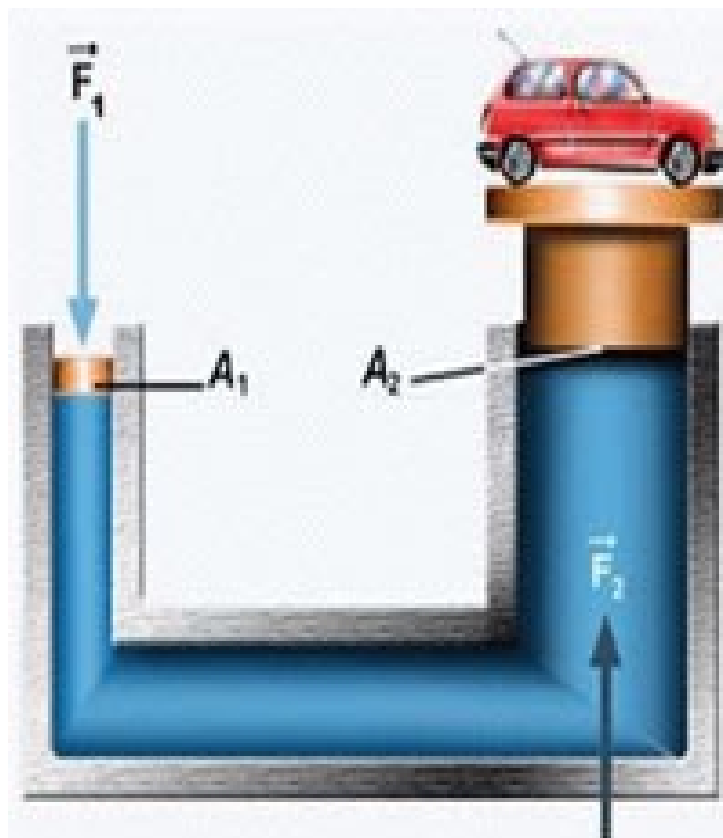


## U.D. 7: INTRODUCCIÓN E FUNDAMENTOS DA HIDRÁULICA



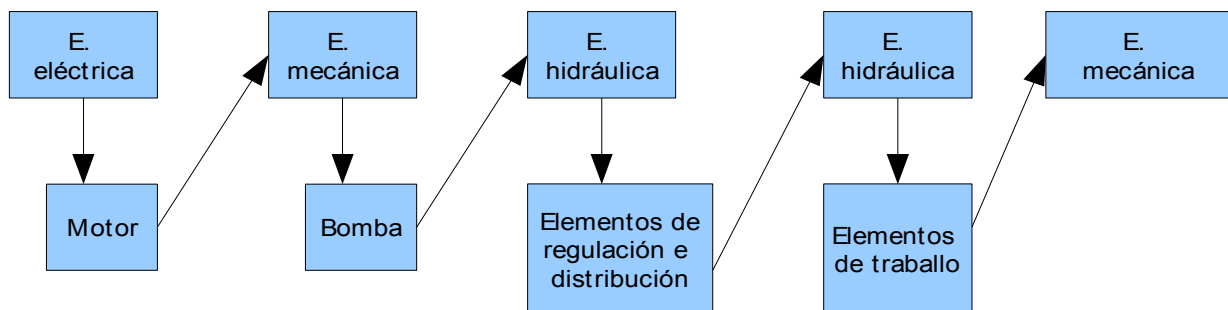
## 1. INTRODUCCIÓN

A palabra "hidráulica" procede do vocablo grego "*hydor*" que significa auga, sen embargo, hoxe atribúeselle o significado de transmisión de forzas e movementos por medio de líquidos. Na maioría dos casos estes líquidos son aceites minerais ou sintéticos, auga ou emulsións aceite-auga.

O campo da hidromecánica (mecánica de fluídos) divídese en:

- Hidrostática: estuda a mecánica dos fluídos en repouso, un exemplo e a transmisión das forzas na hidráulica.
- Hidrodinámica: estuda a mecánica dos fluídos en movemento, por exemplo a transformación da enerxía cinética nunha turbina.

A transformación da enerxía nunha instalación hidráulica é a seguinte:



Ademais da hidráulica existen outras posibilidades de transmisión de enerxía, por exemplo a mecánica (engrenaxes, cadeas, correas, eixes, etc.), a eléctrica, a electrónica ou a pneumática. Cada un destes sistemas ten o seu campo de acción definido pero en algúns casos pódense elixir entre varias posibilidades. As principais razóns para elixir a hidráulica son as seguintes:

- Pode transmitir grandes forzas e momentos de xiro con elementos de reducido tamaño.
- As forzas adaptaciónse automaticamente ás necesidades.
- Pódense iniciar os movementos, tanto lineais como xiratorios a plena carga.
- Permite unha graduación continua e simple da velocidade, do momento ou da forza.
- Protección eficaz contra sobrecargas.
- Útil tanto para movementos rápidos controlados como para movementos de precisión extremadamente lentos.
- Posibilidade de acumulación mediante gases.

