

IV. CIRCUITOS NEUMÁTICOS Y OLEOHIDRÁULICOS

18. SISTEMAS HIDRÁULICOS

El uso de sistemas hidráulicos se remonta a las antigüedades, actualmente, la mayoría de sistemas hidráulicos con fines industriales utilizan aceites mineral que provienen del petróleo.

18.1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS HIDRÁULICOS

18.1.2. DENSIDAD

La densidad absoluta es una propiedad característica de cada material y viene dada por la relación entre la masa de una determinada cantidad de sustancia y el volumen que ocupa. En el SI. se expresa en kg/m^3 . Su magnitud inversa es el volumen específico.

Se suele utilizar el concepto de densidad relativa como el cociente entre la densidad de un material y la del agua. Los líquidos en general son poco compresibles, de modo que su densidad es prácticamente constante.

Se define como peso específico la relación entre el peso de una determinada cantidad de sustancia y el volumen que ocupa, expresándose en N/m^3 en el SI.

18.1.6. PRESIÓN DE VAPOR

Las moléculas de los líquidos que se encuentran en su superficie libre o muy próximas a ella, pueden adquirir la suficiente energía para pasar a fase gaseosa, produciéndose la evaporación.

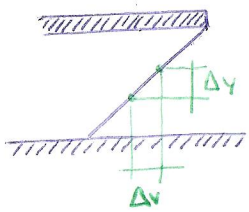
Cuando la evaporación tiene lugar en un recipiente cerrado, algunas moléculas en gas pueden ser absorbidas de nuevo al contacto con la superficie produciéndose la condensación.

La velocidad de evaporación en un recipiente cerrado depende del área libre y de la temperatura, aumentando proporcionalmente; la velocidad de condensación depende, además, de la concentración de moléculas en estado de vapor.

En un recipiente cerrado a temperatura constante, la velocidad de evaporación es siempre la misma, mientras que la de condensación, al comienzo, es nula; pero va aumentando conforme se verifica la evaporación hasta que se igualan. En este punto se produce un equilibrio dinámico donde las moléculas en vapor ejercen una presión determinada llamada: presión de vapor.

Si la temperatura es constante, esa presión de vapor no varía, de forma que si se disminuye el volumen del recipiente parte del vapor se condensa, mientras que si aumentamos el volumen, se evaporará algo de líquido ($p \downarrow$).

$$\rho = \frac{m}{V}$$



$$F = \mu \frac{\Delta v}{\Delta y} S$$

Esta expresión se conoce como ley de Newton para la viscosidad, y viene descrita por:

Δv : variación de la velocidad

Δy : variación de la altura o distancia

S : superficie

μ : coeficiente de viscosidad dinámico

$$F = \left[\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m/s}}{\text{m}} \cdot \text{m}^2 \right] = \text{N}$$

$$1 \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = 1 \text{po} = 10 \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$$

La viscosidad dinámica varía en función de la temperatura, independientemente de la presión.

18.1.c.II. Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad absoluta de un material:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

La viscosidad cinemática varía enormemente con la presión y la temperatura en los gases, mientras que en los líquidos solo varía con la temperatura.

En la práctica, la viscosidad cinemática viene definida por el uso de distintos viscosímetros, siendo los más usados el Engler y Redwood, así como el Saybolt, con sus respectivas unidades.

Con el viscosímetro Engler, se dispone un fluido al baño maría a $t^{\circ}\text{C}$ y se cronometra el tiempo que invierte en llevar un recipiente de 200cm^3 , después se compara con el tiempo que invierte el agua a 20°C .

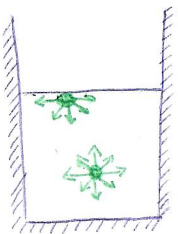
18.1.c.III. Índice de viscosidad

La variación de la viscosidad con la temperatura se suele expresar en función del índice de viscosidad. Cuanto mayor sea el índice de viscosidad, menor será la variación de la viscosidad con la temperatura. En los oídos hidráulicos conviene que este valor sea siempre mayor que 75.

El índice de viscosidad de un aceite se puede mejorar mediante el empleo de algunos aditivos, obteniendo los aceites multigrado, que tienen un comportamiento casi idéntico en cualquier temperatura.

18.1.d. Tensión superficial.

