicaremos cada uno de los dispositivos de control más usados

##### *Dispositivos de protección*

*Fusibles.* Un fusible es un dispositivo que se emplea para proteger los sistemas eléctricos contra fallas de sobrecarga y cortocircuito, esto se efectúa intercalando en un circuito eléctrico, de tal manera que cuando pase una corriente a través de éste, interrumpe el circuito al que está conectado. Esto se logra al fundirse el elemento fusible del dispositivo de protección.



Figura 96 Tipos de fusibles

Las condiciones más comunes en las que un fusible puede operar son las siguientes:

Sobrecorrientes debidas a:

- Sobrecargas.
- Cortocircuitos
- Falso contacto
- Alta temperatura

### *Características de los fusibles.*

Un fusible debe contar con las siguientes características funcionales:

- Pueden seleccionarse para proteger las corrientes reales de los motores, puesto que los fusibles pueden no operar con sobrecorrientes momentáneas inofensivas, evitando interrupciones innecesarias.
- Protegen contra calentamiento del equipo porque dicho calentamiento fundirá el fusible antes de que se produzca una avería, ya que una conexión floja o corroída que genera altas temperaturas abrirá el fusible.
- Pueden seleccionarse con mayor precisión para el cableado o equipo protegido sin estar sujetos a interrupciones innecesarias. Puede usarse equipo más compacto y de menor costo.
- Combina en un solo dispositivo el elemento sensor e interruptor.
- Su acción es directa, responde únicamente a una combinación de magnitud y duración de la corriente del circuito que fluye a través de éste.
- Requiere de dispositivos separados, como los interruptores de seguridad, para realizar la función de energizar y desenergizar un circuito, además de que éste le sirve de montaje y prevención de accidentes al personal.
- Es un dispositivo monofásico. Únicamente en la fase o fases sujetas a sobrecarga deberá responder a desenergizar la fase o fases afectadas del circuito o equipo que falló.

### *Desventajas en el uso de fusibles*

- Un fusible podrá realizar únicamente una interrupción. Siendo necesario cambiar la unidad completa en caso de que se haya destruido por causa de una falla.
- En algunos casos existe el riesgo de accidentes debido a un choque eléctrico en el momento de la reinstalación de un fusible. Cuando el fusible opera, existe siempre la posibilidad de un reemplazo equivocado, lo que pone en peligro no sólo al sistema sino también al personal que se encarga de efectuar este trabajo.

- Otro riesgo que se corre es el de una selección inadecuada de estos dispositivos de protección, ya que en cierta forma se desconoce la existencia de la gran variedad de fusibles en el mercado nacional..

### *Interruptor termo magnético*

Es un dispositivo que nos permite conectar o desconectar la alimentación ya sea en condiciones normales o anormales (de falla) de operación, además estos interruptores están equipados con un disparador térmico que actúa durante la aparición de sobre corrientes bajas (sobrecargas), y de un disparador magnético para las sobre corrientes elevadas (cortocircuitos). De aquí el nombre de interruptores automáticos termo magnéticos.

La curva característica del disparador térmico se llama de tiempo inverso, lo que significa que el tiempo de acción (es decir, el tiempo de apertura del circuito protegido) es menor a medida que crece la corriente que lo atraviesa. Este proceso térmico y su incidencia en la dilatación de dicha lámina bimetalica, depende de las condiciones de temperatura y presión que tenga el aire que rodea dicha lámina.

Por eso, algunos fabricantes han desarrollado su interruptor con un disparador térmico compensado en temperatura (es decir, cuyas características no se vean afectadas por la temperatura ambiente).

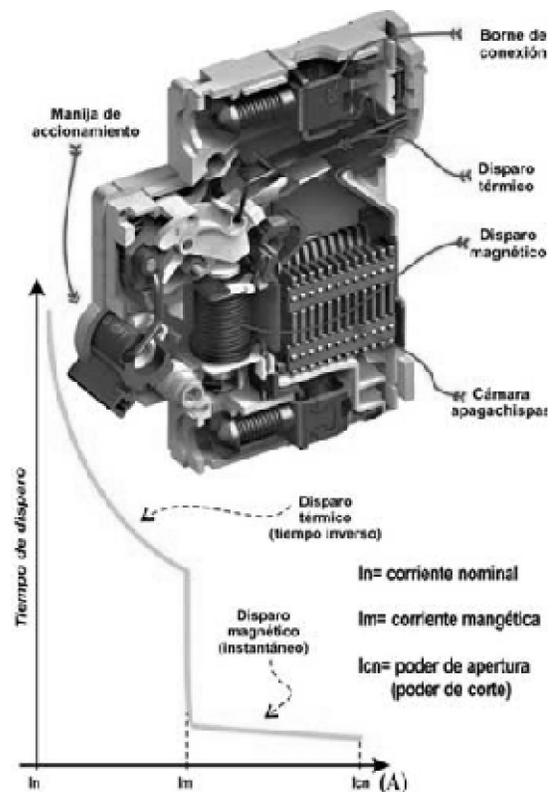


Figura 97 Estructura de interruptor

Por otro lado, el disparador magnético está constituido por una bobina (electroimán) que atrae una pieza articulada (armadura) cuando la corriente llega a un cierto valor. Esta

acción es la que, a través de ciertos acoplamientos mecánicos, produce la apertura de los contactos principales del interruptor.

*Disparo térmico:* La circulación de la corriente es a través de una tira bimetálica, la resistencia de la tira bimetálica desarrolla calor el cual origina que el bimetal se incline hasta que su movimiento sea lo suficiente para activar el mecanismo y permitir que el interruptor opere.

*Disparo magnético:* Para grandes corrientes de falla se adiciona un solenoide magnético que es el camino de la corriente a través del interruptor, este atrae una armadura magnética para provocar el disparo del interruptor.

#### *Dispositivos de mando*

Son dispositivos que dentro de un sistema eléctrico impiden el paso de la corriente.

#### *Botones pulsadores*

Es un dispositivo que que proporciona el control de un motor al oprimir un botón causando con ello cierre o apertura de contactos.



**Figura 98 Diversidad de Botones pulsadores**

En el Botón pulsador normalmente cerrado (NC). Cuando esté es pulsado, los contactos internos abren, cortando la señal de mando, mientras que en los Botones Normalmente abiertos (NA) los contactos cierran, permitiendo el paso de la señal.

#### *Interruptor de limite (limit switch o micro)*

Los finales de carrera son accionados por el movimiento del mecanismo en sí, por lo general al final de su recorrido o en un punto predeterminado en el camino de su movimiento. Por ejemplo, en maquinaria de elevación un final de carrera se desconecta el motor y aplica el freno al acercarse el punto final, protegiendo así el mecanismo del daño.

#### *Interruptor flotador*

Dispositivo de mando que al igual que el anterior, convierte una acción mecánica en una señal eléctrica, al abrir o cerrar contactos cuando el nivel del líquido sube o baja.



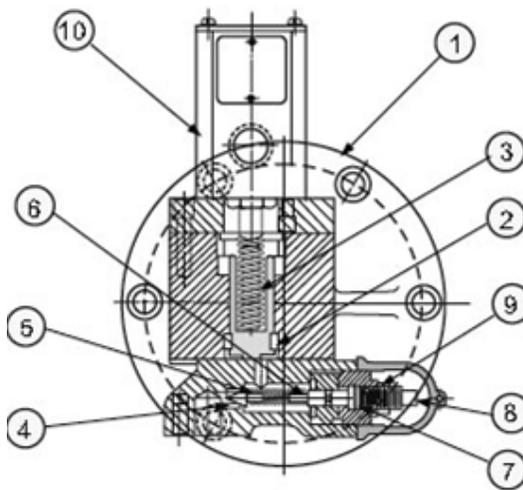
Figura 99 Limit switch

#### *Interruptor de presión*

Son dispositivos que al detectar un nivel de presión de gases, agua, aceite, etc., accionan contactos en forma mecánica. Son llamados también Presostatos.

1. Cuerpo

2. Pistón actuador
3. Resorte
4. Asiento
5. Pistón piloto
6. Resorte piloto
7. Tornillo de ajuste de émbolo
8. Tornillo de ajuste
9. Contratuerca de tornillo de ajuste
10. Interruptor fin de carrera



**Figura 100 Partes de un interruptor de presión**

Un ejemplo de un interruptor de presión es un conjunto hidráulico-eléctrico que se utiliza para desconectar el motor de la bomba siempre que la presión del sistema exceda un valor máximo predeterminado. El interruptor se monta en cubierta de la bomba de modo que los puertos de presión de baja anteriores drenen directamente en la cubierta de la bomba.

Este interruptor de presión consiste principalmente en una válvula hidráulica fijada por brida, a la cual se fije un interruptor de límite electrónico normalmente cerrado

La válvula consiste en dos componentes hidráulicamente interconectados, el subconjunto de la válvula piloto que va roscado en la parte inferior (1), funciona para detectar la presión

del sistema, continuamente e inicia la acción del interruptor de presión del interruptor de presión siempre que esta presión exceda el valor de consigna ajustada en el piloto. La presión de sistema es dirigida dentro del puerto inferior y aplicada contra la extremidad expuesta del pistón piloto (5). Este pistón es sostenido en su asiento por la compresión del resorte del pistón (6) que es dependiente de la posición del tornillo de reglaje (8). Siempre que la presión haga una fuerza suficientemente grande para levantar el pistón de su asiento, el fluido se desplaza a través de un paso de interconexión al compartimiento del pistón de impulsión (2). La fuerza fluida resultante levanta el pistón de impulsión contra la fuerza del resorte (3) y causa la depresión del embolo interruptor extendido. Esto, a la vez, desconecta el interruptor eléctrico contenido, que se puede conectar en el sistema de suministro eléctrico del motor de la bomba.

### *Interruptor de flujo*

Un interruptor de flujo de caudal, es normalmente un simple dispositivo que controla el flujo y envía una señal de disparo a otro dispositivo como una bomba para protegerla. Algunas aplicaciones de interruptor de flujo son:

- Protección de la bomba
- Protección del circuito de refrigeración
- Alarmas tipo alto y bajo flujo y monitoreo general del flujo, este interruptor del tipo de flujo se utilizan en el aire, el vapor y el líquido

### *Dispositivos lógicos*

#### *Relevadores*

EL relevador o comúnmente llamado Relé, que requiere una sola tensión o corriente para activar su bobina Los relés auxiliares o relevadores se distinguen de los contactores en que éstos no tienen contactos de fuerza, pero pueden tener múltiples contactos abiertos o cerrados



**Figura 101 Relevador**

### *Relé térmico*

Detecta un sobre-intensidad debido al aumento de temperatura que hará que las láminas bimetálicas se curven y se active el disparo del contacto asociado y cuentan con reposición manual.

### *Relé electromagnético:*

Detecta una sobre intensidad debido al aumento del campo magnético inducido por dicha corriente, haciendo que se dispare el contacto asociado.

- Protege contra corto circuitos
- Si se utiliza para proteger motores, debe soportar el pico de corriente en el arranque.
- Se suele utilizar en conjunción con un térmico.



**Figura 102 Relé**

*Relés de tipo armadura.* Son los más antiguos y también los más utilizados. El esquema siguiente nos explica prácticamente su constitución y funcionamiento. El electroimán hace vascular la armadura al ser excitada, cerrando los contactos dependiendo de si es N.O ó N.C (normalmente abierto o normalmente cerrado).

*Relés de Núcleo Móvil.* Estos tienen un émbolo en lugar de la armadura anterior. Se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos, debido a su mayor fuerza atractiva (por ello es útil para manejar altas corrientes).

*Relés Polarizados.* Llevan una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. El extremo inferior puede girar dentro de los polos de un electroimán y el otro lleva una cabeza de contacto. Si se excita al electroimán, se mueve la armadura y cierra los contactos. Si la polaridad es la opuesta girará en sentido contrario, abriendo los contactos ó cerrando otro circuito (ó varios).

### *Relé magnetotérmico*

Combina las acciones de los relés térmicos y electromagnéticos

Ejemplo: Disyuntor. Se trata de un relé magneto térmica con un interruptor, el cual se utiliza para protecciones de motores de pequeña potencia (guardamotores).

Los disyuntores de protección de motores pueden proporcionar las siguientes funciones de protección y control.

- Desconexión para circuito derivado de motores
- Protección contra cortocircuito y de circuito derivado (protección magnética)
- Protección contra sobrecarga (protección térmica)
- Conmutación (manual)



**Figura 103 Disyuntor  
Allen Bradley**

### *Relé de estado sólido*

Los niveles de control de entrada lógica de los relés de estado sólido son compatibles con muchos controladores industriales disponibles en el mercado, tales como controladores de temperatura y PLC. El diseño de conmutación de los relés de estado sólido no utiliza piezas

móviles ni contactos que puedan desgastarse. Es por ello que brindará un gran rendimiento en una variedad de ambientes hostiles.

Los relés de estado sólido usan componentes electrónicos que no se ven afectados por choques y vibraciones, en lugar de dispositivos mecánicos para conmutación de carga, y su vida útil estimada es de aproximadamente 100,000 horas en estado conmutado, o 11.4 años.

El relé de estado sólido (SSR) es un elemento que permite aislar eléctricamente el circuito de entrada o mando y el circuito de salida. Las diferentes partes que forman un SSR son:

- Circuito de entrada
- Aislamiento, está asegurado generalmente por un acoplamiento óptico con semiconductor

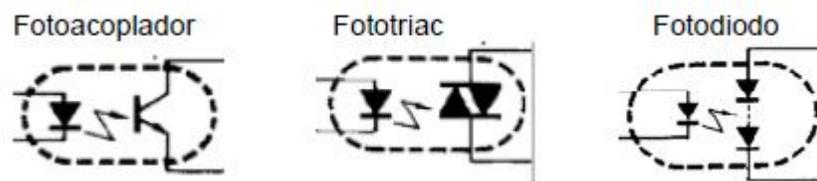


Figura 104 Tipos de aislamiento

- Circuito de salida, Salida CA con tiristores o triacs, salida CC con transistor bipolar o MOS FET, salida CA-CC con transistor MOS FET (ya que tiene igual ganancia en directo que en inverso)
- Protección frente a transitorios, (En algunos modelos): Los más frecuentemente utilizados son redes RC, diodos, etc.