Por outra banda ofrece algunhas desvantaxes como son:

- Contaminación por fugas e perigo de incendio.
- Sensibilidade á sucidade.
- Perigo ocasionado por altas presións (chorros cortantes).
- Sensible á temperatura por cambios de viscosidade.

En comparación con outros sistemas de transmisión de enerxía, estas son algunhas das características:

	<b>Electricidade</b>	<b>Hidráulica</b>	<b>Pneumática</b>
Fugas		Contaminación e perda de enerxía	Só perda de enerxía
Influencias do entorno	Perigo de explosión en determinados entornos, relativamente sensible á temperatura	Sensible a oscilacións de temperatura, perigo de incendio en caso de fugas	Non produce explosións, pouco sensible a cambios de temperatura.
Acumulación de enerxía	Difícil, só mediante baterías en cantidades reducidas	En cantidades reducidas mediante gases.	fácil
Transporte de enerxía	Sen límites pero con perdas	Ata 100 m con velocidade do caudal de 2-6 m/s, velocidade da sinal ata 1000 m/s	Ata 1000 m con velocidade do caudal de 20-40 m/s, velocidade da sinal 20-40 m/s
Custos da enerxía	Baixos (0,25)	Altos (1)	Moi altos (2,5)
Movemento rotativo	Sinxelo e de gran rendemento	Sinxelo, par de xiro elevado, velocidade de xiro baixa	Sinxelo, baixo rendemento, velocidades altas.
Movemento lineal	Difícil e custoso, pequenas forzas, regulación difícil	Sinxelo, forzas elevadas, fácil regulación da velocidade	Sinxelo, forzas pequenas, velocidade variable coa carga
Exactitude de posicionamento	Moi boa, ata 1 micra	Moi boa, ata 1 micra	Con cargas constantes ata 0,1 mm
Estabilidade	Boa si se empregan conexións mecánicas	Boa xa que o aceite apenas se comprime	Mala xa que o aire comprímese facilmente
Forzas	Non resiste sobrecargas. Poden obterse forzas considerables	Resistente a sobrecargas, forzas moi elevadas, ata 3000 kN	Resistente a sobrecargas, forzas reducidas, ata 30 kN

A hidráulica ten aplicacións nos sectores máis diversos, estes son algúns exemplos:

- Hidráulica industrial: máquinas de inxección, prensas, industria pesada (metalurxia), hidráulica aplicada á máquina-ferramenta.
- En construcións fluviais e marítimas: accionamento de comportas e pontes, en esclusas e presas, turbinas, etc.
- Hidráulica móbil: maquinaria de obras públicas e agrícola.
- Industria espacial e aeronáutica: accionamento de antenas, trens de aterraxe, timóns, etc.
- En barcos: accionamento de timóns, grúas, comportas, etc.

## 2. FUNDAMENTOS FÍSICOS DA HIDRÁULICA

### 2.1.PRESIÓN

Os fluídos hidráulicos poden estar sometidos a dous tipos de presión: presión hidrostática e presión creada por unha forza exterior.

- a) Presión hidrostática: é a presión que xurde nun líquido como consecuencia da súa masa e da súa altura. Esta presión non se ten en conta nos sistemas hidráulicos xa que é moi pequena en comparación coa presión de traballo que se utiliza normalmente, si pode ser tida en conta en sistemas con grandes diferenzas de nivel.

$$p_s = h \cdot g \cdot d$$

$p_s$  = presión hidrostática (Pa)

$h$  = altura da columna de líquido (m)

$d$  = densidade do líquido ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

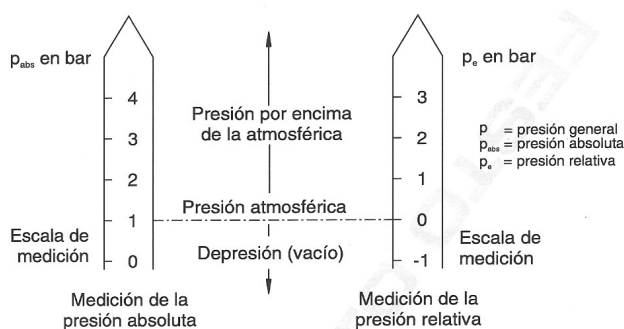
- b) Presión xerada por unha forza exterior: dita presión depende da magnitude de dita forza e da superficie sobre a que esta se aplica.

$$F = p \cdot A \quad \text{----} \quad p = F/A$$

$F$  = forza aplicada (N)  $A$  = superficie

( $\text{m}^2$ )  $p$  = presión (Pa)

**Medición da presión:** Existen dous tipos de medición, a absoluta e a relativa. Na primeira o punto cero da escala corresponde co vacío total e na segunda, o punto cero correspondese coa presión atmosférica.



A unidade de medida de presión, segundo o sistema métrico é o Pascal (Pa), que é equivalente á presión xerada por unha forza de 1 Newton cando esta se aplica sobre unha superficie de  $1 \text{ m}^2$ .

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

Como esta unidade é moi pequena en relación coas presións de traballo dos sistemas hidráulicos emprégase o Bar, equivalente a  $10^5$  pascales.

