3.2 Caudal real y caudal teórico en una bomba volumétrica

Esta pérdida de potencia, de la que hemos hablado en el apartado anterior, también provocará una pérdida de caudal en la salida de la bomba. De esta manera podemos escribir:

$$Q_r = Q_t - Q_p$$

Q_r caudal real en la salida de la bomba, en m^3/s
Q_t caudal teórico que saldría de la bomba, en m^3/s
Q_p caudal perdido por fugas en la bomba, en m^3/s

3.3 Cálculo del caudal teórico

El caudal teórico, que es el que saldría de la bomba si ésta fuese ideal y, por tanto, no tuviera fugas, sólo depende de la velocidad de rotación de la bomba (ω) y del volumen de desplazamiento (V_n) capturado por ésta. De esta manera, podemos calcular el caudal teórico a partir de estas dos magnitudes:

$$Q_t = V_n \cdot \omega \quad [1]$$

Q_t caudal teórico de la bomba, en m^3/s
V_n volumen de desplazamiento, cantidad de fluido capturada por la bomba y transportada por ésta en una vuelta o ciclo de trabajo según el principio de desplazamiento positivo
ω velocidad angular de giro de la bomba, en rad/s o en r.p.m.

3.4 Rendimiento total, volumétrico y mecánico

Son parámetros que evalúan la efectividad de la bomba. En la realidad industrial, los rendimientos son siempre magnitudes positivas menores que la unidad. Si el rendimiento de una bomba fuese igual a la unidad, se consideraría la bomba como ideal; es decir, la bomba transformaría toda la energía mecánica producida por el motor en energía hidráulica sin fugas.

Para determinar la efectividad de las bombas se utilizan el rendimiento total y el volumétrico, definidos como:

- Rendimiento total: $\eta_{tot} = \dfrac{N_i}{N_i + N_p} = \dfrac{N_i}{N_m}$
- Rendimiento volumétrico: $\eta_v = \dfrac{Q_r}{Q_r + Q_p} = \dfrac{Q_r}{Q_t} \quad [2]$

Estos dos rendimientos quedan relacionados entre sí por medio del rendimiento mecánico (η_c) a través de la siguiente expresión:

$$\eta_c = \frac{\eta_{tot}}{\eta_v}$$

Estos tres rendimientos se expresan en tanto por uno (o, si conviene, en tanto por ciento). De forma general, y como valores orientadores, se puede afirmar que el rendimiento de las bombas hidráulicas es elevado; oscila sobre el 90 %, aunque también existen bombas con rendimientos menores, del orden del 80 %.

3.5 Relación entre el caudal real y el rendimiento volumétrico de una bomba

Combinando las expresiones [2] de rendimiento volumétrico y [1] de caudal teórico, podemos escribir la siguiente fórmula de gran aplicación:

$$\left.\begin{array}{l} \eta_v = \dfrac{Q_r}{Q_t} \\ Q_t = V_n \cdot \omega \end{array}\right\} \rightarrow Q_r = \eta_v \cdot Q_t \rightarrow Q_r = \eta_v \cdot V_n \cdot \omega \quad [3]$$

Ejercicio resuelto

Una bomba volumétrica que gira a razón de 960 r.p.m. tiene un volumen de desplazamiento de 2 cm^3/vuelta y un rendimiento volumétrico del 98 %. Determina el caudal real suministrado por la bomba y justifica su orden de magnitud.

Datos:

ω = 960 r.p.m. = 960 vueltas/min
V_n = 2 cm^3/vuelta
η_v = 0,98

Solución:

Sustituyendo valores en la expresión [3], obtenemos:

$$Q_r = \eta_v \cdot V_n \cdot \omega =$$

$$= 0{,}98 \cdot \frac{2\ cm^3}{vuelta} \cdot 960\ \frac{vuelta}{min} \cdot \frac{1\ min}{60\ s} \cdot \frac{1\ m^3}{10^6\ cm^3}$$

$$Q_r = 31{,}36 \cdot 10^{-6}\ m^3/s$$

Es un caudal muy pequeño, característico de una bomba volumétrica.

