

## TEMA 10 : NEUMÁTICA

### 1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

- 1.1. **PRESIÓN** : Es la fuerza por unidad de superficie que ejerce un fluido en la dirección normal a dicha superficie. La unidad en el S.I. es el Pascal ( $N/m^2$ ). Como esta unidad es pequeña, suele usarse mucho los múltiplos Mpa ( $10^6$  Pa) y Gpa ( $10^9$ ). Las unidades más empleadas en la técnica son el Bar = atmósfera =  $Kg/cm^2 = 10^5$  Pa.
- **Presión absoluta y relativa**. Todos los sistemas situados en la corteza terrestre están sometidos a la presión atmosférica. Por lo tanto, en muchos casos no nos interesa el valor absoluto de la presión sino la diferencia entre este y la atmosférica, que se denomina presión relativa o manométrica, ya que es la que miden los manómetros. Funcionamiento del manómetro basado en el tubo de Bourdon
  - **Ley de Boyle-Mariotte** . El volumen que ocupa una masa de gas a temperatura constante es proporcional a la presión
  - **Ley de Gay-Lussac**. El volumen que ocupa una masa de gas a presión constante es proporcional a la temperatura.
  - **Ley de Charles**. La presión de una masa de gas confinada en un cierto volumen es proporcional a la temperatura.
  - **Ley de Avogadro**. A de presión y temperatura constante, volúmenes iguales de gases distintos contienen el mismo número de moles.
  - **Ley de los gases perfectos** . Es una ley que reúne a todas las anteriores diciendo que si un gas es perfecto cumple la siguiente expresión :

$$P.V = n.R.T \quad \text{Dónde } R = 0,082 \frac{\text{atm.l}}{^{\circ}K . \text{mol}}$$

Un gas perfecto o ideal es aquel en el que se suponen todas sus partículas esféricas y los choques entre ellas perfectamente elásticos. En este caso el calor específico del gas no depende de la temperatura. Este modelo es muy adecuado para los gases de moléculas diatómicas ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2$  etc....) y las combinaciones de ellos como es el aire.

- 1.2. **CAUDAL** . Es el volumen de fluido que atraviesa en la unidad de tiempo una sección transversal de la corriente. En el S.I. la unidad es el  $m^3/s$  pero como es demasiado grande suele utilizarse los l/min o los  $m^3/h$ . Si en lugar del volumen se considera la masa se denomina gasto.

$$Q = \frac{V}{t} = v.S$$

- 1.3. **HUMEDAD** . Es la masa de agua en forma de vapor que contiene la unidad de volumen de aire ( $g/m^3$ ) . Como suministra poca información, se define la humedad relativa como la relación entre la masa de vapor que contiene y la máxima cantidad (saturación) que podría contener a una cierta temperatura, que varía con ésta y es un valor adimensional.

### 2. PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire que utilizan los sistemas neumáticos se toma directamente de la atmósfera, pero es preciso someterlo a una serie de procesos para hacerlo apto para su utilización. Es lo que llamamos PRODUCCIÓN del aire comprimido y consta de las siguientes operaciones :

- ♦ **Compresión** . Como el fluido transmite la energía en forma de presión, es preciso elevar la presión del aire absorbido desde la atmosférica a la presión de trabajo (entre 5 y 10 atmósferas) mediante un COMPRESOR.
- ♦ **Deshumidificación**. El agua contenida por el aire atmosférico es altamente perjudicial, ya que favorece la corrosión de los elementos metálicos del sistema, por lo que es preciso eliminar la mayor cantidad posible

- ◆ Limpieza. Las partículas de polvo o de óxido atacan principalmente las juntas de estanqueidad por abrasión, por lo que es necesario filtrar el aire en diferentes puntos del circuito
- ◆ Engrase. Como el sistema está constituido por piezas metálicas que se mueven entre sí, es conveniente