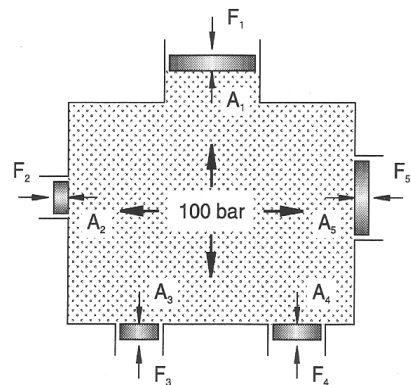
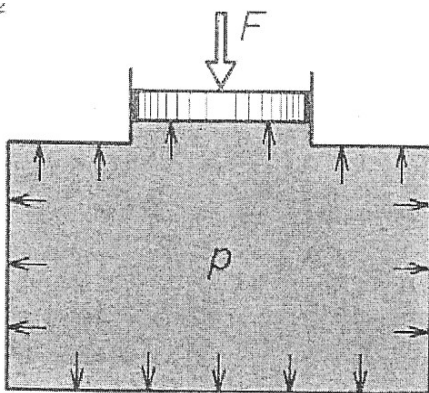
$$1\text{Bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

Tamén se poden empregar outras unidades de medida como o  $\text{kp}/\text{cm}^2$ , a atmosfera (atm), a altura de columna de auga, altura de columna de mercurio ou segundo o sistema inglés a libra / polgada cadrada (psi). A continuación móstrase unha táboa coas distintas unidades de medida de presión e a súa equivalencia entre elas.

## 2.2. PROPAGACIÓN DA PRESIÓN

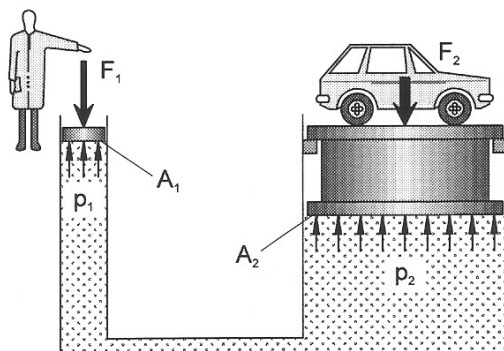
Se unha forza  $F_1$  actúa sobre unha superficie  $A_1$  dun fluído contido nun recipiente pechado, fórmase unha presión  $p$  que se estende a todos os puntos do fluído (lei de Pascal)

A presión producida pola forza externa transmítese por igual a todos os puntos do recipiente, polo tanto todos os puntos do mesmo están sometidos á mesma presión, sempre que non teñamos en conta a presión hidrostática (xerada polo peso do propio líquido)



### 2.3. MULTIPLICACIÓN DE FUERZAS

Xa que a presión é a mesma en todos os puntos dun sistema pechado, independentemente da forma do recipiente, variando a superficie sobre a que actúa dita presión podemos variar a forza obtida.



Para calcular a presión recórrese ás seguintes ecuacións

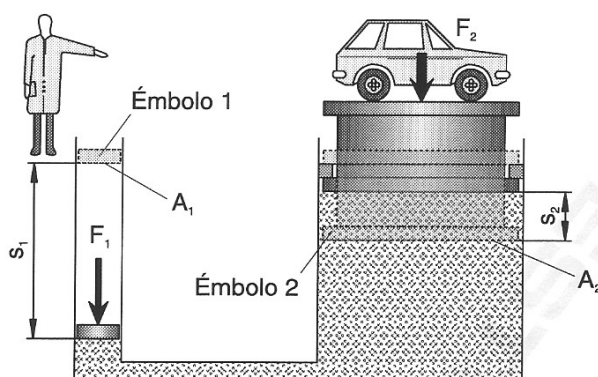
$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad y \quad p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Se o sistema se encontra en equilibrio dáse a condición que  $P_1 = P_2$  e polo tanto

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

### 2.4. MULTIPLICACIÓN DE DISTANCIAS

Se recurrido ao principio descrito anteriormente se desexa elevar unha carga  $F_2$  un traxecto  $s_2$  é necesario que o émbolo 1 desprace unha cantidade de fluído suficiente para que o émbolo 2 recorra a distancia  $s_2$



O volume desprazado calculase do seguinte xeito

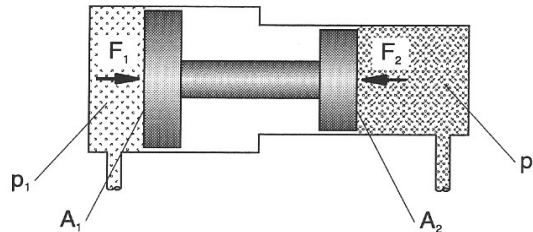
$$V_1 = s_1 \cdot A_1 \quad y \quad V_2 = s_2 \cdot A_2$$

Como o volume desprazado é o mesmo  $V_1 = V_2$

$$s_1 \cdot A_1 = s_2 \cdot A_2$$

En conclusión, a carreira do émbolo é inversamente proporcional á súa superficie.