Análisis cinemático de un cilindro

Como ya sabemos, los cilindros realizan un movimiento rectilíneo y alternativo mediante el cual transforman energía neumática o hidráulica en energía mecánica. El análisis detallado de su movimiento requiere prestar especial atención a las siguientes consideraciones cinemáticas:

1. Para determinar la velocidad con la que estos dispositivos se mueven en sus respectivas carreras de avance o retroceso, utilizaremos las siguientes expresiones:

   - Para el avance: $v_{avance} = \dfrac{Q}{A}$ [6]

   - Para el retroceso: $v_{retroceso} = \dfrac{Q}{A'}$ [7]

2. Trabajaremos siempre con cilindros o actuadores lineales. Es decir, con cilindros que se mueven realizando ciclos compuestos por dos recorridos (carreras) rectilíneos y uniformes sin aceleración. Debido a que estos movimientos son rectilíneos y uniformes, para determinar las velocidades de avance o de retroceso del émbolo también podemos hacer uso de esta expresión:

$$v = \frac{x}{t} \quad [8]$$

v_{avance} velocidad en la carrera de avance, en m/s, cm/s...
$v_{retroceso}$ velocidad en la carrera de retroceso, en m/s, cm/s...
A y A' secciones útiles de trabajo en las carreras de avance y de retroceso, calculadas con las expresiones [4] y [5] respectivamente.
Q caudal volumétrico constante suministrado al cilindro, en m^3/s...

v velocidad de avance o de retroceso, en m/s, cm/s...
x posición concreta del émbolo en su carrera, en m, cm...
t tiempo asociado a la posición x, en s

Como ya sabemos, cada ciclo estará compuesto por dos carreras: la de avance y la de retroceso. Cada carrera (L) es la distancia máxima que puede recorrer el émbolo (parte móvil del cilindro) en su movimiento de avance o de retroceso.

Por lo tanto, podemos calcular el tiempo total asociado a las carreras de avance y de retroceso a partir de la expresión [8], usando las velocidades adecuadas y la longitud total de la carrera (L):

- En el avance: $t_{avance} = \dfrac{L}{v_{avance}}$ [9]
- En el retroceso: $t_{retroceso} = \dfrac{L}{v_{retroceso}}$ [10]

En las carreras de retroceso de los cilindros de efecto simple no se utilizan las expresiones aquí presentadas, porque, como ya sabéis, en estos cilindros el retroceso lo lleva a cabo el muelle.

Ejercicio resuelto

Un cilindro de efecto doble está alimentado por un caudal de 20,45 l/min y sus respectivos diámetros de émbolo (D) y de vástago (d) son de 150 mm y 55 mm. Sabiendo que su carrera (L) es de 20 mm, se pide calcular:

a) Las velocidades de avance y de retroceso de dicho cilindro.

b) Los tiempos totales asociados a las carreras de avance y de retroceso del cilindro.

Datos: $Q = 20{,}45 \dfrac{\text{l}}{\text{min}} \cdot \dfrac{1\ \text{m}^3}{1.000\ \text{l}} \cdot \dfrac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}} = 3{,}41 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^3/\text{s}$ $\quad L = 20 \cdot 10^{-3}$ m $\quad D = 150 \cdot 10^{-3}$ m $\quad d = 55 \cdot 10^{-3}$ m

Solución:

a) Usando las expresiones [6] y [7] para el avance y para el retroceso respectivamente, obtendremos para el avance: $v_{avance} = \dfrac{Q}{A}$

con $A = \dfrac{\pi \cdot D^2}{4} = \dfrac{\pi \cdot (150 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1{,}77 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2$. Por lo tanto: $v_{avance} = \dfrac{Q}{A} = \dfrac{3{,}41 \cdot 10^{-4}}{1{,}77 \cdot 10^{-2}} = 1{,}93 \cdot 10^{-2}$ m/s

Y para el retroceso, obtendremos: $v_{retroceso} = \dfrac{Q}{A'}$ con $A' = \dfrac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \dfrac{\pi \cdot [(150 \cdot 10^{-3})^2 - (55 \cdot 10^{-3})^2]}{4} = 1{,}53 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2$