La tensión superficial es un fenómeno ligado a la existencia de fuerzas de cohesión entre las moléculas de los líquidos. Una molécula en el interior experimenta una fuerza de cohesión idéntica en todas las direcciones, sin embargo, una molécula que se halle en la superficie solo es atraída hacia dentro, lo que se traduce en una tendencia del líquido a tener la mínima superficie libre posible.



La tensión superficial aparece en la superficie de separación de dos fluidos o dos fases y su origen radica en las fuerzas de cohesión molecular. Existen otras fuerzas, fuerzas de adhesión, que "unen" al líquido y al sólido. El resultado es que sobre la superficie libre de un líquido la tensión superficial parece crear una fina membrana. La fuerza de tensión a lo largo de una línea será:

~~Elástica~~ $F = \sigma \cdot L$; $\sigma = \frac{F}{L}$ Tiene valores muy pequeños.

- PUNTO DE FLUIDEZ: es la temperatura mínima a la que el fluido puede fluir y es recomendable que sea 10°C menor que la más baja de utilización.

- RESISTENCIA A LA OXIDACIÓN: Los aceites utilizados se oxidan con facilidad dando como resultado subproductos solubles, que corren e incrementan la viscosidad; o insolubles, que tapan los circuitos; además se pueden elegir a formar ácidos que atacan los metales. Por todo ello resulta esencial añadir aditivos antioxidantes.

18.2. RÉGIMEN LAMINAR O TURBULENTO

Cuando un fluido circula por una conducción, cada una de sus partículas describe una trayectoria determinada, denominada línea de corriente o línea de flujo.

- Si la velocidad del fluido no sobrepasa cierto límite, las líneas de corriente son paralelas a las paredes y su movimiento se realiza por capas superpuestas no entremezcladas. Se dice que el régimen es laminar.



- Si la velocidad del fluido sobrepasa la velocidad crítica, las capas de fluido se mezclan y las líneas de corriente se hacen tremendamente complicadas. Se dice que el régimen del fluido es turbulento.



La existencia de régimen turbulento da lugar a pérdidas de energía en las conducciones, por ese motivo, en una instalación hidráulica la velocidad del líquido debe ser menor que la crítica.

Existe una combinación adimensional de cuatro factores que determinan si el régimen de un fluido viscoso a lo largo de una tubería es laminar o viscoso, se conoce como número de Reynolds (N_R), para una tubería circular:

ρ : densidad
 v : velocidad
 d : diámetro
 μ : viscosidad

$$N_R = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

Si se trata de tuberías circulares rectas, el régimen es turbulento cuando $N_R > 2320$, de forma que la velocidad crítica es:

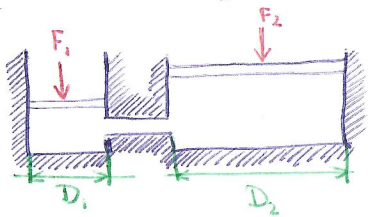
$$v_c = \frac{2320 \cdot \mu}{\rho \cdot d}$$

18.3. CONCEPTOS Y PRINCIPIOS FÍSICOS DE HIDRAÚLICA

18.3.a. PRINCIPIO DE PASCAL

El principio fundamental de la hidrostática enuncia que: la presión ejercida en un punto de una masa líquida se transmite íntegramente y por igual en todas direcciones.

Una de las aplicaciones más relevantes fue la prensa hidráulica:



$$P_1 = P_2 \quad F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1} = F_1 \frac{R_2^2}{R_1^2} = F_1 \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

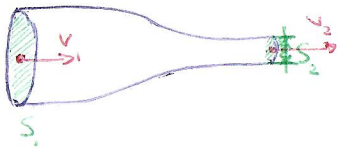
$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

Las fuerzas que se consiguen en los distintos pistones son proporcionales al diámetro de los mismos, consiguiendo multiplicar el valor de una fuerza, a cambio de un mayor desplazamiento del pistón de menor tamaño.

18.3.b. Ecuación de continuidad

Si un líquido incompresible, con densidad constante, circula por una conducción de sección variable, el principio de conservación de la masa obliga a que el caudal sea el mismo:

$$Q_1 = Q_2 ; S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$



Luego, en todo fluido incompresible con flujo estacionario, la velocidad en un punto cualquiera de una tubería es inversamente proporcional al área de la sección transversal de la misma.

Como consecuencia, la velocidad aumenta según disminuye la sección.

18.3.c. Teorema de Bernoulli

Una masa de líquido que circula a lo largo de una conducción posee:

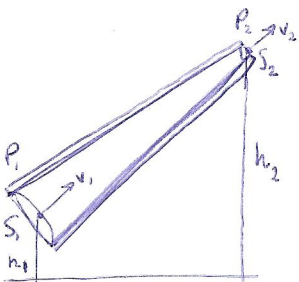
- Energía hidrostática: pV - $E_p = mgh$ - $E_c = \frac{1}{2}mv^2$

En un líquido no viscoso, en régimen laminar y estacionario:

$$E = pV + mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \text{cte}$$

Entre dos puntos (1 y 2) se debe cumplir por el principio de conservación:

$$p_1V + mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = p_2V + mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$



Si dividimos la expresión anterior entre el volumen:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$\frac{1}{\rho g}$

De esta forma cada sumando representa una energía por unidad de volumen, constituyendo la ecuación del teorema de Bernoulli, que también se puede representar como:

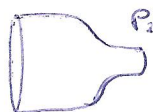
$$\Rightarrow h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{v_1^2}{g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{v_2^2}{g} = H = \text{cte}$$

$$H = \text{altura total de carga} = h \text{ (altura geométrica)} + \frac{P}{\rho g} \text{ (h. piezométrica)} + \frac{1}{2} \frac{v^2}{g} \text{ (h. dinámico)}$$

En un fluido no viscoso en movimiento estacionario, la suma de sus alturas geométricas, piezométricas y dinámicas es constante a lo largo de una línea de corriente.

P₁

Si la tubería es horizontal: $h_1 = h_2$



$P_1 > P_2$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{v_1^2}{g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{v_2^2}{g} = \text{cte}$$

De esta ecuación se deduce que si la velocidad del fluido aumenta por un descenso de la sección, la presión baja.

Este fenómeno se conoce como efecto Venturi y posee diversos usos.

18.3.d. Potencia de una bomba

La potencia de una bomba hidráulica (P) se calcula dividiendo la energía hidrostática que la bomba comunica al fluido, entre el tiempo empleado. Si consideramos que el volumen entre el tiempo es usual y consideramos el rendimiento:

$$P_T = \frac{pV}{t} = pQ$$

$$P_{\text{real}} = \frac{pQ}{\eta}$$

$\eta = \text{rendimiento}$

18.3.e. Pérdida de carga.

Si un líquido no viscoso circula por una conducción de altura y sección constantes, aplicando el th. de Bernoulli se deduce que puede circular sin necesidad de que exista una diferencia de presión:

$$h_1 = h_2$$

$$v_1 = v_2$$

$$\cancel{h_1} + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{v_1^2}{g} = \cancel{h_2} + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{1}{2} \frac{v_2^2}{g}$$

$$P_1 = P_2$$

No obstante, si el líquido es viscoso, como ocurre en la práctica, para que circule es necesario que exista una diferencia de presiones que compense la pérdida de energía y de presión que sufre el fluido debido a la viscosidad.

Esta pérdida de expresión enunciada en términos de altura o pérdida de carga, responde a la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_r = f \cdot \frac{L}{\phi} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad f = \text{coeficiente adimensional, coeficiente de fricción.}$$

- Régimen laminar: $f = \frac{64}{N_R}$

- Régimen turbulento: se hace necesario recurrir al diagrama de Moody.

La pérdida de carga es proporcional a la longitud de la tubería, por ello suele expresarse en metros de columna de agua por metros de tubería.

En los fluidos viscosos, la pérdida de carga viene recogida en la ecuación de Bernoulli:

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

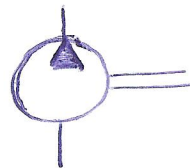
18.4. INSTALACIONES HIDRÁULICAS

Las instalaciones hidráulicas constan de:

- Grupo de accionamiento: se suele representar en un bloque cerrado constituido por una bomba, movida por un motor eléctrico o de combustión; que produce la presión necesaria para el funcionamiento de los elementos de trabajo, va acompañado de un depósito, manómetro, filtro, válvulas de seguridad e incluso un radiador que disipa el calor del fluido.
- Elementos de transporte: tuberías que conducen el fluido hidráulico.
- Elementos de trabajo: fundamentalmente, motores y cilindros.
- Elementos de regulación y control: válvulas.

18.5. GRUPO DE ACCIONAMIENTO

18.5.2. Bombas hidráulicas

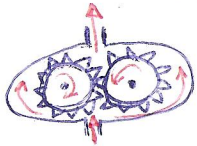


Las bombas hidráulicas son máquinas que absorben energía mecánica procedente del motor de accionamiento y convierten energía hidráulica al líquido que las atraviesa.

Las características que definen a una bomba hidráulica son:

- Valor nominal de la presión: es la presión de trabajo para la que ha sido diseñada.
- Caudal: se expresa en l/min y se puede variar.
- Desplazamiento: es el volumen de agua que desplaza en una vuelta completa y su valor es constante para cada bomba.
- Rendimiento.

Existe una gran variedad de modelos:

→ Bomba de engranajes: posee un escaso rendimiento pero es muy usada por su sencillez y economía. Consiste de dos engranajes que giran y provocan una depresión y se produce una aspiración hacia afuera. 

→ Bomba de tornillo: realiza su función mediante el engranaje de dos tornillos helicoidales que proporcionan un caudal cte. y silencioso.

→ Bomba de paletas deslizantes

→ Bomba de émbolos (pistones) radiales

→ Bomba de émbolos axiales

18.5.b. Depósito



Consiste en un recinto donde se almacena el fluido para su uso y procedente de las conducciones de retorno, además favorece su enfriamiento, etc...

18.5.c. Manómetro



Mide la presión del líquido hidráulico

18.5.d. Filtro



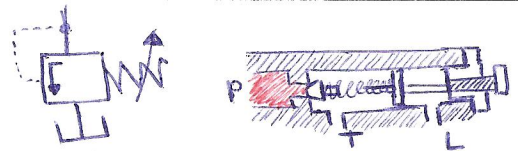
Elimina las partículas sólidas que pueda arrastrar el fluido hidráulico ya que producen abrasión y obstrucciones. Se usan los de tamiz inamovible ya que así se consigue retener las pequeñas partículas metálicas.

18.5.e. Válvula de cierre

Se utilizan a modo de interruptor para bloquear el paso del fluido.



18.5.F. Válvulas limitadoras de presión



Se coloca inmediatamente después de la bomba y tiene como misión limitar la presión de trabajo a un valor máximo ajustable, protegiendo contra posibles accidentes, por lo que también se lo denomina válvula de seguridad.

Consta de un cono empujado por un muelle que mantiene cerrada la válvula hasta que la presión del fluido sobre el cono es mayor que la del muelle. En este momento se abre la válvula que conecta con el depósito, rebajando la presión.

18.6. ELEMENTOS DE TRANSPORTE

El transporte del fluido se realiza mediante tuberías. Cuando se unen tres o más tuberías, se simboliza con un círculo para diferenciarlo de cuando solo se cruzan.

18.7. ELEMENTOS DE DISTRIBUCIÓN, REGULACIÓN Y CONTROL. VÁLVULAS

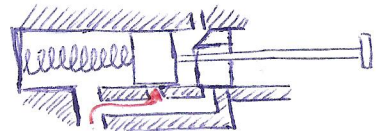
Existen elementos encargados de distribuir, regular y controlar el fluido que se inyecta hacia los elementos del consumo. Se conocen como válvulas y en base a la función que realizan se distinguen:

- Válvulas distribuidoras: gobiernan la corriente del fluido, dirigiéndolo en una u otra dirección.
- Válvulas reguladoras de presión: disminuyen o controlan la presión del fluido.
- Válvulas reguladoras de caudal: ajustan el valor del caudal y regulan el paso en uno u otro sentido.

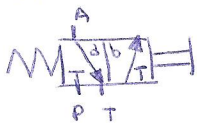
18.7.2. VÁLVULAS DISTRIBUIDORAS

Son válvulas que permiten el paso del líquido en una dirección concreta, controlando el funcionamiento de los elementos de trabajo o pilotando otras válvulas.