## 2.5.MULTIPLICACIÓN DE PRESIÓNS



A presión  $p_1$  do fluído exerce unha forza  $F_1$  sobre a superficie  $A_1$ , dita forza é transmitida mediante o vástago ao émbolo pequeno, que actúa sobre a superficie  $A_2$  producindo unha presión  $p_2$  no fluído. Como a superficie do émbolo  $A_2$  é menor que a do  $A_1$ , a presión  $p_2$  terá que ser superior a presión  $p_1$ .

$$F_1 = p_1 \cdot A_1 \quad \text{y} \quad F_2 = p_2 \cdot A_2$$

Como as forzas  $F_1$  e  $F_2$  son iguais conclúese que

$$p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$$

## 2.6.CAUDAL VOLUMÉTRICO

O caudal volumétrico defínese como o volume de fluído que pasa a través dun conduto por unidade de tempo.

$$Q = V/t$$

$$Q = \text{caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$V = \text{volume (m}^3\text{)}$$

$$t = \text{tempo (s)}$$

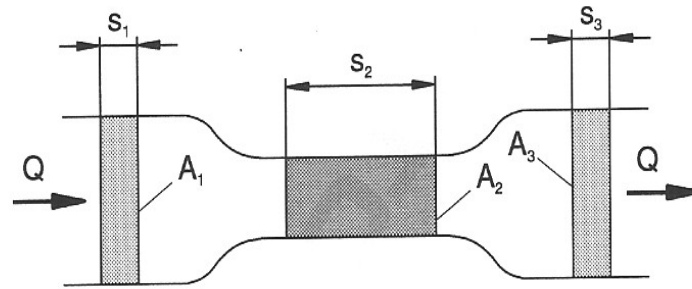
## 2.7.ECUACIÓN DE CONTINUIDADE

Se na fórmula do caudal volumétrico substituímos  $V = A \cdot s$  obtemos que  $Q = A \cdot s/t$ , tendo en conta que  $s/t = v$  concluímos que

$$Q = A \cdot v \quad ; \quad A = Q/v \quad ; \quad v = Q/A$$

O que quere dicir que a velocidade dun fluído depende do caudal que pasa por ese conduto e da sección do mesmo.

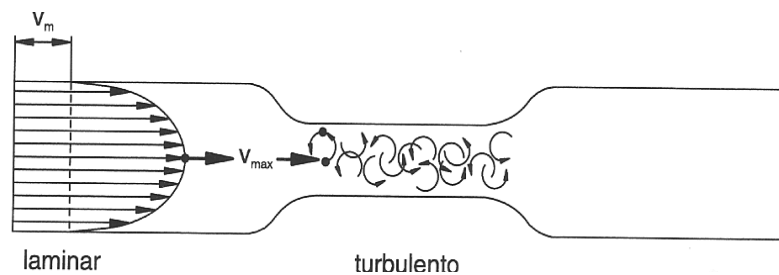
O caudal volumétrico dun líquido que flúe por un conduto de sección variable é igual en calquera parte do conduto, o que significa que nos segmentos de menor sección a velocidade é maior.



$Q_1 = A_1 \cdot v_1$	$Q_2 = A_2 \cdot v_2$	$Q_3 = A_3 \cdot v_3$	etc. . .
$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = A_3 \cdot v_3 = \dots$			

## 2.8. TIPOS DE CAUDAL

O caudal pode ser laminar ou turbulento.



Se o caudal é laminar o líquido flúe no tubo en capas cilíndricas concéntricas e ordenadas. As capas interiores flúen a velocidades maiores que as capas exteriores debido a que estas teñen un maior rozamento coas paredes do tubo. A partir de determinada velocidade (velocidade crítica) as partículas do líquido xa non avanzan en capas ordenadas xa que flúen no centro do tubo e desvíanse lateralmente formando remuíños (caudal turbulento) e provocando un gran desprendemento de temperatura e polo tanto unha gran perda de enerxía.

O coeficiente de Reynolds (Re) permite calcular o tipo de caudal que flúe nun tubo liso. Este coeficiente está en función dos seguintes parámetros:

- Velocidade do fluxo  $v$  (m/s)
- O diámetro do tubo  $d$  (m)
- A viscosidade cinemática  $\nu$  (m<sup>2</sup>/s). A viscosidade, segundo o sistema métrico mídese en m<sup>2</sup>/s, aínda que a unidade máis empregada é o Stoke (St) e o Centistoke (cSt).

A equivalencia entre elas é a seguinte:

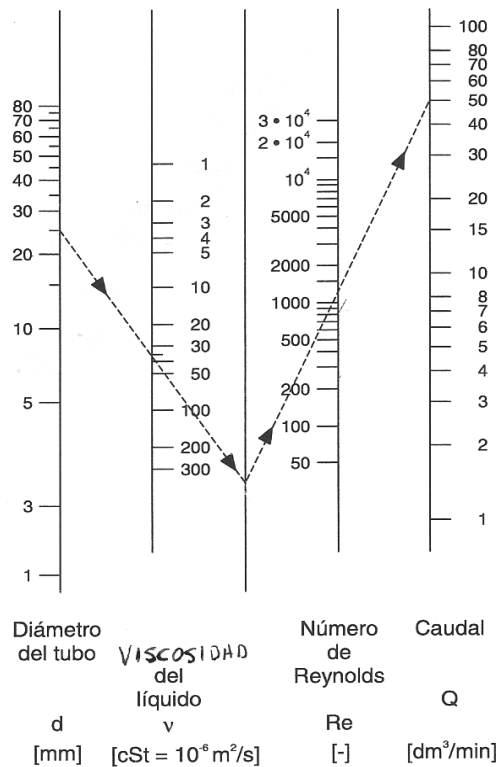
$$1St = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$1cSt = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Segundo o número de Reynolds o fluxo é laminar cando  $Re < 2300$  e é turbulento cando  $Re > 2300$ . O valor  $Re = 2300$  denomínase coeficiente crítico de Reynolds ( $Re_{crit}$ ).