Por lo tanto: $v_{retroceso} = \dfrac{Q}{A'} = \dfrac{3{,}41 \cdot 10^{-4}}{1{,}53 \cdot 10^{-2}} = 2{,}23 \cdot 10^{-2}$ m/s

b) Usando las expresiones [9] y [10] para el avance y para el retroceso respectivamente, obtendremos:

- Para el avance: $t_{avance} = \dfrac{L}{v_{avance}} = \dfrac{20 \cdot 10^{-3}}{1{,}93 \cdot 10^{-2}} = 1{,}04$ s
- Para el retroceso: $t_{retroceso} = \dfrac{L}{v_{retroceso}} = \dfrac{20 \cdot 10^{-3}}{2{,}23 \cdot 10^{-2}} = 0{,}90$ s

Análisis de las fuerzas teórica y real que transmiten los cilindros

Fuerza teórica en los cilindros

La fuerza teórica realizada por un cilindro es ideal, ya que en su cálculo no se tienen en cuenta las fuerzas de rozamiento que se oponen al movimiento del émbolo. Independientemente de si el cilindro es de efecto simple o de efecto doble, la fuerza teórica que éste desarrolla se calcula con la siguiente expresión:

$$F_t = A \cdot p \quad [11]$$

- A sección útil del émbolo, en m^2, cm^2...
- p presión de alimentación, en Pa, bar...
- F_t fuerza teórica, en N, kp...

Aunque la fuerza teórica se calcule con la misma expresión para cilindros de efecto simple y de efecto doble, la sección útil del émbolo (A) variará según se trate de uno u otro tipo de cilindro.

Además, si se trata de un cilindro de efecto doble, también variará dependiendo de si consideramos que la fuerza es de avance o de retroceso. Veámoslo con estos dos ejemplos:

Ejercicio resuelto

Determina la fuerza teórica (F_t) realizada por un cilindro de efecto simple de 40 mm de diámetro interior, 20 mm de diámetro de vástago y 8 bar de presión de alimentación.

Datos:

$D = 40 \cdot 10^{-3}$ m

$d = 20 \cdot 10^{-3}$ m

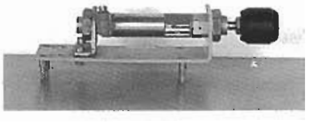
$p = 8$ bar $= 8 \cdot 10^5$ N/m^2

Solución:

Debido a que el cilindro es de efecto simple, sólo realizará fuerza en la carrera de avance, y la sección útil (A) vendrá dada por la expresión [4].

Por lo tanto, usando la expresión [11] obtendremos:

$$F_{t\text{-avance}} = p \cdot A = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 8 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1.005{,}30 \text{ N}$$



▲ Figura 14.14. Cilindro de efecto simple.

Ejercicio resuelto

Considerando que el cilindro del ejemplo anterior es de efecto doble, determina las fuerzas teóricas en el avance y en el retroceso del vástago.

¿Cuál es mayor? ¿Por qué?

Solución:

Usando adecuadamente la expresión [11], obtendremos:

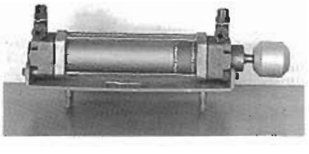
- En el avance:

$$F_{t\text{-avance}} = p \cdot A = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 8 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1.005{,}30 \text{ N}$$

- En el retroceso, la sección útil del émbolo vendrá dada por la expresión [5], y por lo tanto:

$$F_{t\text{-retroceso}} = p \cdot A' = p \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = 8 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot [(40 \cdot 10^{-3})^2 - (20 \cdot 10^{-3})^2]}{4} = 753{,}98 \text{ N}$$

$F_{t\text{-avance}} > F_{t\text{-retroceso}}$, puesto que la sección útil en la carrera de avance es mayor que la sección útil en la carrera de retroceso, y se mantiene constante la presión de alimentación.



▲ Figura 14.15. Cilindro de efecto doble.