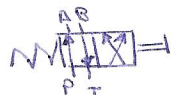
→ válvula distribuidora 2/2 NC



→ válvula distribuidora 3/2 NC



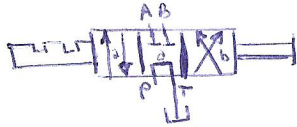
→ v. d. 4/2



→ v.d. 5/2



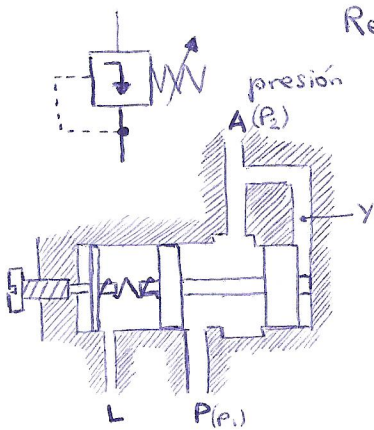
→ Válvula reguladora 4/3: es un poco especial ya que al poseer tres posiciones carece de muelles de retorno y se utiliza un sistema con enclavamiento. Puede poseer más de una posición estable:



18.7.b. VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN

Disminuyen la presión del do. hasta un valor constante adecuado a las condiciones de trabajo, pueden ser válvulas reguladoras de presión o limitadoras de presión.

→ Válvula reguladora de presión de dos vías



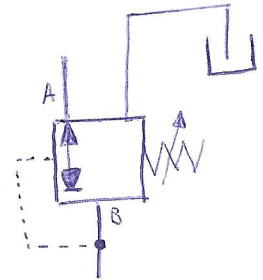
Reduce la presión de entrada del fluido hasta un valor ajustable de presión de salida, la cual será constante aunque la de entrada presente variaciones.

El fluido pasa del P a A pero se desvía por el conducto Y desplazando el émbolo con una presión P_2 que contrarresta la del muelle, siendo muy fácilmente regulable.

Posee una desventaja: si no existe flujo hacia A, no se regula la presión, pero como no es ininterrumpida, se producen saltos de presión que han de ser controlados con una válvula limitadora de la presión.

→ Válvula reguladora de presión de tres vías

Para evitar los inconvenientes de la v.r. de presión de dos vías, se utiliza una válvula de tres vías. Funciona de manera análoga pero no produce golpes bruscos de presión y además ofrece la posibilidad de que la salida conecte con el retorno.



18.7.c. VÁLVULAS REGULADORAS DE CAUDAL

Poseen como objetivo variar el caudal de alimentación para regular la velocidad de los elementos de trabajo, para conseguirlo estrangulan el orificio de paso. Pueden ser de caudal fijo o variable.

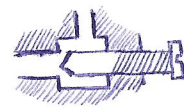
→ Válvula reguladora de caudal fijo



Poseen un orificio estrecho de sección constante que da lugar a una variación de presión, lo que origina que parte del caudal de la bomba fluya a través de otro do. y el resto pase por el orificio que actúa como una resistencia hidráulica donde se transforma energía hidráulica en térmica, rebajando la presión.

Se usa para variar de forma sencilla la velocidad de los elementos de actuación, cuando las condiciones de presión son constantes.

→ Válvula reguladora de caudal variable



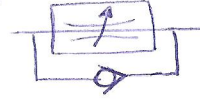
Se basa en el mismo principio que la de caudal fijo, solo que su sección de estrechamiento se puede regular mediante un tornillo.

→ Válvula reguladora de caudal de dos vías



Esta válvula es similar a la reguladora de caudal variable, pero posee la ventaja de que pueda trabajar en condiciones de presión variable, manteniendo el caudal de salida siempre regulado al valor que deseemos.

→ Válvula de estrangulamiento con antirretorno



Solo regula el caudal del fluido en un sentido, mientras que en el sentido contrario permite el paso libre.

18.8. ELEMENTOS DE TRABAJO

Los elementos de trabajo transforman la energía que posee el fluido, en energía mecánica. Se distinguen dos grandes grupos: cilindros y motores.

18.8.a. Cilindros

En ellos se produce el movimiento rectilíneo de un émbolo y se clasifican en:

- Cilindros de simple efecto.



$$V = \frac{q}{s} \quad F = F_p - F_m$$

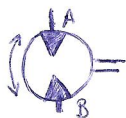
- Cilindros de doble efecto.



18.8.b. Motores

Convierten la energía hidráulica en energía mecánica de rotación, entregando un par motor en el eje de salida de fuerza.

Existen muchos tipos distintos de motores hidráulicos:



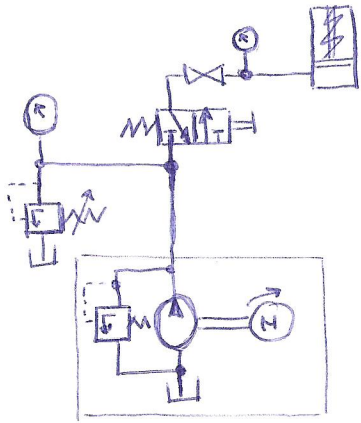
- Motores de engranajes: empleados por su sencillez y economía

- Motores de paleta

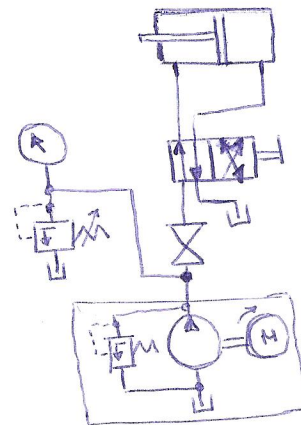
- Motores de émbolos axiales (pistones): son los más utilizados.

18.9. CTOS. CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN

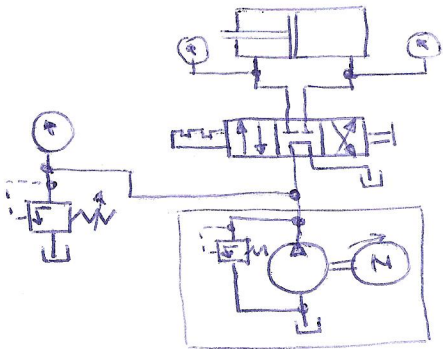
- Mando de un cilindro de simple efecto



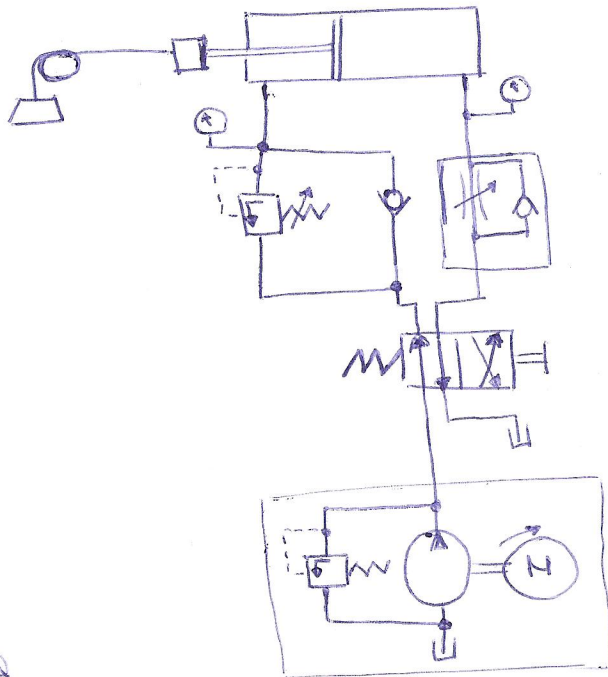
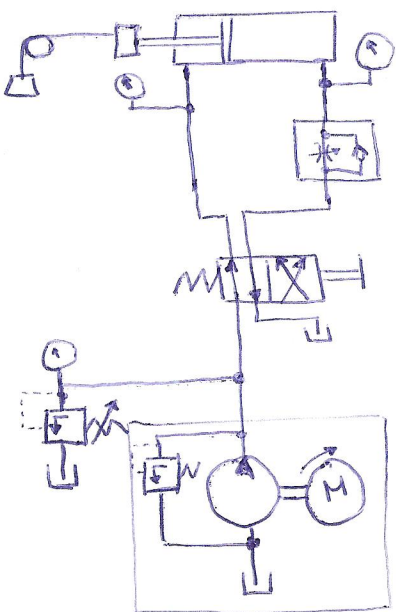
- Mando de un cil. de doble efecto (4/2)



- Mando de un cil. de doble efecto (4/3)



- Regulación de la velocidad de avance de un cilindro



El peso del émbolo provoca los salidos del fluido de retorno, pero lo hace con sacudidas debido al rozamiento, por evitarlo se utiliza el segundo cto.

Al existir una contrapresión controlada por los válvulas limitadoras de presión, el movimiento se produce sin sacudidas