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Si hai un estrangulamento no circuíto e se pasa de un réxime laminar a un réxime turbulento este mantense ata que o número de Reynolds descenda ata  $1/2$  do  $Re_{crit}$ .



A velocidade á que se alcanza o  $Re_{crit}$  denomínase velocidade crítica e esta non é un valor fixo xa que depende da viscosidade do fluído e do diámetro do tubo.

$$V_{krit} = \frac{Re_{crit} \cdot \nu}{d} = \frac{2300 \nu}{d}$$

É importante que nos circuítos hidráulicos non se supere o valor de velocidade crítica para evitar que se entre en réxime turbulento xa que isto supón unha gran perda de enerxía. Na práctica soen aplicarse os seguintes valores empíricos de  $v_{crit}$ :

- Tubos de impulsión:
  - Ata 50 bar de presión de traballo: 4,0 m/s.
  - Ata 100 bar de presión de traballo: 4,5 m/s.
  - Ata 150 bar de presión de traballo: 5,0 m/s.

- Ata 200 bar de presión de traballo: 5,5 m/s.
- Tubos de aspiración: 1,5 m/s.
- Tubos de retorno: 2,0 m/s

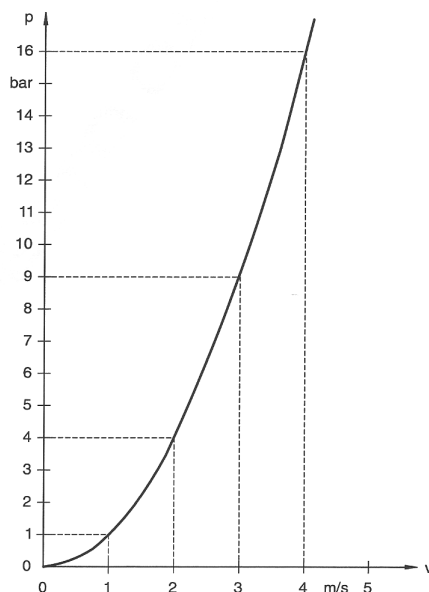
## 2.9.FRICCIÓN, CALOR E PERDAS DE PRESIÓN

En todos os elementos e condutos dun sistema hidráulico polos que circula o líquido existe fricción. Esta fricción prodúcese tanto entre o fluído e as paredes do conduto (fricción exterior) como entre as distintas capas do fluído (fricción interna). A fricción provoca un quentamento do fluído e dos elementos do sistema hidráulico. Este quentamento ten como consecuencia unha perda de enerxía.

A magnitude destas perdas de presión depende das resistencias internas do sistema hidráulico e estas están en función de:

- Velocidade do fluxo (superficie da sección, caudal volumétrico)
- Tipo de caudal (laminar ou turbulento).
- Tipo e cantidade de diámetros reducidos e estrangulamentos.
- Viscosidade do aceite.
- Lonxitude dos tubos e cambios de dirección nos mesmos.
- Características do acabado superficial dos tubos.

A pesar de que son varios os factores que interveñen nas perdas de presión, o que afecta en maior medida é a velocidade xa que a resistencia interna aumenta en proporción ao cadrado da velocidade.



A fricción entre as capas do líquido e a adherencia coas paredes dos tubos provocan unha resistencia que pode medirse ou calcularse, obtendo un resultado expresado en perdas de presión.

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

$\lambda$  = coeficiente de fricción no tubo:  $\lambda = 75/Re$  para tubo flexible.

$\lambda = 64/Re$  para tubo ríxido.

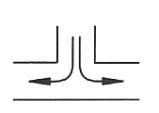
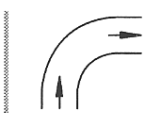