Fuerzas netas reales en los cilindros de efecto simple y de efecto doble

En los problemas prácticos resulta necesario conocer la fuerza real desarrollada por un cilindro, lo que provoca que debamos evaluar el efecto que causa el rozamiento mecánico en el movimiento del cilindro. De este modo, según el cilindro sea de efecto simple o doble, utilizaremos para el cálculo de las fuerzas desarrolladas por sus respectivos vástagos las expresiones que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de fuerzas netas reales desarrolladas por un cilindro

Tipo de cilindro	Posición de estudio	Expresión analítica para efectuar cálculos prácticos
De efecto simple	En la carrera de avance	$F_{n\text{-}avance} = F_{t\text{-}avance} - (F_m + F_{r\text{-}avance}) = p \cdot A - (F_m + F_{r\text{-}avance})$
	En la carrera de retroceso	El retorno lo realiza el muelle
De efecto doble	En la carrera de avance	$F_{n\text{-}avance} = F_{t\text{-}avance} - F_{r\text{-}avance} = p \cdot A - F_{r\text{-}avance}$ [12]
	En la carrera de retroceso	$F_{n\text{-}retroceso} = F_{t\text{-}retroceso} - F_{r\text{-}retroceso} = p \cdot A' - F_{r\text{-}retroceso}$ [13]

$F_{n\text{-}avance}$ fuerza neta real en la carrera de avance; en N, kp, kg...

$F_{n\text{-}retroceso}$ fuerza neta real en la carrera de retroceso; en N, kp, kg...

$F_{t\text{-}avance}$ fuerza teórica en la carrera de avance; en N, kp, kg...

$F_{t\text{-}retroceso}$ fuerza teórica en la carrera de retroceso; en N, kp, kg...

p presión de alimentación; en Pa, bar, atm...

A y A' secciones útiles; en m², cm²... calculadas con las expresiones [4] y [5]

D diámetro del émbolo; en m, cm...

d diámetro del vástago; en m, cm...

F_m fuerza de retorno del muelle; en N, kp... (Es importante notar que ésta sólo se utiliza en los cilindros de efecto simple y que debe ser un dato del enunciado.)

$F_{r\text{-}avance}$ fuerza de rozamiento en la carrera de avance; en N, kp...

$F_{r\text{-}retroceso}$ fuerza de rozamiento en la carrera de retroceso; en N, kp...

- Las fuerzas de rozamiento representan del 3 al 20 % de la fuerza real obtenible (F_n) o de la fuerza teórica (F_t), según se especifique en el enunciado del problema.
- Ejemplos de cómo se expresan: $F_r = 10\,\%$ de $F_n = 0{,}1 F_n$, $F_r = 7\,\%$ de $F_t = 0{,}07 F_t$. Cada una de estas fuerzas de rozamiento llevará su correspondiente subíndice, según actúe en la carrera de avance o en la carrera de retroceso.

Ejercicio resuelto

Un cilindro de efecto doble tiene las siguientes características: diámetro del émbolo = 100 mm; diámetro del vástago = 30 mm; y trabaja a una presión de 6 kp/cm². Considerando que durante todo el movimiento el efecto del rozamiento es el 10 % de la fuerza neta realizada por el cilindro, determina las fuerzas netas en el avance y en el retroceso del cilindro.

Datos: $D = 100 \text{ mm} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $\quad F_{r\text{-}avance} = 10\,\%$ de $F_{n\text{-}avance}$ $\quad F_{r\text{-}retroceso} = 10\,\%$ de $F_{n\text{-}retroceso}$

$d = 30 \text{ mm} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $\quad p = 6 \cdot \dfrac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \cdot \dfrac{9{,}81 \text{ N}}{1 \text{ kp}} \cdot \dfrac{1 \cdot 10^4 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} = 5{,}88 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Solución:

Aplicando las expresiones [12] y [13] respectivamente, obtenemos:

- En el avance: $F_{n\text{-}avance} = p \cdot A - F_{r\text{-}avance}$ [12] con $A = \dfrac{\pi \cdot (100 \cdot 10^{-3})^2}{4}$

$$F_{n\text{-}avance} = A \cdot 5{,}88 \cdot 10^5 - 10 \cdot \frac{F_{n\text{-}avance}}{100} \longrightarrow F_{n\text{-}avance} = 4{,}20 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- En el retroceso: $F_{n\text{-}retroceso} = p \cdot A' - F_{r\text{-}retroceso}$ [13] con $A' = \dfrac{\pi \cdot (100 \cdot 10^{-3})^2}{4} - \dfrac{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2}{4}$

$$F_{n\text{-}avance} = A' \cdot 5{,}88 \cdot 10^5 - 10 \cdot \frac{F_{n\text{-}retroceso}}{100} \longrightarrow F_{n\text{-}retroceso} = 3{,}82 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Ejercicio resuelto

En la tabla adjunta se presentan las características comerciales de fabricación de ocho cilindros oleohidráulicos de efecto doble.

