Universidad de Oviedo
Area de Ingeniería de Sistemas y Automática

sumario

1. unidades
2. presión
3. propiedades de los gases
4. humedad del aire
5. presión y caudal
6. problemas

unidades · básicas

Magnitud	Símbolo	Unidad SI	Nombre
masa	m	Kg	kilogramo
longitud	L	m	metro
tiempo	t	S	segundo
temperatura ab.	T	°K	grado Kelvin
temperatura	T, θ	°C	grado Celsius

unidades · normalizadas del sistema internacional

Magnitud	Símbolo	Unidad SI	Nombre
densidad	ρ	Kg/m^3	
fuerza	F	N	Newton
volumen	V	m^3	metro cúbico
velocidad	v	m/s	metro por seg
momento de inercia	J	$Kg \cdot m^4$	
par	ω	$N \cdot m$	Newton metro

unidades · relacionadas con el aire comprimido

Magnitud	Símbolo	Unidad SI	Nombre
presión	p	Pa	Pascal
volumen estándar	V_n	m^3_n	metro cúbico estándar
caudal o gasto volumétrico	Q	$m^3_n\ s^{-1}$	metro cúbico por segundo
energía, trabajo	E, W	J	Joule
potencia	P	W	vatio

unidades · no métricas

Magnitud	Sistema métrico	Sistema inglés	Factor m ⇒ i	Factor i ⇒ m
Masa	Kg. g.	Libra Onza	2,205 0,03527	0,4535 28,3527
Longitud	m m mm.	Pie Yarda Pulgada	3,281 1,094 0,03937	0,3048 0,914 25,4
Temperatura	º C	º F	1,8 C + 32	(º F - 32) / 1,8
Area, sección	m^2 cm^2	Pie cuadrado Pulgada cuadrada	10,76 0,155	0,0929 6,4516
Volúmen	m^3 cm^3 dm^3 (litro)	Yarda cúbica Pulgada cúbica Pie cúbico	1,308 0,06102 0,03531	0,7645 16,388 28,32
Gasto volumétrico	m^3_n/min. dm^3_n/min	scfm scfm	35,31 0,03531	0,02832 28,32
Fuerza	Newton (N)	Libra de Fuerza (lbf.)	0,2248	4,4484
Presión	bar	psi	14,5	0,06895

presión · introducción

el estado de un gas queda definido por tres magnitudes

- presión
- volumen
- temperatura

la relación de estos tres parámetros se define por las leyes de Boyle-Mariotte, Charles y Gay-Lussac

presión · unidades de presión (Pa, bar, torr, atm)

P = F / A la unidad de presión es el Pascal

1 Pa = 1 N / m^2 (Newton por metro cuadrado)

como es una unidad muy pequeña, se trabaja con el bar

100.000 Pa = 100 KPa = 1 bar

la presión de una columna de 1 mm de mercurio se llama Torr

1 mm Hg = 1 Torr 1 atm = 760 Torr

presión · conversiones de presión

$p = \rho \cdot g \cdot h \quad \Rightarrow \quad 1\ \text{atm} = 13600 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}760 = 101.396{,}16\ \text{Pa}$

$$101396{,}16\ \frac{N}{m^2} \cdot \frac{1Kg}{9{,}81N} \cdot \frac{1m^2}{10000\ cm^2} = 1{,}0336\ \frac{Kg}{cm^2}$$

1 atm = 1,0336 Kgf / cm^2 = 1,013 bar

el sistema de medidas anglosajón utiliza: libras por pulgada cuadrada (psi)

1 psi = 68,95 mbar

14,5 psi = 1 bar

presión · presión atmosférica

la presión atmosférica es causada por el peso del aire sobre nosostros

Figura 8.10. Relación entre presión y altitud.

la presión varía con las condiciones atmosféricas y la altitud

presión · tabla de equivalencias de presión

	Atm	Torr	Bar	Kg/cm^2
1 Atm	1	760	1,013	1,0336
1 Torr	$1,32 \times 10^{-3}$	1	$1,33 \times 10^{-3}$	$1,36 \times 10^{-3}$
1 Bar	0,987	750	1	1,0193
1 Kg/cm^2	0,9674	735,294	0,981	1