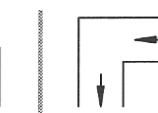

Resistencia al flujo en tubos de 1 m de longitud											
Para un fluido hidráulico con $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ (K) a aprox. 15 °C ( $\nu = 100 \text{ mm}^2/\text{s}$ ); (W) a aprox. 60 °C ( $\nu = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$ )											
v (m/s)		0,5		1		2		4		6	
d (mm)		K	W	K	W	K	W	K	W	K	W
6	Re	30	150	60	300	120	600	240	1200	360	1800
	$\lambda$	2,5	0,5	2,25	0,25	0,625	0,125	0,312	0,0625	0,21	0,04
	$\Delta p$ bar/m	0,44	0,09	0,88	0,177	1,77	0,35	3,54	0,70	5,3	1,02
10	Re	50	250	100	500	200	1000	400	2000	600	3000
	$\lambda$	1,5	0,3	0,75	0,15	0,375	0,075	0,187	0,037	0,125	0,043
	$\Delta p$ bar/m	0,16	0,03	0,32	0,064	0,64	0,13	1,27	0,25	1,9	0,65
20	Re	100	500	200	1000	400	2000	800	4000	1200	6000
	$\lambda$	0,75	0,15	0,375	0,075	0,187	0,037	0,093	0,04	0,062	0,036
	$\Delta p$ bar/m	0,04	0,008	0,08	0,016	0,16	0,03	0,32	0,136	0,47	0,275
30	Re	150	750	300	1500	600	3000	1200	6000	1800	9000
	$\lambda$	0,5	0,1	0,25	0,05	0,125	0,043	0,062	0,036	0,042	0,032
	$\Delta p$ bar/m	0,017	0,003	0,035	0,007	0,07	0,024	0,14	0,082	0,214	0,163

Nas curvas, pezas en "T", bifurcacións, válvulas, etc prodúcese unha considerable perda de presión. Estas resistencias débense principalmente á xeometría dos elementos e ao valor do caudal. Estas perdas de presión son cuantificadas mediante un coeficiente xeométrico  $\xi$  determinado mediante ensaios para os elementos máis frecuentes. Este coeficiente depende ademais do número de Reynolds polo que se inclúe na fórmula un

factor de corrección, b, en relación co coeficiente de Reynolds.

$$\Delta p = \xi \cdot b \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Re	25	50	100	250	500	1000	1500	2300
b	30	15	7,5	3	1,5	1,25	1,15	1,0

				
Te	Curva 90º	Doble codo	Codo 90º	Válvula
ξ	1,3	0,5 - 1	2	5 ... 15

## 2.10. ENERXÍA E POTENCIA

O contido enerxético dun sistema hidráulico está composto de varias enerxías parciais. Segundo a lei de mantemento da enerxía, a enerxía total dun líquido que flúe é sempre constante a menos que se agregue ou se consuma enerxía externamente en forma de traballo. A enerxía total é a suma das seguintes enerxías parciais:

- Enerxía potencial: é a que posúe un corpo que está elevado a unha determinada altura h.

$$W_{pot} = F \cdot l$$

$$F = m \cdot g$$

$$h = l$$

$$W_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

O traballo mídese en N\*m      1N\*m = 1Joule

- Enerxía de presión

É a enerxía que libera un líquido sometido a presión ao descomprimirse. No caso dos aceites hidráulicos esta enerxía é moi pequena xa que o coeficiente de compresibilidade é moi baixo.

$$W_p = F \cdot l$$

$$F = p \cdot a$$

$$W_p = p \cdot A \cdot l \quad W_p = p \cdot \Delta V$$

- Enerxía cinética

É a enerxía que posúe un corpo que se move a unha velocidade determinada. Depende da velocidade do fluxo e da masa do mesmo.

$$W_c = 1/2 m \cdot v^2$$

- Enerxía térmica

É a enerxía que se necesita para que un corpo, ou neste caso un líquido adquira unha temperatura determinada. Nos sistemas hidráulicos parte da enerxía é transformada en enerxía térmica debido á fricción. Parte desta enerxía térmica é dissipada cara ao exterior polo que se reduce a enerxía total do sistema.

$$W_t = \Delta p \cdot V$$

A potencia está definida como o traballo ou enerxía consumida por unidade de tempo. A potencia hidráulica está determinada pola presión e o caudal volumétrico.

$$P = p \cdot Q$$

P = potencia (W) = (Nm/s)

p = presión (Pa)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

A potencia de entrada non é igual que a de saída debido a que en todos os sistemas existen perdas de enerxía. A relación entre a potencia de entrada e a de saída denomínase rendemento ou eficiencia ( $\eta$ )