De entre estos ocho cilindros, determina el adecuado para efectuar una fuerza neta mínima de 2 toneladas en la carrera de avance, sabiendo que la presión de alimentación para dicho cilindro es de 120 kp/cm² y que las pérdidas por fricción representan el 5 % de la fuerza neta ejercida.

N.° cilindro	1	2	3	4	5	6	7	8
Diámetro normalizado del émbolo en mm (D)	30	40	50	60	70	80	90	100
Diámetro normalizado del vástago en mm (d)	12	18	26	32	40	43	48	51

Datos: $F_{n\text{-}avance} = 2T \cdot \dfrac{1.000 \text{ kg}}{1T} \cdot 9{,}81 \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2} = 19.620 \text{ N}$ $\qquad p = 120 \cdot \dfrac{\text{kp}}{cm^2} \cdot \dfrac{9{,}81 \text{ N}}{1\,kp} \cdot \dfrac{10^4 \text{ cm}^2}{1\,m^2} = 1{,}17 \cdot 10^7 \, N/m^2$

$F_{r\text{-}avance} = 5\,\%$ de $F_{n\text{-}avance} = 5 \cdot \dfrac{19.620}{100} = 981 \text{ N}$

Solución:

Aplicando la expresión [12] obtenemos: $F_{n\text{-}avance} = F_{t\text{-}avance} - F_{r\text{-}avance} \longrightarrow 19.620 = F_{t\text{-}avance} - 981$; por lo tanto: $F_{t\text{-}avance} = 20.601 \text{ N}$

Por lo tanto, como: $F_{t\text{-}avance} = p \cdot A \longrightarrow 20.601 = 1{,}17 \cdot 10^7 \cdot \dfrac{\pi \cdot D^2}{4} \longrightarrow D = 4{,}72 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 47{,}20 \text{ mm}$

Tomaremos el valor menor de la tabla inmediatamente superior a 47,20 mm: elegiremos el n.° 3, de 50 mm de diámetro de émbolo y 26 mm de diámetro de vástago.

Ejercicio resuelto

Un cilindro neumático de efecto doble posee las siguientes características: diámetro del émbolo = 25 mm; diámetro del vástago = 15 mm; carrera del cilindro = 10 mm; tiempo empleado en la carrera de avance = $2 \cdot 10^{-3}$ s. Teniendo en cuenta estas características, determina:

a) El consumo teórico en volumen de aire en un ciclo de trabajo. b) El caudal teórico de aire consumido. c) La velocidad de avance del émbolo.

Datos: $D = 25 \cdot 10^{-3}$ m $\quad d = 15 \cdot 10^{-3}$ m $\quad L = 10 \cdot 10^{-3}$ m $\quad t_{avance} = 2 \cdot 10^{-3}$ s

Solución:

a) Empleando la expresión [15] obtenemos:

$$V_{doble} = \frac{\pi \cdot L}{4} \cdot (2 \cdot D^2 - d^2) = \frac{\pi \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot [2 \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2 - (15 \cdot 10^{-3})^2] = 8{,}05 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^3$$

b) Utilizando la expresión [16] obtenemos:

$$V_{carrera\text{-}avance} = \frac{\pi \cdot L \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 4{,}91 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^3 \qquad Q = \frac{V_{carrera\text{-}avance}}{t_{avance}} = \frac{4{,}91 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} = 2{,}46 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3/\text{s}$$

c) Podemos calcular la velocidad de avance del émbolo de dos maneras:

1. Usando la expresión [9] tenemos: $t_{avance} = \dfrac{L}{v_{avance}} \longrightarrow v_{avance} = \dfrac{L}{t_{avance}} = \dfrac{10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = 5$ m/s

2. Con la expresión [6]: $v_{avance} = \dfrac{Q}{A}$; donde $A = \dfrac{\pi \cdot D^2}{4} = \dfrac{\pi \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 4{,}91 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2 \longrightarrow v_{avance} = \dfrac{Q}{A} = \dfrac{2{,}46 \cdot 10^{-3}}{4{,}91 \cdot 10^{-4}} = 5$ m/s

Consumo real

El consumo total de aire comprimido resulta más complejo de evaluar; ya que este parámetro ha de contemplar **todo el aire utilizado en todas las cavidades interiores del cilindro**, incluso en las que sean de difícil acceso, como el aire contenido en la tubería de conexión del cilindro con el circuito, el aire recluido en los espacios muertos del cilindro, etc.