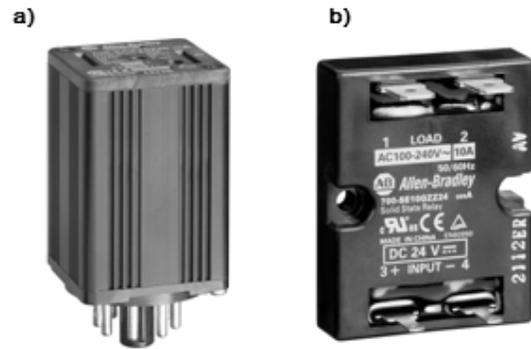


Figura 105 Tipos de relés. a) Tube Base Relay b) Flat Pack Relay

### *Dispositivos de Salida*

#### *Contactores*

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina

El contactor, al igual que el relé, sigue siendo un conmutador eléctrico formado por un electroimán y unos contactos conmutadores mecánicos que son impulsados por el electroimán. La gran ventaja es que requiere una corriente de sólo unos cientos de miliamperios generada por una tensión de sólo unos voltios, mientras que los contactos pueden estar sometidos a una tensión de cientos de voltios y soportar el paso de decenas de amperios. Por tanto, el conmutador permite que una corriente y tensión pequeñas controlen una corriente y tensión mayores. La diferencia entre relé y contactor está en la presencia en este último de los denominados contactos de potencia o de fuerza, además de tener contactos de control y maniobra el contactor posee unos contactos robustos que permiten el paso de elevadas intensidades.

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos, de la intensidad admisible por los mismos, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación, etc.



Figura 106 Al controlar grandes potencias se les llama contactores en lugar de relés.

Constitución de un contactor electromagnético.

- *Contactos principales.* Son los destinados a abrir y cerrar el circuito de potencia. Están abiertos en reposo.
- *Contactos auxiliares.* Son los encargados de abrir y cerrar el circuito de mando. Están acoplados mecánicamente a los contactos principales y pueden ser abiertos o cerrados.
- *Bobina.* Elemento que produce una fuerza de atracción (FA) al ser atravesado por una corriente eléctrica. Su tensión de alimentación puede ser de 12, 24 y 220V de corriente alterna, siendo la de 220V la más usual.
- *Armadura.* Parte móvil del contactor. Desplaza los contactos principales y auxiliares por la acción (FA) de la bobina.
- 
- *Núcleo.* Parte fija por la que se cierra el flujo magnético producido por la bobina.

- Resorte. Es un muelle encargado de devolver los contactos a su posición de reposo una vez cesa la fuerza.

### *Arrancadores*

Un arrancador consiste en la combinación de un contactor y un relevador de sobrecarga conectado entre sí y a una estación de botones, ya sea remota o local. El arrancador es un dispositivo que conecta o desconecta el motor a la red, acelerándolo de su reposo a su velocidad nominal.

En el mercado existen dos tipos de arrancadores para la misma función. Los que siguen las normas NEMA y los de tipo europeo o IEC.



**Figura 107 Boletín  
309 Arrancadores de  
CA NEMA**

La diferencia entre ambos es la filosofía de diseño. El NEMA está fabricado para todos los motores que correspondan a una potencia, y en cambio, el IEC, de acuerdo con el número de arranques y de sobrecargas del motor, se selecciona el arrancador.

Las funciones de un arrancador son:

- Arrancar y parar el motor
- Dar protección al motor contra sobrecargas
- Proteger tanto al motor como al operador contra bajo voltaje
- Proteger al motor contra pérdidas de una sola fase

Los componentes principales de un arrancador son:

- Contactos
- Armadura
- Núcleo

- Bobina
- Relevador de sobrecarga

Hay muchos tipos de arrancadores de motor, tomando el nombre que se les designa, de la operación o clase del motor a que son destinados, por ejemplo, un motor podría necesitar un arrancador a tensión plena, manual monofásico y de CA. Para definir por completo el arrancador es necesario además, precisar la tensión y potencia nominales del mismo, según el trabajo a realizar.

Se verán algunas clasificaciones, sin olvidar que cualquier arrancador en particular puede ser una combinación de varias de los tipos mostrados

*Arrancador automático.* Consta de un contactor más un control protector

*Arrancador a tensión nominal.* Se le llama también arrancador directo y se dice que es cualquier arrancador que conecta el motor directamente a la tensión de línea, sin algún medio de reducir la tensión aplicada.

*Arrancador a tensión reducida.* Arrancador que posee algún medio de reducir la tensión de la línea que se aplica al motor durante el periodo de arranque.

## **8.2 Interpretación de los diagramas eléctricos**

Diagrama general de conexiones.

Este diagrama se elabora dibujando cada uno de los símbolos que representan el equipo usando, distribuidos de tal manera que representan la misma forma en que se encuentran físicamente.

## Ventajas

- Ayuda a identificar los componentes y cableado del control

## Usos

- Cuando se realizan las conexiones del sistema
- Si se requiere seguir el circuitos físico para descubrir alguna falla

### 8.2.1 Tipos de diagramas

#### *Diagrama Unifilar*

Estos esquemas son los más utilizados para representar instalaciones eléctricas o parte de ella, ya que son más simples y rápidos de realizar, además pueden sintetizar mayor cantidad de datos. El esquema unifilar se distingue de otros tipos de esquemas eléctricos en que el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de conductores que lleve este circuito, solo se hace un trazo, y tantos trazos transversales como líneas lleve el circuito, en estos circuitos se pueden indicar todos los datos que se quiera: sección, caída, longitud, potencia o intensidad, medidas de la canalización, calibre de las protecciones....

Un circuito sería una rama del esquema unifilar con dos extremos. El extremo superior puede ser el inicio del esquema unifilar o estar conectado a otro circuito por arriba. El extremo inferior puede estar conectado a uno o más circuitos por abajo, o a un receptor.

El número de conductores de un circuito se representa mediante unos trazos oblicuos, y paralelos entre sí, que se dibujan sobre la línea. Solamente se representan los conductores activos (no el de tierra), por lo que es habitual encontrar dos, tres o cuatro trazos, para circuitos monofásicos, trifásicos sin neutro y trifásicos más neutros, respectivamente.

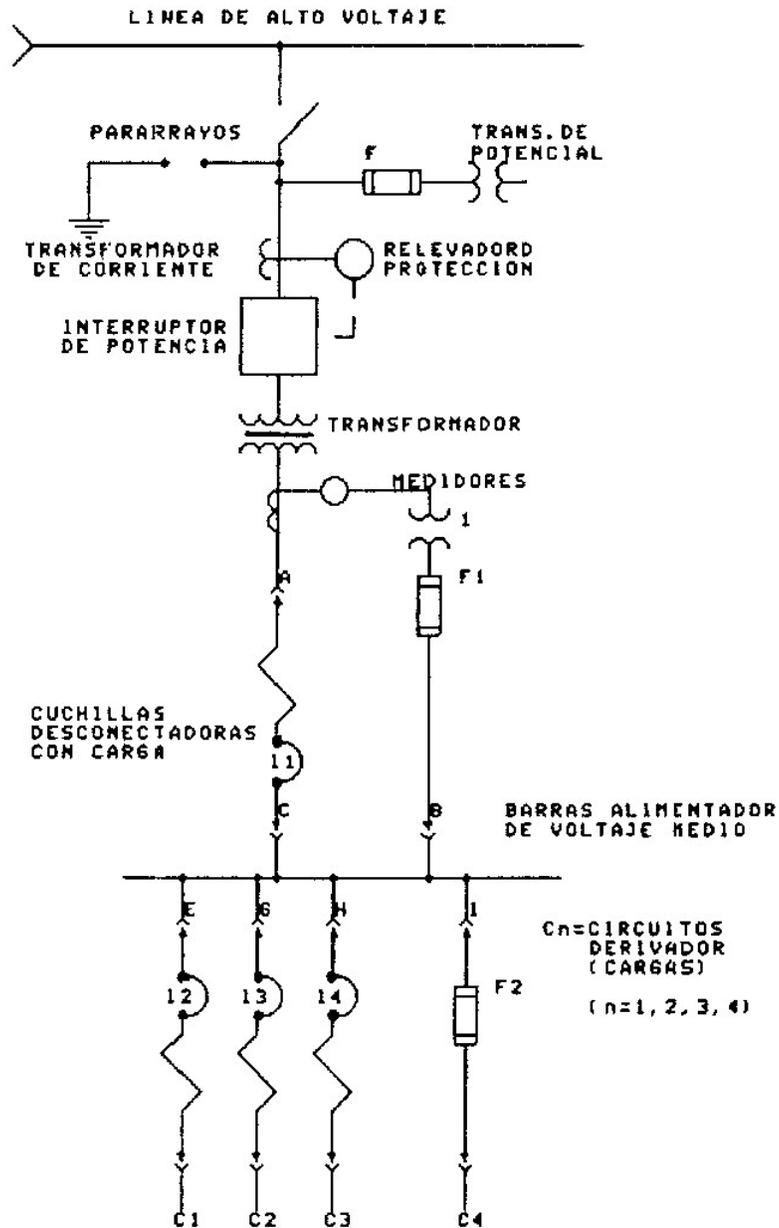


Figura 108 Típicamente el esquema unifilar tiene una estructura de árbol

#### Ventajas

- Muy útil en trabajos de montaje
- Es más compacto
- Involucra una mayor cantidad de dispositivos

#### Desventajas

- Es más complicado para poder interpretarlo



- Estas dos líneas verticales se unen con líneas horizontales en las que se dibuja la simbología de cada dispositivo. Estas se enumeran de arriba hacia abajo. El número se escribe a un lado de la línea vertical izquierda
- Los elementos que pertenezcan a un mismo dispositivo, tienen la misma abreviatura
- Sobre la misma línea de los aparatos accionadores, a un lado de la línea vertical derecha, se indica el número de la línea en que tienen elementos
- Todos los símbolos se muestran sin accionar.

### **8.2.2 Tipos de circuitos**

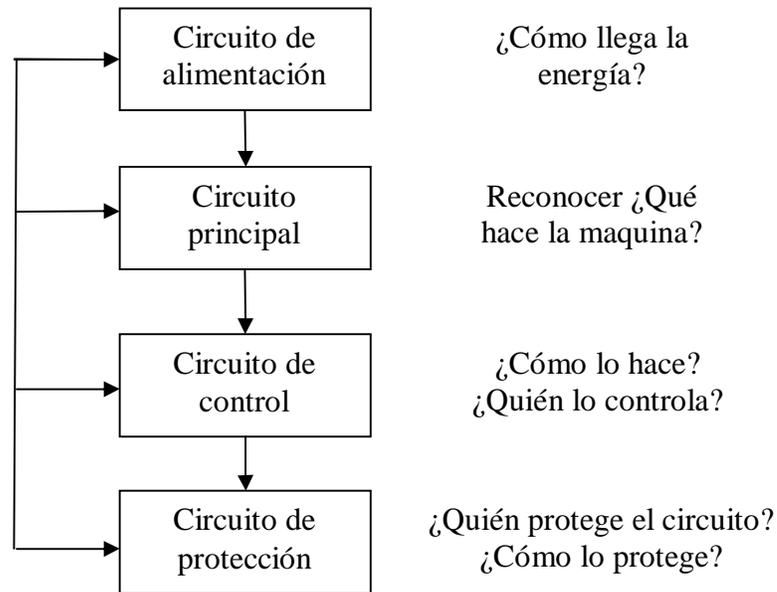
Lo primero para desarrollar un circuito de control es realizar una investigación sobre las funciones que realiza la máquina o dispositivo a controlar y los equipos que sean accionados por dicha máquina. Esto facilita la interpretación.

Todos los circuitos son variaciones de dos tipos básicos

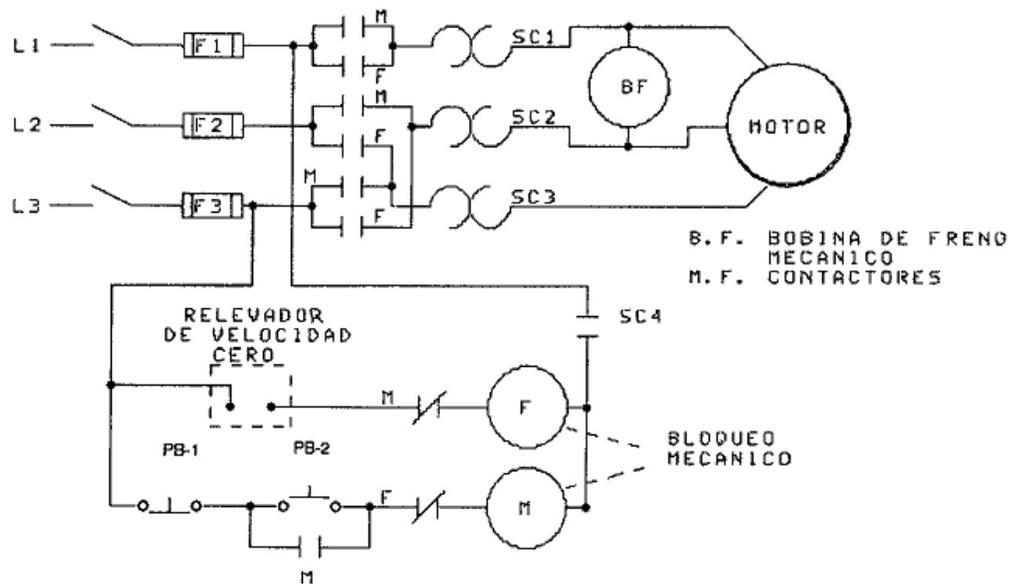
- a) Circuito a dos hilos. En este circuito se usa un elemento de control sostenido, y se caracteriza porque a la bobina del contactor llegan dos hilos
- b) Circuito a tres hilos. Es un circuito de control que se incluye un contacto de retención, llamado de enclavamiento, además de que se utiliza contactos momentáneos en los botones Paro – Arranque.

Todos los circuitos por complejos que sean, son variaciones de los dos tipos básicos mencionados anteriormente y se puede partir de esto para desarrollar y analizar otros esquemas de control.

Lo anterior nos lleva a concluir que en el circuito total de funcionamiento de una máquina, debemos identificar los circuitos en la siguiente forma.



Esta diferencia se debe hacer para cualquier circuito Total ya que nos ayudara a reconocer más fácilmente cada parte y por consecuencia mejorara nuestra capacidad de interpretación.



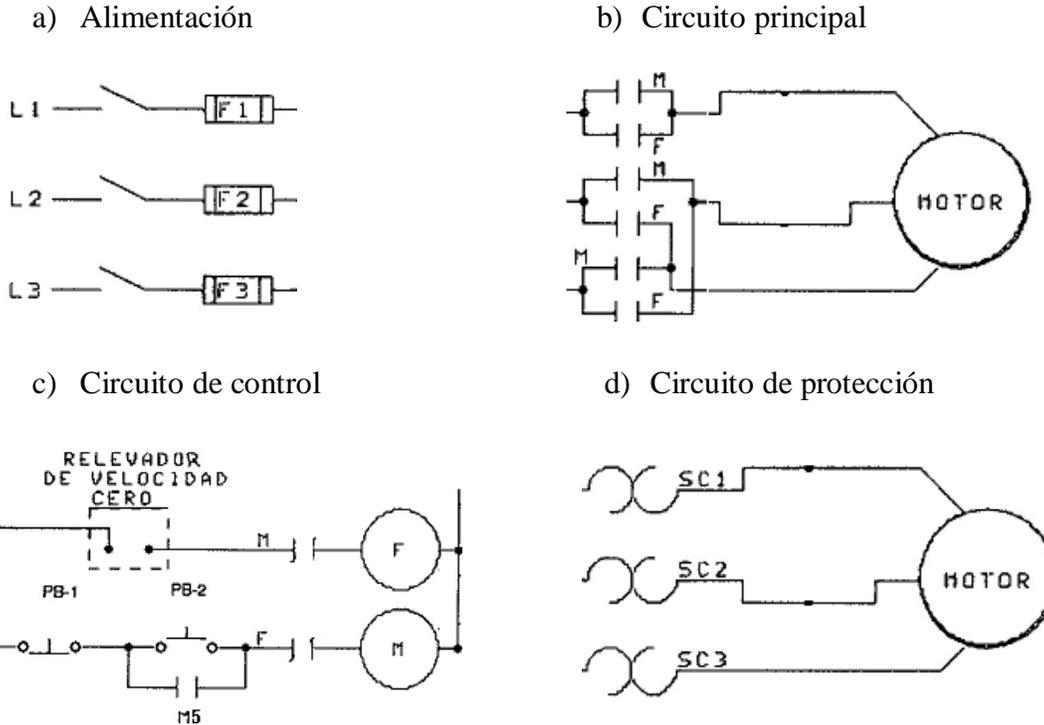


Figura 110 Identificación de las partes de un circuito

### 8.2.3 Lógica de control

LA lógica de control se refiere al estudio de las consecuencias y causas que se involucran en el funcionamiento de dispositivos de control dentro de un sistema eléctrico de protección y operación de motores.

Esto, desde luego, se hace tomando el circuito de control simbolizado en un diagrama.

“El manejo de la lógica de Control, es conocer el funcionamiento de cada elemento y las consecuencias que esto puede ocasionar en el circuito al que pertenece”

- Desarrollar un correcto análisis de un circuito
- La detección de fallas es más efectiva y rápida
- Disminuye el tiempo de diagnóstico de averías.

*Procedimiento Básico de lógica de control.*

Hay que considerar los componentes uno por uno en el circuito, y tratar de saber qué ocurre si se presiona una estación de botones, si se cierra o se abre un contacto, teniendo en cuenta que siempre debe haber un circuito completo desde una línea hasta otra a través de la bobina que excita su relé, contacto o arrancador.

Si el circuito está abierto en cualquier punto, la bobina en particular se desexcitará y sus contactos volverán a su posición normal.

Cuando el circuito de una bobina queda cerrado, el contactor, relé o arrancador están excitados, y sus contactos están en posición contraria a la normal.

Cuando se utilizan tiene un circuito como el de la Fig. 105, hay que cerciorarse de que han sido localizados todos los contactos de cada relé así como su posición, ya que sin ello no será posible comprender la misión del circuito en su conjunto.

Deberá verificar la misión de cada uno de sus componentes normal y excitado.

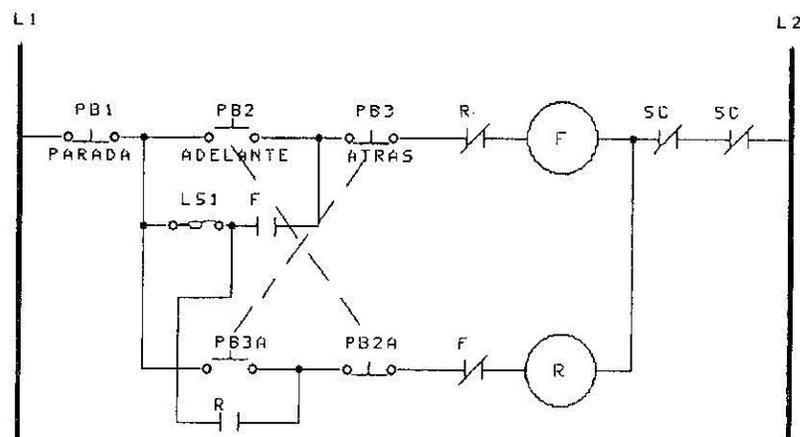


Figura 111 Diagrama 1

Comenzaremos por la parte superior izquierda en L1

El primer componente es un botón de paro (PB1) normalmente cerrado.

A continuación encontraremos tres derivaciones que terminan:

- La 1ra en un botón de arranque (PB2) normalmente abierto marcado adelante
- La 2da en un interruptor (LS1) en posición abierta
- La 3ra es otro botón de arranque (PB3) marcado atrás normalmente abierto.

### *Marcha adelante*

Si presionamos el botón de marcha ADELANTE (PB2), la corriente pasara a través de los contactos normalmente cerrados del pulsador marcha ATRAS, y R excitando la bobina F perteneciente al contacto de marcha adelante, ya que el circuito se cerrara por los contactos de sobrecarga normalmente designados como SC hasta L2

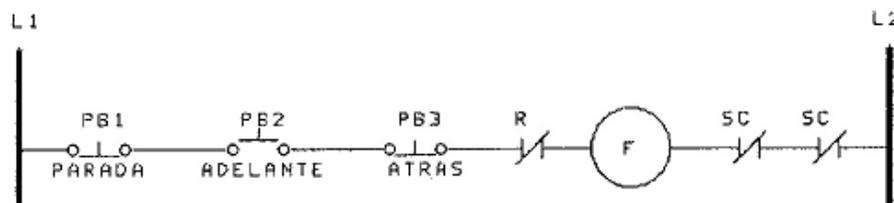


Figura 112 Diagrama 2

El circuito estará completo desde la línea 1 a través de la bobina del arrancador de marcha ADELANTE hasta L2 y la bobina F estará ahora excitada.

LA excitación de esta bobina abrirá el contacto que bloquea eléctricamente la conexión de la bobina de marcha ATRÁS (R), y cerrara el contacto abierto F que retiene la alergización de la misma bobina.

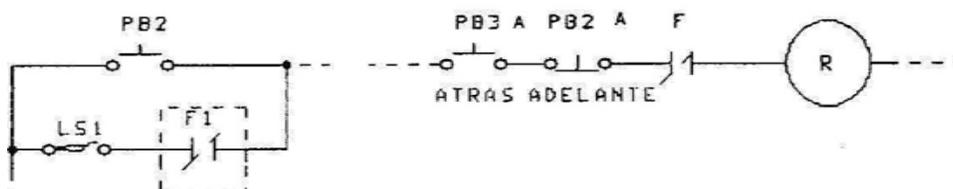


Figura 113 Diagrama 3

La apertura del contacto cerrado de F que bloquea eléctricamente a la bobina R no tiene efecto inmediato en el circuito, a causa de que el contacto normalmente abierto de la estación de botones para la marcha ATRAS (PB3) tiene interrumpido el circuito delante de este contacto.

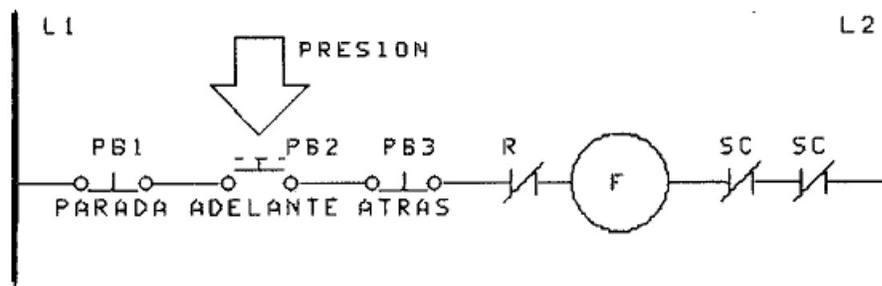


Figura 114 Diagrama 4

Cuando es liberado este botón, el circuito se mantiene a través del contacto y el motor continuara en marcha adelante.

### MARCHA ATRÁS

Supongamos que ahora presionamos el botón marcha ATRÁS (PB3)

Este abrirá su contacto normalmente cerrado y cerrara su contacto normalmente abierto. El resultado será la interrupción del circuito de la bobina F.

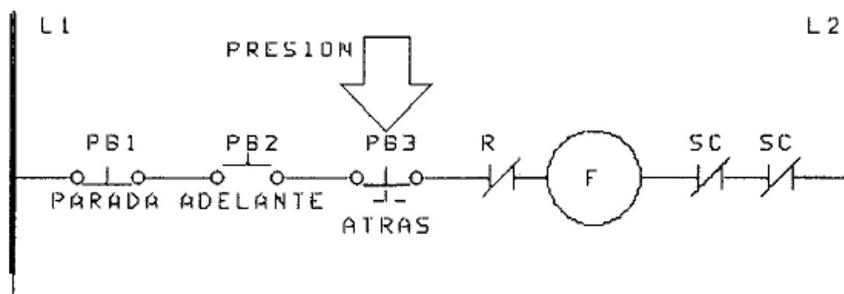


Figura 115 Diagrama 5

El cierre del contacto normalmente abierto no tiene efectos inmediatos, a causa de que el interruptor (LS1) está abierto.

Cuando se libera el botón marcha adelante (PB2) este interrumpe el circuito en este punto desde la línea hasta la bobina F y a causa de que no hay contacto de retención que puntee esta interrupción en el circuito la bobina se desexcitará.

Supongamos que cerramos el interruptor (LS1) de modo que la línea 1 a un lado del contacto normalmente abierto F y apartemos nuevamente el pulsador marcha ADELANTE.

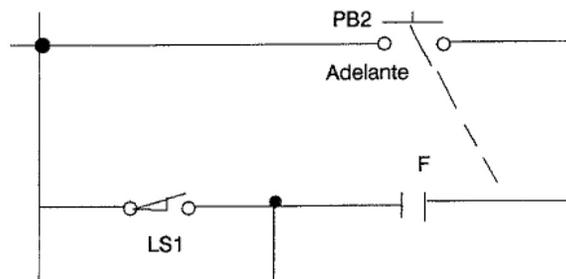


Figura 116 Diagrama 6

La acción del circuito es la misma que explicamos antes, excepto que ahora, al estar cerrando el contacto normalmente abierto de F, se completa el circuito desde la línea 1 por el contacto del botón normalmente abierto.

El funcionamiento del motor en marcha atrás se mantiene por el contacto normalmente abierto R que ahora está cerrado.

El arrancador de marcha ADELANTE no puede poner en funcionamiento al motor por estar abierto el contacto normalmente cerrado R que bloquea eléctricamente el accionamiento de la bobina F.

Si se pone el interruptor (LS1) en a la posición abierta y se oprime el botón marcha ATRÁS (PB3), tenemos exactamente la misma operación que cuando empujamos al de marcha adelante (PB2), excepto que ahora es excitado momentáneamente el arrancador marcha ATRÁS (R).

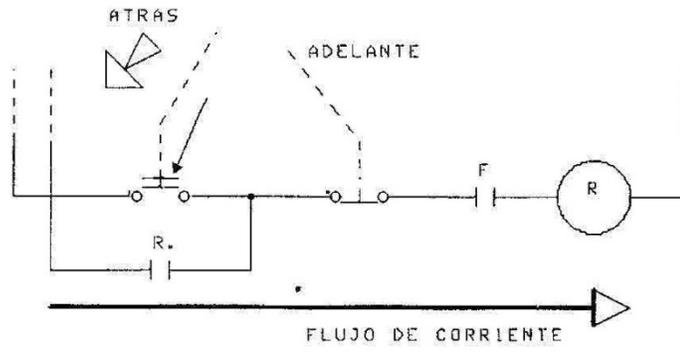


Figura 117 Diagrama 7

# 9 MOTORES ELÉCTRICOS

---

## 9.1 Generalidades

El motor es un elemento indispensable en un gran número de equipos electrónico. El conocimiento de su forma de trabajo y sus propiedades es imprescindible con el objeto de poder efectuar la elección del modelo más adecuado y así poder obtener el mejor rendimiento de los mismos. La misión fundamental del motor eléctrico es la de transformar la energía eléctrica, que se le suministra, en una energía mecánica que será la que se emplea para poner en movimiento el mecanismo del equipo en el que se instale.

Los motores se fabrican de diversas potencias desde una fracción de caballo hasta varios miles de caballos de potencia, también a diferentes valores de tensión, frecuencia velocidad y par de arranque.

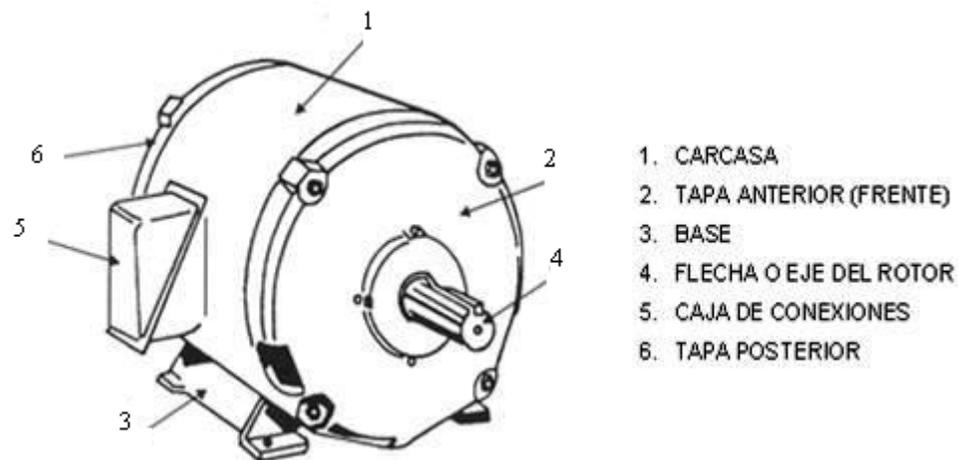


Figura 118 Partes de un motor

Existen varios tipos de motores y continuará proliferando nuevos tipos de motores según avance la tecnología.

## 9.2 Clasificación de los motores eléctricos

### 9.2.1 Tipos de corriente

1. Motores de corriente continua, suelen utilizarse cuando se necesita precisión en la velocidad, montacargas, locomoción, etc.

Se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- Motor serie
  - Motor shunt
  - Motor compound
2. Motores de corriente alterna, se usan mucho en la industria, sobretodo, el motor trifásico asíncrono de jaula de ardilla.

Los motores de corriente alterna son los que se alimentan de este tipo de excitación y comprende dos tipos con propiedades bastantes diferenciadas:

- Motores asíncronos
  - Motores síncronos
3. Motores universales. Son los que pueden funcionan con corriente alterna o continua, se usan mucho en electrodomésticos. Son los motores con colector.

### 9.2.2 Tipo de operación

En los motores de CC es necesario aplicar al inducido una CC para obtener movimiento, así como al inductor en el caso de que éste sea del tipo de electroimán, conociéndose a esta última con la denominación de corriente de excitación. Su construcción suele estar realizada mediante un inductor cilíndrico hueco (imán o electroimán) que contiene un cierto número de pares de polos magnéticos (Norte-Sur), que se conoce con el nombre de Estator.

En su interior se encuentra el inducido o rotor también cilíndrico sobre el cual se encuentra el arrollamiento. El eje está acoplado mediante rodamiento o cojinetes para permitir el giro y dispone de una superficie de contacto montada sobre un dispositivo llamado colector sobre el que se deslizan los contactos externos o escobillas.

Los motores asíncronos también conocidos con el nombre de motores de inducción, basan su funcionamiento en el efecto que produce un campo magnético alterno aplicado a un inductor o estator sobre un rotor con una serie de espiras sin ninguna conexión externa sobre el que se inducen unas corrientes por el mismo efecto de un transformador.

Por lo tanto, en este sistema solo se necesita una conexión a la alimentación, que corresponde al estator, eliminándose, por lo tanto, el sistema de escobillas que se precisa en otros tipos de motores.

Los motores síncronos están constituidos por un inducido que suele ser fijo, formando por lo tanto el estator sobre el que se aplica una corriente alterna y por un inductor o rotor formado por un imán o electroimán que contiene un cierto número de pares de polos magnéticos. El campo variable del estator hace girar al rotor a una velocidad fija y constante de sincronismo que depende de la frecuencia alterna aplicada. De ello deriva su denominación de síncronos, es decir, que su velocidad de rotación será constante y uniforme y estará regulada por la frecuencia de la corriente de alimentación.

Los motores universales pueden recibir alimentación tanto CC como CA, sin que por ello se alteren sus propiedades. Básicamente responden al mismo principio de construcción que los de CC pero excitando tanto a inductor como a inducido con la misma corriente, disponiendo a ambos en serie sobre el circuito de alimentación.

### 9.2.3 Tipos de funcionamiento

#### *Motores de CC o CD*

*Motor serie.* Tiene el devanado de campo inducido conectado en serie con el inducido o devanado de la armadura. Como se muestra en la figura.

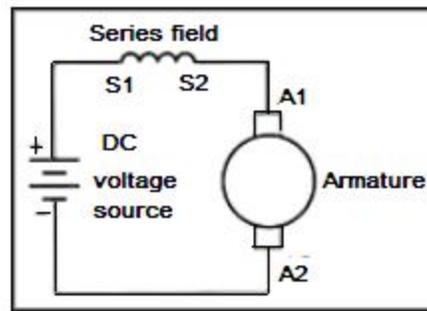


Figura 119 Configuración motor serie

La fuerza del campo varía de acuerdo con las modificaciones de la intensidad en el inducido. El motor gira con mucha lentitud con cargas pesadas y a gran velocidad con cargas livianas

#### *Motor shunt*

El devanado de campo está conectado directamente con la línea de alimentación y por lo tanto, es independiente de las variaciones de carga y de la corriente del inducido.

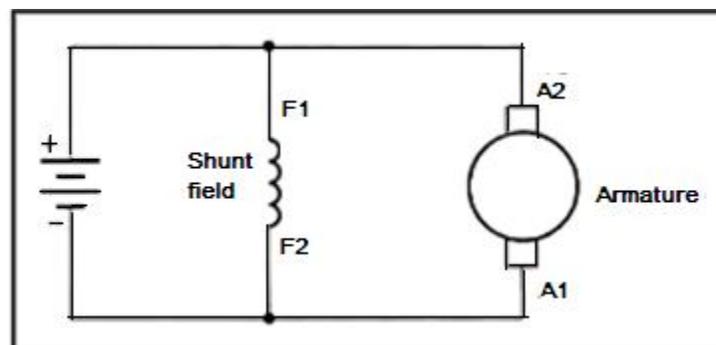


Figura 120 Configuración Shunt

La velocidad del motor shunt solo varia levemente con los cambios de carga y su fuerza de arranque, no es tan grande como con otros tipos de motores de CC.

### *Motor compound*

Es una combinación en motor en serie y derivación, este último caso se aprovechan las ventajas de los motores serie y shunt. Está constituido por un juego de bobinas de campo o inductor conectado en serie con el inducido, mientras que el otro juego lo está en paralelo

### *Motors Compound acumulativo*

El motor compuesto acumulado es uno de los motores de corriente continua más común, ya que proporciona un alto par de arranque y buena regulación de velocidad a altas velocidades. Dado que el campo en derivación está conectado con la polaridad similar en paralelo con el campo magnético de ayudando al campo en serie y el campo de la armadura, se le llama acumulativas. Cuando el motor está conectado de esta manera, se puede comenzar incluso con una carga grande y de buen funcionamiento cuando la carga varía ligeramente.

### *Motor Compound diferencial*

Están conectados en una forma ligeramente diferente, cuando la polaridad del campo en derivación se invierte de esta manera, su campo se opondrá a los otros campos y las características del motor derivación no serán tan marcadas en este motor

Esto significa que el motor tenderá a exceso de velocidad cuando la carga se reduzca al igual que un motor en serie. Su velocidad también bajará más que el motor compuesto acumulado cuando la carga aumenta al régimen del total. Estas dos características hacen que el motor diferencial de menos deseable que el motor acumulada para la mayoría de las aplicaciones, por estas razones prácticamente no tiene aplicaciones debido a que con motores de C.A. se obtienen mejores características.

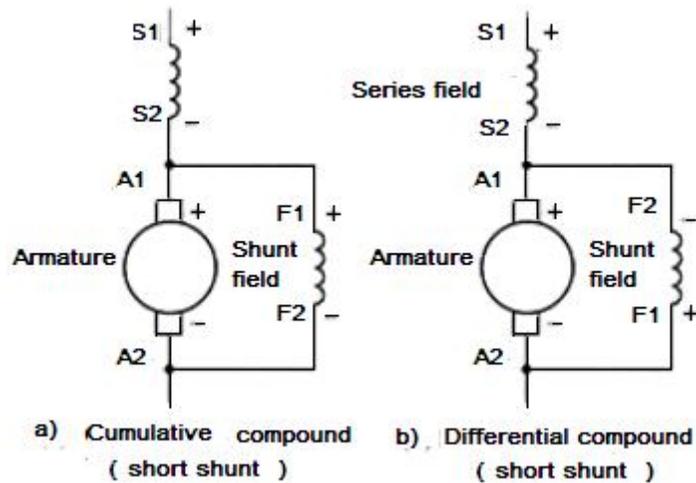


Figura 121 Configuraciones Compound

## Motores de CA

### El Motor Síncrono

Este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Por ejemplo si la fuente es de 60Hz, si el motor es de dos polos, gira a 3600 RPM; si es de cuatro polos gira a 1800 RPM y así sucesivamente. Este motor o gira a la velocidad constante dada por la fuente o, si la carga es excesiva, se detiene.

El motor síncrono es utilizado en aquellos casos en que los que se desea velocidad constante. En nuestro medio sus aplicaciones son mínimas y casi siempre están en relacionadas con sistemas de regulación y control mas no con la transmisión de potencias elevadas.

Como curiosidad vale la pena mencionar que el motor síncrono, al igual que el motor de corriente directa, precisa de un campo magnético que posibilite la transformación de energía eléctrica recibida por su correspondiente armadura en energía mecánica entregada a través del eje.

A pesar de su uso reducido como motor, la maquina sincrónica es la más utilizada en la generación de energía eléctrica. Por ejemplo, en nuestro país, todas las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas mediante generadores sincrónicos trifásicos.

### *El Motor Asincrónico o de Inducción*

Si se realizara a nivel industrial una encuesta de consumo de la energía eléctrica utilizada en alimentar motores, se vería que casi la totalidad del consumo estaría dedicado a los motores asincrónicos.

Estos motores tienen la peculiaridad de que no precisan de un campo magnético alimentado con corriente continua como en los casos del motor de corriente directa o del motor sincrónico.

Una fuente de corriente alterna (trifásica o monofásica) alimenta a un estator. La corriente en las bobinas del estator induce corriente alterna en el circuito eléctrico del rotor (de manera algo similar a un transformador) y el rotor es obligado a girar.

De acuerdo a la forma de construcción del rotor, los motores asincrónicos se clasifican en:

- *Motor Asincrónico de Rotor Bobinado.* Se utiliza en aquellos casos en los que la transmisión de potencia es demasiado elevada (a partir de 200 kw) y es necesario reducir las corrientes de arranque. También se utiliza en aquellos casos en los que se desea regular la velocidad del eje.
- *Motor Asincrónico tipo Jaula de Ardilla.* Finalmente aquí llegamos al motor eléctrico por excelencia. Es el motor relativamente más barato, eficiente, compacto y de fácil construcción y mantenimiento.

Siempre que sea necesario utilizar un motor eléctrico, se debe procurar seleccionar un motor asincrónico tipo jaula de ardilla y si es trifásico mejor.

Por otro lado, la única razón para utilizar un motor monofásico tipo jaula de ardilla en lugar de uno trifásico será porque la fuente de tensión a utilizar sea también

monofásica. Esto sucede en aplicaciones de baja potencia. Es poco común encontrar motores monofásicos de más de 3 kw.

#### 9.2.4 Tipo de rotor

##### *Motor Asíncrono de Rotor Bobinado*

Su característica principal es que el rotor se aloja un conjunto de bobinas que además se pueden conectar al exterior a través de anillos. Colocando resistencias variables en serie a los bobinados del rotor se consigue suavizar las corrientes de arranque. De la misma manera, gracias a un conjunto de resistencias conectadas a los bobinados del rotor, se consigue regular la velocidad del eje. Un detalle interesante es que la velocidad del eje nunca podrá ser superior que la velocidad correspondiente si el motor fuera síncrono.

El nombre de rotor devanado es en realidad la descripción de su rotor; está embobinado con alambre. Tres puntas del circuito de devanado del rotor de un motor de este tipo se conecta a “anillos colectores” sólidos. Sobre estos anillos se desliza escobillas de carbón.

Las partes esenciales de un motor trifásico de inducción con rotor devanado son las siguientes:

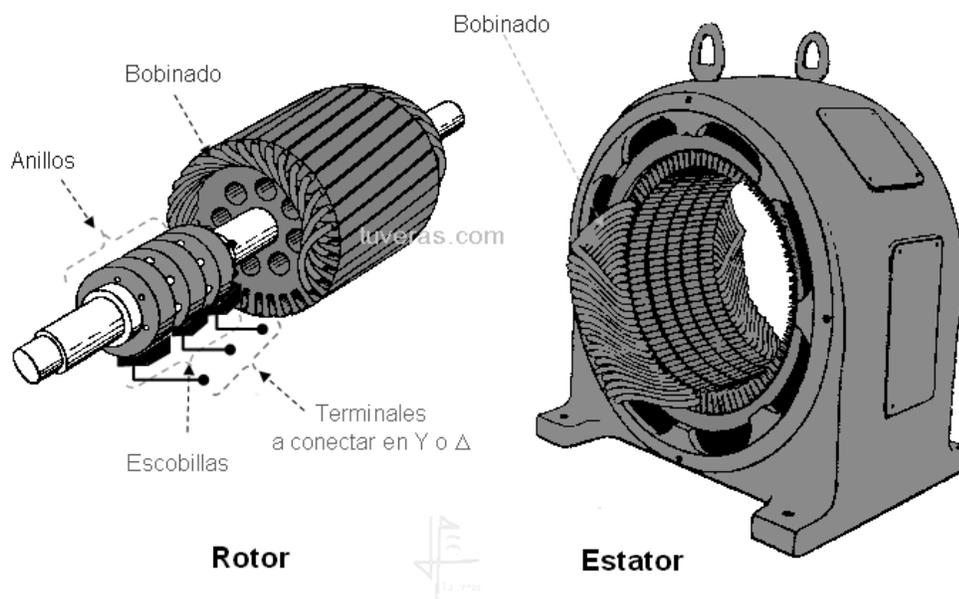
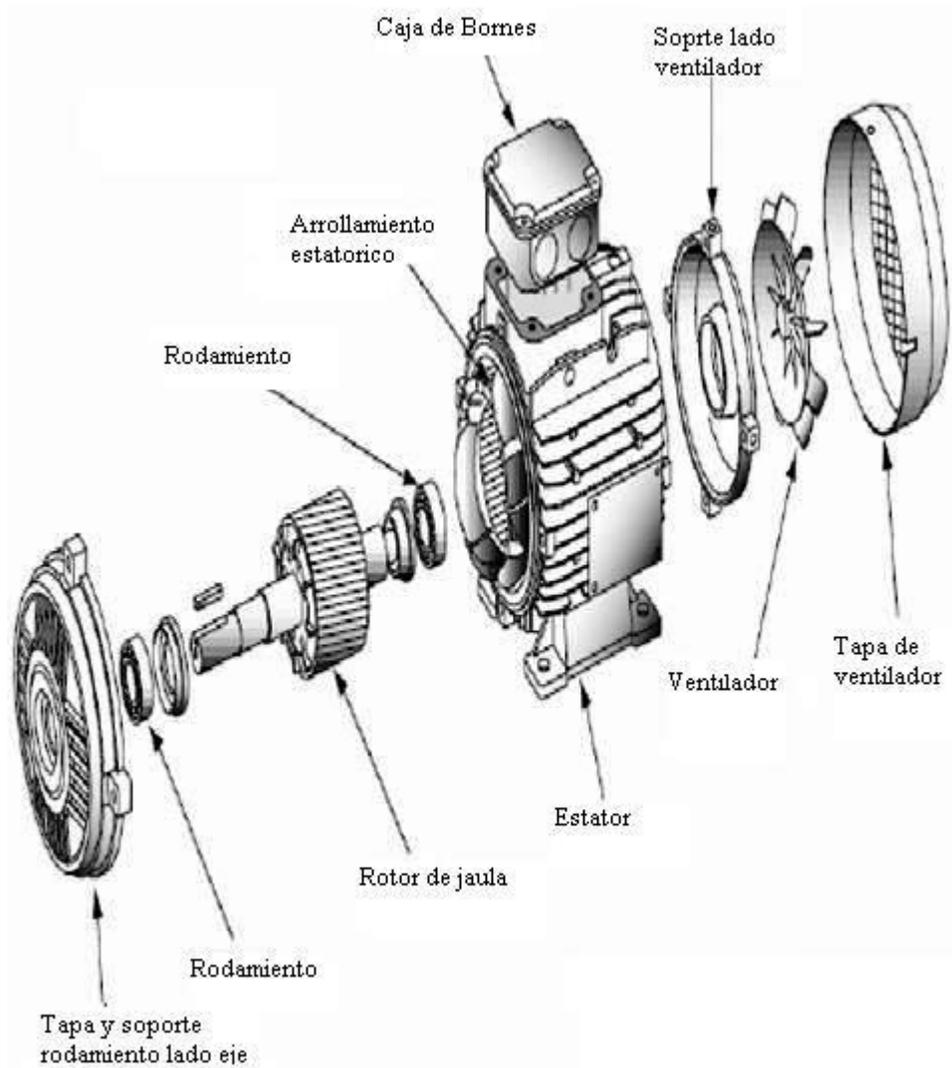


Figura 122 Partes de un motor de rotor devanado

- El núcleo del estator
- El rotor del devanado completo con anillos colectores.
- Las escobillas y sus soportes
- Dos tapas o escudos de los extremos que alojan a los cojinetes que sostienen el eje del rotor

*Motor Asíncrono tipo Jaula de Ardilla*

La diferencia con el motor de rotor bobinado consiste en que el rotor está formado por un grupo de barras de aluminio o de cobre en formas similar al de una jaula de ardilla.



**Figura 123** Despiece de motor eléctrico

### 9.2.5 Tipo de arranque

Los dispositivos de arranque pueden ser de operación manual o por contactores. Estos últimos permiten efectuar el mando a distancia del motor (sólo se requiere la corriente necesaria para la bobina del contactor), lo que facilita el accionamiento y diseño del dispositivo de control por trabajar con intensidades reducidas.

#### *Arranque de motores CC*

Los motores de corriente directa de pequeña capacidad se pueden arrancar al conectar directamente el motor al voltaje de línea. Los motores con capacidad nominal de 2 caballos de fuerza o más en general requieren un arrancador con voltaje reducido. El voltaje reducido para el arrancador se obtiene al emplear resistencias en serie con la armadura del motor, o bien, al hacer variar el voltaje de alimentación a la armadura

Los motores de corriente continua en accionamientos de voltaje ajustable y velocidad ajustable se arrancan al hacer girar el control de la velocidad, desde cero hasta la velocidad deseada, o bien, mediante circuitos internos que elevan paulatinamente el voltaje de la armadura hasta el valor deseado. No se requiere equipo de arranque que no sea el rectificador o generador de voltaje de la armadura.

#### *Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula*

Los motores de corriente alterna con rotor en jaula de ardilla se pueden poner en marcha mediante los métodos de arranque directo o a tensión reducida (excluimos de esta exposición a los motores monofásicos).

- Arranque directo de motores asincrónicos con rotor en jaula

Se dice que un motor arranca en forma directa cuando a sus bornes se aplica directamente la tensión nominal a la que debe trabajar.

Si el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que las líneas de alimentación incrementen considerablemente su carga y como consecuencia directa se produzca una caída de tensión. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su principal ventaja es el elevado par de arranque: 1,5 veces el nominal.

- Arranque a tensión reducida de motores asincrónicos con rotor en jaula

El método consiste en producir en el momento del arranque una tensión menor que la nominal en los arrollamientos del motor. Al reducirse la tensión se reduce proporcionalmente la corriente, la intensidad del campo magnético.

Entre los métodos de arranque por tensión reducida más utilizados podemos mencionar el de arrancador estrella-triángulo, el de autotransformador de arranque y el de arrancador electrónico.

#### Arranque de motores asincrónicos con rotor bobinado

En los motores de corriente alterna con rotor bobinado, para efectuar el proceso de puesta en marcha se instala un reóstato de arranque conectado a los anillos rozantes del motor de manera de aumentar a voluntad la resistencia rotórica total.

En este método, el motor arranca con toda la resistencia en serie con el circuito del rotor. Luego por medios manuales o automáticos, en forma continua o escalonada, se va reduciendo la resistencia a medida que la máquina gana velocidad, hasta que en régimen permanente el reóstato queda en cortocircuito.

### 9.2.6 Datos de Placa

1. *Número de serie [SERIAL No. / I.D.]*: Es el número exclusivo de cada motor o diseño para su identificación, en caso de que sea necesario ponerse en comunicación con el fabricante.
2. *Tipo [TYPE]*: Combinación de letras, números o ambos, seleccionados por el fabricante para identificar el tipo de carcasa y de cualquier modificación importante en ella. Es necesario tener el sistema de claves del fabricante para entender este dato.
3. *Número de modelo [MODEL/ STYLE]*: Datos adicionales de identificación del fabricante.
4. *Potencia [HP]*: La potencia nominal (hp) es la que desarrolla el motor en su eje cuando se aplican el voltaje y frecuencia nominales en las terminales del motor, con un factor de servicio de 1.0.
5. *Armazón o Carcasa [FRAME]*: La designación del tamaño de la armazón es para identificar las dimensiones del motor. Si se trata de una armazón normalizada por la NEMA o IEC incluye las dimensiones para montaje, con lo cual no se requieren los dibujos de fábrica.
6. *Factor de servicio [SERVISEFACTOR o SF]*: Los factores de servicio más comunes son de 1.0 a 1.15. Un factor de 1.0 significa que no debe demandarse que el motor entregue más potencia que la nominal, si se quiere evitar daño al aislamiento. Con uno de 1.15 (o cualquiera mayor de 1.0), el motor puede hacerse trabajar hasta una potencia igual a la nominal multiplicada por el factor de servicio sin que ocurran daños al sistema de aislamiento. Sin embargo, debe tenerse presente que el funcionamiento continuo dentro del intervalo del factor de servicio hará que se reduzca la duración esperada del sistema de aislamiento.

7. *Corriente [AMPS]*: Indica la intensidad de la corriente que toma el motor al voltaje y frecuencia nominales, cuando funciona a plena carga (corriente nominal).
8. *Voltaje [VOLTS]*: Valor de la tensión de diseño del motor, que debe ser medida en las terminales del motor, y no la de la línea.
9. *Clase de aislamiento [INSULATION CLASS]*: Se indica la clase de materiales de aislamiento utilizados en el devanado del estator. Son sustancias aislantes sometidas a pruebas para determinar su duración al exponerlas a temperaturas predeterminadas. La temperatura máxima de trabajo del aislamiento clase B es de 130 °C; la de clase F es de 155 °C, y la de clase H, de 180 °C.
10. *Velocidad [RPM]*: Es la velocidad de rotación (rpm) del eje del motor cuando se entrega la potencia nominal a la máquina impulsada, con el voltaje y la frecuencia nominales aplicados a las terminales del motor (velocidad nominal)
11. *Frecuencia [HERTZ o Hz]*: Es la frecuencia eléctrica (Hz) del sistema de suministro para la cual está diseñado el motor. Posiblemente este también funcione con otras frecuencias, pero se alteraría su funcionamiento y podría sufrir daños.
12. *Servicio o Uso [DUTY]*: En este espacio se graba la indicación «intermitente» o «Continuo». Esta última significa que el motor puede funcionar las 24 horas los 365 días del año, durante muchos años. Si es «intermitente» se indica el periodo de trabajo, lo cual significa que el motor puede operar a plena carga durante ese tiempo. Una vez transcurrido éste, hay que parar el motor y esperar a que se enfríe antes de que arranque de nuevo
13. *Temperatura ambiente [AMBIENT]*: Es la temperatura ambiente máxima (°C) a la cual el motor puede desarrollar su potencia nominal sin peligro. Si la temperatura ambiente es mayor que la señalada, hay que reducir la potencia de salida del motor para evitar daños al sistema de aislamiento.

14. *Número de fases [PHASE]*: Número de fases para el cual está diseñado el motor, que debe concordar con el del sistema de suministro de energía eléctrica.
15. *Letra de código [kVA]*: En este espacio se inscribe el valor de KVA que sirve para evaluar la corriente máxima en el arranque.
16. *Diseño [DESIGN]*: En su caso, se graba en este espacio la letra de diseño NEMA, que especifica los valores mínimos de par de rotación a rotor bloqueado, durante la aceleración y a la velocidad correspondiente al par máximo, así como la corriente irruptora máxima de arranque y el valor máximo de deslizamiento con carga.
17. *Cojinetes o roles [D.E. BEARING] [OPP.D.E. BEARING]*: En los motores que tienen cojinetes antifricción, éstos se identifican con sus números y letras correspondientes conforme a las normas de la Anti-Friction Bearing Manufacturers Association (AFBMA). Por tanto, los cojinetes pueden sustituirse por otros del mismo diseño, pues el número AFBMA incluye holgura o juego del ajuste del cojinete, tipo de retención, grado de protección (blindado, sellado, abierto, etc.) y dimensiones.
18. *Secuencia de fases [PHASE SEQUENCE]*: El que se incluya la secuencia de fases en la placa de identificación permite al instalador conectar, a la primera vez, el motor para el sentido de rotación especificado, suponiendo que se conoce la secuencia en la línea de suministro. Si la secuencia en la línea es A-B-C, los conductores terminales se conectan como se indica en la placa. Si la secuencia es A-C-B, se conectan en sentido inverso al ahí señalado.
19. *Eficiencia [EFF]*: En este espacio figura la eficiencia nominal NEMA del motor. Este valor de eficiencia se aplica a los motores de tipo estándar así como a los de eficiencia superior. Para los de alta eficiencia (energy-efficient) se indicará este dato.

## A Propiedades de los líquidos comunes

Líquido	Gravedad específica	Peso específico	Densidad	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática
Acetona	0.787	7.72	787	$3.16 \times 10^{-4}$	$4.02 \times 10^{-7}$
Alcohol, etílico	0.787	7.72	787	$1.00 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-6}$
Alcohol, metílico	0.789	7.74	789	$5.60 \times 10^{-4}$	$7.10 \times 10^{-7}$
Alcohol, propílico	0.802	7.87	802	$1.92 \times 10^{-3}$	$2.39 \times 10^{-6}$
Amoniaco hidratado (25%)	.910	8.93	910	----	---
Benceno	0.876	8.59	876	$6.03 \times 10^{-4}$	$6.88 \times 10^{-7}$
Tetracloruro de carbono	1.590	15.60	1 590	$9.10 \times 10^{-4}$	$5.72 \times 10^{-7}$
Aceite de ricino	0.960	9.42	960	$6.51 \times 10^{-1}$	$6.78 \times 10^{-4}$
Etilenglicol	1.100	10.79	1.100	$1.62 \times 10^{-2}$	$1.47 \times 10^{-5}$
Gasolina	0.68	6.67	680	$2.87 \times 10^{-4}$	$4.22 \times 10^{-7}$
Glicerina	1.258	12.34	1 258	$9.60 \times 10^{-1}$	$7.63 \times 10^{-4}$
Queroseno	0.823	8.07	823	$1.64 \times 10^{-3}$	$1.99 \times 10^{-6}$
Aceite de linaza	0.930	9.12	930	$3.31 \times 10^{-2}$	$3.56 \times 10^{-5}$
Mercurio	13.54	132.8	13540	$1.53 \times 10^{-3}$	$1.13 \times 10^{-7}$
Propano	0.495	4.86	495	$1.10 \times 10^{-4}$	$2.22 \times 10^{-7}$
Agua de mar	1.030	10.10	1030	$1.03 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-6}$
Aguarrás	0.870	8.53	870	$1.37 \times 10^{-3}$	$1.57 \times 10^{-6}$
Combustóleo, medio	0.852	8.36	852	$2.99 \times 10^{-3}$	$3.51 \times 10^{-6}$
Combustóleo pesado	0.906	8.89	906	$1.07 \times 10^{-1}$	$1.18 \times 10^{-4}$

## B Dimensiones de tuberías de acero

### Cedula 40

Tamaño nom. De tubería	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1/8	0,405	10,3	0,068	1,73	0,269	0,0224	6,8	0,000394	3,660 x 10 <sup>-5</sup>
¼	0,540	13,7	0,088	2,24	0,364	0,0303	9,2	0,000723	6,717 x 10 <sup>-5</sup>
3/8	0,675	17,1	0,091	2,31	0,493	0,0411	12,5	0,00133	1,236 x 10 <sup>-4</sup>
½	0,840	21,3	0,109	2,77	0,622	0,0518	15,8	0,00211	1,960 x 10 <sup>-4</sup>
¾	1,050	26,7	0,113	2,87	0,824	0,0687	20,9	0,00370	3,437 x 10 <sup>-4</sup>
1	1,315	33,4	0,133	3,38	1,049	0,0874	26,6	0,00600	5,575 x 10 <sup>-4</sup>
1 1/4	1,660	42,2	0,140	3,56	1,380	0,1150	35,1	0,01039	9,653 x 10 <sup>-4</sup>
1 ½	1,900	48,3	0,145	3,68	1,610	0,1342	40,9	0,01414	1,314 x 10 <sup>-3</sup>
2	2,375	60,3	0,154	3,91	2,067	0,1723	52,5	0,02333	2,168 x 10 <sup>-3</sup>
2 ½	2,875	73,0	0,203	5,16	2,469	0,2058	67,2	0,03326	3,090 x 10 <sup>-3</sup>
3	3,500	88,9	0,216	5,49	3,068	0,2557	77,9	0,05132	4,768 x 10 <sup>-3</sup>
3 ½	4,000	101,6	0,226	5,74	3,548	0,2957	90,1	0,06868	6,381 x 10 <sup>-3</sup>
4	4,500	114,3	0,237	6,02	4,026	0,3355	102,3	0,08840	8,213 x 10 <sup>-3</sup>
5	5,563	141,3	0,258	6,55	5,047	0,4206	128,2	0,1390	1,291 x 10 <sup>-2</sup>
6	6,625	168,3	0,280	7,11	6,065	0,5054	154,1	0,2006	1,864 x 10 <sup>-2</sup>
8	8,625	219,1	0,322	8,18	7,981	0,6651	202,7	0,3472	3,226 x 10 <sup>-2</sup>
10	10,750	273,1	0,365	9,27	10,020	0,8350	254,5	0,5479	5,090 x 10 <sup>-2</sup>
12	12,750	323,9	0,406	10,31	11,938	0,9948	303,2	0,7771	7,219 x 10 <sup>-2</sup>
14	14,000	355,6	0,437	11,10	13,126	1,094	333,4	0,9396	8,729 x 10 <sup>-2</sup>
16	16,000	406,4	0,500	12,70	15,000	1,250	381,0	1,227	0,1140
18	18,000	457,2	0,562	14,27	16,876	1,406	428,7	1,553	0,1443
20	20,000	508,0	0,593	15,06	18,814	1,568	477,9	1,931	0,1794
24	24,000	609,6	0,687	17,45	22,626	1,886	574,7	2,792	0,2594

## Cedula 80

Tamaño nom. De tubería	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1/8	0,405	10,3	0,095	2,41	0,215	0,01792	5,5	0,000253	2,350 x 10 <sup>-5</sup>
¼	0,540	13,7	0,119	3,02	0,302	0,02517	7,7	0,000497	4,617 x 10 <sup>-5</sup>
3/8	0,675	17,1	0,126	3,20	0,423	0,03525	10,7	0,000976	9,067 x 10 <sup>-5</sup>
½	0,840	21,3	0,147	3,73	0,546	0,04550	13,9	0,001625	1,510 x 10 <sup>-4</sup>
¾	1,050	26,7	0,154	3,91	0,742	0,06183	18,8	0,00300	2,787 x 10 <sup>-4</sup>
1	1,315	33,4	0,179	4,55	0,957	0,07975	24,3	0,00499	4,636 x 10 <sup>-4</sup>
1 1/4	1,660	42,2	0,191	4,85	1,278	0,1065	32,5	0,00891	8,278 x 10 <sup>-4</sup>
1 ½	1,900	48,3	0,200	5,08	1,500	0,1250	38,1	0,01227	1,140 x 10 <sup>-3</sup>
2	2,375	60,3	0,218	5,54	1,939	0,1616	49,3	0,02051	1,905 x 10 <sup>-3</sup>
2 ½	2,875	73,0	0,276	7,01	2,323	0,1936	59,0	0,02944	2,735 x 10 <sup>-3</sup>
3	3,500	88,9	0,300	7,62	2,900	0,2417	73,7	0,04590	4,264 x 10 <sup>-3</sup>
3 ½	4,000	101,6	0,318	8,08	3,364	0,2803	85,4	0,06174	5,736 x 10 <sup>-3</sup>
4	4,500	114,3	0,337	8,56	3,826	0,3188	97,2	0,07986	7,419 x 10 <sup>-3</sup>
5	5,563	141,3	0,375	9,53	4,813	0,4011	112,3	0,1263	1,173 x 10 <sup>-2</sup>
6	6,625	168,3	0,432	10,97	5,761	0,4801	146,3	0,1810	1,682 x 10 <sup>-2</sup>
8	8,625	219,1	0,500	12,70	7,625	0,6354	193,7	0,3174	2,949 x 10 <sup>-2</sup>
10	10,750	273,1	0,593	15,06	9,564	0,7970	242,9	0,4986	4,632 x 10 <sup>-2</sup>
12	12,750	323,9	0,687	17,45	11,376	0,9480	289,0	0,7056	6,555 x 10 <sup>-2</sup>
14	14,000	355,6	0,750	19,05	12,500	1,042	317,5	0,8521	7,916 x 10 <sup>-2</sup>
16	16,000	406,4	0,842	21,39	14,314	1,193	363,6	1,117	0,1038
18	18,000	457,2	0,937	23,80	16,126	1,344	409,6	1,418	0,1317
20	20,000	508,0	1,031	26,19	17,938	1,495	455,6	1,755	0,1630
24	24,000	609,6	1,218	30,94	21,564	1,797	547,7	2,535	0,2344

## C Dimensiones de tubería de acero

Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1/8	3,18	0,032	0,813	0,061	0,00508	1,549	2,029 x 10 <sup>-5</sup>	1,885 x 10 <sup>-6</sup>
		0,035	0,889	0,055	0,00458	1,397	1,650 x 10 <sup>-5</sup>	1,533 x 10 <sup>-6</sup>
3/16	4,76	0,032	0,813	0,124	0,01029	3,137	8,319 x 10 <sup>-5</sup>	7,728 x 10 <sup>-6</sup>
		0,035	0,889	0,117	0,00979	2,985	7,530 x 10 <sup>-5</sup>	6,996 x 10 <sup>-6</sup>
¼	6,35	0,035	0,889	0,180	0,01500	4,572	1,767 x 10 <sup>-4</sup>	1,642 x 10 <sup>-5</sup>
		0,049	1,24	0,152	0,01267	3,861	1,260 x 10 <sup>-4</sup>	1,171 x 10 <sup>-5</sup>
5/16	7,94	0,035	0,889	0,243	0,02021	6,160	3,207 x 10 <sup>-4</sup>	2,980 x 10 <sup>-5</sup>
		0,049	1,24	0,215	0,01788	5,448	2,509 x 10 <sup>-4</sup>	2,331 x 10 <sup>-5</sup>
3/8	9,53	0,035	0,889	0,305	0,02542	7,747	5,074 x 10 <sup>-4</sup>	4,714 x 10 <sup>-5</sup>
		0,049	1,24	0,227	0,02308	7,036	4,185 x 10 <sup>-4</sup>	3,888 x 10 <sup>-5</sup>
½	12,70	0,049	1,24	0,402	0,03350	10,21	8,814 x 10 <sup>-4</sup>	8,189 x 10 <sup>-5</sup>
		0,065	1,65	0,370	0,03083	9,40	7,467 x 10 <sup>-4</sup>	6,937 x 10 <sup>-5</sup>
5/8	15,88	0,049	1,24	0,527	0,04392	13,39	1,515 x 10 <sup>-3</sup>	1,407 x 10 <sup>-4</sup>
		0,065	1,65	0,495	0,04125	12,57	1,336 x 10 <sup>-3</sup>	1,242 x 10 <sup>-4</sup>
¾	19,05	0,049	1,24	0,652	0,05433	16,56	2,319 x 10 <sup>-3</sup>	2,154 x 10 <sup>-4</sup>
		0,065	1,65	0,620	0,05167	15,75	2,097 x 10 <sup>-3</sup>	1,948 x 10 <sup>-4</sup>
7/8	22,23	0,049	1,24	0,777	0,06475	19,74	3,293 x 10 <sup>-3</sup>	3,059 x 10 <sup>-4</sup>
		0,065	1,65	0,745	0,06208	18,92	3,027 x 10 <sup>-3</sup>	2,812 x 10 <sup>-4</sup>
1	25,40	0,065	1,65	0,870	0,07250	22,10	4,128 x 10 <sup>-3</sup>	3,835 x 10 <sup>-4</sup>
		0,083	2,11	0,834	0,06950	21,18	3,794 x 10 <sup>-3</sup>	3,524 x 10 <sup>-4</sup>
1 ¼	31,75	0,065	1,65	1,120	0,09333	28,45	6,842 x 10 <sup>-3</sup>	6,356 x 10 <sup>-4</sup>
		0,083	2,11	1,084	0,09033	27,53	6,409 x 10 <sup>-3</sup>	5,954 x 10 <sup>-4</sup>
1 ½	38,10	0,065	1,65	1,370	0,1142	34,80	1,024 x 10 <sup>-2</sup>	9,510 x 10 <sup>-4</sup>
		0,083	2,11	1,334	0,112	33,88	9,706 x 10 <sup>-2</sup>	9,017 x 10 <sup>-4</sup>
1 ¾	44,45	0,065	1,65	1,620	0,1350	41,15	1,431 x 10 <sup>-2</sup>	1,330 x 10 <sup>-3</sup>

		0,083	2,11	1,584	0,1320	40,23	$1,368 \times 10^{-2}$	$1,271 \times 10^{-3}$
2	50,80	0,065	1,65	1,870	0,1558	47,50	$1,907 \times 10^{-2}$	$1,772 \times 10^{-3}$
		0,083	2,11	1,834	0,1528	46,58	$1,835 \times 10^{-2}$	$1,704 \times 10^{-3}$

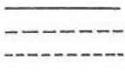
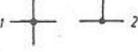
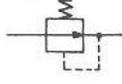
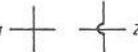
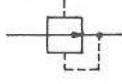
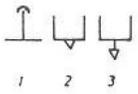
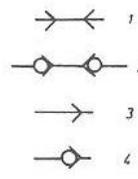
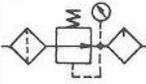
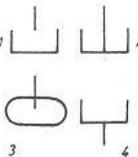
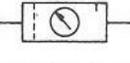
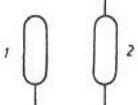
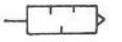
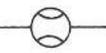
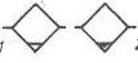
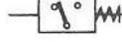
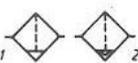
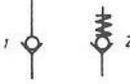
## D Dimensiones de tuberías de cobre tipo k

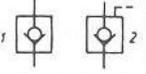
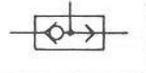
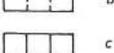
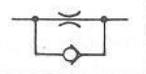
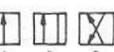
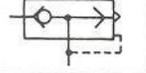
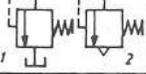
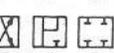
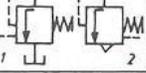
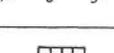
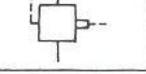
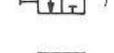
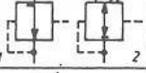
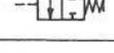
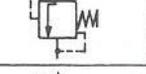
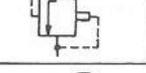
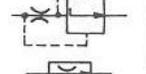
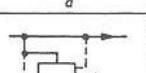
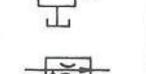
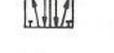
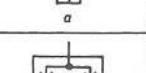
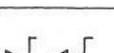
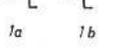
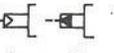
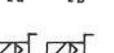
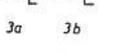
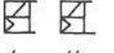
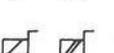
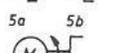
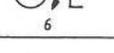
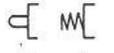
Tamaño nominal	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
(pulg)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1/8	0,250	6,35	0,035	0,889	0,180	0,0150	4,572	1,767 x 10 <sup>-4</sup>	1,642 x 10 <sup>-5</sup>
¼	0,375	9,53	0,049	1,245	0,277	0,0231	7,036	4,185 x 10 <sup>-4</sup>	3,888 x 10 <sup>-5</sup>
3/8	0,500	12,70	0,049	1,245	0,402	0,0335	10,21	8,814 x 10 <sup>-4</sup>	8,189 x 10 <sup>-5</sup>
½	0,625	15,88	0,049	1,245	0,527	0,0439	13,39	1,515 x 10 <sup>-3</sup>	1,407 x 10 <sup>-4</sup>
5/8	0,750	19,05	0,049	1,245	0,652	0,0543	16,56	2,319 x 10 <sup>-3</sup>	2,154 x 10 <sup>-4</sup>
¾	0,875	22,23	0,065	1,651	0,745	0,0621	18,92	3,027 x 10 <sup>-3</sup>	2,812 x 10 <sup>-4</sup>
1	1,125	28,58	0,065	1,651	0,995	0,0829	25,27	5,400 x 10 <sup>-3</sup>	5,017 x 10 <sup>-4</sup>
1 ¼	1,375	34,93	0,065	1,651	1,245	0,1037	31,62	8,454 x 10 <sup>-3</sup>	7,854 x 10 <sup>-4</sup>
1 ½	1,625	41,28	0,072	1,829	1,481	0,1234	37,62	1,196 x 10 <sup>-2</sup>	1,111 x 10 <sup>-3</sup>
2	2,125	53,98	0,083	2,108	1,959	0,1632	49,76	2,093 x 10 <sup>-2</sup>	1,945 x 10 <sup>-3</sup>
2 ½	2,625	66,68	0,095	2,413	2,435	0,2029	61,85	3,234 x 10 <sup>-2</sup>	3,004 x 10 <sup>-3</sup>
3	3,125	79,38	0,109	2,769	2,907	0,2423	73,84	4,609 x 10 <sup>-2</sup>	4,282 x 10 <sup>-3</sup>
3 ½	3,625	92,08	0,120	3,048	3,385	0,2821	85,98	6,249 x 10 <sup>-2</sup>	5,806 x 10 <sup>-3</sup>
4	4,125	104,8	0,134	3,404	3,857	0,3214	97,97	8,114 x 10 <sup>-2</sup>	7,538 x 10 <sup>-3</sup>
5	5,125	130,2	0,160	4,064	4,805	0,4004	122,0	1,259 x 10 <sup>-1</sup>	1,170 x 10 <sup>-2</sup>
6	6,125	155,6	0,192	4,877	5,741	0,4784	145,8	1,798 x 10 <sup>-1</sup>	1,670 x 10 <sup>-2</sup>
8	8,125	206,4	0,271	6,883	7,583	0,6319	192,6	3,136 x 10 <sup>-1</sup>	2,914 x 10 <sup>-2</sup>
10	10,125	257,2	0,338	8,585	9,449	0,7874	240,0	4,870 x 10 <sup>-1</sup>	4,524 x 10 <sup>-2</sup>
12	12,125	308,0	0,405	10,287	11,315	0,9429	287,4	6,983 x 10 <sup>-1</sup>	6,487 x 10 <sup>-2</sup>

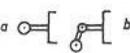
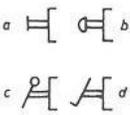
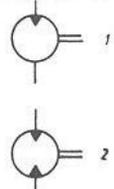
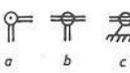
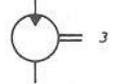
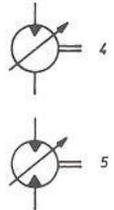
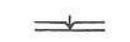
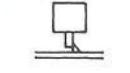
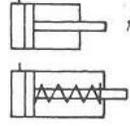
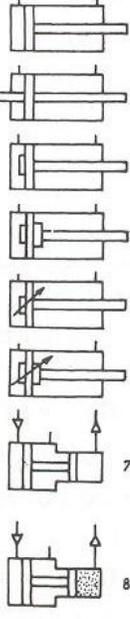
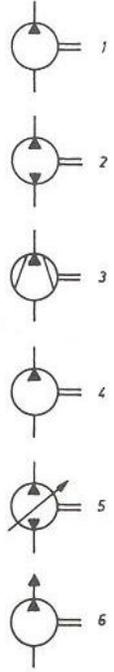
## E Dimensiones de tubos de hierro dúctil

Tamaño nominal	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)	(pie <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
3	3,96	100,6	0,320	8,13	3,32	0,277	84,3	0,0601	5,585 x 10 <sup>-3</sup>
4	4,80	121,9	0,350	8,89	4,10	0,342	104,1	0,0917	8,518 x 10 <sup>-3</sup>
6	6,90	175,3	0,380	9,65	6,14	0,512	156,0	0,2056	1,910 x 10 <sup>-2</sup>
8	9,05	229,9	0,410	10,41	8,23	0,686	209,0	0,3694	3,432 x 10 <sup>-2</sup>
10	11,10	281,9	0,440	11,18	10,22	0,852	259,6	0,5697	5,292 x 10 <sup>-2</sup>
12	13,20	335,3	0,480	12,19	12,24	1,020	310,9	0,8171	7,591 x 10 <sup>-2</sup>
14	15,65	397,5	0,510	12,95	14,63	1,219	371,6	1,167	0,1085
16	17,80	452,1	0,540	13,72	16,72	1,393	424,7	1,525	0,1417
18	19,92	506,0	0,580	14,73	18,76	1,563	476,5	1,920	0,1783
20	22,06	560,3	0,620	15,75	20,82	1,735	528,8	2,364	0,2196
24	26,32	668,5	0,730	18,54	24,86	2,072	631,4	3,371	0,3132

## F Simbología hidráulica y neumática

	<b>Conductores</b> 1 - de trabajo 2 - de pilotaje 3 - de purga o drenaje		Deshumidificador
	Conductor flexible		Lubricador
	Unión de conductores		Reductor de presión
	Cruce de conductores		Reductor de presión pilotado
	<b>Purga de aire</b> 1 - orificio de evacuación 2 - piso no conectable 3 - conectable por roscado		Manómetro (Indicador de presión)
	<b>Acoplamientos rápidos</b> 1 - Acoplado sin válvula anti-retorno 2 - Acoplado con válvula anti-retorno 3 - Acoplado simple 4 - Cerrada por válvula antirretorno		Grupo de acondicionamiento Filtro-Reductor, indicador de presión. Lubricador
	<b>Depósitos</b> 1 - Conducciones por encima 2 - Conducciones por debajo del nivel del líquido 3 - Conducciones a presión 4 - Conducciones con depósito con carga		Grupo de acondicionamiento Esquema anterior simplificado
	<b>Acumuladores</b> 1 - Hidráulico 2 - Neumático		Inicio de instalación (presión)
	Silenciador		Medidor de temperatura (Termómetro)
	Filtro		Medidor de caudal
	<b>Purgadores</b> 1 - Mando manual 2 - Mando automático		Presostato
	<b>Filtro con purgador</b> 1 - Mando manual 2 - Mando automático		Válvula (símbolo general)
			Válvula directa (pilotaje neumático) Normalmente abierta
			Válvula inversa (pilotaje neumático) Normalmente cerrada
			<b>Válvula antirretorno</b> 1 - No regulada 2 - Regulada (tarada)

	Válvula antirretorno pilotada 1 - Al cierre 2 - A la apertura		a	<b>Distribuidores</b> a) Distribuidor de 2 posiciones b) Distribuidor de 3 posiciones con posición intermedia de paso c) Distribuidor de 3 posiciones indistintas  <b>Vías interiores</b> 1 - 1 vía 2 - 2 vías paralelas 3 - 2 vías cruzadas 4 - 2 orificios cerrados 5 - 2 vías en conexión transversal 6 - 2 orificios cerrados y 2 vías en by-pass 7 - 1 orificio cerrado y 2 vías 8 - 1 orificio cerrado y 2 vías en paralelo 9 - 4 orificios cerrados
	Selector de circuitos		b	
	Regulador de caudal en un solo sentido		c	
	Válvula de escape rápido		1	
	Limitador de presión (Válvula de seguridad)		2	
	Limitador de presión pilotado		3	
	Limitador proporcional de presión		4	
	Reductor de presión pilotado		5	
	Reductor diferencial de presión		6	
	Reductor proporcional de presión		7	
	Regulador de caudal (a) Simplificado		8	
	Regulador de caudal con retorno al depósito (a) Simplificado		9	
	Divisor de caudal		1	
	Válvula de estrangulamiento (a) Simplificado		2	
			3	
			4	
			5	
			1a	
			1b	
			2a	
			2b	
			3a	
			3b	
			4a	
			4b	
			5a	
			5b	
			6	
			a	
			b	

	<p>Mando mecánico a – por rodillo b – por rodillo abatible</p>		<p>Convertidor de presión aire-aceite</p>
	<p>Mando manual a – símbolo general b – por pulsador c – por palanca d – por pedal</p>		<p>1 – Motor de caudal constante: Motor hidráulico no reversible 2 – Motor de caudal constante. Motor hidráulico reversible</p>
	<p>Mecanismos articulados a – articulación simple b – articulación con palanca c – articulación con punto fijo</p>		<p>3 – Motor de caudal constante Motor neumático no reversible</p>
	<p>Ejes rotativos a – un solo sentido de rotación b – con dos sentidos de giro</p>		<p>4 – Motor de caudal variable no reversible 5 – Motor de caudal variable reversible</p>
	<p>Dispositivo de mantenimiento de posición</p>		
	<p>Dispositivo de enclavamiento</p>		
	<p>Cilindros 1 – de simple efecto 2 – de simple efecto con retorno por resorte</p>		<p>6 – Motor térmico</p>
	<p>1 – de doble efecto 2 – de doble efecto con doble vástago 3 – de doble efecto con amortiguación al retorno 4 – de doble efecto con amortiguación a la ida y retorno 5 – de doble efecto con amortiguación regulable al retorno 6 – de doble efecto con amortiguación regulable a la ida y retorno 7 – multiplicador de presión con fluido de la misma naturaleza 8 – multiplicador de presión con fluidos de distinta naturaleza (aire-aceite)</p>		<p>1 – Bomba de caudal constante, compresor Bomba hidráulica no reversible 2 – Bomba de caudal constante, compresor Bomba hidráulica reversible 3 – Bomba de caudal constante, compresor no reversible 4 – Bomba de caudal variable, no reversible 5 – Bomba de caudal variable, reversible 6 – Bomba de vacío</p>

## G CONSTANTES DIELECTRICAS DE MATERIALES INDUSTRIALES COMUNES

Aceite de soya	2.9 – 3.5	Madera, seca	2 – 7
Aceite de terpentina	2.2	Mármol	8.0 – 8.5
Aceite de transformador	2.2	Micas	5.7 – 67
Acetona	19.5	Nitrobencono	36
Agua	80	Nylon	4–5
Aire	1.000264	Pape	1.6 – 2.6
Alcohol	25.8	Papel saturado de aceite	4.0
Amoniaco	15 – 25	Parafina	1.9 – 2.5
Anilina	6.9	Perspex	3.2 – 3.5
Arena	3 – 5	Petróleo	2.0 – 2.2
Azúcar	3.0	Poliacetal	3.6 – 3.7
Baquelita	3.6	Poliamida	5.0
Barniz de silicio	2.8 – 3.3	Poliestireno	3.0
Benceno	2.3	Polietileno	2.3
Caliza de conchas	1.2	Polipropileno	2.0 – 2.3
Caucho	2.5 – 35	Porcelana	4.4 – 7
Celuloide	3.0	Resina acrílica	2.7 – 4.5
Cemento en polvo	4.0	Resina de cloruro de polivinilo	2.8 – 3.1
Cenizas	1.5 – 1.7	Resina de estireno	2.3 – 3.4
Cereales	3 – 5	Resina de poliéster	2.8 – 8.1
Cloro líquido	2.0	Resina de ureica	5 – 8
Cristal de cuarzo	3.7	Resina epoxi	2.5 – 6
Dióxido de carbono	1.000985	Resina fenólica	4 – 12
Ebonita	2.7 – 2.9	Resina melamina	4.7 – 10.2
Etanol	24	Sal	6.0
Etilénglicol	38.7	Soluciones acuosas	50 – 80
Freón R22 y 502 (líquido)	6.11	Sulfuro	3.4
Gasolina	2.2	Tablero prensado	2 – 5
Glicerina	7	Teflón	2.0
Goma laca	2.5 – 4.7	Tetracloruro de carbono	2.2
Harina	1.5–1.7	Tolueno	2.3
Leche en polvo	3.5 – 4	Vaselina	2.2 – 2.9
Madera, húmeda	10 – 30	Vidrio	3.7 – 10

# H SIMBOLOGÍA EUROPEA Y AMERICANA.

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Elementos generales de circuitos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Resistencia		=	= o bien	= o bien
con derivaciones		=	=	=
Bobinado, inductividad		=		o bien = o bien
con derivaciones		=		o bien =
Condensador, capacidad		=		= o bien
Con derivaciones		=	—	=
Condensador polarizado		=	=	=
Condensador de electrolito, polarizado		=		= o bien
Acumulador, batería (línea larga = polo positivo)		=	=	=
Tierra		=	=	=
<b>5. Aparatos de maniobra</b>				
Botón de contacto momentáneo				=
Manual				=
De pie				=

ε

ρ

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Contacto de cierre				
Contacto de apertura				
Contacto de conmutación				
Contacto de conmutación sin interrupción				
Elemento de conmutación de retardo				
Contacto de cierre, retardado al cierre				
Contacto de apertura, retardado				
Contacto de cierre, abre retardado				
Contacto de apertura, cierre retardado				

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Contactor con relevador bimetalico				o bien =  (o cont. análogos)
Interruptor tripolar con mecanismo de embrague con relevador bimetalico y disparador de acción instantánea				
Seccionador de potencia			—	
Interruptor Interruptor de potencia			o bien  CB	o bien 
Seccionador tripolar bajo carga			—	
Seccionador de fusibles tripolar				=
Seccionador tripolar				
Fusible	 Red	 Red	o bien  =	= =
Dispositivo de enchufe		=		o bien = 

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980 (Europea)	DIN Edición 1969	ANSI (Americano)	IEC
Accionamiento por levas			o bien 	o bien 
Interruptor de flujo para apertura				
Interruptor de presión y vacío para apertura				=
Interruptor termostático para cierre				=
Interruptor de flotador para cierre				=
Elevado/baja velocidad de flujo	$v > / v <$	=	$v \uparrow / v \downarrow$	=
Elevado/baja presión	$p > / p <$	=	$p \uparrow / p \downarrow$	=
Elevada/baja temperatura	$\vartheta > / \vartheta <$	=	$T \uparrow / T \downarrow$	=
Elevado/bajo nivel líquido	$q > / q <$	=	$L \uparrow / L \downarrow$	=
Elevada/baja velocidad	$n > / n <$	=	$SP \uparrow / SP \downarrow$	=
Ejemplo: Interruptor de apertura instantánea por sobrevelocidad			$\succ \neq SP \uparrow$	=
Interruptor de cierre instantáneo por baja temperatura			$\succ \neq T \downarrow$	=
Accionamiento por émbolo				=
Accionamiento por fuerza				=

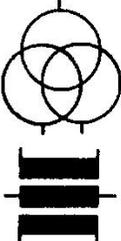
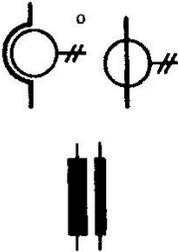
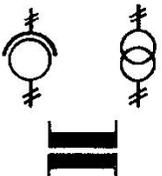
## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Accionamiento por motor		=	= o bien	=
Sistema de accionamiento. Bobina en general. Se regresa al reposo al cesar la fuerza de accionamiento.		=	= o bien  o bien	=
Relevadores con 2 bobinados de igual sentido.	 representación elegible o bien	= = o =	  o bien	= o bien
Midiendo, con indicación de magnitud a medir, p. ej. tensión mínima			o bien	

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Retardos p. accionamientos electromecánicos. Abertura retardado magnético		=	= o bien 	= o bien 
Relevadores de cierre retardado		=	= o bien 	= o bien 
Abertura y cierre retardado		=	= o bien 	=
Relevadores polarizado			= o bien 	
Relevadores de remanencia			—	
6. Transformadores, reactancia, transformadores de medición				
Transformador con 2 devanados separados		=	= 	= o bien = 

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Transformador con 3 devanados separados		=		 o bien =
Autotransformador		=		 o bien =
Bobina de reactancia		=		 o bien =
Transformador de corriente	 o bien	=		 o bien =
Transformador de tensión (... de potencial)	 o bien	=		 o bien =

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
7. Máquinas				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Motor trifásico con rotor de anillos rozantes				
Motor trifásico con rotor de jaula de ardilla				
Motor trifásico con rotor de jaula con seis terminales de bobinas				
			M o MOT G o GEN	
8. Aparatos de Señalización				
Bocina				
Timbre				=
Sirena				=
Zumbador		=		
Lámpara avisadora		=		=
Indicador de señal		=	-	=

## Aclaraciones Técnicas

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
9. Aparatos de medición				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Amperímetro		=	=	=
Vólmetro		=	=	=
Vólmetro doble			—	
Contador de corriente alterna, monofásica, modelo 1				

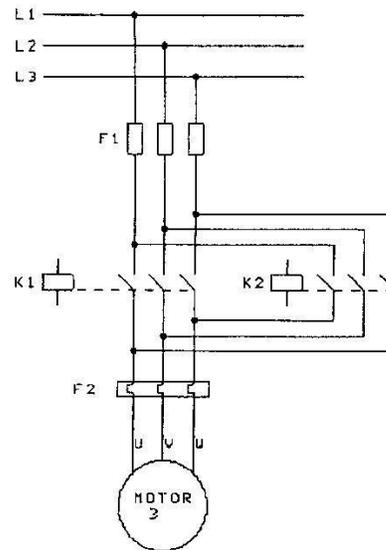
# I Configuración de motores

## Arrancador magnético reversible

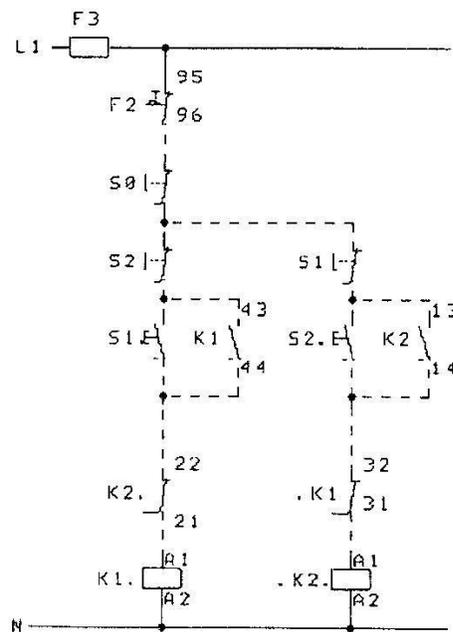
Circuito principal

Designaciones:

- S0: Pulsador "parar"
- S1: Pulsador "reversa"
- S2: Pulsador "arrancar a la derecha"
- S: Interruptor "reversa-paro-arrancar"
- K1: Contactor "reversa"
- K2: Contactor "arrancar a la derecha"
- F1: Fusibles circuito principal
- F3: Fusibles circuito de control
- F2: Relevador bimetalico



Circuito de control



Siemens

## Arrancador automático para motor de polos conmutables

1Q0, 2Q0 = Protección contra cortocircuito interruptor 3VT, o fusibles.

K1m = Contactor de la velocidad inferior.

K2m = Contactor punto estrella.

K3m = Contactor de la velocidad superior.

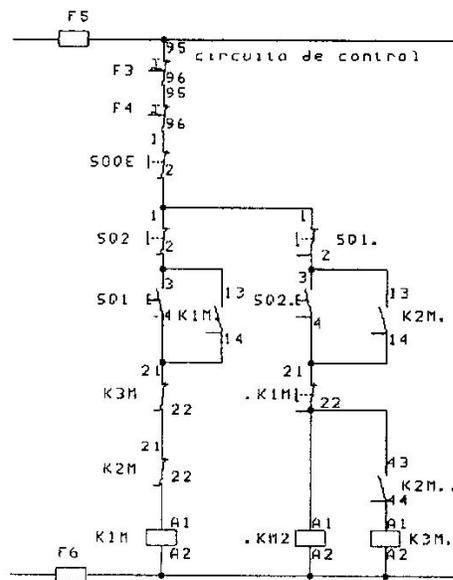
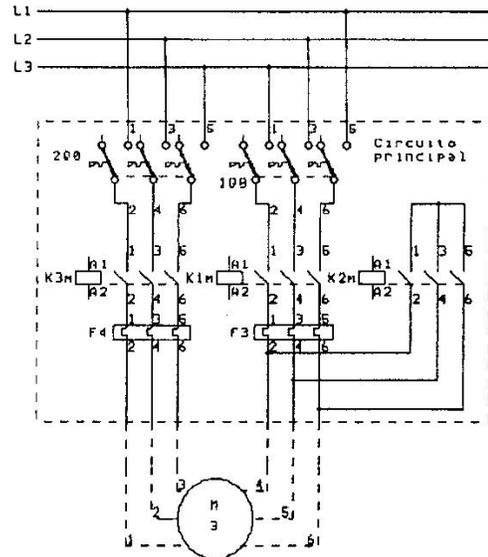
F3, F4 = Respectivos relevadores bimetálicos de protección contra sobrecarga de las velocidades inferior y superior.

F5, F6 = Fusibles de protección contra corto circuito del circuito de control.

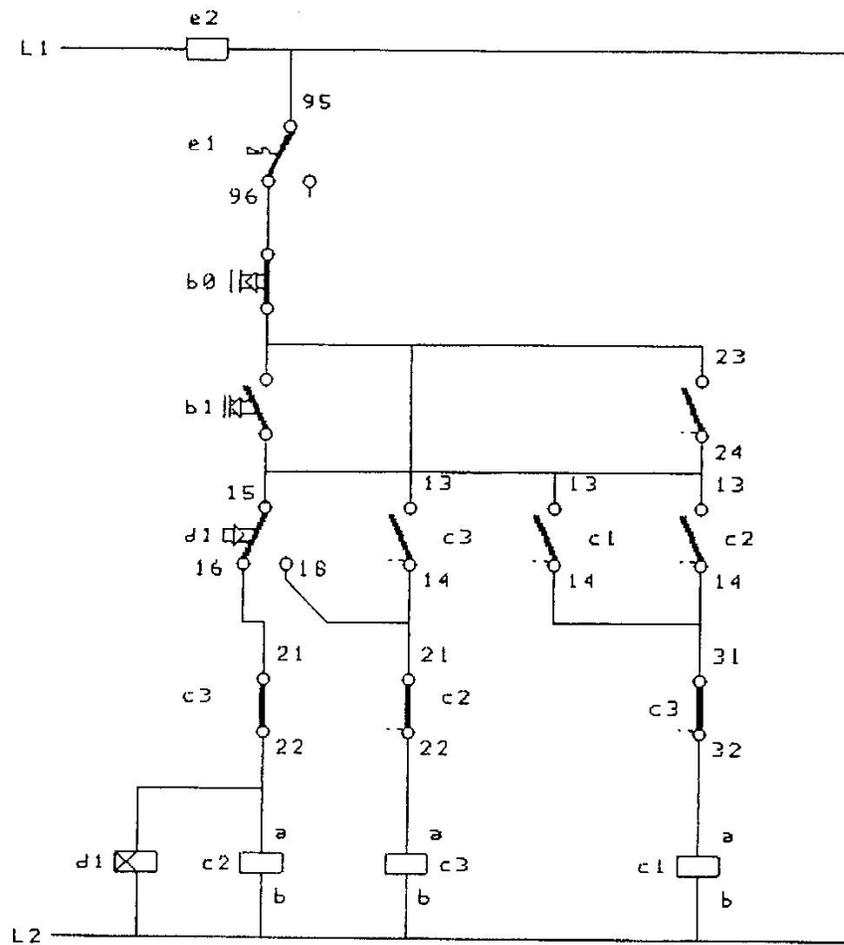
S0Q = Botón "parar".

SQ1 = Botón "arrancar" "velocidad inferior".

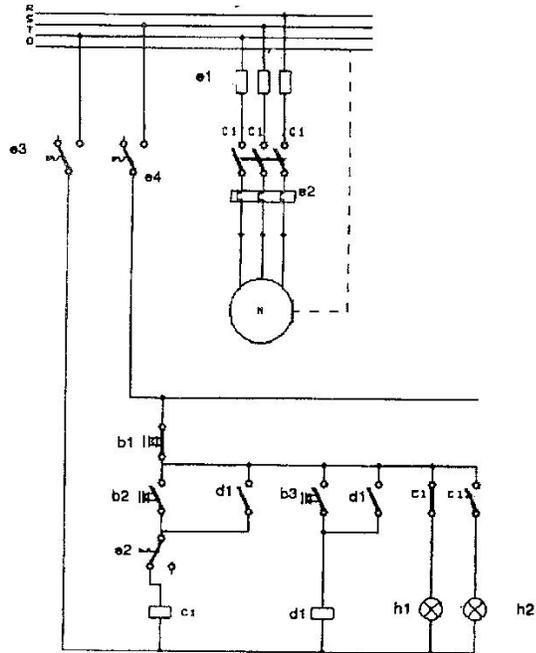
SQ2 = Botón "arrancar" "velocidad superior".



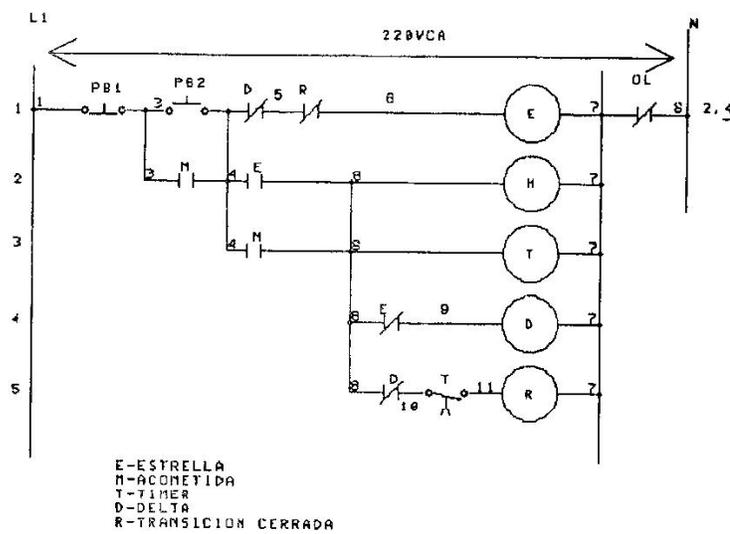
## Arranque por autotransformador



## Arranque magnético con funcionamiento intermitente y continuo

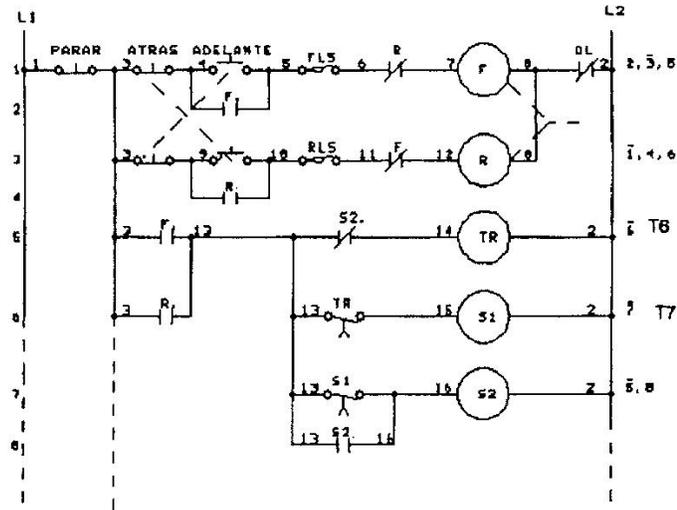


## Arranque estrella delta con transición cerrada

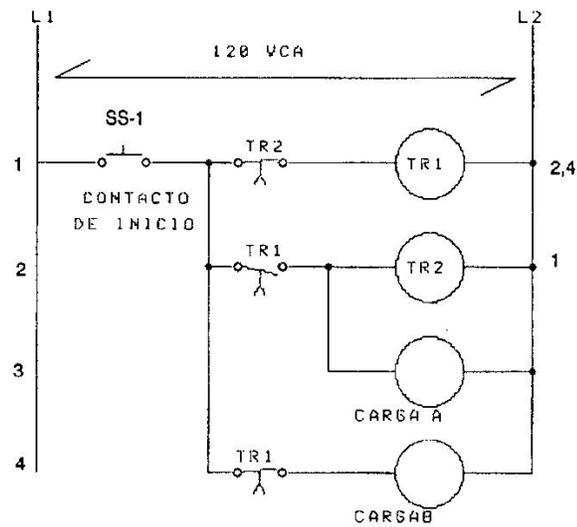




## Arrancador reversible para motor devanado en tres puntos de aceleración



## Control de 2 cargas en operación repetitiva

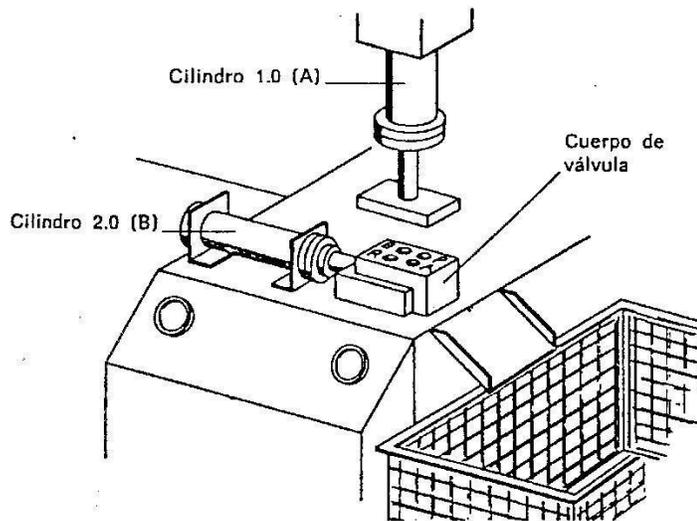


## J Ejemplos

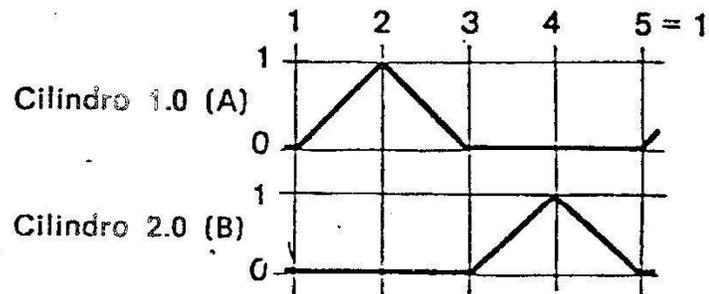
### Dispositivos de estampado.

Se deben estampar las letras P, A, B y R en el cuerpo de las válvulas. Las piezas se alimentan manualmente. El cilindro 1.0 (A) realiza la estampación de la pieza. El cilindro 2.0 (B) realiza la expulsión de la pieza ya estampada.

### Plano de posición



### Diagrama espacio-fase



## Remachadora

Remachar pasadores:

Las piezas se colocan manualmente. El cilindro 1.0 (A) sujeta. Los dos cilindros 2.0 (B) introducen los remaches y los sujetan. Cilindro 3.0 (C) remacha la segunda cabeza semiesférica. Las piezas terminadas pueden sacarse manualmente.

### Plano de situación

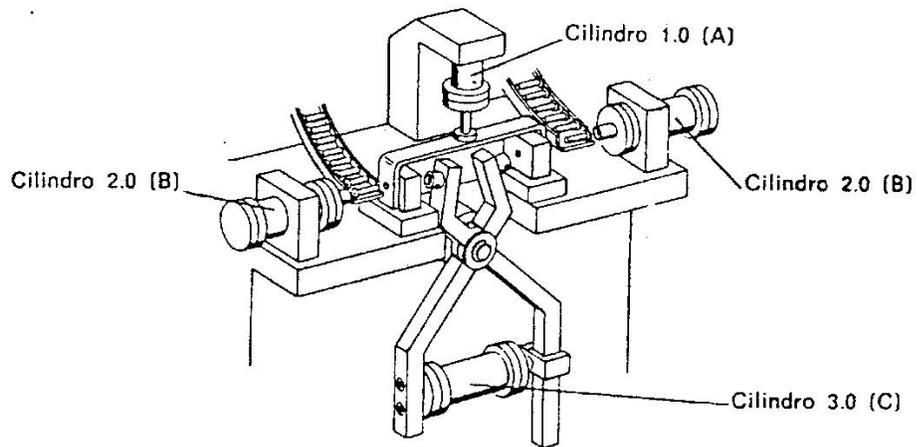
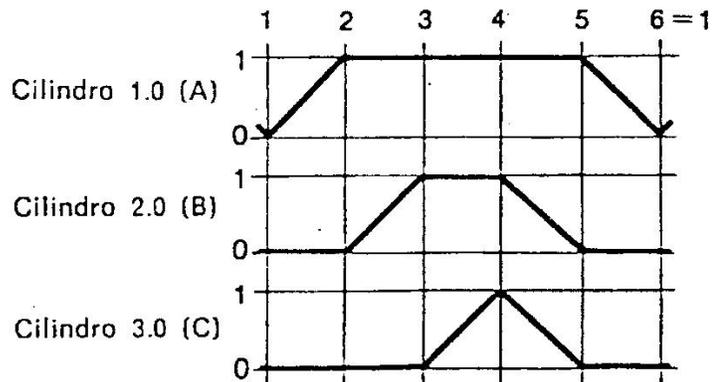


Diagrama espacio-fase.



# REFERENCIAS

---

- [1] Andrew L. Simons, "Hidráulica básica", primera edición, Editorial Limusa, 1983
  
- [2] Carlos A. Smith y Armando B. Corripio, "Control automático de procesos Teoría y práctica", primera edición, Editorial Limusa, 1994
  
- [3] P. Croser, J. Thompson, F. Ebel, "Fundamentos de neumática", Editorial Festo didactic. 2000.
  
- [4] Gilberto Sotelo Ávila, "Hidráulica general volumen 1", segunda edición, Editorial Limusa, 1997
  
- [5] Robert L Mott "Mecánica de Fluidos", sexta edición, Editorial Prentice hall, 1996
  
- [6] SMC pneumatic, "Libro de trabajo smc" Editorial SMC.
  
- [7] Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Keith W. Bedford, "Mecánica de Fluidos", novena edición.
  
- [8] Vickers, "Manual de hidráulica industrial 935100-a", Editorial Vycmex GICELO Sistemas S.A de C.V.
  
- [9] W.Deppert/ K. Stoll, "Aplicaciones de la neumática", primera edición, Editorial Alfaomega, 2000.
  
- [10] W.Deppert/ K. Stoll, "Dispositivos neumáticos", primera edición, Editorial Alfaomega, 2000.
  
- [11] "Fundamentos de neumática", [http://www.festo.com/cms/es-mx\\_mx/index.htm](http://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm)
  
- [12] Rockwell Automation/Allen-Bradley Product Catalog, <http://raise.rockwellautomation.com/>