$$\text{Rendemento} = \text{potencia de saída} / \text{potencia de entrada}$$

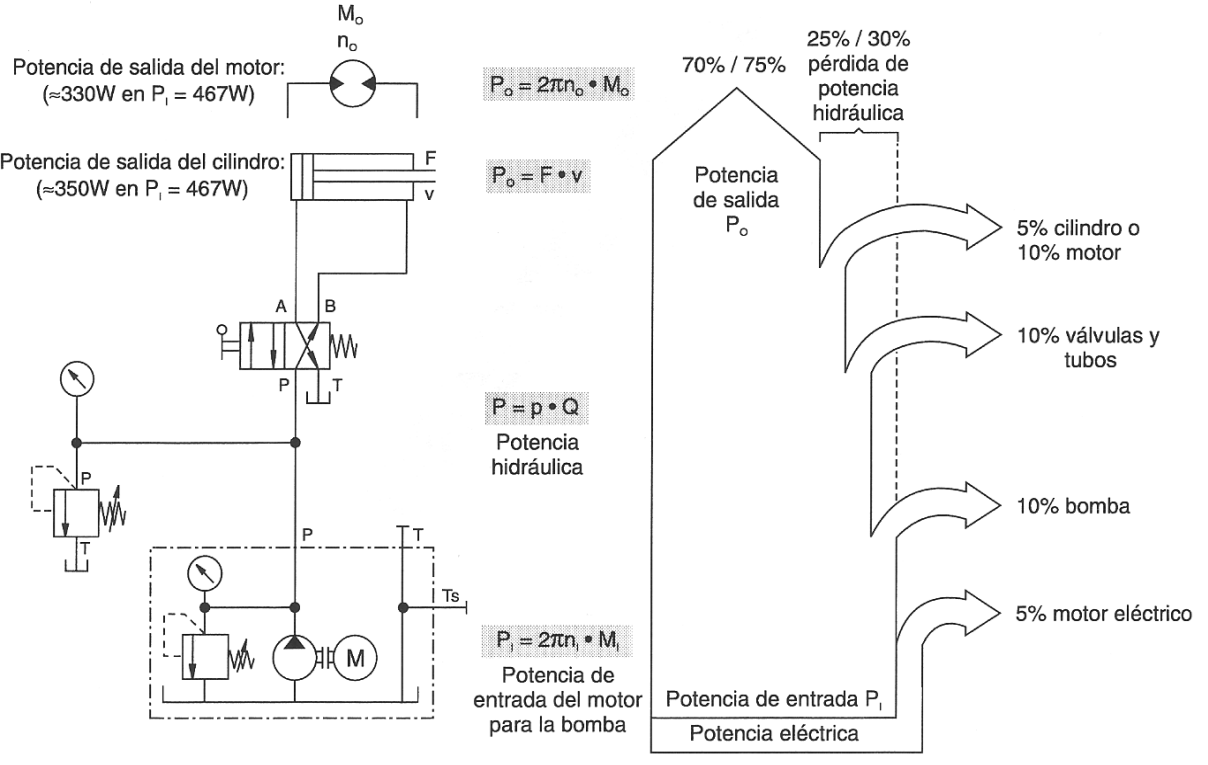
Na práctica diferénciase entre a perda de potencia volumétrica provocada polas fugas e a perda de potencia hidráulica e mecánica orixinada pola fricción. En consecuencia aplícase a seguinte clasificación do grao de rendemento:

- **Grao de rendemento volumétrico** ( $\eta_{vol}$ ) deriva das perdas provocadas por fugas internas e externas nas bombas, motores e válvulas.
- **Grao de rendemento hidráulico e mecánico** ( $\eta_{hm}$ ) derivado das perdas provocadas por fricción nas bombas, motores, cilindros, conducións e válvulas.

As perdas totais que se producen durante a transformación da potencia nas bombas, motores e cilindros exprésanse mediante o **grao de rendemento total** ( $\eta_{tot}$ )

$$\eta_{tot} = \eta_{vol} \cdot \eta_{hm}$$

A relación aproximada entre a potencia absorbida e a producida, nun sistema hidráulico é similar á que se mostra no seguinte esquema:

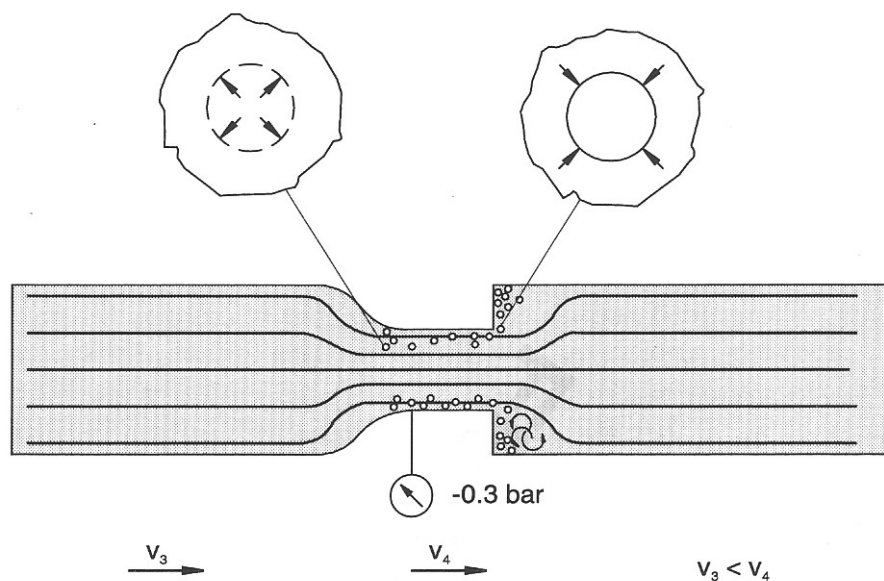


Cálculo de las potencias de entrada y de salida

## 2.11. CAVITACIÓN

A cavitación é a eliminación de pequenas partículas na superficie dos elementos que constitúen os circuitos hidráulicos, principalmente nas bombas e válvulas. Esta prodúcese nos perfíles agudos dos elementos e débese a picos locais de presión e a rápidos e fortes aumentos de temperatura.