## 2.1 COMPRESIÓN :

- ◆ Compresores de émbolo. Es el más utilizado. Consta de un émbolo movido por un motor eléctrico o térmico. La presión alcanzable es teóricamente ilimitada. Puede ser de varias etapas con refrigeración intermedia, con cilindros de doble y simple efecto.
- ◆ Compresores volumétricos rotativos. El principio de funcionamiento es el mismo que en los de émbolo pero el movimiento es rotativo en vez de lineal. Constan de un estator cilíndrico en cuyo interior gira un rotor excéntrico en cuya periferia se sitúan paletas regularmente espaciadas, que pueden deslizarse en sus ranuras de alojamiento y que rozan con la superficie interior del estator por efecto de la fuerza centrífuga, formando cámaras cuyo volumen varía a lo largo de la rotación
- ◆ Compresores centrífugos. Constan de una cámara en cuyo interior gira un rodete. El aire es aspirado en el centro del rodete, y empujado hacia las paredes por las aspas del rodete, comunicándole una elevada energía cinética (centrífuga) que al chocar contra la pared se transforma en presión de acuerdo con el principio de Bernoulli. Se alcanza un pequeño incremento de presión pero es capaz de alcanzar grandes caudales.

## 2.2 DESHUMIDIFICACIÓN O SECADO

Los principales métodos para la eliminación del agua en forma de vapor que contiene el aire son :

- ◆ Por enfriamiento. Se basan en el hecho de que la cantidad de vapor que es capaz de contener el aire en suspensión disminuye con la temperatura. El aire a la salida del compresor se hace pasar por una zona de refrigeración donde el vapor se condensa y el agua líquida puede eliminarse fácilmente purgándolo por gravedad.
- ◆ Por absorción : El aire se hace pasar a través de un material hidrófilo, que retiene el agua en su interior, empapándose. Es simple y barato, pero es preciso cambiar el cartucho absorbente periódicamente.
- ◆ Por adsorción : Existen materiales, como la sílice, que son capaces de retener el agua en su superficie, debido a efectos de tensión superficial, sin reacción química, de manera que no empapa. El agua condensada en su superficie gotea y se puede eliminar fácilmente.

**FILTRADO.** Los filtros tienen por misión el retener las partículas sólidas que arrastra el aire en suspensión.

El primer filtro debe colocarse obligatoriamente a la entrada del compresor, para eliminar el polvo atmosférico. El aire se almacena en el acumulador o calderín, y a la salida del mismo debe haber otro filtro similar. Los filtros constan de unos deflectores giratorios que impulsan las partículas pesadas hacia el exterior

## LUBRICACIÓN

Utilizan el efecto Venturi, que se basa en el teorema de Bernoulli, según el cual, al pasar el aire por un estrechamiento, al aumentar la velocidad se disminuye la presión. Si en esta zona se coloca un tubo capilar abierto que lo comunice con un depósito de aceite, éste ascenderá por el mismo por la succión ocasionada por la depresión en el estrechamiento, haciendo caer aceite en la conducción que es arrastrado por el chorro de aire. Mas eficientes, aunque basados en el mismo principio son los micronebulizadores, en los que el aceite sale pulverizado en gotas más finas.

3. ELEMENTOS DE TRABAJO. Son los que transforman la energía neumática de presión en energía y trabajo mecánico, de forma lineal (cilindros) o rotatoria (motores) .

- CILÍNDROS NEUMÁTICOS : Constan de un tubo de acero estirado (cuerpo) , derrado por sus extremos por dos tapas, culatas o cabezas de fundición. Por su interior puede deslizar un émbolo unido a un vástago que sale por uno de los extremos a través de un casquillo autolubrificante que lo guía. Además existen una serie de juntas para garantizar la estanqueidad del cilindro : planas y toriodales en las partes fijas y de vaso y labios para las móviles. A demás en la culata por la que pasa en vástago hay una junta rascadora que elimina el polvo y la suciedad.

TIPOS

CÁLCULO DE CILINDROS :

1º Sección del cilindro : Depende de la fuerza a ejercer y de la presión de trabajo. En presiones absolutas las formulas son ;

– Simple efecto  $F_{avance} = p \cdot A_e - F_r - F_m$  ;  $F_{retroceso} = F_m - F_r$  .