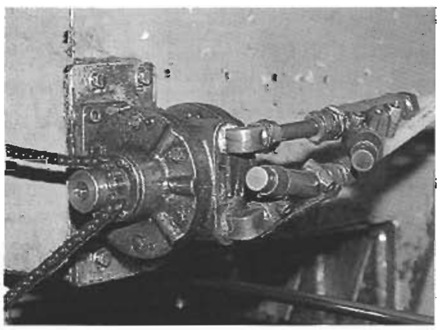
Este consumo total de aire se evalúa en unidades de caudal y la expresión matemática con la que se calcula es la siguiente:

$$Q = [(A + A_V) \cdot L \cdot (p + 1) + V_m \cdot p] \cdot f$$

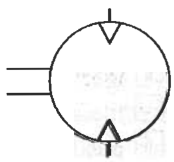
- Q caudal de aire; en m³/s, l/min…
- A área del émbolo; en m², dm²…
- A_v área del vástago; en m², dm²…
- L carrera; en m, dm…
- V_m volumen de los espacios muertos del cilindro; en m³, l…
- p presión de trabajo; en Pa, ba…
- f frecuencia de trabajo; en ciclos/s, ciclos/min…

5.2 Los motores neumáticos e hidráulicos

Tanto los motores neumáticos como los hidráulicos transforman la energía en forma de presión que lleva el fluido (aire o aceite, según el motor sea neumático o hidráulico) en movimiento rotativo (energía mecánica). Son motores insensibles al calor, al polvo, a la humedad y a las vibraciones, aunque tienen un consumo mayor que los eléctricos.



◄ Figura 14.16. Motor neumático.

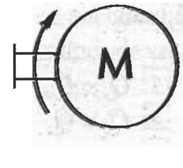


▲ Figura 14.17. Símbolo técnico de los motores neumáticos e hidráulicos.

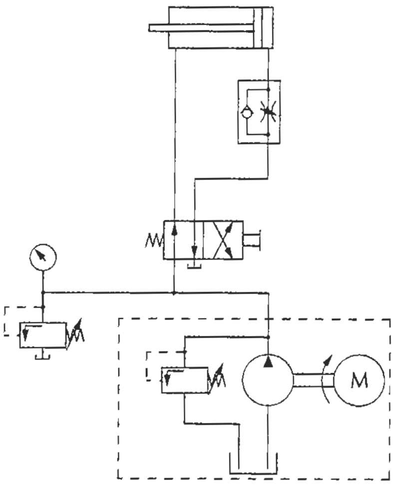
Independientemente de las características constructivas de cada uno de estos dos tipos de motores, todos ellos se representan con el mismo **símbolo técnico** (ISO-CETOP).

Es importante no confundir los motores neumáticos o hidráulicos con los eléctricos. Estos últimos, a diferencia de los anteriores, transforman energía eléctrica en energía mecánica de rotación.

Los **motores eléctricos** de uso en la neumática y en la hidráulica se representan en la simbología técnica (ISO-CETOP) tal como nos muestra la figura 14.18.



▲ Figura 14.18. Simbología técnica de los motores eléctricos.



Circuitos que requieren regular la velocidad del cilindro

En todos aquellos casos en los que se pretenda controlar la velocidad de accionamiento del cilindro, deberá incorporarse al circuito un regulador de caudal a la salida y/o entrada.

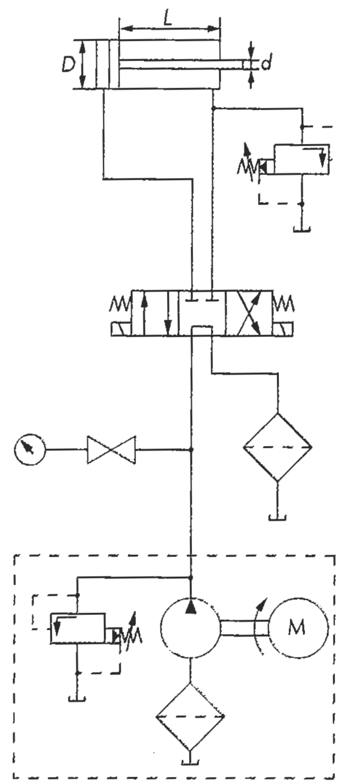
En la figura 15.15 se muestra un circuito de mando directo de un cilindro de doble efecto con regulación de la velocidad de avance, ya que únicamente se dispone de una válvula estranguladora a la entrada del cilindro.

◄ Figura 15.15. Regulación de velocidad.

Ejercicio resuelto

El circuito oleohidráulico de la figura está constituido por dos elementos principales: una bomba volumétrica y un cilindro de doble efecto, cuyas características se presentan a continuación:

- Para la bomba rotativa:
  - Cilindrada = volumen de desplazamiento = 3 cm^3/vuelta
  - Rendimiento volumétrico = 0,95
  - Velocidad angular de giro de la bomba = 950 r.p.m.
- Para el cilindro de doble efecto:
  - Diámetro (D) del émbolo = 20 mm
  - Diámetro (d) del vástago = 10 mm
  - L = carrera del cilindro = 20 mm



Sabiendo que el cilindro realizará un movimiento rectilíneo y uniforme, determina a partir de los datos anteriores los siguientes aspectos:

a) El caudal real a la salida de la bomba.

b) Las velocidades de avance y de retroceso del cilindro. ¿Cuál de las dos es mayor? ¿Por qué?

c) Los tiempos de avance y de retroceso del cilindro.

d) Representa los diagramas espacio-tiempo y velocidad-tiempo para un ciclo del movimiento del cilindro.

Solución:

a) $Q_r = \eta_v \cdot V_n \cdot \omega$ con $\eta_v = 0{,}95$; $V_n = 3$ cm^3/vuelta; $\omega = 950$ vueltas/min

De este modo: $Q_r = 0{,}95 \cdot \dfrac{3\ \text{cm}^3}{\text{vueltas}} \cdot \dfrac{950\ \text{vueltas}}{\text{min}} \cdot \dfrac{1\ \text{min}}{60\ \text{s}} \cdot \dfrac{1\ \text{m}^3}{100^3\ \text{cm}^3} = 4{,}51 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{s}$

b) En el avance: $V_{avance} = \dfrac{Q_r}{A}$ con $A = \dfrac{\pi D^2}{4} = \dfrac{\pi(20 \cdot 10^{-3})}{4} = 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2$

$V_{avance} = \dfrac{4{,}51 \cdot 10^{-5}}{3{,}14 \cdot 10^{-4}} = 0{,}143\ \text{m/s}$

En el retroceso: $V_{retroceso} = \dfrac{Q_r}{A'}$ con $A' = \dfrac{\pi}{4}\ (D^2 - d^2) = \dfrac{\pi}{4}\left[(20 \cdot 10^{-3})^2 - 10 \cdot 10^{-3})^2\right] =$

$= 2{,}36 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2 \quad V_{retroceso} = \dfrac{4{,}51 \cdot 10^{-5}}{2{,}36 \cdot 10^{-4}} = 0{,}191\ \text{m/s}$

$V_{retroceso} > V_{avance}$, porque $A' < A$, es decir, la sección útil en el retroceso (A') es menor que en la carrera de avance (A).

c) Tiempo de avance:

$t_{avance} = \dfrac{L}{V_{avance}} = \dfrac{20 \cdot 10^{-3}}{0{,}143} = 0{,}139\ \text{s}$

Tiempo de retroceso:

$t_{retroceso} = \dfrac{L}{V_{retroceso}} = \dfrac{20 \cdot 10^{-3}}{0{,}191} = 0{,}105\ \text{s}$

d) Con los datos de los apartados anteriores, tenemos los diagramas que se muestran a la derecha.