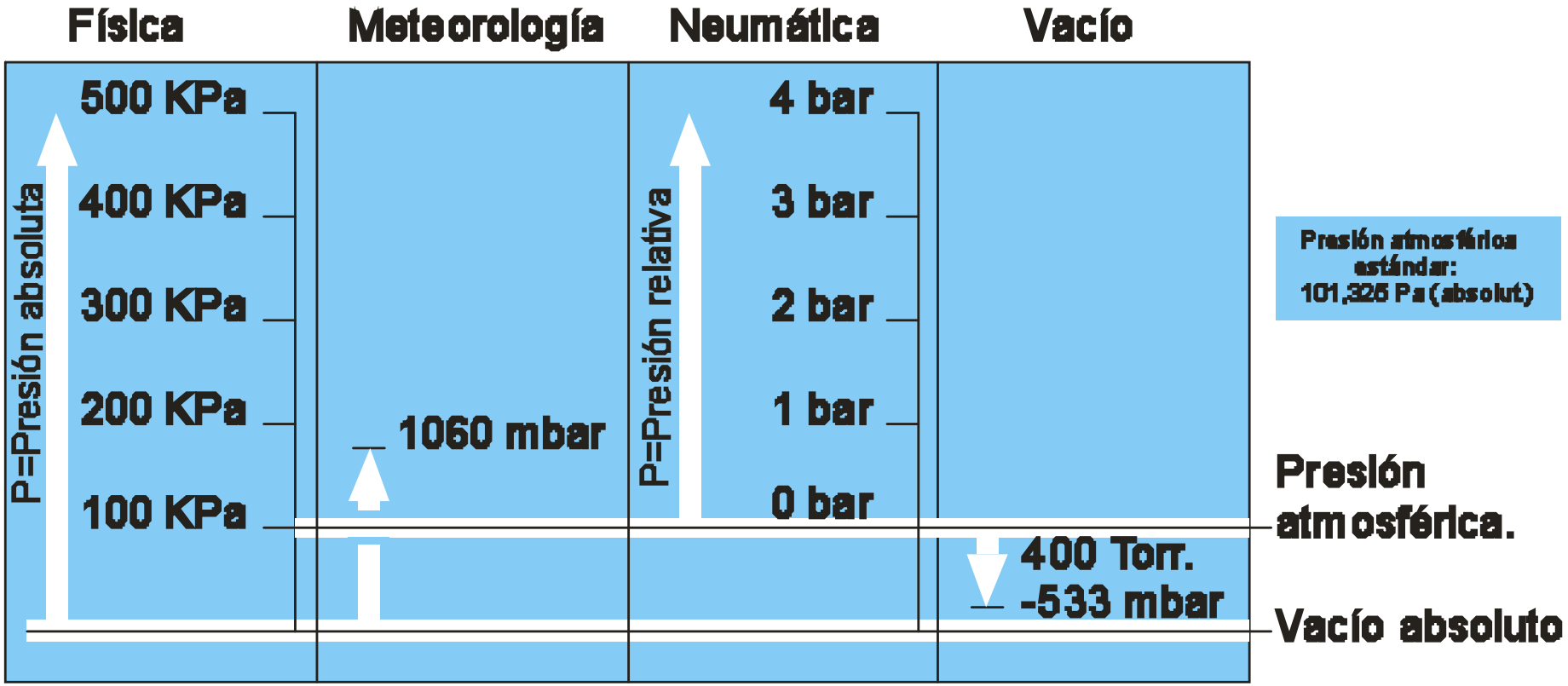
presión · presión relativa

- las presiones se suelen dar en bar (relativos a la presión atmósferica)
- el cero del manómetro es la presión atmósferica
- para los cálculos se utiliza la presión absoluta

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

- en neumática, una presión se considera como presión relativa, y se denomina comúnmente presión manométrica
- para cálculos aproximados, se asume que 1 atm = 1 bar

presión · diferentes sistemas de indicación de presión



propiedades de los gases · ley de Boyle-Mariotte (1662)

a temperatura cte, los volúmenes ocupados por una masa gaseosa son inversamente proporcionales a las presiones que se les somete, es decir:

$$P \cdot V = Cte$$

R. Boyle

1662

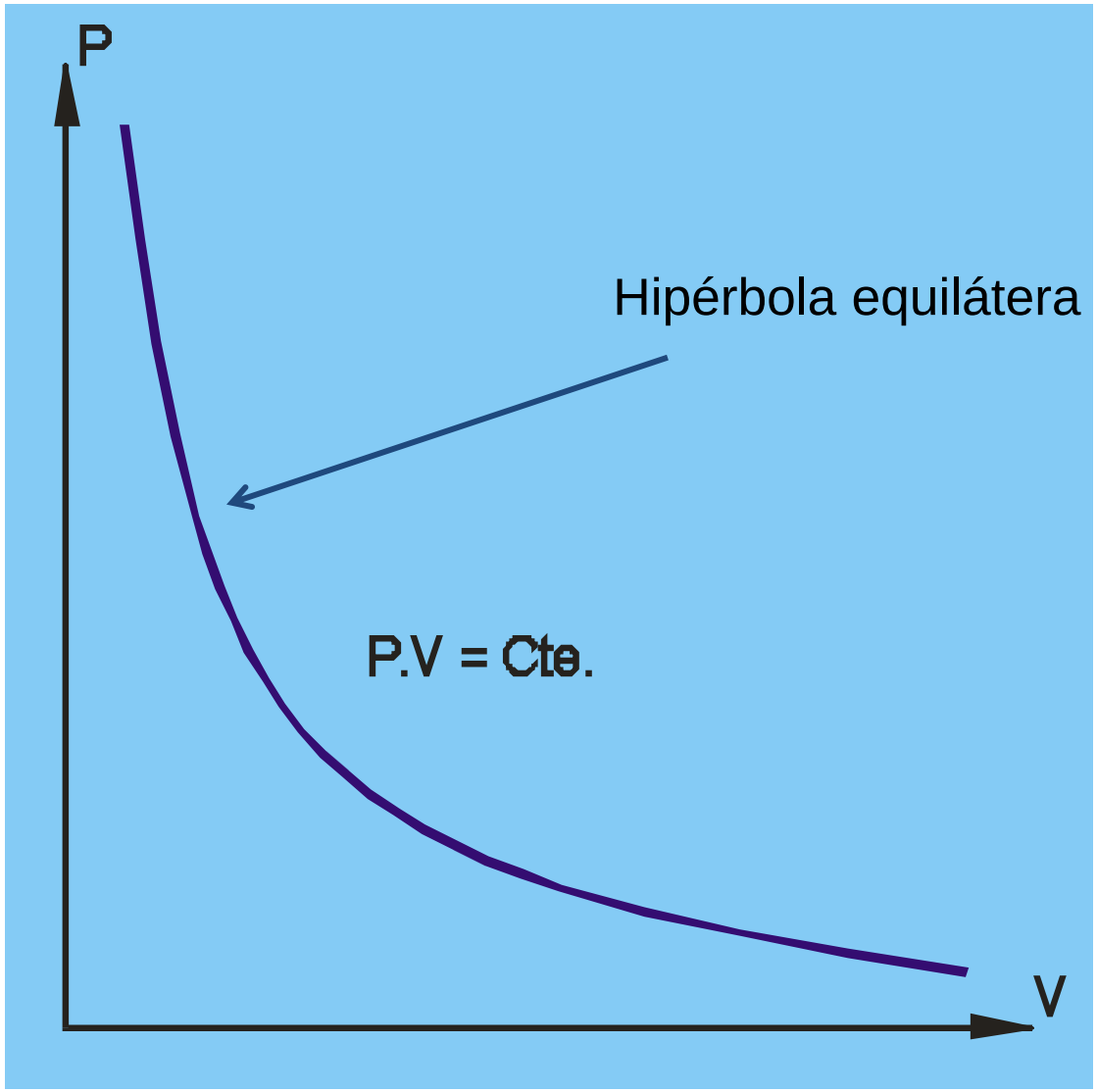
también se puede escribir:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = Cte$$

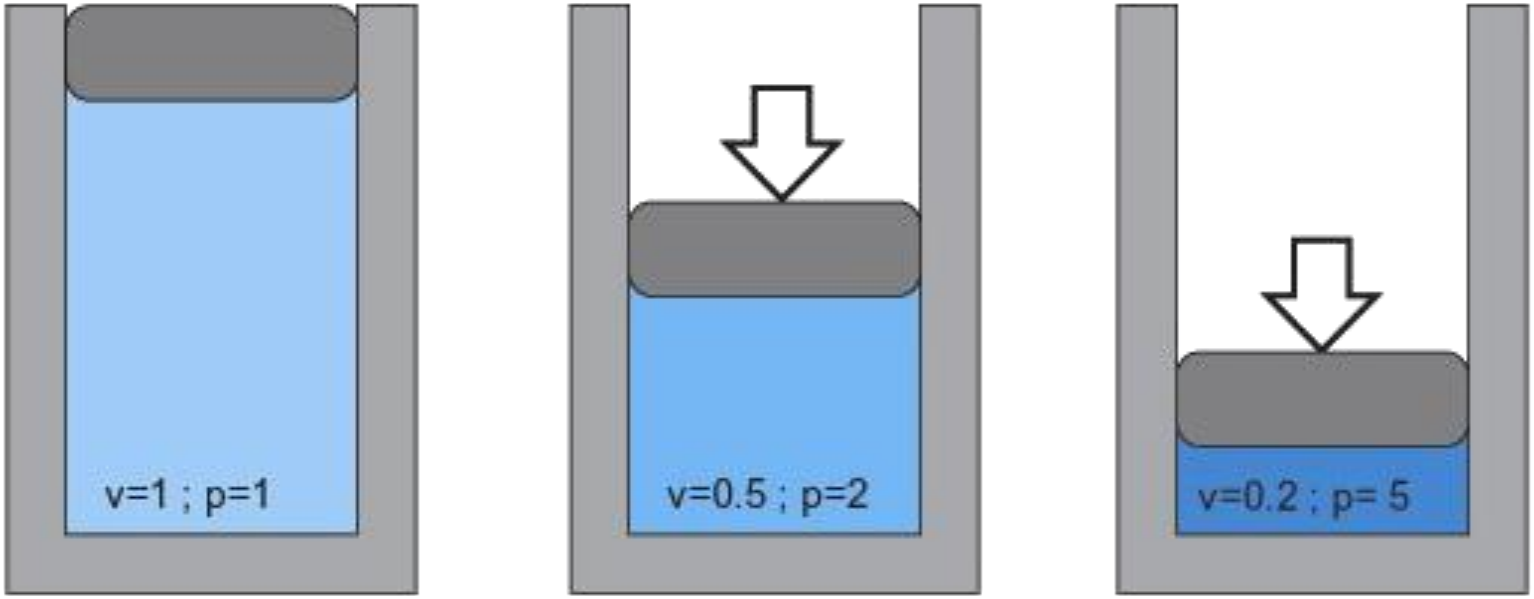
E. Mariotte

1676

propiedades de los gases · isoterma del gas



propiedades de los gases · ley de Boyle-Mariotte



$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3$$

propiedades de los gases · ley de Charles (y Gay Lussac)

a presión cte, el volumen ocupado por una masa dada de gas, es directamente proporcional a su temperatura absoluta

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2 = Cte$$

Gay Lussac (1802)

Jacques Charles (1787)

propiedades de los gases · ley Gay Lussac

a volumen cte, la presión absoluta de una masa de gas determinada, es directamente proporcional a su temperatura absoluta

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 = Cte$$

Gay Lussac (1802)

propiedades de los gases · ecuación general de los gases perfectos

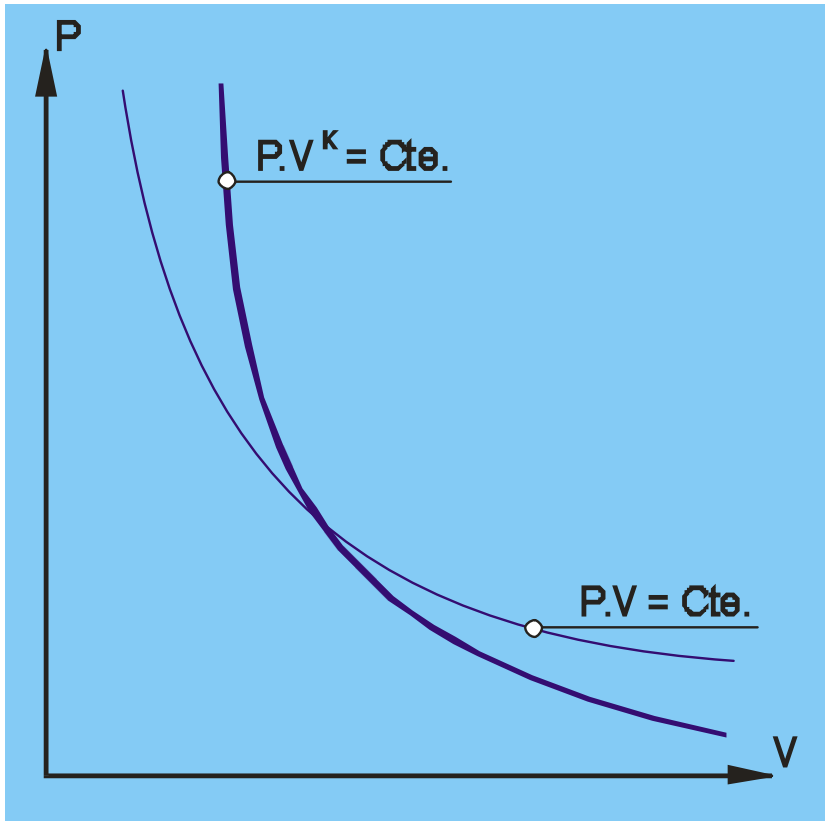
las relaciones anteriores, se combinan para proporcionar la ecuación general de los gases perfectos

$$P_1 \cdot V_1 / T_1 = P_2 \cdot V_2 / T_2 = Cte$$

propiedades de los gases · transformación adiabática

las leyes anteriores se referían siempre a cambios lentos, cambiando solamente dos variables al mismo tiempo. En la práctica, cuando entra aire en un cilindro, tiene lugar un cambio adiabático

la ley de Boyle conocida: $P \cdot V = Cte$
se transforma en: $P \cdot V^k = Cte$



propiedades de los gases · volumen estándar

debido a las interrelaciones entre volumen, presión y temperatura, es necesario referir todos los datos de volumen de aire a una unidad estandarizada

el metro cúbico estándar, es la cantidad de 1,293 Kg de masa de aire a una temperatura de 0°C y a una presión de 760 mm de Hg (101.325 Pa)

propiedades de los gases · caudal

la unidad básica para el gasto volumétrico “Q” (Caudal) es el metro cúbico normal por segundo m^3N/s

prácticamente se usa litros por minuto (lN/ min)

$$Q = V / t = v \cdot A$$

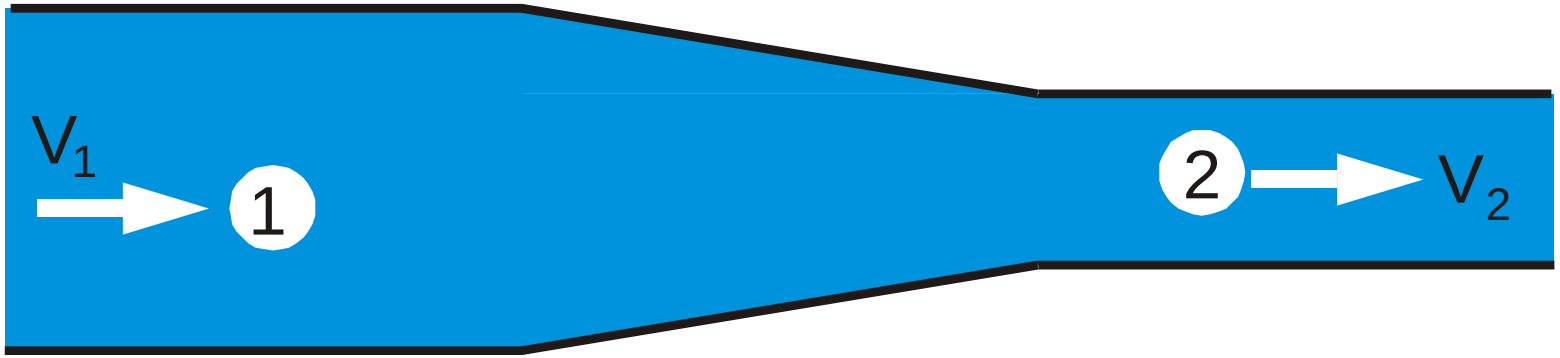
propiedades de los gases · ecuación de continuidad

el caudal que entra por una tubería de sección 1, es igual que el que sale por la sección 2 en un instante de tiempo. Como el caudal es igual a la sección por la velocidad, tendremos

$$Q = S \cdot v$$

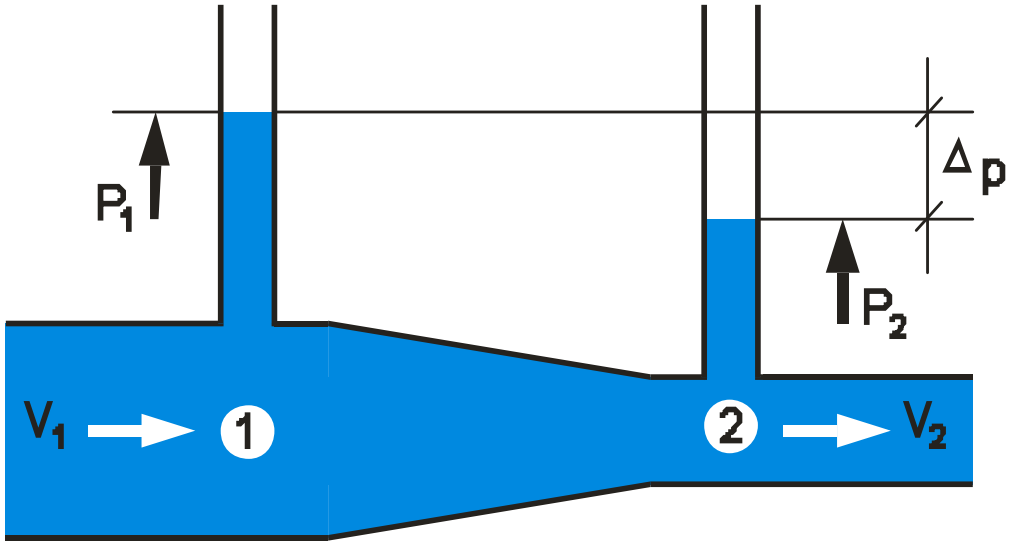
$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= S_1 \cdot v_1 \\ Q_2 &= S_2 \cdot v_2 \end{aligned}\right\} \quad S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$



propiedades de los gases · ecuación de Bernouilli

en una tubería por la que circula un fluido en régimen laminar no turbulento, despreciando las pérdidas por rozamiento, la energía total en un punto 1 es igual a la del punto 2



la energía total, es suma de la energía de presión E_P, más la energia potencial E_g, más la energía cinética E_c

$$E_{total} = E_P + E_g + E_c = P \cdot V + mgh + 1/2\ m\ v^2 = 1/\rho \cdot P\ m + mgh + 1/2\ m\ v^2$$

por tanto considerando la energía total en 1 y en 2 y dividiendo entre la masa, tendremos

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

como la energía potencial es igual en 1 que en 2 tendremos

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2}$$

al ser $v_2 > v_1$ por la ecuación de continuidad, tendremos que $P_1 > P_2$ como podemos apreciar en la anterior ilustración de la ecuación de Bernouilli

humedad del aire

- el aire de la atmósfera contiene siempre un porcentaje de vapor de agua. La cantidad de humedad presente, depende de la humedad atmosférica y de la temperatura

- cuando se comprimen grandes cantidades de aire se produce una cantidad considerable de condensados

- 1 m^3 de aire comprimido es capaz de retener sólo la misma cantidad de vapor de agua que 1 m^3 de aire a presión atmosférica a la misma temperatura

humedad del aire

Temperatura º C	g / $m^3{}_n$ (estándar)	g / m^3 (atmosférico)
- 40	0,15	0,18
- 35	0,25	0,29
- 30	0,40	0,45
- 25	0,64	0,70
- 20	1,00	1,08
- 15	1,52	1,61
- 10	2,28	2,37
- 5	3,36	3,42
0	4,98	4,98
5	6,99	6,86
10	9,86	9,51
15	13,76	13,04
20	18,99	17,69
25	25,94	23,76
30	35,12	31,64
35	47,19	41,83
40	63,03	54,108

Figura 4.10. Saturación del aire por agua (Punto de condensación).

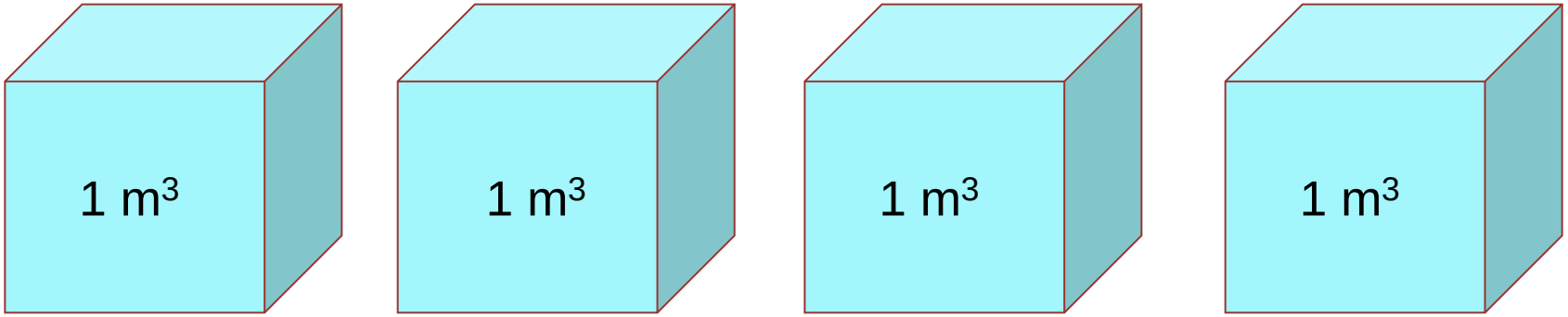
humedad del aire · humedad relativa

- es el cociente entre el contenido real de agua y el del punto de condensación, se indica en tanto por ciento

- cuando el aire se comprime, su capacidad para contener humedad en forma de vapor es sólo la de su “volumen reducido”

- por lo tanto, a menos que la temperatura suba sustancialmente, el agua será expulsada mediante condensación

humedad del aire · humedad relativa · cálculos 1



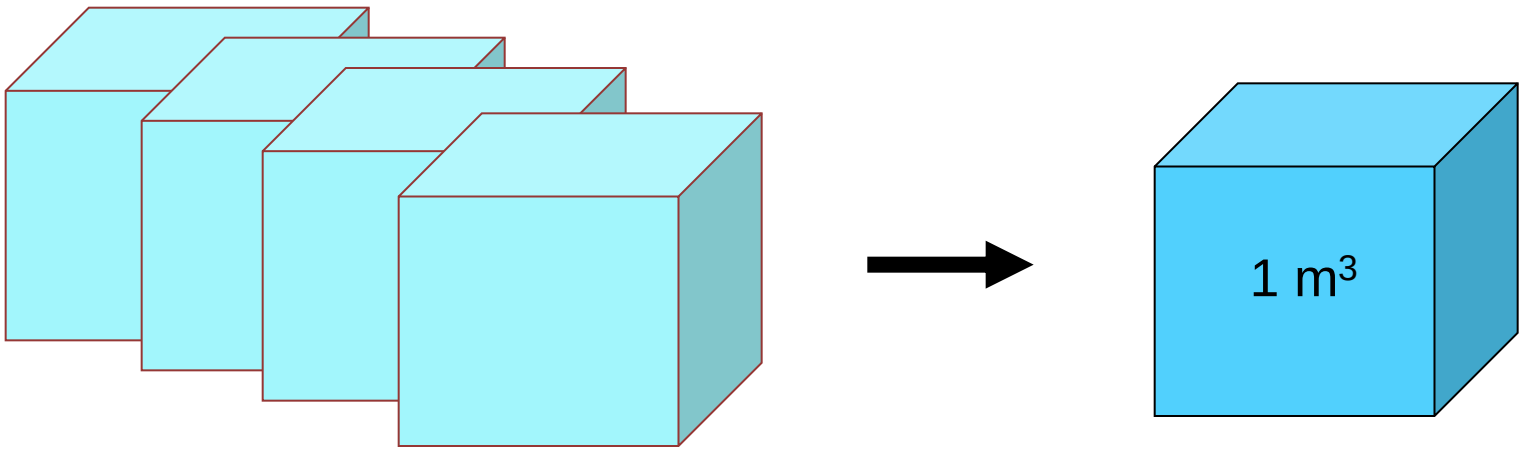
si cogemos 4 m^3 de aire atmosférico a 25ºC y HR del 70%

cada uno, según la tabla anterior, tiene:

$$23{,}76 \cdot 0{,}70 = 16{,}632 \text{ g de agua}$$

humedad del aire · humedad relativa · cálculos 2

si un compresor los comprime hasta tener un solo m^3



tendremos 4 x 16,362 = 65,448 g de agua

por tanto tendremos aire saturado al 100% y
65,448 - 23,76 = 41,688 gramos de agua condensada

$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$ $\quad$ $1atm \cdot 4\ m^3 = P_2 \cdot 1\ m^3$ $\quad$ $P_2 = 4\ atm$

la presión manométrica será ~ 3 atm

humedad del aire · humedad relativa · problema 1

3,5 m^3 de aire atmosférico a 20°C y 65% de HR se comprimen en un calderín de 400 l ¿Qué cantidad de agua se condensará si la temperatura dentro es de 35°C?, **¿cuál es su presión?**

tendremos 3,5 x 17,69= 61,92g de agua

al 65% de HR, el aire tendrá 61,92 x 0,65 = 40,25g de agua

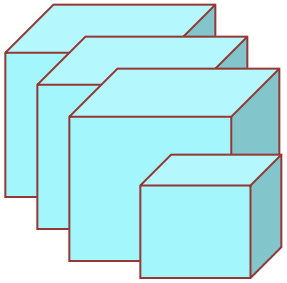
a 35°C el punto de saturación es de 41,83 g/m^3
lo que implica que el calderín retendrá 41,83 x 0,4 = 16,73 g de agua

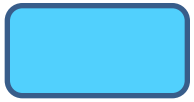
por tanto se condensa 40,25 - 16,73 = 23,52 g de agua

humedad del aire · humedad relativa · problema 1

3,5 m^3 de aire atmosférico a 20°C y 65% de HR se comprimen en un calderín de 400 l ¿Qué cantidad de agua se condensará si la temperatura dentro es de 35°C?, **¿cuál es su presión?**

3,5 m^3





0,4 m^3

$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$ $\quad$ $1atm \cdot 3{,}5\ m^3 = P_2 \cdot 0{,}4\ m^3$ $\quad$ $P_2 = 8{,}75\ atm$

presión manométrica = 7,75 atm

humedad del aire · punto de rocío

el punto de rocío (PR) determina una temperatura t, a la cual el aire llega al punto de saturación; esto es, el aire se convierte en aire saturado

presión y caudal

si no existe circulación de aire, la presión en todos los puntos del sistema será la misma

si existe circulación desde un punto hasta otro, querrá decir que la presión en el primer punto es mayor que en el segundo, es decir, existe una diferencia de presión

esta diferencia de presión depende:

- de la presión inicial
- del caudal de aire que circula
- de la resistencia al flujo existente entre ambas zonas

presión y caudal · sección de orificio equivalente

dicha relación se plasma en la siguiente ley similar a la ley de Ohm en electricidad donde

diferencia de potencial = intensidad · resistencia

caída de presión = caudal · área efectiva

pero en vez de manejar el concepto de resistencia a la circulación de fluido se maneja el de facilidad a que circule, es decir, el área del orificio equivalente S, o el Cv, o el Kv

la sección de orificio equivalente "S" se expresa en mm^2 y representa el área de un orificio sobre pared delgada que crea la misma relación entre presión y caudal que el elemento definido por él

no existe proporcionalidad entre P y Q para una S dada debido a la compresibilidad del aire

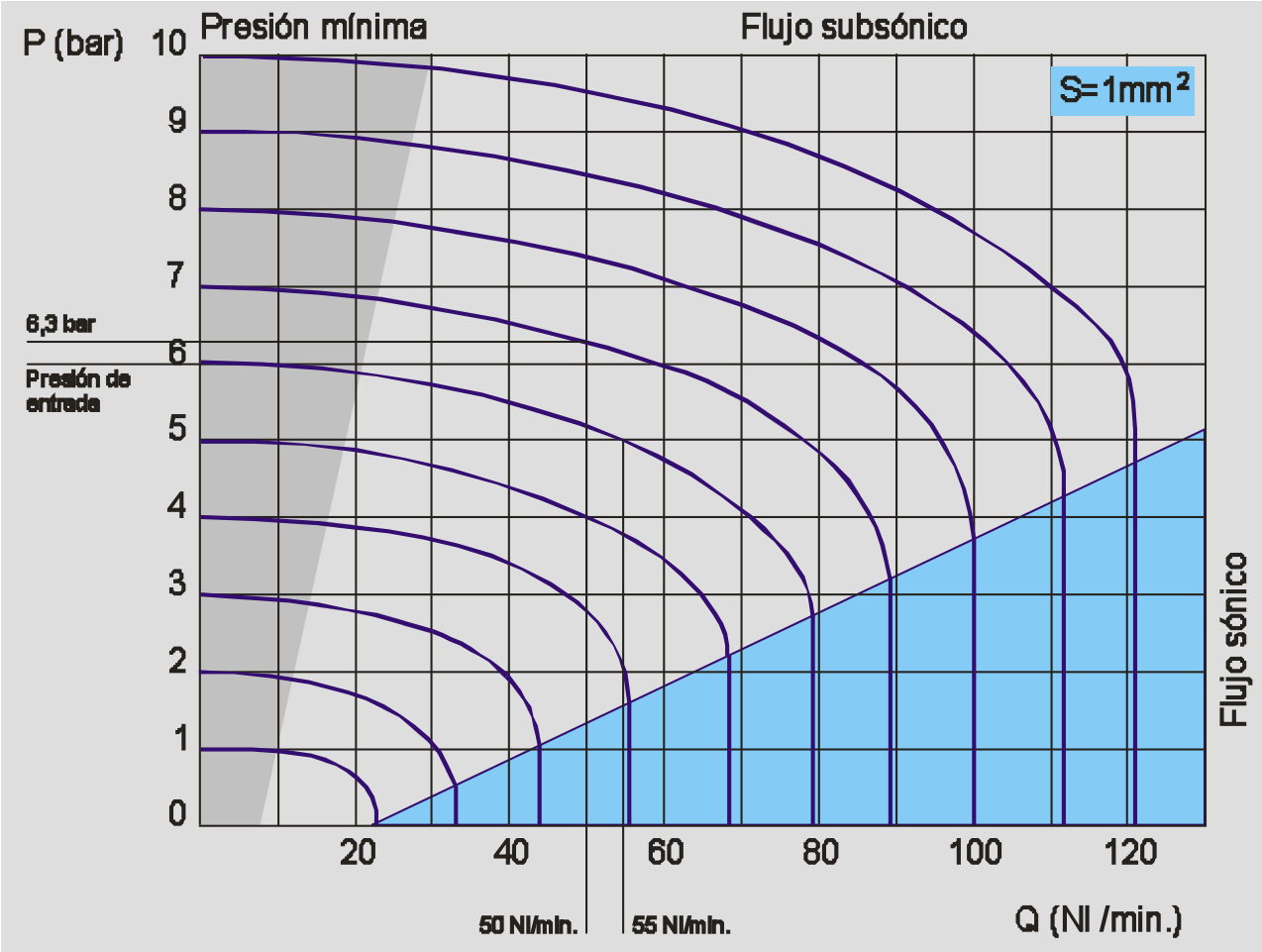
presión y caudal · caudal a través de las válvulas

el diagrama P/Q es un medio para determinar de forma simple y rápida el caudal de paso de un distribuidor

- en abscisas se indican los valores de caudal en litros normales por minuto lN/min
- en ordenadas se indican, a un caudal cero, las presiones de utilización
- las curvas representan la evolución de las presiones de utilización, desde el caudal cero hasta el máximo

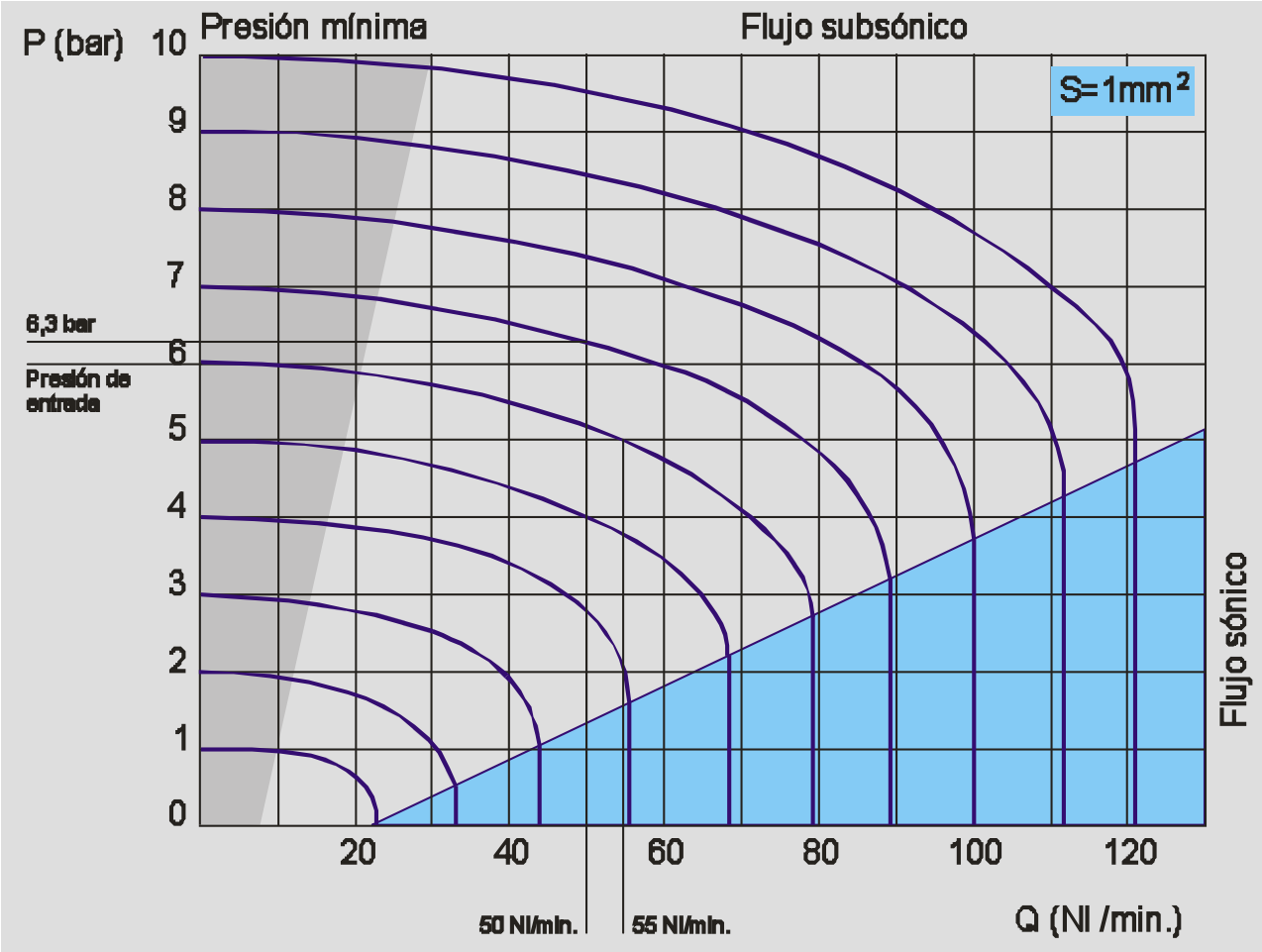
el caudal obtenido en este diagrama es válido para un elemento (válvula, racor, tubería, etc.) con una sección equivalente “S” de 1 mm^2

presión y caudal · diagrama P/Q



en el triángulo de la esquina inferior derecha el caudal de aire va a una velocidad próxima a la del sonido. Las curvas en esta zona caen verticalmente. en este caso, el caudal ya no depende de la diferencia de presión entre la entrada y la salida sino de la presión de entrada

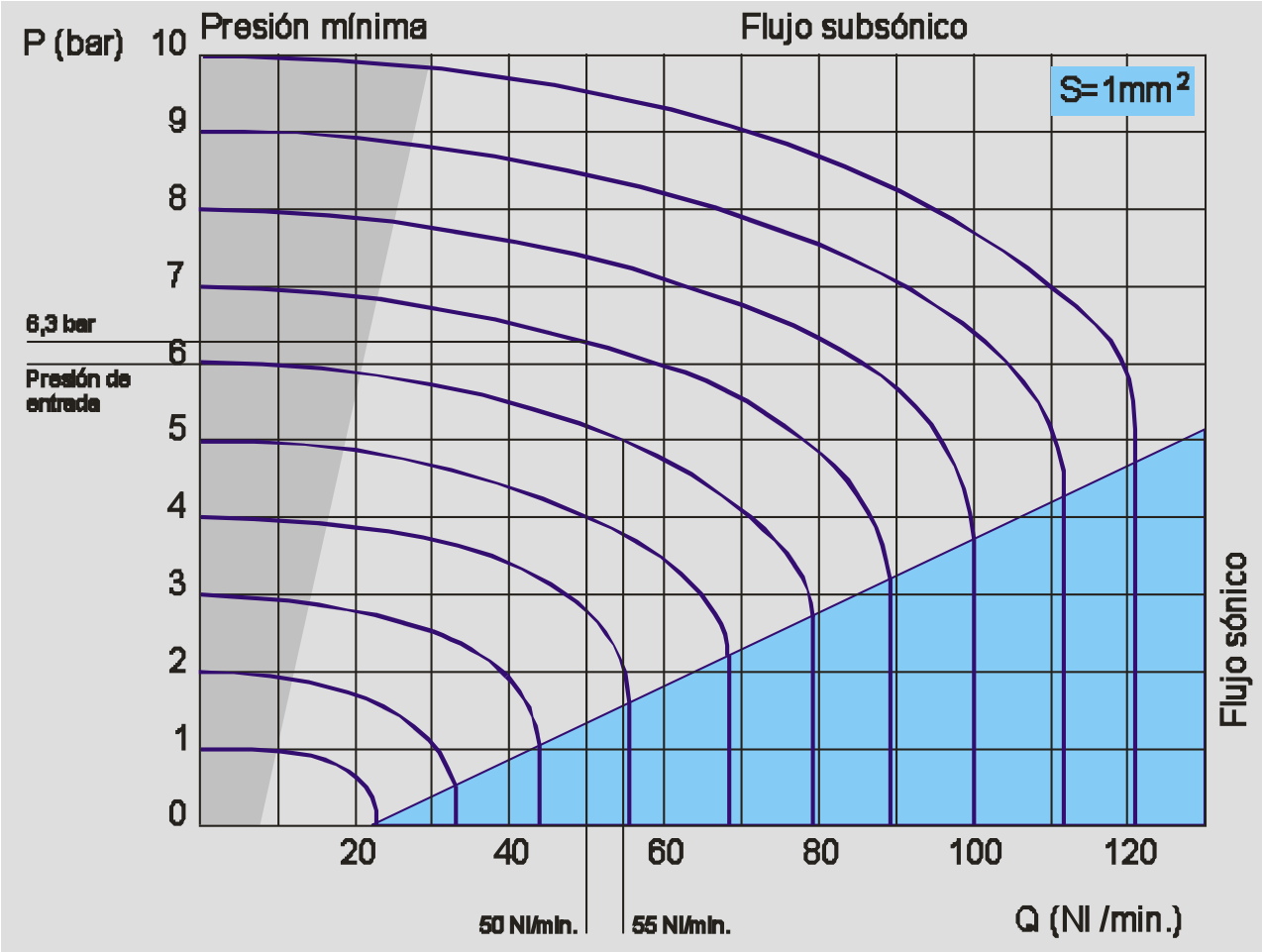
presión y caudal · diagrama P/Q



Ej 1:

P entrada 6 bar. Caida de presión 1 bar. Obtenemos un caudal de 55 l/min. Si el elemento tiene una S de 4,5 entonces el caudal será 55 · 4,5= 245 l/min

presión y caudal · diagrama P/Q



Ej 2: Un elemento con S=12mm^2, P alimentación de 7 bar consumo de 600 l/min
¿Presión en la salida?
600 / 12 = 50 l/min por mm^2 de sección equivalente
La curva de 7 bares corta a la de 50 l/min en 6,3 bar