– Doble efecto  $F_{avance} = p \cdot A_e - p_{atm} (A_e - A_v) - F_r$  ;  $F_{retroceso} = p (A_e - A_v) - p_{atm} A_e - F_r$  .

2º Sección del vástago : Depende de la tensión de trabajo y del material del que esté hecho.

La longitud está determinada por la carrera que deba efectuar el émbolo. Como quiera que en general será un cilindro esbelto, si trabaja a tracción estará determinada por la tensión de rotura o el límite elástico, si trabaja a compresión se produce pandeo (curvatura del vástago por esfuerzos axiales) y la carga máxima (crítica) se obtiene de la fórmula de Euler :

$$F_{critica} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot l_{pandeo}} \quad I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad \rightarrow \begin{cases} \text{extremo empotrado} & l_{pandeo} = l \\ \text{extremos articulados} & l_{pandeo} = 2 \cdot l \end{cases}$$

3º Consumo de aire : Es el caudal de aire a presión atmosférica que necesita el circuito neumático para realizar su trabajo. Depende del volumen del cilindro, de la presión de trabajo y del número de movimientos que se realicen en la unidad de tiempo. En presiones manométricas y por ciclo de trabajo (movimientos de entrada y salida del vástago):

Simple efecto  $V_{atm} = V_p (1+p) = \pi R^2 \cdot l \cdot (1+p)$

Doble efecto  $V_{atm} = V_p (1+p) = \pi [R^2 + (R - r)^2] l \cdot (1+p)$

- MOTORES NEUMÁTICOS

4. ELEMENTOS DE GOBIERNO. Son aquellos que controlan y regulan el funcionamiento de los elementos de trabajo. Son las válvulas en todas su formas y tipos. Se dividen en :

- Válvulas de control de presión que se subdividen en :

- **Válvulas limitadoras de presión o de seguridad.** Limitan la presión de suministro a un valor por debajo de un cierto umbral. Cuando la presión en el circuito de alimentación sobrepasa el valor fijado, el elemento móvil vence al muelle y abren un orificio de descarga a la atmósfera.
- **Válvulas reguladoras de presión.** Limitan la presión en el circuito de utilización a un valor fijado, siempre inferior al de suministro.
- **Válvulas de secuencia.** Cuando la presión en la utilización alcanza un cierto valor, abren el paso del aire a un segundo circuito.
- Válvulas reguladoras de caudal. Limitan el valor del caudal que pasa por ellas. Se basan en hacer pasar el fluido por un estrechamiento que produce una disminución de la presión al aumentar la pérdida de carga (en un canal estrecho las
- Válvulas distribuidoras, que a su vez pueden ser :
  - Válvulas de potencia o principales.
  - Válvulas de mando o control
  - Válvulas auxiliares

## 5. CAPTADORES

- FINAL DE CARRERA. Es un detector que emite una señal cuando un órgano móvil pasa por una determinada posición. La señal puede ser eléctrica o neumática.
- DETECTOR POR BARRERA DE AIRE
- PRESOSTATO. Es un interruptor o conmutador eléctrico con mando neumático

## 6. CIRCUITOS NEUMÁTICOS

Se entiende por circuito neumático al conjunto de actuadores y elementos de mando y regulación que alimentados por el gas a presión que suministra el grupo de presión realizan una función determinada.

Solo consideraremos el caso en que el funcionamiento del circuito es secuencial, es decir que se puede describir como una sucesión de estados de los actuadores en la que la transición de un estado a otro se realiza por medio de una acción de mando. No estudiaremos los casos en los que existe realimentación (la salida obtenida influye en la señal de mando de entrada)

En el circuito neumático distinguiremos :

- Actuadores. Se designan con un número secuencial seguido de un 0 separados por un punto, es decir 1.0 , 2.0, 3.0, ..... y así sucesivamente. Pueden ser cilindros o motores.
- Válvulas de potencia : 1.1 , 2.1 3.1 .....
- Válvulas de mando : 1.3 , 1.5 1.7 .... si influyen en el retroceso del vástago 1.2, 1.4 1.6 si lo hacen en la salida del vástago
- Válvulas auxiliares : 1.01, 1.02....
- Elementos del grupo de potencia : 0.1 ; 0.2 .....

Para describir el funcionamiento se utilizan diagramas esquemáticos de los movimientos :

- **Diagramas desplazamiento-fase.** Fase = cambio de estado. Para cada actuador y cada válvula de mando, en el eje de ordenadas se lleva el desplazamiento del actuador o la válvula a escala El eje de abscisas se divide en espacios iguales y arbitrarios que representan las sucesivas fases.
- **Diagramas desplazamiento-tiempo.** Igual que el anterior, pero en el eje de abscisas se representa a escala el tiempo.
- **Grafcet** (Graphe Fonctionnel de Comande Etapes-Transitions). Los estados se representan por cuadrados unidos por líneas orientadas (flechas) que van de un estado al siguiente, que representan la transición y solo se pueden recorrer en un sentido. Junto a la línea se coloca la condición que produce la transición. Si es la activación de una válvula, entonces se coloca el número de la válvula de mando o regulación cuya activación produce la transición. Al lado de cada estado y unido a él por una línea se sitúa un rectángulo en cuyo interior se describe la acción que lleva al estado ( referencia del actuador que cambia y su movimiento, (+) si es salida del vástago, (-) si es entrada) . Los actuadores pueden realizar secuencias paralelas (Y), exclusivas (O) , saltos en la secuencia y retornos a estados anteriores.

# TEMA 11 : OLEOHIDRÁULICA

## 1. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS INSTALACIONES HIDRÁULICAS

Ventajas :

- 1º. Mayores fuerzas y pares con menor tamaño y gasto de energía
- 2º. Mejor control y precisión de los movimientos :
  - ◆ Permite detener el actuador en cualquier posición intermedia
  - ◆ Permite una inversión instantánea del movimiento
  - ◆ Dán el la fuerza o el par máximo desde el primer instante
  - ◆ La velocidad es independiente de la carga
  - ◆ Gran facilidad para proteger el circuito contra sobrecargas.

Inconvenientes

- 1º. Es mas costoso :
  - ◆ El fluido de trabajo, aceite, es más caro que el aire
  - ◆ Las instalaciones son más complicadas, pues deben tener tuberías drenaje y de retorno del aceite al depósito
  - ◆ Se producen mayores pérdidas de carga
- 2º. Es mas lento, debido a que los fluidos de trabajo (líquidos) poseen más inercia que en los neumáticos ya que son mucho más densos ( la desidad del agua es 1000 Kg/m<sup>3</sup> frente a la del aire que es tan solo 1 Kg/m<sup>3</sup> )

## 2. PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS FLUIDOS

DENSIDAD :

- ◆ Es la masa por unidad de volumen. Se mide en Kg/m<sup>3</sup>. Peso específico es el peso por unidad de volumen. Volumen específico es el volumen por unidad de masa o peso.
- ◆ Interesa que la densidad sea lo más baja posible para que el fluido tenga menos inercia y sea necesaria menos energía para ponerlo en movimiento.

PRESIÓN DE VAPOR :

- ◆ Es la presión parcial que ejerce el vapor de un fluido en un recipiente cerrado y parcialmente lleno de líquido.
- ◆ Depende de la naturaleza del líquido, y de la temperatura.
- ◆ Se produce cuando se alcanza el equilibrio dinámico entre el fenómeno de la evaporación superficial del líquido y el de la condensación del vapor
- ◆ Cavitación : Formación de burbujas de vapor en el seno de un líquido cuando localmente se alcanzan valores de la presión inferiores a la de vapor a una determinada temperatura.

VISCOSIDAD :

- ◆ Es la resistencia a la deformación que presentan los fluidos. Es pues equivalente al rozamiento entre sólidos que deslizan en contacto entre sí. Los esfuerzos viscosos son los que actúan en la dirección tangente a la superficie límite de la partícula fluida, mientras que la presión es el esfuerzo normal a dicha superficie.
- ◆ Ley de Newton y fluidos newtonianos. En ciertos fluidos, los llamados newtonianos, se cumple que la viscosidad es proporcional al gradiente (variación) de velocidades, oponiéndose a él. Esta ley, análoga a la ley de Hooke en resistencia de materiales, que se conoce como ley de Newton se formula así

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dh} \approx \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h} \quad \equiv \quad F = -k \cdot x \quad \equiv \quad \sigma = E \cdot \varepsilon$$

- ◆ Viscosidad dinámica o absoluta. AL coeficiente de proporcionalidad entre el esfuerzo (fuerza por unidad de superficie) viscoso y el gradiente de presiones se denomina viscosidad dinámica o absoluta y se mide en poises (sistema C.G.S.). La unidad en el SI es el decapoise. La viscosidad del agua es aproximadamente un centipoise.
- ◆ Viscosidad Relativa. Es la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad. Se mide en stokes en el sistema CGS.
- ◆ Viscosímetros. Los viscosímetros son aparatos diseñados para medir la viscosidad cinemática. Los más utilizados la miden en unidades arbitrarias, pero existen fórmulas empíricas para transformarlas en stokes. Los más utilizados son :
  - Engler : Grado Engler es la relación entre el tiempo que tardan en fluir por gravedad 200cc del líquido a ensayar a 20°C por un tubo capilar de 2,9 mm de diámetro y el que tardan el mismo volumen en las mismas condiciones de agua . Se usa en Europa
  - Saybolt : Se usa en EEUU .Segundo Saybolt Universal (SSU) es el tiempo en segundos que tardan en fluir una cierta cantidad de líquido a través de un orificio de cierto diámetro.
  - Redwood : Se usa en Inglaterra. Segundos Redwood. Similar al anterior
- ◆ Índice de viscosidad (I.V.) Es un índice arbitrario que nos dá una indicación de la variación de la viscosidad con la temperatura. Se mide la viscosidad SSU a 210°F del aceite a determinar y se eligen aceites de las series patron H y L que tengan LA MISMA viscosidad a esa temperatura. Luego se mide la viscosidad SSU a 100°F de los tres y se halla el índice con la siguiente fórmula.
 
$$I.V. = \frac{L - U}{L - H}$$
- ◆ En los fluidos hidráulicos interesa que el índice de viscosidad sea lo mas alto posible (para que varíe poco con la temperatura) y la viscosidad que tenga un valor intermedio, pues :
  - Si es demasiado alto, hay demasidas pérdidas de carga y es difícil de mover el fluido
  - Si es demasiado bajo, tiene poca capacidad lubricante y tiene menos estanqueidad, aumentan las pérdidas y las fugas

#### FLUIDEZ O PUNTO DE GOTA

Es el valor de la temperatura mas baja a la que el líquido es capaz de fluir. Está lógicamente relacionada con su punto de fusión, y se suele tomar unos 10° por encima de ésta. Interesa que sea lo mas ´bajo posible, para que el sistema pueda trabajar a bajas temperaturas

#### CAPACIDAD DE LUBRICACIÓN

La lubricación consiste en interponer entre dos superficies móviles sólidas que rozan una capa de fluido que impida el contacto directo entre ellas, disminuyendo el rozamiento y el desgaste. Existen dos tipos de lubricaciones :

- Hidrodinámica. El fluido lubricante se mueve respecto de las superficies sólidas a una determinada presión, produciendo una fuerza resultante de sustentación que evita que entren en contacto. Se basa en el efecto de cuña del fluido.
- Untuosa o de extrema presión. Si las superficies ejercen demasaida presión una contra otra, el fluido es incapaz de moverse entre ellas, y se recurre a lubricantes especiales que se "adhieren" a las superficies rozantes, interponiendose entre ellas, impidiendo el contacto físico .

#### CAPACIDAD REFRIGERANTE

## EMULSIVIDAD

Se denomina emulsión a la dispersión en forma de gotas microscópicas de un fluido en el seno de otro. Cuando el fluido dispersado es aire se dice que se ha formado una espuma. Interesa que el fluido de trabajo no produzca espumas por lo que interesa que tenga una emulsividad lo mas' baja posible. Se añaden aditivos antiespumantes para evitarlo.

## RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN Y LA CORROSIÓN

### 3. PRINCIPIOS DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS

Conceptos Previos :

- **Partícula fluida** : masa de fluido limitada por una superficie cerrada cualquiera de tamaño lo suficientemente pequeña para poder aplicar el cálculo infinitesimal, pero lo suficientemente grande para contener un número de moléculas elevado para que sean válidos los valores medios de las magnitudes en sentido estadístico.
- **Línea de Corriente o de flujo**: lugar geométrico de las tangentes a la velocidad de una serie de partículas fluidas. Si el régimen es laminar coincide con las trayectorias de las partículas.

PRINCIPIO DE PASCAL : Toda variación de presión en un punto de un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones. Aplicaciones : Prensa hidráulica, frenos hidráulicos, gato hidráulico. Fórmula :

$$p_1 = p_2 \quad \Rightarrow \quad F_1.A_1 = F_2.A_2$$

LEY DE CONTINUIDAD : La masa que atraviesa cualquier sección de un tubo de corriente en la unidad de tiempo es constante en cualquier sección. Si el fluido es incompresible se puede hacer extensible al volumen. Fórmula :

$$Q_1 = Q_2 \quad \Rightarrow \quad A_1.v_1 = A_2.v_2$$

TEOREMA DE BERNOUILLI : En un fluido incompresible y sin viscosidad, la energía mecánica (la debida a la presión o hidrostática, la debida a la altura o potencial y la debida a la velocidad o cinética) se conserva a lo largo de las líneas de corriente. Fórmula :

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Ejemplos de aplicación : Principio de Torricelli y el tubo de Pitot.

### NUMERO DE REYNOLDS : RÉGIMEN LAMINAR Y TURBULENTO

Cuando un fluido se mueve de forma que las líneas de corriente son paralelas entre sí se dice que se mueve en **régimen laminar** en el que el fluido se mueve por "capas" que deslizan entre sí. En otro caso se habla de **régimen turbulento**, porque se forman torbellinos. Como quiera que las fuerzas que influyen en el movimiento son las de inercia y las de viscosidad, se define un número ADIMENSIONAL cuyo valor nos indica en qué tipo de régimen se mueve el fluido y que se obtiene como el doble del cociente de las mismas , que se denomina **número de Reynolds** :

$$Re = 2 \cdot \frac{\frac{1}{2} \rho v^2}{\mu \cdot \frac{v}{D}} = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Por debajo de  $Re = 2400$  el régimen es laminar. Por encima de  $Re=3000$  es turbulento

#### MOVIMIENTO EN CONDUCTOS : PERDIDA DE CARGA

De la ecuación de Bernouilli se deduce que no es necesario consumir energía para mover un fluido no viscoso a presión y velocidad constante por un tubo horizontal.

Pero la experiencia nos dice que en la práctica se consume una energía para ello. La razón es que los fluidos reales son viscosos. Entonces, en un fluido viscoso no se cumple la ley de Bernouilli. Pero podemos extender su uso al movimiento de fluidos reales en conductos si consideramos que los efectos viscosos se reducen a producir una pérdida de presión a lo largo del tubo, que denominamos pérdida de carga, cuyo valor se determina por la Fórmula de Darcy-Weissbach :

$$H_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{o} \quad \Delta p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Dónde  $f$  es un coeficiente adimensional de fricción que vale  $64/Re$  en régimen laminar, y que tiene diferentes expresiones empíricas para régimen turbulento.

#### **4. INSTALACIONES HIDRÁULICAS**

FILTROS

MANÓMETROS

DEPÓSITOS

ACUMULADORES

BOMBAS

#### 5. ELEMENTOS DE DISTRIBUCIÓN, REGULACIÓN Y TRABAJO

DISTRIBUCIÓN :

CONDUCCIONES

VALVULAS DISTRIBUIDORAS

REGULACIÓN :

VALVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN

VALVULAS REGULADORAS DE CAUDAL

TRABAJO :

CILINDROS

MOTORES