Se nun segmento de estrangulamento aumenta a velocidade do fluído aumenta a súa enerxía cinética e redúcese a súa enerxía de presión. Deste xeito pode chegar a provocarse unha depresión. A partir dunha depresión de -0,3 bar fórmanse burbullas do aire contido no aceite.



Se a continuación volve a subir bruscamente a presión o aceite invade repentinamente o volume ocupado polo aire, provocando a rotura das burbullas e prodúcese a cavitación, orixinada polas seguintes razóns:

- Picos de presión: no lugar no que aumenta o diámetro despréndense pequenas partículas da parede, provocando fatiga no material.
- Combustión espontánea da mezcla de aceite e aire (efecto Diesel): Ao romperse as burbullas, o aceite invádeas de xeito instantáneo. Debido a elevada presión e con temperaturas moi altas pode producirse a combustión espontánea da mezcla de aceite e aire, de xeito similar ao que se leva a cabo nos motores diesel. O aire encontrase disolto nos aceites hidráulicos en cantidades pequenas pero en determinadas circunstancias pode penetrar a través de estrangulamentos non estancos ou mesmo pode ser aspirado a través da bomba se o aceite contén burbullas. Isto prodúcese cando as tubarías de descarga dentro do depósito non

están correctamente colocadas ou cando o depósito é demasiado pequeno e o líquido está pouco repousado.

## 2.12. COMPRESIBILIDADE DOS FLUÍDOS

Os fluídos empregados nas instalacións hidráulicas son compresibles en maior ou menor medida. Nas instalacións que funcionan a pequena ou mediana presión e que aloxan pequenos volumes de líquido non ten moita importancia, pero si nas instalacións moi voluminosas e que traballan a presións elevadas. O coeficiente de compresibilidade calcúlase en función da variación de volume con respecto ao volume inicial e do incremento de presión.

$$\beta = (\Delta V/V_0)/\Delta p$$

O coeficiente de compresibilidade dalgúns líquidos, a presión atmosférica, é o seguinte:

Auga	0,000048
Aceite mineral	0,000080
Solución glicol/auga	0,000043
Emulsión aceite/auga (50%)	0,000070
Líquidos sintéticos (ésteres fosfóricos)	0,000040

Para compensar os efectos da compresibilidade dos fluídos, no momento de realizar os cálculos de deseño da bomba incrementase a capacidade desta entre un 5% e 10%, servindo tamén para compensar posibles fugas ao longo do circuíto.

Cando se descomprime bruscamente unha masa líquida liberase unha enerxía que se traduce en vibracións de maior ou menor medida dependendo do volume de fluído e da presión á que estaba sometido. A este fenómeno denomínase "*golpe de ariete*". O golpe de ariete redúcese ou elimínase facendo unha descompresión gradual mediante elementos de regulación ou mediante acumuladores.

## 2.13. VISCOSIDADE

A viscosidade é a resistencia que ofrecen as moléculas dun fluído a deslizarse sobre outras, é dicir, e a resistencia dun líquido a fluír. Hai que distinguir dúas clases de viscosidade:

- Viscosidade absoluta ou dinámica: A unidade de medida é o **poise** e equivale a forza requirida para mover unha superficie plana dun centímetro cadrado nun segundo cando as superficies están separadas por unha capa de líquido de un centímetro de espesor.

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ dina} \cdot \text{segundo} / \text{cm}^2 = 0.01019 \text{ kp} \cdot \text{s} / \text{m}^2$$

- Viscosidade relativa ou cinemática: É o tempo necesario para que unha cantidade fixa de fluído pase a través dun tubo capilar pola forza da gravidade. A unidade de medida do SI é o  $\text{m}^2/\text{s}$ , aínda que se emprega máis a unidade do sistema CGS, chamada **Stoke** (St). Tamén se emprega o centistoke (cSt).

$$1 \text{ Stoke} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$$

A relación entre a viscosidade absoluta e a cinemática depende da densidade.

$$1 \text{ poise} = 1 \text{ stoke} \cdot \text{densidade} ;$$

A viscosidade cinemática da auga a 20° C é igual a 0,01 St = 1cSt.

Tanto a viscosidade absoluta como a relativa son difíciles de medir, polo que nas aplicacións industriais existen outras unidades de viscosidade que se denominan convencionais ou empíricas. Algunhas destas magnitudes son:

- Grado Engler (°E) empregado en Europa. Consiste en comparar o tempo de vaciado de 200  $\text{cm}^3$  dun determinado fluído a unha temperatura dada a través dun burato de 2,8 mm de diámetro co mesmo volume de auga a 20°C e nas mesmas condicións. Mídese a 20°C (°E/20°C), 50°C (°E/50°C) ou 100°C (°E/100°C)
- Segundos Redwood ("R), empregado en Inglaterra. A medición realízase a 70, 100, 140 e 200 °F e contabilízase o tempo que tarda en pasar 50  $\text{cm}^3$  de líquido a través do viscosímetro.
- Segundos Saybolt ("S), empregado en EEUU. A medición realízase a 100, 130 e 210 °F e contabilízase o tempo que tarda en pasar 60  $\text{cm}^3$  de fluído a través do viscosímetro.

No siguiente gráfico móstrase a equivalencia entre as distintas escalas de viscosidade:

