4.3



Manual del BOMBERO
Uso de Recursos Operativos

4.3 Bombas. Hidráulica básica para bomberos

arkaute
akademia

TÍTULOS DE LA COLECCIÓN MANUAL DEL BOMBERO

Volumen 1 Operaciones de salvamento

1.1 Rescate en accidentes de tráfico
1.2 Trabajos y rescates en altura
1.3 Rescate acuático en superficie
1.4 Urgencias sanitarias para bomberos

Volumen 2 Control y extinción de incendios

2.1 Principios de lucha contra incendios
2.2 Incendios en interiores
2.3 Incendios forestales
2.4 Prevención de incendios

Volumen 3 Fenómenos naturales y antrópicos. Operaciones de ayudas técnicas

3.1 Riesgos naturales
3.2 Riesgo en accidentes con materias peligrosas
3.3 Redes de distribución e instalaciones
3.4 Principios de construcción y estabilización de estructuras

Volumen 4 Uso de recursos operativos

4.1 Equipos de protección respiratoria
4.2 Medios de extinción. Operaciones e instalaciones con mangueras
4.3 Bombas. Hidráulica básica para bomberos
4.4 Vehículos de los S.P.E.I.S
4.5 Manejo de herramientas y equipos

Volumen 5 Organización y desarrollo profesional

5.1 El Sistema Vasco de Atención de Emergencias
5.2 Seguridad y salud laboral
5.3 Aspectos legales de la intervención. Responsabilidades, deberes y derechos
5.4 Psicología de emergencias

Edición:	Junio 2011.
Tirada:	1.800 ejemplares.
©	Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
	Departamento de Interior.
Internet:	www.arkauteakademia.euskadi.net
Edita:	Academia de Policía del País Vasco.
	Carretera Gasteiz-Irún Km. 5. 01192 Arkaute - Álava.
Dirección proyecto:	**Hilario Sein Narvarte.** *Asesor de la Academia de Policía del País Vasco.*
Autor:	**Asier Luja Garcia.** *Subinspector del Servicio de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.*
Coordinación proyecto:	**Javier Elorza Gómez.** *Subinspector del Servicio de Extinción de Incendios y Salvamento. Diputación Foral de Bizkaia.*
Diseño:	Bell Comunicación, S. Coop.
Impresión:	Centro Gráfico Ganboa
ISBN de la Obra Completa:	978-84-615-1638-4 / ISBN del Volumen 4: 978-84-615-1636-0 / ISBN de este libro: 978-84-615-1734-3
D.L.:	SS-940-2011

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 7

1. FÍSICA BÁSICA. CONCEPTOS NECESARIOS 9

1.1 INTRODUCCIÓN 10

1.2 LA DENSIDAD DE LOS FLUIDOS 10

1.2.1 Densidad absoluta 10

1.2.2 Densidad relativa 11

1.3 CONCEPTO DE PESO 12

1.4 PESO ESPECÍFICO 13

1.5 LA VISCOSIDAD 13

1.6 PRESIÓN 15

1.6.1 Unidades de medida de la presión 15

1.6.2 Presión atmosférica 16

1.6.3 Presión relativa 17

1.6.4 Presión absoluta 17

1.6.5 Presión de vapor 18

2. LA HIDROSTÁTICA 19

2.1 INTRODUCCIÓN 20

2.2. LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA 20

2.3 TRANSMISIÓN DE PRESIONES 22

3. LA HIDRODINÁMICA **24**

3.1 INTRODUCCIÓN 25

3.2 CAUDAL 26

3.3 VELOCIDAD 26

3.4 MOVIMIENTO DEL AGUA POR EL INTERIOR DE LAS INSTALACIONES 27

3.4.1 Movimiento laminar 27

3.4.2 Movimiento turbulento 27

3.5 PRINCIPIO DE CONTINUIDAD 27

3.6 ENERGÍA DE UN FLUIDO 28

3.7 TEOREMA DE BERNOULLI 29

4. ESTUDIO DE PRESIONES EN LAS INSTALACIONES DE BOMBEROS **32**

4.1 PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS INSTALACIONES 33

4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PÉRDIDA DE CARGA 34

4.3 APLICACIÓN DE BERNOULLI A LAS INSTALACIONES DE BOMBEROS 35

5. BOMBAS EMPLEADAS EN LOS SERVICIOS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS **37**

5.1 INTRODUCCIÓN 38

5.2 CLASIFICACIÓN 39

5.2.1 Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas 39

5.2.2 Bombas dinámicas o de energía cinética 40

5.3. BOMBAS CENTRÍFUGAS **40**

5.3.1. Funcionamiento de las bombas centrífugas 40

5.3.2. Curvas de funcionamiento 41

5.4. BOMBAS INTEGRADAS EN LOS VEHÍCULOS DE EXTINCIÓN **43**

5.4.1. Distribución de los elementos hidráulicos del conjunto bomba-vehículo 43

5.4.2. Abastecimiento 45

5.5. OTROS TIPOS DE BOMBA **47**

5.5.1. Turbobombas 47

5.5.2. Electrobombas 48

5.5.3. Motobombas 49

6. EMPLEO DE ADITIVOS **50**

6.1. INTRODUCCIÓN **51**

6.2. HUMECTANTES **51**

6.3. ESPESANTES **51**

6.4. RETARDANTES **52**

6.5. OTROS ADITIVOS **52**

6.6. ESPUMAS **53**

6.6.1. Introducción 53

6.6.2. Generación de espuma 53

6.6.3. Clasificación de espumas 56

6.6.4. Sistemas CAF (Compressed Air Foam) 60



PRESENTACIÓN

Según diversos estudios, parece que el ser humano descubre el fuego hace 400.000 o 500.000 años, y sin embargo, solo se tiene constancia de organizaciones destinadas a la lucha contra el mismo desde hace unos 2.000 años.

Tal y como reflejan los escritos fue precisamente en la antigua Roma, debido a la cantidad de incendios de carácter urbano que se producían en la época, donde se suscitó la necesidad de sustituir a los grupos de esclavos diseminados por la ciudad encargados de la extinción de incendios, por grupos perfectamente organizados y preparados considerados a posteriori como los primeros grupos de bomberos profesionales de la historia.

Se denominaban "vigiles" y se dividían en escuadras perfectamente organizadas en las que unos transportaban el agua mediante cadenas humanas, y otros la impulsaban hacia el fuego accionando de manera manual las bombas existentes en la época.

Desde entonces la técnica ha ido evolucionando hasta llegar a los equipos que hoy en día se emplean para la extinción de incendios. Equipos diseñados y desarrollados para facilitar las labores del bombero, favoreciendo el trabajo con una menor necesidad de esfuerzo físico y con mayores garantías de seguridad en la intervención.

La formación en los Servicios de Extinción de Incendios también ha ido evolucionando, tanto en lo relativo al conocimiento sobre nuevas técnicas como en lo relativo a la sensibilización de los bomberos y los responsables de los servicios respecto a su necesidad.

En primer lugar, y siempre con el objeto de que el lector comprenda las ecuaciones y teoremas aplicables durante los siguientes capítulos, se procede a definir una serie de conceptos relacionado con la física aplicables en cualquier definición hidráulica.

1

FÍSICA BÁSICA. CONCEPTOS NECESARIOS

1.1 INTRODUCCIÓN
1.2 LA DENSIDAD DE LOS FLUIDOS
1.3 CONCEPTO DE PESO
1.4 PESO ESPECÍFICO
1.5 LA VISCOSIDAD
1.6 PRESIÓN



1. FÍSICA BÁSICA. CONCEPTOS NECESARIOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Un perfecto conocimiento de los medios de extinción y evidentemente, de las propiedades del agente extintor empleado, es sinónimo de un uso eficiente y posiblemente satisfactorio del mismo durante la intervención en el incendio. Para conocer las propiedades y comportamiento del agua, sin lugar a dudas, el agente extintor mas empleado en la historia de los servicios de extinción de incendios de todo el mundo, se redacta este documento.

Para transmitir ese conocimiento, se procurará adaptar aquellos teoremas y ecuaciones que rigen la hidráulica, que es la rama de la física que estudia los fluidos, a las necesidades de los bomberos en el uso de los equipos y herramientas disponibles para el desarrollo de sus labores.

1.2 LA DENSIDAD EN LOS FLUIDOS

Uno de los conceptos de la física referido a la mecánica de fluidos que conviene tener en consideración a la hora de estudiar las aplicaciones de esta ciencia desde el enfoque de los servicios de bomberos es la densidad.

La densidad es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen. Expresándolo de una manera cualitativa, podría considerarse como la propiedad que permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia medida a volumen constante. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, más pesado parece.



1.2.1 DENSIDAD ABSOLUTA

La densidad es una propiedad intensiva de la materia (no depende de la cantidad de materia), resultado de la división de dos propiedades extensivas como son la masa y el volumen.

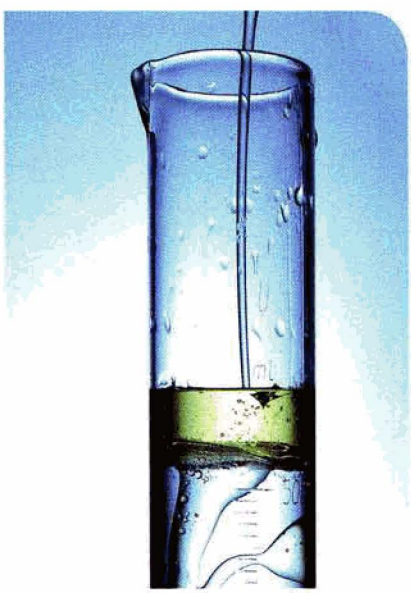
La **densidad absoluta** o densidad normal, también llamada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen (Kg/m³). Cuando no se hace ninguna aclaración al respecto, el término densidad suele entenderse en el sentido de densidad absoluta.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Veamos como ejemplo algunos valores de densidades para diferentes sustancias.

Sustancia	Densidad media (en kg/m³)
Aceite	920
Acero	7.850
Agua	1000
Agua de mar	1.027
Aire	1,29
Gasolina	680
Alcohol	780
Magnesio	1.740

A modo de ejemplo, en la tabla anterior puede observarse como el aceite tiene una menor densidad que el agua, por esta razón, y por tratarse de dos fluidos inmiscibles, al verter uno sobre el otro, el aceite tenderá siempre a quedar en las capas superficiales por encima del agua.



También se observa, que el agua de mar resulta más densa que el agua pura. Esto se debe al porcentaje de sales disueltas en el medio líquido, ya que al aumentar este porcentaje, también lo hace su densidad.

Centrándonos en el caso concreto del agua, ésta puede encontrarse en la atmósfera en sus tres estados de agregación, es decir, sólido, líquido y gas. El agua al solidificarse, tiende a disminuir su densidad. Por lo tanto a bajas temperaturas al formarse el hielo, se produce un aumento del volumen respecto al del agua en estado líquido. Este efecto, produce que en ríos, lagos o mares el hielo flote sobre la superficie en vez de hundirse en contra de lo que pudiera parecer por tratarse de un sólido.

A este respecto, mientras que el volumen de otros líquidos disminuyen por efecto del descenso de temperaturas, en el caso del agua, su volumen aumenta con temperaturas inferiores a 3,98°C, esto implica que la densidad del agua alcanzará su máximo valor al llegar a esa temperatura.

1.2.2 DENSIDAD RELATIVA

A diferencia de la absoluta, la densidad relativa, expresa la relación entre la densidad de una sustancia y una densidad elegida como valor de referencia, que en nuestro caso va a ser la del agua. El valor de la densidad objeto de estudio, se compara con la del agua, dando como resultado una magnitud adimensional.

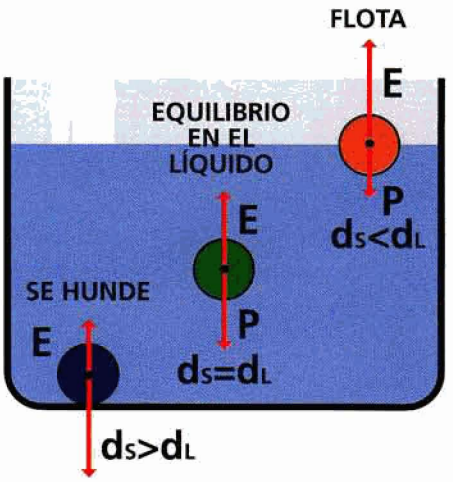
$$\frac{\text{Densidad cuerpo}}{\text{Densidad referencia}} = \text{DENSIDAD RELATIVA}$$

Dado que en general, la densidad de un material varía con las condiciones de temperatura y presión (al aumentar la presión aumenta la densidad y al aumentar la temperatura en cambio, disminuye), el valor que se usará como patrón para el cálculo de las densidades relativas, se establece en unas condiciones de 1 atmósfera de presión y 4°C. Bajo dichas condiciones, la densidad del agua tiene un valor de 1kg/l.

En la siguiente Tabla se pueden observar algunos ejemplos de valores de densidades relativas dando como valor de referencia, la del agua.

Agua	1.00
Aceite	0.92
Vidrio	2.53
Aluminio	2.70
Mercurio	13.55
Hielo	0.91

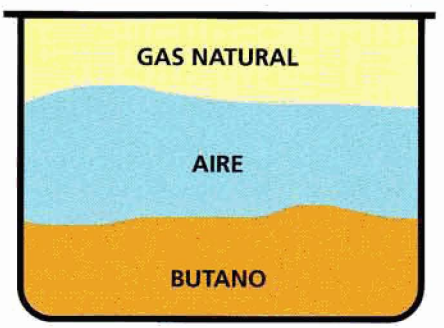
Una vez comentado lo anterior, se puede concluir que sustancias con menor densidad tienden a colocarse por encima de aquellas con mayor valor de densidad.



En capítulos posteriores, se hablará por ejemplo, de la eficacia en la utilización de espumas sobre fuegos líquidos. Su menor valor de densidad provocará que se sitúe sobre la superficie del líquido, flotando sobre él y provocando entre otras cosas, el corte del aporte de oxígeno a la combustión (sofocación) y por lo tanto su extinción.

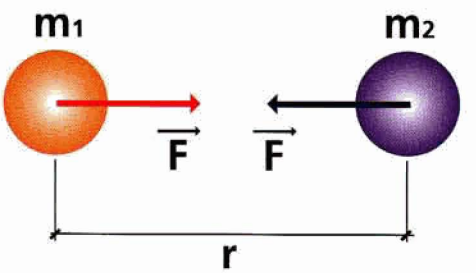
Para el caso de los gases, el valor de referencia empleado será el del aire, con una densidad de 1,29 kg/m³ medido en condiciones normales (1 atmósfera de presión y 0°C). Su densidad relativa se considerará =1.

Este valor, le permite al bombero interviniente de manera sencilla prever el comportamiento de un gas del cual conozca previamente su valor de densidad. A valores altos como el del butano (2,1), el gas tenderá a caer, con lo que el interviniente deberá saber que las mayores concentraciones se encontrarán a la altura del suelo. Para valores más bajos que el del aire (por ejemplo el gas ciudad con un valor de densidad relativa de 0,6), se entenderá que dependiendo de la temperatura, los gases ascenderán a cotas más altas, filtrándose por huecos de ventilación en caso de interiores y pudiendo afectar a pisos de viviendas superiores en caso de fuga.



1.3 CONCEPTO DE PESO

¿Es lo mismo la masa de un cuerpo y su peso? Es evidente que la respuesta a esta pregunta es negativa. La masa de un cuerpo, es una propiedad característica del mismo, que está relacionada con el número y clase de las partículas que lo forman. Se mide en kilogramos (kg). Por otro lado, el peso de un cuerpo es la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce la tierra sobre dicho cuerpo, siendo la magnitud de la fuerza dependiente de la masa del cuerpo ya que la de la tierra es un dato conocido. Se mide en Newtons (N), en Kilogramos fuerza, Dinas...



$$F = G \frac{m_1 . m_2}{r^2}$$

Esto es debido al fenómeno de atracción mutua que ejercen entre sí dos cuerpos cualesquiera provistos de masa. La magnitud de la fuerza que se asocia es directamente proporcional a la masa de los cuerpos.

Donde:

G: constante gravitatoria universal:
$G = 6,67 \cdot 10\text{-}11\ N\ m^2\ kg^{-2}$

Mt: masa de la tierra. (5.9736×10^{24} Kg)

r: distancia entre cuerpos

rt: distancia del cuerpo en la superficie respecto del centro de la tierra (aproximadamente 6400 Km)

m: masa de los cuerpos

Por lo tanto el peso de un cuerpo en la superficie de la tierra es :

$$P = G \frac{m.Mt}{r^2}$$

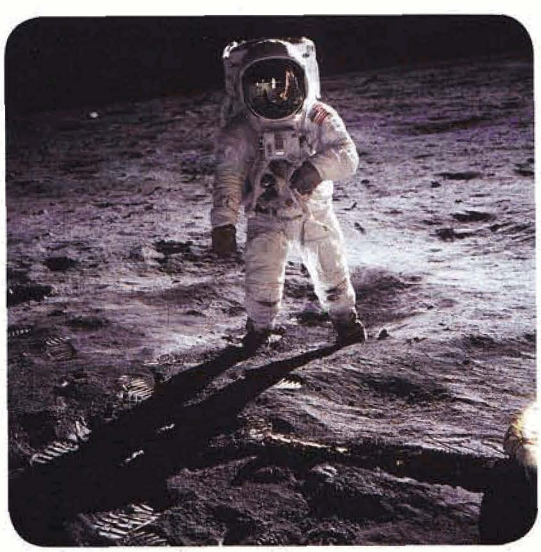
La relación entre el peso de un cuerpo y su masa recibe el nombre de gravedad. Según la ley de la gravitación universal, en la superficie de la Tierra la gravedad tiene un valor de:

$$g = G\frac{Mt}{r^2} = 9{,}81\ m/s^2$$

El peso es una magnitud variable (de fuerza), cuyo valor depende de la distancia exacta al centro de la Tierra.

$$P = mg$$

Como ejemplo de fácil compresión de lo anteriormente expuesto, se considera que una persona cuya masa sea de 70 Kg, pesará en realidad 686,7 Newton (70 Kg-fuerza). Esta persona en la Luna, seguiría teniendo la misma masa, (70 Kg) ya que seguiría estando compuesto por la misma cantidad de materia, este parámetro no varía. Dado que la fuerza gravitacional de la Luna es 6 veces inferior a la de la tierra, la fuerza de atracción, es decir su peso en la luna, será 6 veces menor, es decir 144,45 Newton (11,6 Kg-fuerza).



1.4 PESO ESPECÍFICO

El peso específico (γ) cualquiera de una sustancia se define como su peso por unidad de volumen. Se calcula al dividir el peso de la sustancia entre el volumen que ésta ocupa. En el sistema técnico, se mide en kilopondios por metro cúbico (kp/m³). En el Sistema Internacional de Unidades, en Newton por metro cúbico (N/m³).

$$\gamma = \frac{Peso}{Volumen}$$

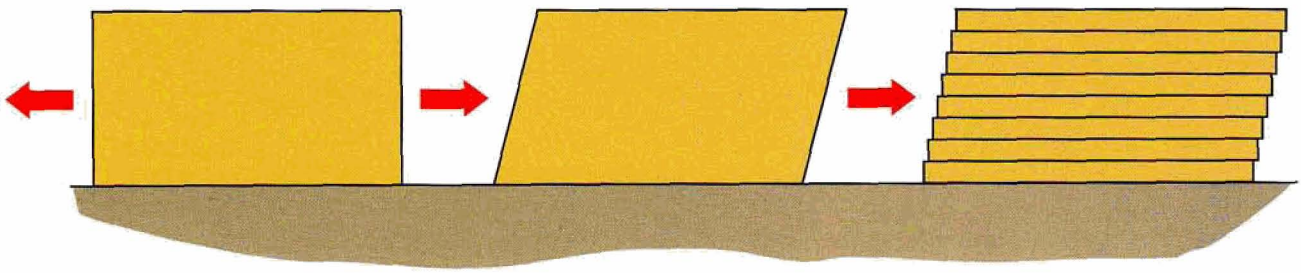
La diferencia entre el peso específico y la densidad, radica precisamente en la diferencia existente entre el peso y la masa de un cuerpo. Por lo tanto:

$$\gamma = \frac{Masa \times Gravedad}{Volumen} = Densidad \times Gravedad$$

1.5 LA VISCOSIDAD

Se considera la viscosidad como la oposición de los fluidos (gas o líquido) a las deformaciones tangenciales al aplicar una fuerza determinada, es decir, la oposición a fluir, oponiendo resistencia al movimiento de unas partículas sobre otras como resultante de los efectos combinados de la cohesión y la adherencia de dichas partículas.





La viscosidad se mide por el coeficiente de viscosidad, designado como η o μ. Sus unidades de medida son:

$[\mu] = [kg/m \cdot s]$

Si el valor de viscosidad fuera muy grande, el rozamiento entre capas adyacentes lo sería también, lo que significa que éstas no podrían moverse unas respecto de otras o lo harían muy levemente, es decir, estaríamos ante un comportamiento sólido.

Uno de los parámetros que más directamente afecta a la viscosidad de las materias es la temperatura.

En el caso de los líquidos, la viscosidad disminuye conforme aumenta la temperatura. Esto es debido a que el aumento de la temperatura, genera un incremento de la energía cinética promedio de las moléculas que componen el líquido. Este incremento energético permitirá a las moléculas superar fácilmente las fuerzas de atracción que operan entre ellas, disminuyendo de este modo la viscosidad.

Un ejemplo que permite visualizar mejor este concepto, sería la diferencia con la que fluye el aceite al ser calentado en la sartén, a diferencia del momento en que es arrojado a la misma a temperatura ambiente.



Concretando en el caso del agua, en la siguiente tabla se reflejan los valores de la viscosidad en función de la variación de temperatura.

Temperatura (C°)	Viscosidad (kg/m-s) x 10^{-3}
0	1,79
5	1,52
10	1,31
15	1,14
20	1,00
25	0,89
30	0,80
35	0,72
40	0,65
60	0,47
80	0,36

Por otro lado, y al contrario de lo que ocurre con los líquidos, en el caso de los gases, un incremento de la temperatura supone un aumento del valor de la viscosidad.

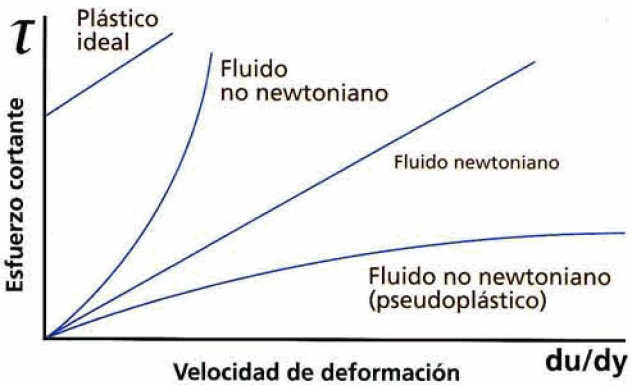
En el estudio de las aplicaciones hidráulicas, como ya se verá más adelante, es habitual considerar el valor de la viscosidad constante con el objeto de simplificar cálculos y poder extraer conclusiones matemáticas con un cierto rigor.

No obstante, la viscosidad es un parámetro que condiciona el trabajo relacionado con los servicios de bomberos de manera directa, ya que es un valor proporcional a las pérdidas de carga que se producen en las instalaciones de agua. Aunque por norma general se traba-

ja con agua a temperatura ambiente (en cuyo caso se despreciará la variación de la viscosidad), existen casos concretos en que se hace necesario considerar dichas variaciones.

Lo habitual es trabajar con fluidos Newtonianos, que son aquellos en los que la viscosidad permanece constante en el tiempo. En este caso la relación entre el esfuerzo o cizalla y su tasa de deformación es lineal. El ejemplo más claro de este tipo de fluidos es el agua.

Por otro lado, están los fluidos **no newtonianos** (pseudoplásticos), en los que la viscosidad varía con la tensión cortante que se le aplica, en consecuencia un fluido no newtoniano no tendrá un valor de viscosidad determinado o constante (por ejemplo la miel, el pegamento, geles...).



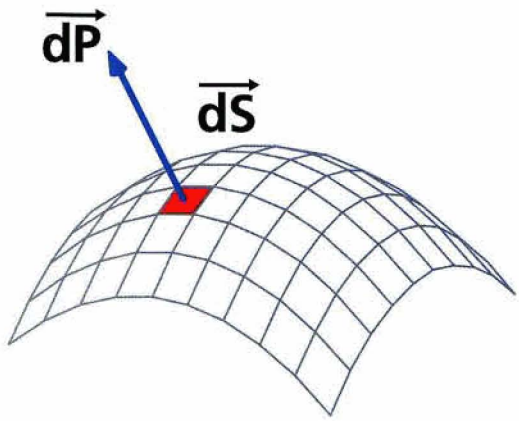
A este respecto, algunos sistemas automáticos de dosificación de espumógeno incorporados a las bombas de los vehículos de bomberos, ofrecen la posibilidad de configurar sus parámetros de funcionamiento y regulación en función del fluido empleado en la mezcla. Esto es debido a que el comportamiento de un fluido newtoniano (espumógeno común), no actúa de la misma manera que uno de viscosidad variable como son los no newtonianos o pseudoplásticos, que tienen diferentes características reológicas. Este es el caso de los espumógenos antialcohol, considerados pseudoplasticos, y empleados para la extinción de incendios de líquidos polares.

1.6 PRESIÓN

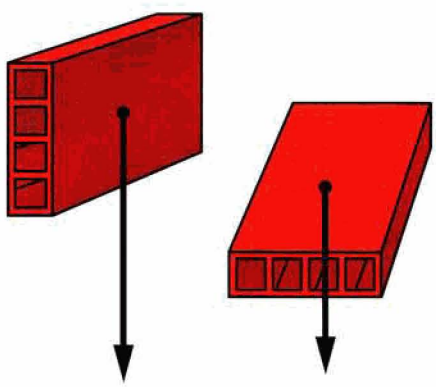
La presión es uno de los conceptos más empleados en el día a día del trabajo de los servicios de bomberos, dado que se trata de un parámetro de obligado conocimiento en el trabajo con equipos respiratorios, cojines de aire para rescate, instalaciones de agua y espuma y un largo etcétera.

La presión se origina siempre que se produce una resistencia a la circulación de un fluido, o una fuerza que trata de impulsarlo. Se trata de un parámetro que define la fuerza aplicada por unidad de superficie.

$$P = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$$



Por lo tanto, para un mismo peso distribuido sobre diferentes superficies, la presión será menor cuanto más grande sea dicha superficie.



1.6.1 UNIDADES DE MEDIDA DE LA PRESIÓN

Son varias las unidades de medir la presión que se utilizan hoy en día. Dependiendo del sistema de medida empleado, se pueden emplear bar, Pascal, atm....

Históricamente, la primera unidad de medida empleada para medir presión atmosférica fue el "milímetro de mercurio" (mm Hg), debido a la capacidad de una

columna de unos 760 mm de mercurio, de lograr el equilibrio con la referida presión atmosférica.

A partir de ese descubrimiento (Torricelli 1643), para expresar esta medida, se emplea la **atmósfera** (atm), que se considera que es la que sostiene una columna de mercurio de 76 cm.

1 atm = 760 mm Hg = 1kgf/cm²

Tal y como se refleja en diversa bibliografía, cabe también la posibilidad de establecer una diferencia entre la "atmósfera técnica" y la "atmósfera normal" o "atmósfera física". Si la primera hace referencia a la presión ejercida por un Kilogramo-fuerza sobre una superficie de un cm², la segunda expresa la presión debida a una columna de mercurio de 760 mm, bajo condiciones predeterminadas.

1 atm (atmósfera física) = **1,033 at** (atmósfera técnica)

Dependiendo del sistema de medida escogido, se podrá emplear una u otra unidad. En el caso del Sistema Internacional de Medida (SI), se utilizará el **Pascal** (Pa) que define la presión ejercida por una fuerza de un newton sobre una superficie de un metro cuadrado

1 Pa = 1 Newton/m²

En el caso del CGS (Sistema Cegesimal de Medida) la unidad de medida sería el "baria" (igual a 0,1 Pa), pero dado que dicha unidad se basa en el centímetro, en el gramo y el segundo, resulta una unidad excesivamente pequeña. A efectos de cálculo, se emplea otra unidad un millón de veces mayor como es el **bar**.

1 bar = 100.000 Pa = 10 m.c.a

Una unidad muy empleada en el cálculo de las pérdidas de carga ocasionadas en las instalaciones de manguera cuando se trabaja a diferentes niveles, son los metros de columna de agua, cuya equivalencia se refleja en el recuadro anterior.

Además de estas unidades de medida, existen otras igualmente válidas, pero de uso no tan habitual para los servicios de bomberos, como el psi (libra por pulgada cuadrada), cuya equivalencia sería 1 bar =14,5 psi.

1.6.2 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

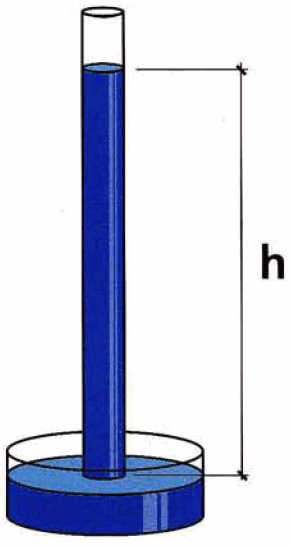
También denominada presión barométrica (P_{atm}), es la presión medida sobre la superficie de la tierra (aunque es un concepto extensible a la superficie de cualquier planeta) como consecuencia de la fuerza que ejerce el peso de la atmósfera por unidad de superficie. Este valor estará condicionado por ciertas variables como la altitud. La presión atmosférica disminuye considerablemente con el aumento de la altitud, ya que la cantidad de aire que ejerce su presión sobre el cuerpo es también menor.

Tabla de variación de la presión (m.c.a.) en función de la altitud sobre el nivel del mar.

Altitud (m)	Presión Atmosférica
0	10,33
500	9,71
1000	9,11
1500	8,56
2000	8,04
2500	7,56

Como valor de referencia se toma la medida de presión atmosférica a nivel del mar. Considerando dicho valor, el de 760mm Hg =1atm, tal y como se desprende de las conclusiones extraídas por el físico y matemático italiano Evangelista Torricelli de sus experimentos.

Torricelli ingenió un sistema de medición de la presión atmosférica, basado en la fuerza ejercida por la atmósfera sobre una sección determinada de mercurio. Llenó de mercurio un tubo de 1 m de largo, (cerrado por uno de los extremos) y lo invirtió sobre un cubeta llena de mercurio. Curiosamente, el nivel de la columna de mer-

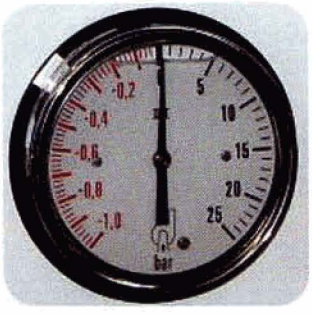


curio bajó varios centímetros, permaneciendo estática a unos 76 cm (760 mm) de altura.

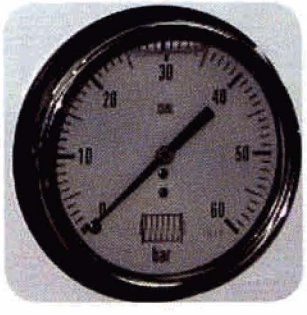
El razonamiento principal se basaba en que la columna de mercurio no caía debido a que la presión atmosférica ejercida sobre la superficie del mercurio (y transmitida a todo el líquido y en todas direcciones) equilibraba la presión que ejercía su peso.

1.6.3 PRESIÓN RELATIVA

Para el cálculo de la presión relativa, se emplea una medida que sirve de referencia como es la presión atmosférica. Por lo tanto, su valor será la diferencia entre la presión que se está midiendo y la atmosférica. La presión que se pretende medir será la presión manométrica (medida con un manómetro). En caso de que la lectura de presión relativa sea negativa, es decir, que la presión sea inferior a la atmosférica, se considerará un escenario de depresión o vacío (se suelen emplear vacuómetros o manovacuómetros).



Vacuómetro.



Manómetro.

Unos de los manómetros mas habituales suele ser el tipo Bourdon. Realmente el Bourdon es un mecanismo interno del manómetro consistente en un tubo hueco, curvado, que tiende a enderezarse al someterse a presión. Su desplazamiento será lineal y proporcional a la presión a la que se somete. A este tubo, se le acopla un dispositivo para transmitir el desplazamiento a una aguja que indica la presión sobre una escala impresa. De una manera muy simplificada este es el mecanismo de funcionamiento del manómetro.

Por regla general, las lecturas obtenidas mediante manómetros y otros aparatos de medida diferentes hacen referencia a la presión relativa, siendo por lo tanto, su valor cero el correspondiente a la presión atmosférica.

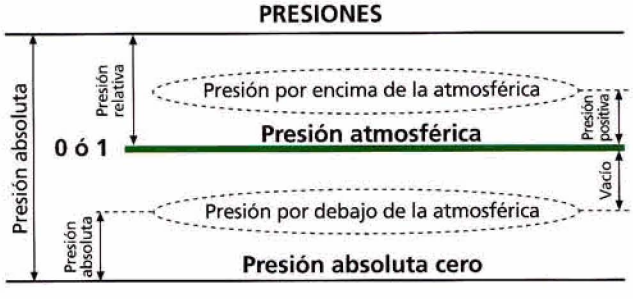
1.6.4 PRESIÓN ABSOLUTA

En este caso, se obtiene un valor cuyo parámetro de partida, el cero de la escala hace referencia a el cero absoluto, es decir el valor medido sobre un entorno de vacío perfecto. Por lo que la presión absoluta mide los valores de presión sobre el cero absoluto.

Es evidente por lo tanto, que un manómetro de medición de presiones absolutas, medirá una presión atmosférica de 1 atm y no cero como lo haría un manómetro de presión relativa.

$$P_{absoluta} = P_{atmosférica} + P_{relativa}$$

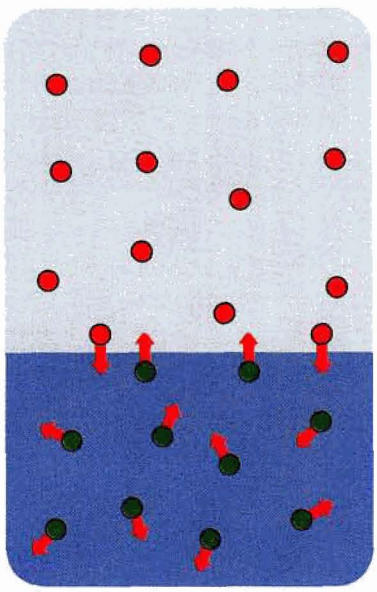
Simplificando:



1.6.5 PRESIÓN DE VAPOR

Es la presión, para una temperatura dada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico, considerando la condición de recipiente cerrado.

El elemento líquido está constituido por moléculas que chocan entre sí e intercambian energía de tal forma que algunas de ellas, cercanas a la superficie, adquieren suficiente velocidad y saltan del líquido hacia la zona gaseosa (evaporación).



A medida que más moléculas pasan al estado vapor, la presión dentro del espacio cerrado aumenta. El aumento de la presión tendrá un límite marcado por la presión de vapor o vapor saturado, que será el punto en el que por cada molécula de líquido que pasa a estado gaseoso, otra molécula regresa al estado líquido. Será el punto de equilibrio. Cuanto mayor sea el valor de la Presión de vapor, más posibilidades habrá de rotura del recipiente que contiene el líquido.

Este equilibrio se alcanzará más rápidamente, cuanto mayor sea la superficie de contacto entre el líquido y vapor favoreciendo de esta forma la evaporación del líquido.

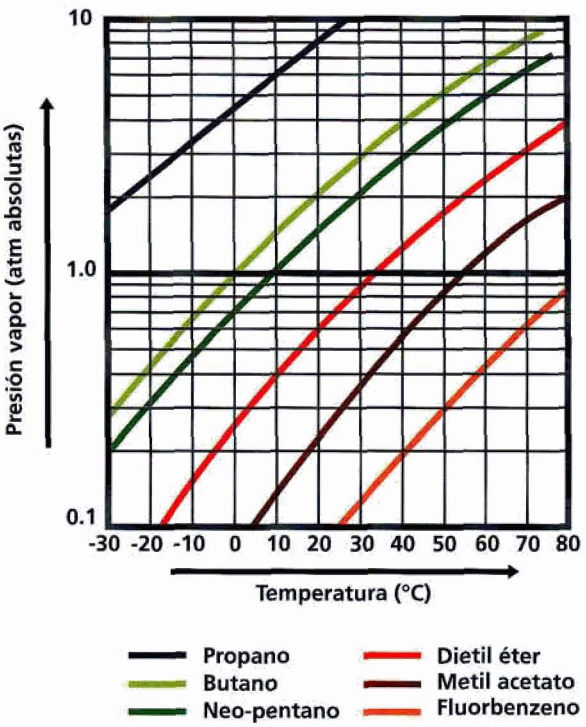
La presión de vapor saturado depende de dos factores:

1. La naturaleza del líquido

Se puede decir que la volatilidad de un líquido, viene representada por el valor de su presión de vapor, siendo aquellos que tienen valores más altos, los más volátiles (gasolina), por lo que, a efectos de cuantificar la peligrosidad de una sustancia encerrada en un recipiente, es preciso considerar que a la misma temperatura, mantendrán una mayor presión que otros elementos menos volátiles.

2. La temperatura

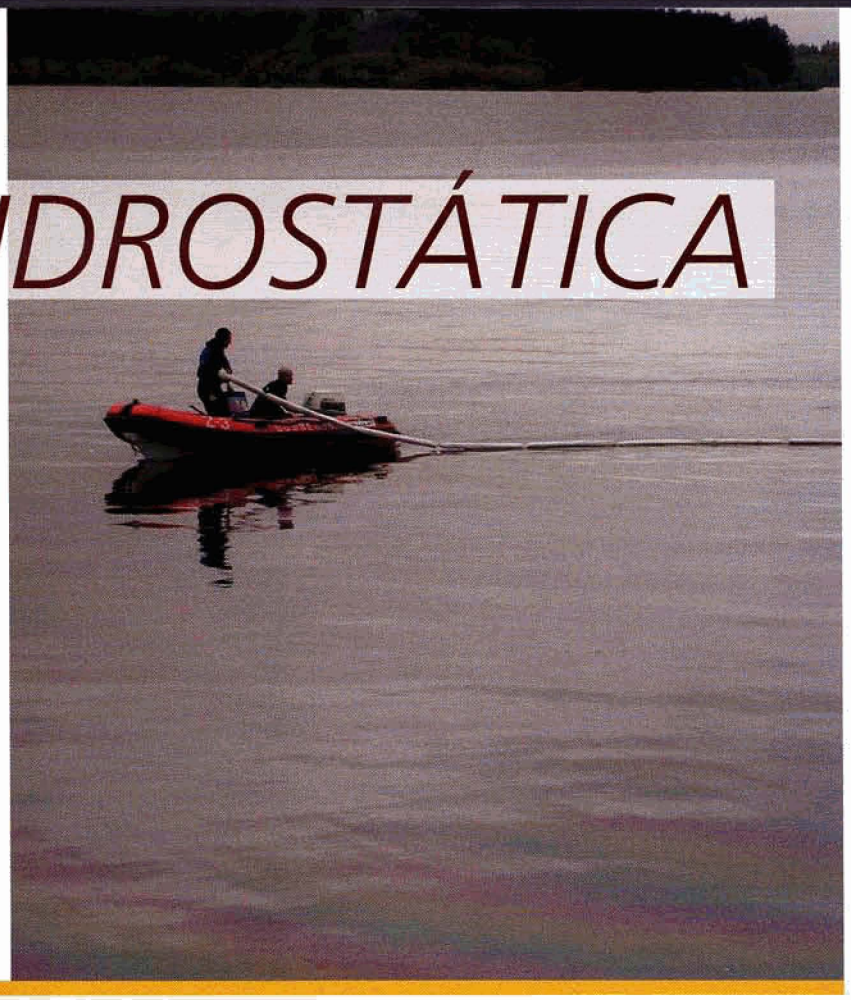
El valor de la presión de vapor crece (de manera no lineal, y dependiendo de la sustancia) con el aumento de la temperatura. Este fenómeno se basa en el calentamiento de las moléculas por el aumento de la temperatura y el consiguiente aumento de energía de las moléculas. Ésto conlleva un aumento de la velocidad de las moléculas y de la violencia de los choques entre ellas, pasando un mayor número de éstas al estado gaseoso.



2 LA HIDROSTÁTICA

2.1 INTRODUCCIÓN
2.2 LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA
2.3 TRANSMISIÓN DE PRESIONES

2. LA HIDROSTÁTICA



2.1 INTRODUCCIÓN

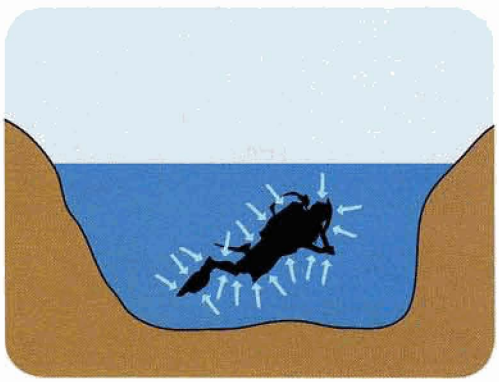
El líquido es uno de los tres estados de agregación de la materia. Un líquido es un fluido cuyo volumen es constante en condiciones de temperatura y presión constantes, siendo su forma natural la esférica, no obstante y debido a la influencia de la gravedad, su forma quedará definida por el recipiente o entorno que la contenga.

Dentro de la rama de la mecánica de los fluidos, el estudio de los fluidos en reposo, es decir en su situación de equilibrio, se denominará hidrostática .

2.2 LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

Dado que un fluido en reposo no se ve sometido a aceleración alguna, la variación de la presión dependerá de la variación de la profundidad. Un cuerpo sumergido en un fluido estará sometido a una presión que será función de la cantidad de fluido existente sobre dicho cuerpo.

Un fluido pesa y por lo tanto, ejerce una presión sobre las paredes y fondo del recipiente que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión, llamada hidrostática, provoca, en fluidos en reposo, una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente o a la superficie del objeto sumergido, sin importar la orientación que adopten las caras.



Aunque la presión en el interior de un fluido depende de la profundidad, otro factor que condiciona este valor es la densidad del fluido. Como ejemplo, se puede mencionar el caso del mercurio.

El mercurio es 13,6 veces más denso que el agua lo cual provoca que la presión ejercida a la misma profundidad sea también 13,6 veces mayor. Veamos la relación:

Teniendo en cuenta que :

$$\textbf{Densidad } (\rho) = \frac{\textbf{Masa}}{\textbf{Volumen}}$$

Peso = Masa x Gravedad

Volumen = Superficie x Altura

Se deduce que:

$$\text{Presión} = \frac{\text{Peso}}{\text{Superficie}} = \text{Densidad x Gravedad x Altura}$$

En el caso de una superficie del líquido expuesta a la presión ejercida por la atmósfera, el valor total de la presión deberá ser la suma de ambas.

Presión absoluta = Presión hidrostática + Presión atmosférica

Dado que la densidad del agua es muy superior a la del aire (1000 Kg/m³ del agua frente a 1,29 Kg/m³ del aire) las variaciones de presión que ocasionen el aumento de la profundidad, resultarán mucho más significativos que los producidos en la presión atmosférica debidos a las variaciones por la altitud.

Con el objeto de facilitar los cálculos, se considera que por cada diez metros de columna de agua, la presión aumenta una atmósfera. Por ello, cuando se habla de altura (en metros), para referirse a la presión, es porque se está haciendo la equivalencia en presión de los metros de columna de agua (m.c.a).

A continuación se procede a resumir algunas consideraciones teóricas relativas al comportamiento de los fluidos en reposo, que resultan de gran interés para la correcta comprensión de la hidráulica en sus aplicaciones desde el punto de vista de los servicios de bomberos.

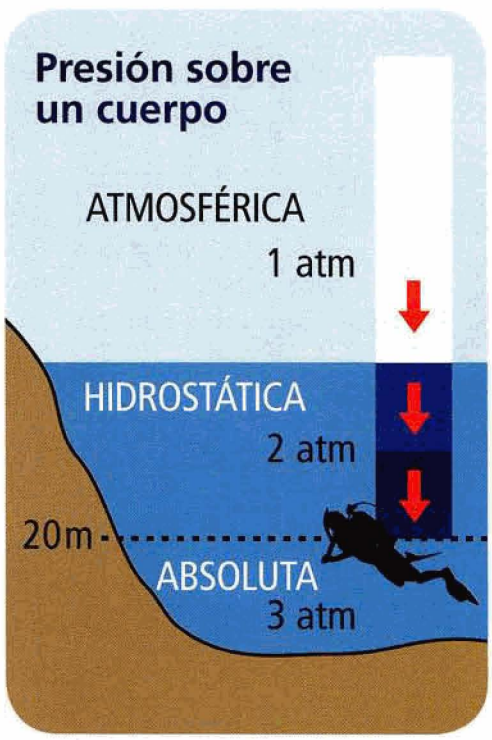
a) Como ya se ha descrito anteriormente, la presión en el interior de un fluido en reposo aumenta al aumentar la profundidad.

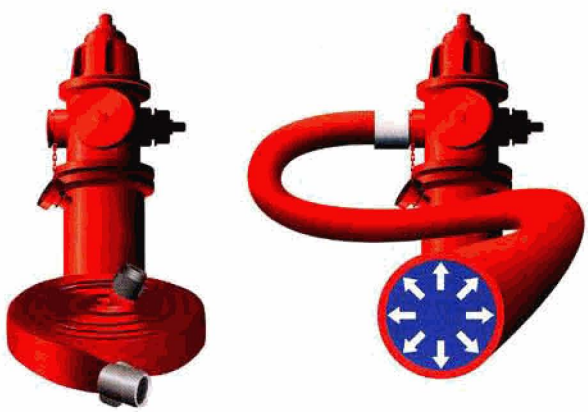
b) Considerando una línea imaginaria horizontal en el interior de un fluido, todos los puntos situados sobre la misma, al margen de la cantidad aparente de fluido sobre su vertical, tendrán el mismo valor de presión.

c) La diferencia de presión existente entre dos puntos en el interior de un líquido es la resultante de multiplicar la diferencia de nivel (profundidad) por la densidad y la gravedad.

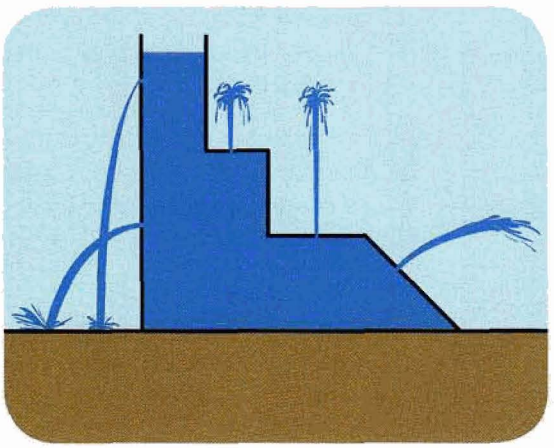
d) La presión ejercida en el interior de un líquido, actúa en todas las direcciones y sentidos, siempre en perpendicular a las superficies de los cuerpos sometidos a dicha presión.

Dado que se ejerce presión en todas las direcciones por igual, la sección de la manguera inicialmente plegada, adquiere la forma perfectamente circular debido la fuerza ejercida por el agua.

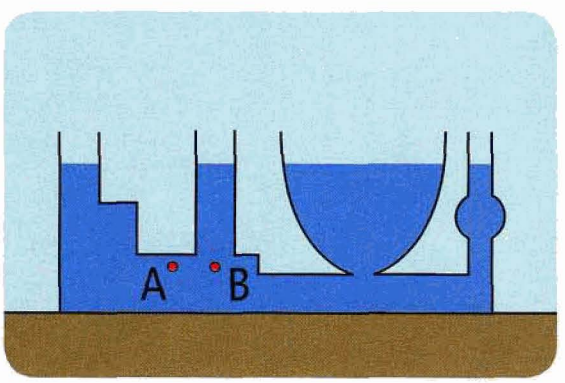




e) El líquido que sale por un orificio en la pared de un recipiente, saldrá proyectado en dirección perpendicular a la misma y su velocidad en el punto de salida será proporcional a la profundidad.



f) Concepto del vaso comunicante. Si se llena un recipiente, cuyo fondo queda comunicado con otros tantos recipientes, el líquido depositado, fluirá de tal forma que tenderá a alcanzar la misma altura en todos los recipientes tal y como se refleja en la figura adjunta.



Esto lleva a plantear la denominada "paradoja de la hidrostática". Si bien, a priori, parece que el valor de la presión debe depender siempre de la cantidad de líquido contenida en una superficie, vemos que no siempre es así.

Vemos que la cantidad de líquido sobre el punto A es menor que la que existe sobre el punto B, no obstante ambos tienen la misma presión.

2.3 TRANSMISIÓN DE PRESIONES

En relación al estudio del comportamiento de las presiones sobre los fluidos, fue el físico francés Blaise Pascal, quien estableció el siguiente principio:

Un cambio de presión aplicado a un fluido en reposo dentro de un recipiente se transmite sin alteración a través de todo el fluido. Es igual en todas las direcciones y actúa mediante fuerzas perpendiculares a las paredes que lo contienen.

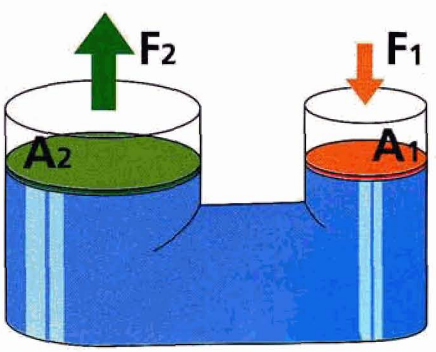
El teorema de Pascal es desde entonces el fundamental principio de funcionamiento de las que comúnmente se denominan máquinas hidráulicas como son la prensa, el gato, el freno, entre otras. Es decir, aquellas que basen su funcionamiento en el fundamento de transmisión de presión a un fluido mediante el uso de émbolos, pistones o similar.

No obstante, la principal aplicación de este principio es la multiplicación de la fuerza en un punto mediante el uso de transmisión de presiones en secciones diferentes.

Se considera a continuación, un ejemplo de un sistema formado por dos émbolos de diferentes secciones (A1 y A2), conectados entre sí, en cuyo interior se vierte un líquido. En el momento en el que se comienza a ejercer una fuerza F1 sobre el émbolo de menor sección (A1), se genera una presión (P), que inmediatamente se transmite a todo el líquido. Esta misma presión (P) , tal y como se observa en la figura adjunta, se transmite también al émbolo de mayor tamaño. Consecuentemente, y considerando que la fuerza es el producto de la presión y la sección, resultará una fuerza mayor a la realizada para mover el émbolo pequeño.

Dado que:

Fuerza = Presión x Sección



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

La fuerza ejercida por el segundo émbolo será:

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

A este respecto, Pascal realizó un experimento en el que se demostraba este principio. Cogió un barril repleto de agua y colocó encima del mismo un tubo de gran longitud, pero de sección muy pequeña. Lo lleno con tan solo un litro de agua y el barril explotó debido a la gran presión que había transmitido a su interior.



Para los bomberos, una de las aplicaciones directas más representativas de la aplicación de este principio son las herramientas hidráulicas de rescate (en este caso, el fluido empleado para la generación y transmisión de presión es aceite) en las que se trabaja a presiones que rondan los 700 bares y se consiguen fuerzas de 100 y hasta 200 kN, pudiendo elevar cargas de hasta 200 toneladas, dependiendo del fabricante y del tipo de herramienta.



3 LA HIDRODINÁMICA

3.1 INTRODUCCIÓN

3.2 CAUDAL

3.3 VELOCIDAD

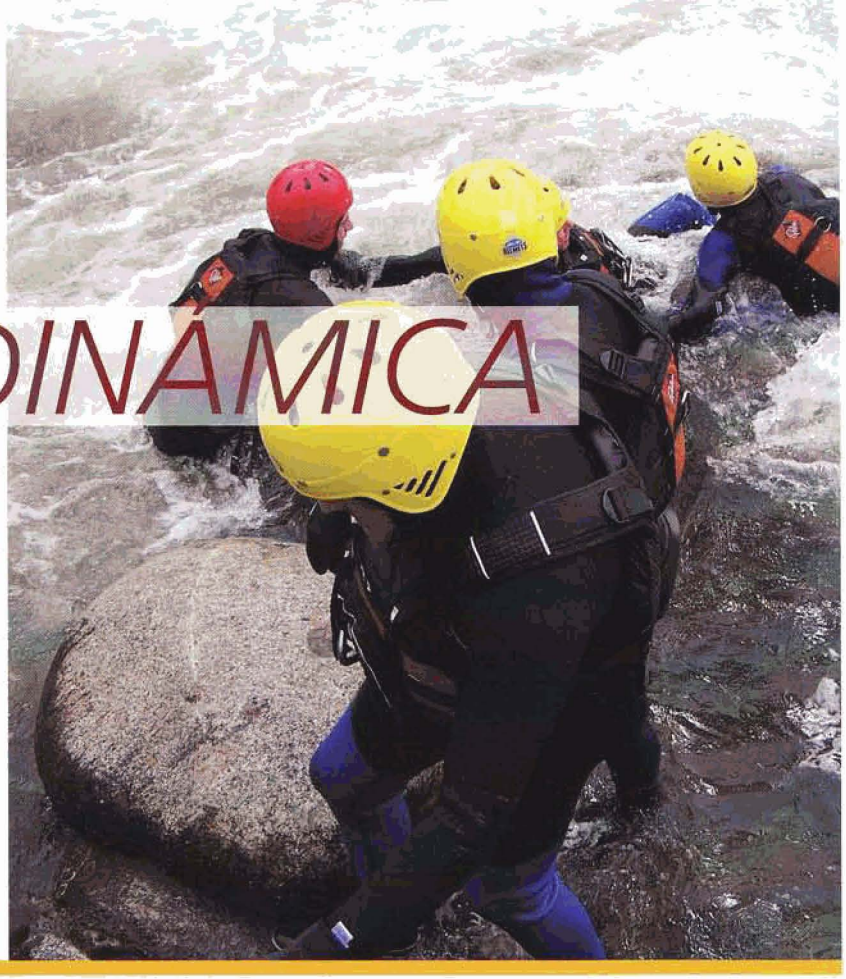
3.4 MOVIMIENTO DEL AGUA POR EL INTERIOR DE LAS INSTALACIONES

3.5 PRINCIPIO DE CONTINUIDAD

3.6 ENERGÍA DE UN FLUIDO

3.7 TEOREMA DE BERNOULLI

3. LA HIDRODINÁMICA



3.1 INTRODUCCIÓN

A diferencia de la hidrostática, ya comentada en el capítulo anterior, la ciencia que estudia los líquidos en movimiento es la hidrodinámica. Se considera que la hidrodinámica es la parte de la mecánica de fluidos que define las leyes o principios que rigen su comportamiento.

Dada la complejidad del comportamiento real de los fluidos, con el objeto de expresarlo de una manera relativamente sencilla, basándose en las leyes de la dinámica, se opta por realizar una serie de suposiciones:

1. Fluido incompresible. La consideración de fluido incompresible es aceptable para agua a las presiones en las que se trabaja en hidráulica y para aire a la velocidad por debajo de la mitad de la velocidad del sonido.
2. Fluido no viscoso. Se desprecia la fricción interna entre las distintas láminas del fluido.
3. Flujo estacionario. La velocidad del fluido en un punto es constante con el tiempo.
4. Flujo irrotacional. No presenta torbellinos, es decir, no hay momento angular del fluido respecto de cualquier punto.

Mediante estas suposiciones, se considera que se está trabajando con los denominados fluidos ideales. En caso de no poder despreciar la viscosidad se trataría de fluidos viscosos, debiendo aplicar formulas más complejas para definir su comportamiento.

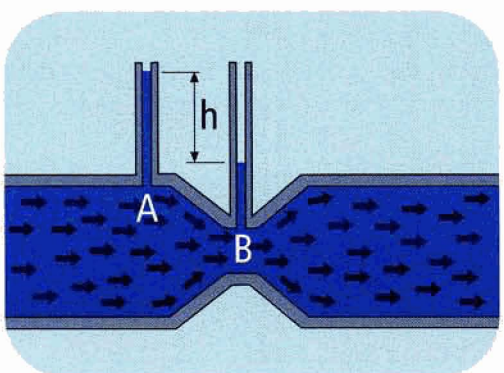


3.2 CAUDAL

Es el volumen de un fluido que pasa por una sección de un conducto por unidad de tiempo. Se expresa por la letra "Q". Dependerá de la velocidad de circulación del fluido y de la sección de la tubería. Se mide en (m^3/s) o en litros/minuto.

$$\mathbf{Q = Sección \,.\, Velocidad = \frac{Volumen}{Tiempo}}$$

Existen gran variedad de tipos de medidores de caudal o caudalímetros. Uno de ellos es el de tipo basado en el empleo de tubos piezométricos. Su principio de funcionamiento, se basa en hacer pasar el líquido por un conducto en el que se disminuye su diámetro levemente para después regresar a su diámetro original. El fluido al circular por esta reducción, disminuye su presión a la salida. La diferencia de presión de antes y después es medida de manera mecánica o electrónica. A mayor diferencia de presión mayor es el caudal.



Otro tipo, también empleado sobre todo en los sistemas de dosificación de espuma, son los denominados caudalímetros de molino, que basan su funcionamiento en un molino con movimiento de giro de unas aspas en cuyos extremos dispone de imanes. Estos imanes generan un campo magnético que es convertido a una señal eléctrica que identificará el caudal existente.

El concepto de caudal resulta un concepto habitualmente empleado en los servicios de bomberos. Por ejemplo, el cálculo del tiempo durante el cual se podrá disponer de agua de una cisterna trabajando durante una extinción, dependerá del caudal de agua empleado durante la misma.

3.3 VELOCIDAD

Al igual que los sólidos, los fluidos adquieren velocidad cuando se encuentran en movimiento dentro de una conducción. Esta velocidad se medirá en m/s.

La velocidad media adquirida por el agua en un punto concreto dentro de una instalación de mangueras, sería el cociente entre el caudal de la instalación y la sección del tramo concreto.

$$\mathbf{V = \frac{Caudal}{Superficie}}$$

La velocidad del fluido a través de un conducto, es un aspecto que debe tenerse en cuenta, optando siempre por el empleo de una velocidad que evite, que por exceso provoque importantes pérdidas de carga, y por defecto cause sedimentaciones en el conducto. En la práctica, en instalaciones fijas (viviendas...) se recomiendan velocidades que ronden los 2,5 m/s.

En instalaciones de manguera habitualmente empleadas en los servicios de bomberos, los caudales para los diferentes diámetros, a la velocidad de 2,5 m/s son:

DIÁMETRO (mm)	SUPERFICIE (mm^2)	Q (l.p.m)
25	490	73
45	1.590	238
70	3.848	570

En las instalaciones de bomberos se pueden asumir mayores velocidades y por lo tanto mayores pérdidas de carga debido a las posibilidades de las bombas empleadas. En la tabla adjunta, se calculan las velocidades para los diferentes diámetros de manguera empleados con los caudales típicos.

DIÁMETRO (mm)	Q (l.p.m)	V (m/s)
25	200	6,8
45	500	5,2
70	1.000	4,3

3.4 MOVIMIENTO DEL AGUA POR EL INTERIOR DE LAS INSTALACIONES

Una vez entendido el concepto de velocidad de un fluido, es lógico pensar que el comportamiento del agua circulando por el interior de las mangueras no será igual cuando circula a alta velocidad que cuando lo hace a baja velocidad. Existe un punto denominado velocidad crítica a partir de la cual, el fluido pasa de comportarse de una manera laminar, a una manera más desordenada, considerándose un flujo turbulento.

Fue concretamente el físico Osborne Reynolds, quien descubrió y demostró este fenómeno. Reynolds observó que el tipo de flujo adquirido por un líquido dentro de un conducto, dependía de la velocidad del líquido, del diámetro del conducto y de ciertas propiedades físicas del líquido. A consecuencia de este descubrimiento, definió un número (número de Reynolds), que relacionaba estos tres condicionantes.

$$Re = \frac{\rho.D.v}{\eta}$$

Re: número de Reynolds

ρ: densidad del líquido

D: diámetro del conducto

v: velocidad promedio del líquido

η: viscosidad del líquido

Por regla general, cuando el número de Reynolds se encuentra por debajo de 2.100, el líquido en movimiento se considera que tiene un comportamiento laminar. Para valores superiores, existe un intervalo impreciso que puede considerarse varía entre 2.100 y 4.000, mientras que a partir de valores de Re de 4.000, actúa en régimen turbulento.

3.4.1 MOVIMIENTO LAMINAR

El agua circula a velocidades bajas, sus partículas se mueven en trayectorias uniformes, desplazándose unas sobre otras actuando como láminas superpuestas.



3.4.2 MOVIMIENTO TURBULENTO

Las líneas de corriente se cortan entre sí formando un movimiento caótico. Se produce al aumentar la velocidad del fluido por cambios bruscos de dirección, codos o estrechamientos y formación de vórtices.



A las instalaciones de agua empleadas por los bomberos para la extinción de incendios les correspondería aplicar el régimen de movimiento turbulento. Esta afirmación queda demostrada una vez se realiza el cálculo del número de Reynolds para los diferentes diámetros de manguera empleados. Una manguera de 25 mm con agua fluyendo a una velocidad de 2,5 m/s tendrá un número Re aproximado de 56.818 resultando claramente turbulento. Para un diámetro de 45 mm el cálculo ascendería a 102.272.

No obstante, y con el objeto de simplificar los cálculos en las aplicaciones de bomberos, se considerará que el agua se comporta siempre en régimen laminar.

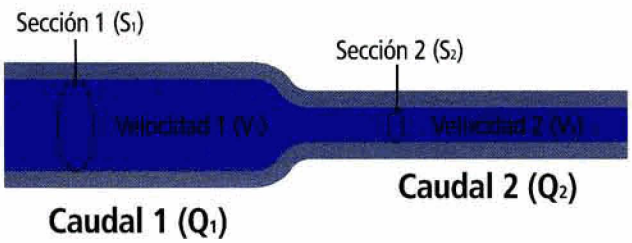
3.5 PRINCIPIO DE CONTINUIDAD

Es uno de los principales fundamentos de la hidrodinámica. Si consideramos una instalación de manguera de varios tramos, una vez el flujo de agua se estabiliza, la bomba impulsará agua a un determinado caudal, es decir, impulsará una cierta cantidad de agua en un intervalo de tiempo determinado. En ausencia de fugas o derivaciones, la misma cantidad de agua que entra por el primer tramo en ese intervalo tiempo, será la que salga por el último tramo. De una manera muy simplificada, el hecho de que en ese tiempo todo el agua

que entre, salga se considera el principio o ecuación de continuidad y es la adaptación del principio de conservación de la materia en las aplicaciones de los fluidos.

Si se considera un conducto en el que se produce un estrechamiento de la sección como el de la figura, considerando un caudal Q_1 como el caudal del fluido al pasar por la sección S_1 y Q_2 como el caudal que pasa por S_2, del párrafo anterior se deduce que los caudales permanecerán constantes:

$$Q_1 = Q_2$$



Recordando la expresión de definición del caudal:

$$Q = S.V$$

$$Q_1 = S_1.V_1 = S_2.V_2 = Q_2$$

Q: caudal (m^3/seg)

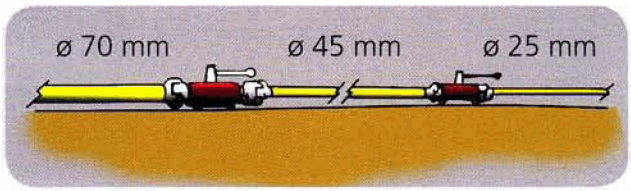
V: velocidad del líquido (m/s)

S: sección del conducto (m^2)

Se puede concluir por lo tanto, que una disminución en la sección del conducto, provocará un aumento de la velocidad del fluido, mientras que un aumento de la sección supondrá la disminución de la velocidad.

Para realizar este tipo de afirmaciones, se considera previamente que se trabaja con fluidos incompresibles y de densidad constante.

Las velocidades logradas en tramos de 25 mm siempre serán mayores que en los de 45 mm o 70 mm para los mismos caudales.



3.6 ENERGÍA DE UN FLUIDO

Un fluido ideal en movimiento, considerando como tal, un fluido sin viscosidad ni rozamiento, en régimen de circulación por un conducto cerrado, posee una energía constante a lo largo de todo el recorrido. Esta energía, se puede desglosar considerando los siguientes componentes:

Energía Cinética

Es la componente de la energía que corresponde a la velocidad del fluido. Viene definida por la masa del fluido y su velocidad, tal y como se observa en la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{1}{2}.m.v^2$$

m: masa del fluido (Kg)

v: velocidad (m/s)

Un error habitual es la consideración de la presión dinámica como la obtenida mediante la lectura del manómetro en una instalación con agua en movimiento en su interior. Este concepto no es correcto puesto que la presión dinámica es la energía cinética del fluido debida a su velocidad .

Los manómetros empleados habitualmente en realidad miden la presión estática, no la dinámica. A pesar de que, como ya se ha comentado, se trate de un fluido en movimiento. Esta presión disminuirá progresivamente debido al consumo energético derivado de ese movimiento (por rozamiento por ejemplo) y se debe a la fuerza que ejerce el propio fluido en una dirección perpendicular a la superficie y por lo tanto a la dirección en la que se mueve el fluido.

Energía Potencial (gravitacional)

La energía potencial es la energía necesaria para vencer un cambio de altura de un líquido durante su movimiento. La expresión general es:

$$E_P = m.g.\Delta h$$

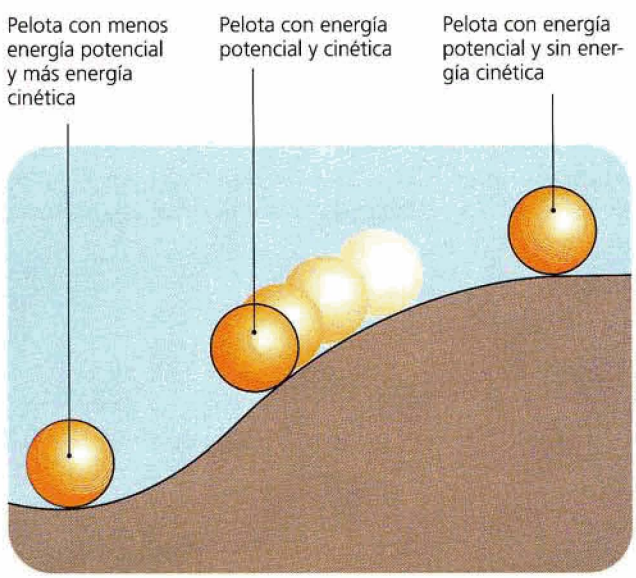
m= masa del fluido (Kg)

g= valor de la gravedad (9,8 m²/seg)

Δh: diferencia de altura desde una referencia tomada como valor cero.

Si se considera un punto situado aguas arriba, por ejemplo en lo alto de una pendiente por encima del punto de descarga, la energía potencial incrementará la presión reduciéndose la energía necesaria para el bombeo. En el caso contrario, es decir, en el supuesto en el que la bomba se encuentra en la parte baja de la pendiente y se desea impulsar pendiente arriba, la bomba deberá aportar más energía, ya que deberá vencer la energía potencial ocasionada por la altura y peso de la columna de agua.

En la figura adjunta, se puede observar una analogía de lo explicado respecto a la energía cinética y potencial para un caso sólido y concretamente para un cuerpo esférico.



Energía de Presión del fluido

Es la energía generada por la presión estática del fluido. Esta presión es debida a la fuerza que ejerce el fluido perpendicular a la superficie que lo contiene.

$$E_{PRESIÓN} = P.V$$

P: presión estática

V: volumen de líquido estudiado

Por lo tanto, sumando los tres componentes de energía obtenidos anteriormente, se obtiene la ecuación que define la Energía Total que caracteriza a la porción de fluido contenida en el intervalo concreto de estudio dentro de un conducto.

$$E_T = P.V + \frac{1}{2}.m.v^2 + m.g.\Delta h$$

En ocasiones, los valores de los componentes de energía se expresan en metros de columna de agua (m.c.a). Para pasar de unas unidades a otras, es preciso dividir el conjunto entre el producto masa x gravedad.

3.7 TEOREMA DE BERNOULLI

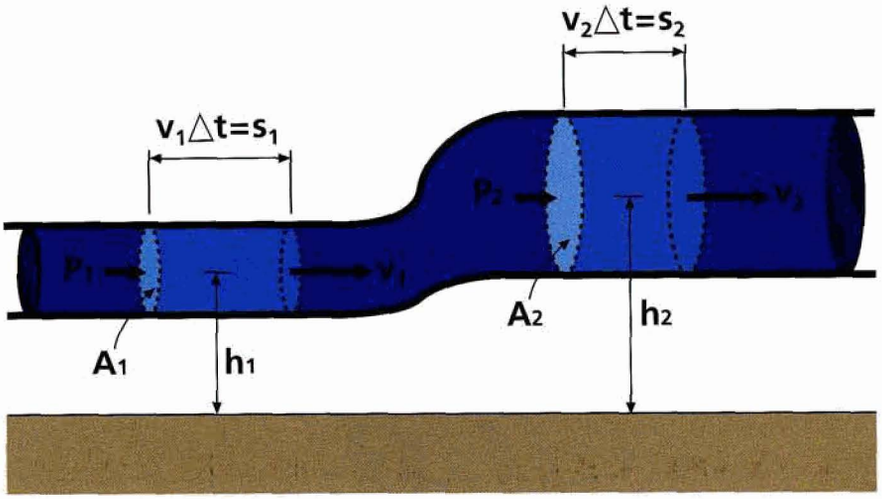
Fue en 1738 durante el estudio de los fluidos incompresibles, cuando el físico Suizo Daniel Bernoulli descubrió la ecuación fundamental que relacionaba la altura, la presión y la velocidad de un fluido ideal.

Descubrió, que estas variables no podían modificarse de manera independiente unas de otras, sino que quedaban determinadas por el valor de la energía mecánica del sistema.

Como ya se había comentado anteriormente, el teorema de Bernoulli, no es sino una aplicación de la ley de conservación de la energía a los fluidos.

Considerando un conducto como el de la figura, se estudia la circulación de una porción de fluido a través del mismo, tal y como se recoge de la ecuación de Bernoulli, la energía total del fluido en el tramo de sección 1, será la misma que en el tramo de sección 2 en los intervalos considerados. Es decir, la energía permanece constante.

$$E_1 = P_1.V_1 + \frac{1}{2}.m.v_1^2 + m.g.h_1 = P_2.V_2 + \frac{1}{2}.m.v_2^2 + m.g.h_2 = E_2$$



En resumen, es importante tener en cuenta que para la aplicación de la ecuación de Bernoulli, se considera que la instalación debe cumplir una serie de condiciones como son:

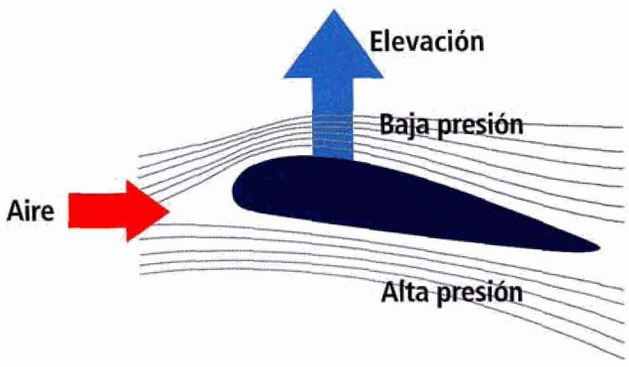
1. Se consideran fluidos incompresibles.
2. No debe haber dispositivos intermedios que resten o añadan energía (bombas...).
3. No se considera transferencia de calor en ningún sentido.
4. No existirán elementos que produzcan perdidas por fricción.

No obstante, estas afirmaciones no son reales del todo, dado que a pesar de la simplificación de ciertos aspectos con el objeto de facilitar la compresión y elaboración de las ecuaciones con las que se trabaja, existen parámetros importantes que no pueden obviarse y que suponen pérdidas de energía considerable como son las pérdidas por rozamiento o pérdidas de carga. Son las fuerzas de rozamiento que ocasiona la superficie del conducto por el que circula el líquido y que se oponen al movimiento del mismo.

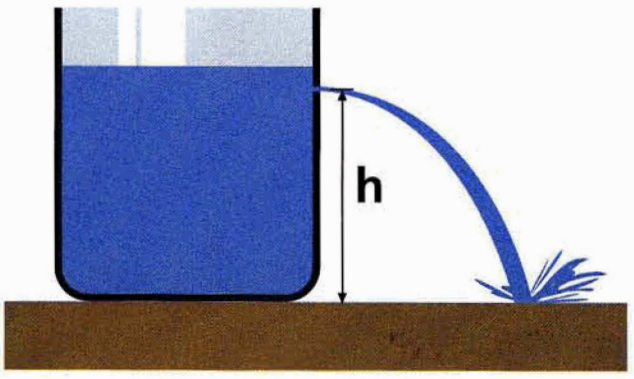
Por lo tanto, se hace necesario considerar esta eventualidad en la ecuación de Bernoulli, añadiendo en el lado derecho de la igualdad otro componente más, denominado PERDIDAS DE CARGA (PC). Este concepto se estudiará en posteriores capítulos.

Son diversas las aplicaciones que pueden extraerse de la ecuación de Bernoulli, una de ellas es el principio de funcionamiento de los proporcionadores de espuma, basado en el efecto Venturi cuyo fundamento se encuentra en el principio de Bernoulli. Se comentará más adelante en el capítulo de espumas.

Otro ejemplo, esta vez relacionado con la aeronáutica, es el principio de funcionamiento del ala de un avión. De manera muy simplificada, en el dibujo se observa la sección transversal de un ala. En la parte más curvada y por lo tanto de mayor longitud, las líneas de corriente se comprimen, por lo que las partículas de aire, se ven obligadas a aumentar su velocidad de paso respecto a las de la corriente de aire que pasa por debajo. Este aumento de la velocidad, provocará un efecto de succión hacia arriba por crearse una zona de depresión (tal y como se extrae de Bernoulli) que atraerá el ala en la dirección ascensional.



Otra de las aplicaciones de la ecuación es la obtención del valor de la velocidad de salida del agua a través de un orificio. Su valor solo variará en función de la altura en la que se encuentra la salida del líquido.



Se considera que justo antes de la salida del líquido, su velocidad es nula, su presión en cambio será la originada por la masa de fluido contenida encima de dicho punto. Una vez el agua sale del orificio, adquiere velocidad. Por el contrario, su presión se vuelve nula (la atmosférica realmente). Aplicando estas condiciones a la ecuación de Bernoulli, la expresión se simplifica, pudiendo obtener el valor de la velocidad tal y como se refleja en la siguiente ecuación.

$$V=\sqrt{2gh}$$

De igual forma, y empleando las mismas ecuaciones que hasta ahora es posible determinar la velocidad de salida del agua en una lanza. La lanza, que es el equipo hidráulico situado al final de la manguera y por la cual se impulsa el agua, dispone de un estrechamiento donde la energía de presión que posee el fluido y proporcionada por la bomba, se transforma en velocidad. Esta velocidad posibilita la impulsión del agua a una distancia del fuego suficiente como para trabajar en condiciones de seguridad.

La velocidad de salida se podrá calcular partiendo de la siguiente expresión de caudal. Se denomina ecuación de descarga.

$$Q = K.S\sqrt{P_L}$$

S: sección del orificio de salida

PL: presión en punta de lanza

K: factor de corrección propio de cada tipo de lanza

4 ESTUDIO DE PRESIONES EN LAS INSTALACIONES DE BOMBEROS

4.1 PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS INSTALACIONES

4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PÉRDIDA DE CARGA

4.3 APLICACIÓN DE BERNOULLI A LAS INSTALACIONES DE BOMBEROS

4. ESTUDIO DE PRESIONES EN LAS INSTALACIONES DE BOMBEROS



4.1 PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS INSTALACIONES

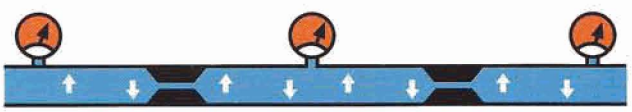
Es uno de los principales aspectos a considerar a la hora de calcular una instalación de agua. Un deficiente dimensionamiento del mismo, puede ocasionar un déficit de presión en punta de lanza debido a la acumulación de elementos que generan pérdidas de carga a lo largo de la instalación y la consiguiente situación de riesgo del personal interviniente.

Es preciso por lo tanto, conocer cuáles son los factores que ocasionan pérdidas de carga y saber cuantificarlas. Un aumento razonable de la presión desde la bomba del vehículo por ejemplo, podría compensar estas pérdidas consiguiendo una presión aceptable en punta de lanza.

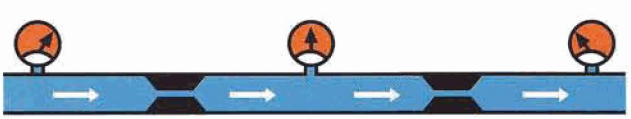
¿Pero, cuando se producen estas pérdidas? Ya se ha comentado en capítulos anteriores como el agua en movimiento genera un rozamiento entre las partículas del líquido y la pared del conducto por el que fluye. Este rozamiento se traduce en forma de pérdida de presión a lo largo de la instalación.

Es necesario recordar que este tipo de pérdidas tanto en tuberías como a lo largo de las instalaciones de mangueras, se producen una vez el fluido entra en movimiento, es decir cuando hay circulación. En el momento en el que esta circulación cesa, deja de existir rozamiento entre las partículas del fluido y las superficies que lo contienen, con lo que las pérdidas se reducen a cero.

Si se tienen tres tramos de manguera como en la figura adjunta, con un manómetro en cada una, hasta el momento en que comience la apertura de la lanza la presión manométrica será la misma en todos los tramos.



Una vez se produce la apertura y el agua comienza a fluir, empezarán a aparecer las pérdidas por rozamiento, cuanto más alejado esté el punto objeto de estudio de la bomba de impulsión, es evidente que mayores serán las pérdidas ocasionadas. Por este motivo, es necesario saber calcular la capacidad de generar presión de una bomba a la hora de realizar instalaciones de manguera muy largas, como puede ser el caso de los fuegos forestales, ya que cuanto más largas sean las instalaciones más severas serán las restricciones.



4.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PÉRDIDA DE CARGA

Los factores que ocasionan pérdidas de carga en conductos con fluido en movimiento, se pueden clasificar como:

a) Factores que ocasionan pérdidas de carga lineal. Las pérdidas se produce a lo largo de todo el conducto.

Estas pérdidas a su vez dependerán de las propiedades del fluido, de las características del conducto por el que fluye y del tipo de flujo.

Propiedades del fluido: Viscosidad

La viscosidad del fluido hará variar las pérdidas a lo largo del conducto, ya que se trata del valor que define la resistencia que opone el fluido al movimiento. A mayor viscosidad, mas pérdida de presión.

Características del conducto:

- Sección del conducto: Cuanto mayor sea la sección de la manguera, menores serán las pérdidas que se producen en ella. Por esta razón, al realizar instalaciones de manguera de cierta longitud, es preferible comenzar la instalación con tramos de mangueras de diámetros de 70 mm o 45 mm mientras sea posible.

  La relación entre el diámetro de un conducto y su pérdida de carga para una misma longitud de tramo, se expresa de la siguiente manera:

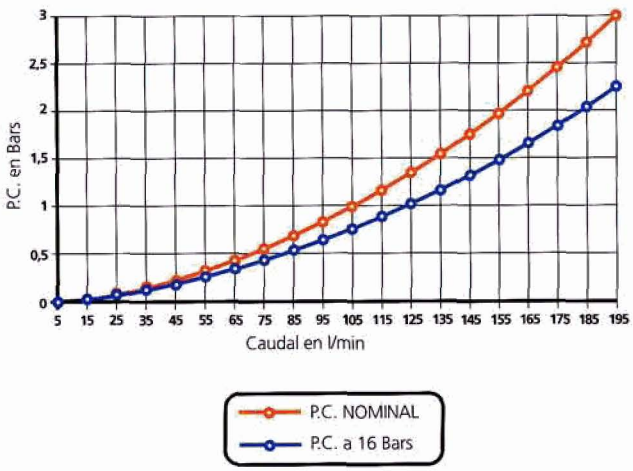
$$PC_B = PC_A \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5$$

- Longitud de la instalación: a mayor longitud, mayores pérdidas de carga acumuladas. La variación de la presión será directamente proporcional a la longitud de la instalación.

$$PC_B = PC_A \frac{L_2}{L_1}$$

- Rugosidad del conducto: resulta obvio que este factor se opone al movimiento del fluido respecto a la superficie de contacto. Por lo tanto, a mayor rugosidad mayores pérdidas de presión. Es un valor característico de cada tipo de conducto o manguera.

En el siguiente diagrama se representan las curvas de las pérdidas de carga de un tramo de 20 metros de manguera de 25mm de diámetro a diferentes caudales.



A modo orientativo se estima que sobre un solo tramo de manguera de diámetro 45 mm o de 70 mm las pérdidas de presión pueden llegar a 0,5 bar.

Tipo de flujo:

Caudal del fluido: a mayor caudal, mayor pérdida de carga. El caudal y por lo tanto la velocidad del fluido, influyen directamente en la definición del tipo de flujo que circula por la conducción. Cuando esta velocidad hace que se sobrepase el valor denominado como número de Reynolds, el fluido se comporta de manera turbulenta, ocasionando mayores pérdidas de presión que en el caso de un flujo laminar.

La relación entre el caudal y las pérdidas de carga se expresan mediante la siguiente ecuación:

$$PC_B = PC_A \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2$$

b) Factores que ocasionan pérdidas de carga puntuales: son las que producen los equipos y accesorios integrados en la instalación.

Existen multitud de elementos intermedios en las instalaciones o conducciones de agua que originan disminuciones de presión a lo largo del conducto. Si bien resulta complicado cuantificar las pérdidas exactas que ocasionan, son los propios fabricantes de estos elemen-

tos los que suelen proporcionar diagramas de carga en función de caudales y presiones empleadas.

A continuación se relacionan algunos de los elementos o circunstancias más habituales en las instalaciones de extinción de incendios y que por supuesto provocan pérdidas considerables de carga durante su empleo.

- Reducciones para conexión de mangueras de diferentes diámetros.
- Codos, bifurcaciones.
- Aplastamientos, dobleces.
- Proporcionadores de espuma, lanzas...



4.3 APLICACIÓN DE BERNOULLI A LAS INSTALACIONES DE BOMBEROS

Para la aplicación de la ecuación de Bernoulli, se van a considerar 3 escenarios diferentes. El primero de los escenarios contempla un campo de trabajo sin desniveles, el segundo se realizará en una instalación en pendiente con altura, y el tercero en una pendiente bajo rasante.

Para ello se recuerda la expresión de Bernoulli, ya contemplada en capítulos anteriores:

$$E_T = P.V + \frac{1}{2}.m.v^2 + m.g.\Delta h - PC$$

Instalación sin desniveles (horizontal)

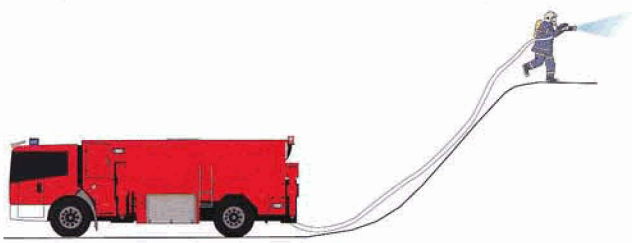
Observando los diferentes apartados de la ecuación, se puede determinar que en este caso concreto, no existe componente de altura por lo que el total de energía se caracterizará por la expresión:



$$E_T = P.V + \frac{1}{2}.m.v^2 - PC$$

Instalación con desnivel (sobre rasante)

En este caso, la bomba debe vencer el peso de la columna de agua dado que es necesario elevar el agua para la extinción a una determinada altura. La ecuación de la energía por lo tanto debe contemplar la presión ejercida por esa masa de agua, que en la ecuación se reflejará con signo negativo (su valor será aproximadamente 1 bar por cada diez metros de altura).



$$E_T = P.V + \frac{1}{2}.m.v^2 - m.g.\Delta h - PC$$

Instalación con desnivel (bajo rasante)

En este caso, el peso del agua favorece la impulsión debiendo sumar presiones con las ejercidas por la bomba.



Quedando su expresión:

$$E_T = P.V + \frac{1}{2}.m.v^2 + m.g.\Delta h - PC$$

En ocasiones, resulta necesario considerar estos conceptos a la hora de realizar ciertas instalaciones de agua. Por ejemplo, en el caso de llenado de un tanque desde un hidrante que se encuentra en la parte baja de una pendiente a gran distancia del depósito o grupo de bombeo (como puede ocurrir en el caso de un túnel en pendiente a través de su columna seca), la columna de agua ejerce una presión tal debida a la pendiente, que sumada a la generada por el grupo de bombeo, podría alcanzar valores superiores a los recomendados para los depósitos de los vehículos de extinción y definidos por los propios fabricantes. En determinados depósitos (según materiales, tipo de rebosadero...) una excesiva presión podría dañar los rompeolas interiores.

5

BOMBAS EMPLEADAS EN LOS SERVICIOS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS

5.1 INTRODUCCIÓN

5.2 CLASIFICACIÓN

5.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS

5.4 BOMBAS INTEGRADAS EN LOS VEHÍCULOS DE EXTINCIÓN

5.5 OTROS TIPOS DE BOMBA

5. BOMBAS EMPLEADAS EN LOS SERVICIOS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS



5.1 INTRODUCCIÓN

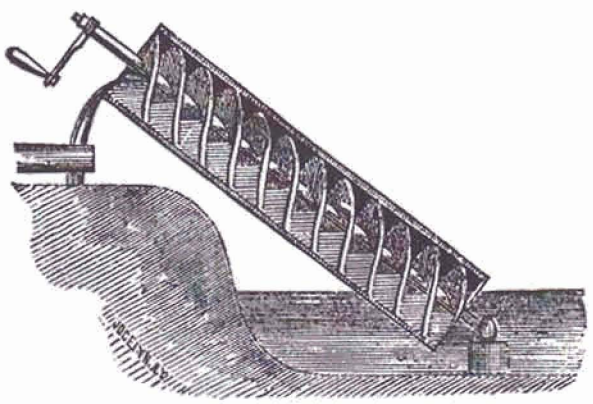
El objeto de este capítulo, es explicar los principios de funcionamiento y las diferentes partes que componen las bombas empleadas en los servicios de extinción de incendios, así como sus características más notables.

Dado que en los servicios de extinción de incendios, las bombas que más se emplean, son aquellas destinadas a mover el agua de un punto de suministro hasta el lugar donde se debe efectuar la extinción, el estudio se centrará sobre todo en las peculiaridades de las bombas hidráulicas.

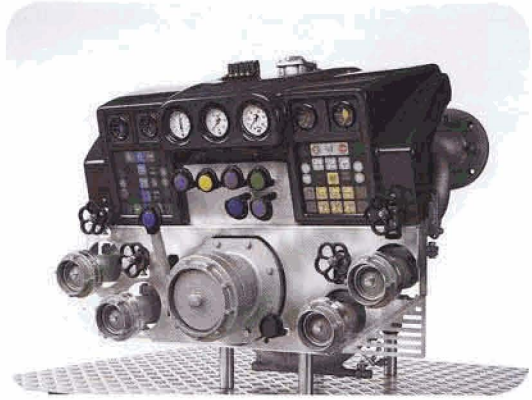
A pesar de la gran variedad de bombas existentes, es precisamente la bomba centrifuga la que con más detalle se va a explicar en los siguientes capítulos. El uso habitual en los vehículos de extinción de incendios hace que sea necesario un perfecto conocimiento de su funcionamiento.

Por definición, una bomba hidráulica es una máquina que convierte la energía mecánica que recibe de una fuente externa (el motor del vehículo por ejemplo) en hidráulica, que a su vez, se manifiesta con un incremento de velocidad y presión del fluido que circula en su interior. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según Bernoulli.

Históricamente se considera que la primera bomba reconocida fue el tornillo de Arquímedes, su cometido no era otro que el de elevar (bombear) un fluido mediante el giro de un tornillo en el interior de un cilindro hueco.



Con posterioridad, las bombas han permanecido en constante evolución. Desde las primeras bombas accionadas manualmente por el personal de extinción (por ese motivo conocidos como bomberos), a las más modernas integradas en los vehículos de los servicios de hoy en día, el desarrollo tecnológico ha permitido evolucionar hasta lograr bombas con rendimientos infinitamente superiores, de control automático y capaces de trabajar en altas presiones con una gran eficacia.





5.2 CLASIFICACIÓN

Cuando se habla de una bomba, por regla general, se está hablando de una máquina de fluidos. Como tal se entiende cualquier dispositivo que intercambie energía mecánica con un fluido que circula en su interior. Puede establecerse la siguiente clasificación:

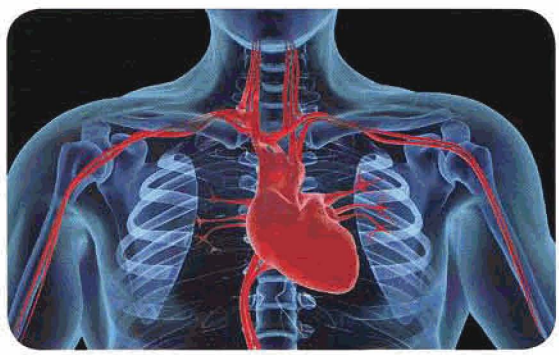
Máquinas hidráulicas: el intercambio de energía se produce con un fluido incompresible, como agua o gases a baja velocidad. Un ventilador podría cumplir con esta definición.

Máquinas térmicas: el intercambio de energía se produce con un fluido compresible (turbinas de vapor...).

Las bombas se clasifican también en función de su principio de funcionamiento, dando lugar a dos grandes grupos como son las bombas de desplazamiento positivo y las dinámicas.

5.2.1 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO O VOLUMÉTRICAS

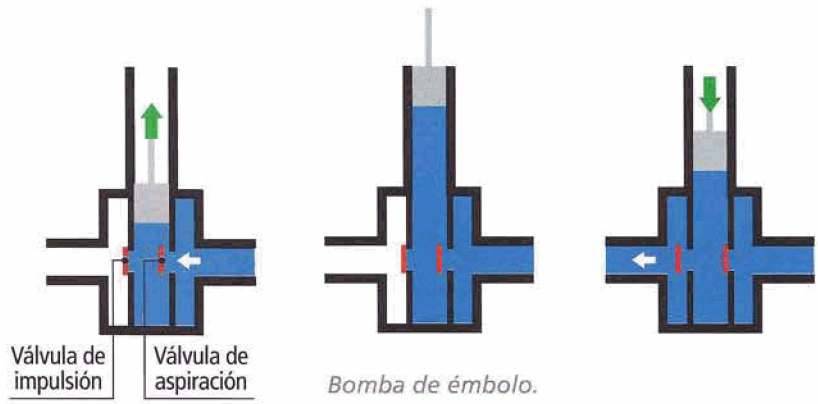
Se considera que una de las bombas de desplazamiento más característica, es el corazón humano. Su principio de funcionamiento se basa en el de la bomba de pistones. La etapa de contracción (sístole) se produce cuando el corazón lleva la sangre desde su cavidad ventricular izquierda hasta el sistema circulatorio del organismo, y la etapa de relajación (diástole) ocurre cuando el corazón se llena con sangre nueva.



El principio de funcionamiento de las bombas hidráulicas de desplazamiento es en esencia el mismo. Se basa fundamentalmente en llenado de una cámara de trabajo y su posterior vaciado de manera periódica.

Dentro de esta clasificación a su vez se agrupan varios tipos de bombas, como son las bombas de émbolo, las aspirantes o las impelentes.

En el caso de las bombas de émbolo, en ellas, se realiza un movimiento ascendente o descendente de un émbolo dentro de un cilindro hueco que aspiran e impulsa el fluido a través de un sistema de válvulas o compuer-



Bomba de émbolo.

tas que a su vez, en función de la dirección que adquiere el fluido, permiten o bloquean el paso del mismo.

5.2.2 BOMBAS DINÁMICAS O DE ENERGÍA CINÉTICA

Basan su funcionamiento en el aumento del momento cinético del fluido que se transforma en energía de presión. Este momento cinético, propio de la masa de fluido al tender a conservar su velocidad de giro, es debido a la energía mecánica que se intercambia con el rodete.

Según la dirección del flujo a la salida del rodete, pueden subdividirse en los siguientes grupos:

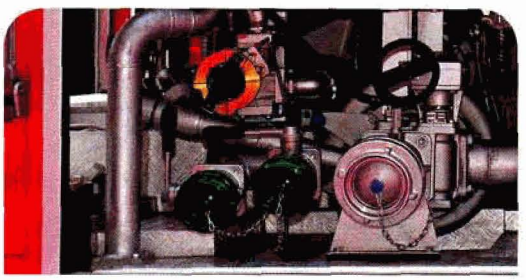
- Bombas centrífugas (salida perpendicular al eje)
- Bombas axiales (flujo paralelo al eje)
- Bombas helicocentrífugas (flujo mixto)

Las bombas hélice (axiales) elevan mucho caudal a poca altura, son utilizadas en saneamiento, elevación de grandes trasvases y procesos industriales.

Las bombas helicocentrífugas trabajan entre ambos campos de aplicación, por lo que pueden utilizarse en cualquiera de estos campos con sus limitaciones.

5.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Son las bombas empleadas mayoritariamente en los vehículos de los servicios de bomberos. Considerando que la presión o altura que transmite la bomba es inversa al caudal que circula por ella, este tipo de bomba resulta muy apta para los trabajos de extinción ya que permiten unos caudales aceptables para unas presiones relativamente elevadas. Es lo que se denomina relación H/Q.



Por el contrario, en casos de intervención en inundaciones, durante los trabajos de achique, suele ser preferible lograr grandes caudales de trabajo en perjuicio de la presión cuyos valores, suelen ser menores.

Básicamente, una bomba centrifuga transforma la energía mecánica que transmite el motor del vehículo en energía hidráulica, es decir, en la energía potencial y cinética requerida.

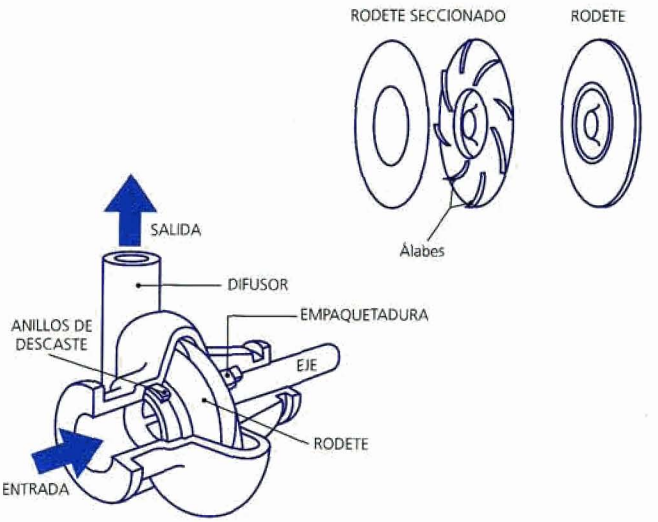
En algunos casos, como es el de las motobombas portátiles que también son bombas centrífugas, la energía mecánica que hace girar el rodete de la bomba procede de un pequeño motor de combustión incorporado a la misma.

Se trata como es lógico, de lograr mediante la aceleración del motor del vehículo, la suficiente presión para elevar el agua del depósito del vehículo o de la fuente empleada allí donde es necesaria para la extinción y en unas condiciones de caudal apropiadas.

A continuación, se describe el funcionamiento básico de este tipo de bombas.

5.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

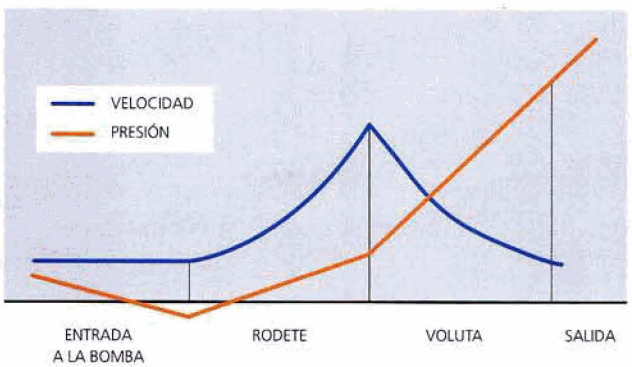
Una bomba centrífuga, convierte la energía mecánica que genera el motor del vehículo, primero en energía cinética y posteriormente en energía potencial. Para ello, el motor transmite un movimiento giratorio a través del eje de transmisión acoplado al motor. El rodete de la bomba también acoplado al eje de transmisión gira solidariamente, moviendo el agua, que es impulsada al exterior del cuerpo de bomba debido a la fuerza centrífuga que genera.



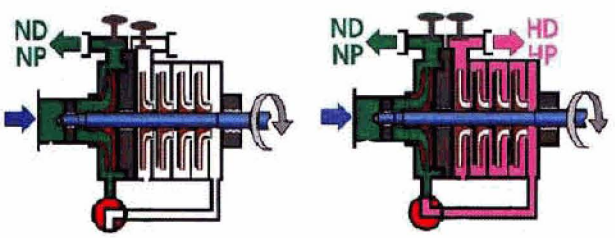
En una primera fase, tal y como se observa en la figura anterior, el eje de transmisión mueve el rodete, y este a su vez hace girar los álabes que serán los responsables de mover el agua que entra al cuerpo de bomba hacia el rodete desde la entrada. En función de la velocidad de giro, conseguirá más o menos energía cinética.

En una segunda fase, los álabes o paletas proyectarán el líquido acelerado gracias a la fuerza centrífuga producida por la velocidad del rodete, hacia el cuerpo de bomba. En este punto, el cuerpo de bomba o voluta recibe el líquido y debido a la reducción gradual de la velocidad en el interior del caracol o difusor en parte debido al aumento de sección, la energía de velocidad se convierte en energía de presión.

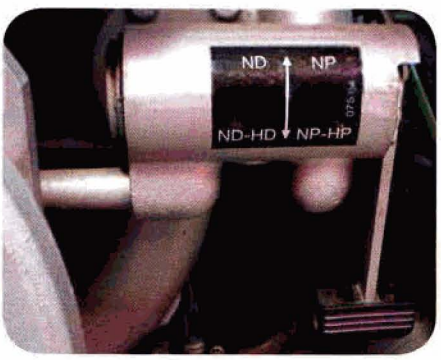
En el diagrama siguiente, se observa la variación de presión y velocidad en las diferentes etapas en el interior de la bomba.



La presión de salida dependerá de varios factores. Uno de ellos, es la geometría de la propia bomba. Parece lógico pensar que un mayor tamaño de los rodetes o mayor número de los mismos influirá directamente en el incremento de dicha presión.



En la actualidad, casi la totalidad de las bombas instaladas en los vehículos de bomberos, disponen de la posibilidad de trabajar en baja (FPN) o alta presión (FPH). Aunque lo más habitual suele ser la presión combinada, que ofrece la posibilidad de impulsar tanto en alta presión como en baja.



Accionamiento de selección de modo de trabajo. Baja presión (NP) o combinada (NP-HP).

Tal y como se observa en las anteriores figuras, la primera etapa corresponde al circuito de baja. El agua penetra por la entrada de la bomba y tras pasar por el rodete de baja, es impulsada por la salida de baja presión.

El circuito de alta presión, tal y como se ve en la figura anterior, consiste en una serie de rodetes (pueden llegar a ser hasta cinco, dependiendo del tipo de bomba) montados en serie sobre el eje de la bomba y formando un circuito independiente.

En esta fase, una vez seleccionada la posición de trabajo de alta presión o presión combinada, el agua descargada por la primera etapa, es aspirada por la segunda, y a su vez el agua descargada por la segunda, es aspirada por la tercera.... Según el agua va circulando de un rodete a otro, va adquiriendo mayor velocidad, que a su vez se transformará posteriormente en un mayor valor de la presión de salida para unos valores de caudal aceptables.

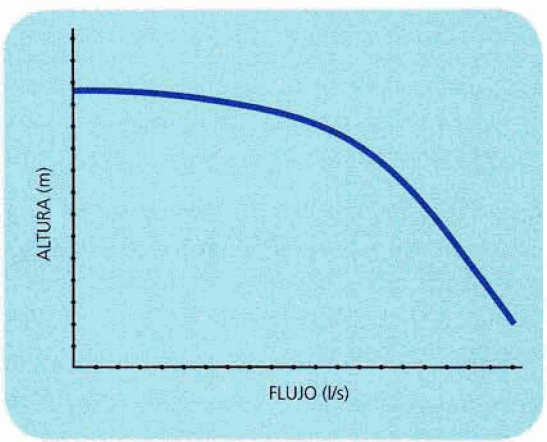
5.3.2 CURVAS DE FUNCIONAMIENTO

Son las curvas que definen el funcionamiento de las bombas hidráulicas. Estas curvas las componen los puntos de funcionamiento garantizado para los cuales la bomba trabaja ofreciendo rendimiento óptimo. Evidentemente, se trata de valores que aporta el propio fabricante como resultado de ensayos de estrangulamiento de la bomba.

Dichos ensayos, se realizan a diferentes velocidades de giro (r.p.m) estrangulando la bomba progresivamente es decir, abriendo el paso del agua progresivamente y tomando lecturas de caudal y presión.

Conociendo las necesidades de presión, a una velocidad de giro fija, se puede obtener los valores del caudal que nos proporcionará la bomba atendiendo a lo reflejado en las curvas de funcionamiento. Se observa por lo tanto, que no existe un solo punto de funcionamiento óptimo. Existen multitud de ellos.

Básicamente hay que considerar, que para bajas revoluciones se obtienen valores bajos de presión y en cambio, valores elevados de caudal. A medida que se aumenta la velocidad de giro en el motor, se pasará a una curva de mayor presión y caudal. No obstante, dentro de la misma curva al aumentar el valor de presión, disminuye el de caudal tal y como se observa en el diagrama adjunto.

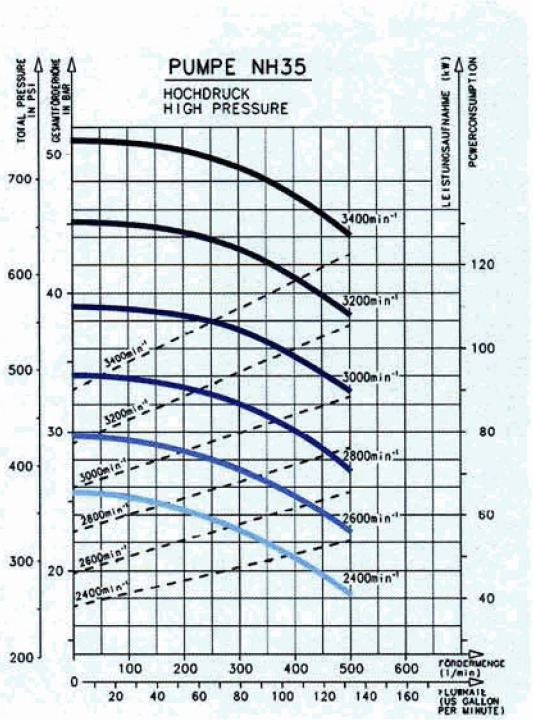


Es decir, cuando el paso del agua se encuentra cerrado, el caudal (a la velocidad de giro que le corresponda) será nulo, y la presión obtenida alcanzará su valor máximo.

A continuación, a modo de ejemplo gráfico se reflejan las curvas de funcionamiento para diferentes velocidades de giro, de una bomba NH35 de la marca Rosenbauer. El diagrama hace referencia a los puntos de funcionamiento de la etapa de alta presión.

En condiciones normales, la bomba garantizará los puntos de funcionamiento reflejados en las diferentes curvas correspondientes a cada velocidad de giro.

Para alcanzar valores diferentes, superiores a los indicados, será preciso pasar a una velocidad de giro mayor. En caso de ser insuficiente, se debería optar por otro tipo de bomba en el que se asegure el cumplimiento



de los puntos concretos de trabajo deseados, reflejados convenientemente por el fabricante en las especificaciones de cada modelo.

Para el cumplimiento óptimo de estas características, todas las bombas deben fabricarse en cumplimiento de la norma UNE-EN 1028 que establece los requisitos en cuanto a puntos de funcionamiento garantizados.

El fabricante de bombas, además de las curvas de funcionamiento, debe reflejar los puntos óptimos de funcionamiento, tal y como se concreta en la Norma UNE 23 900-83 , el cumplimiento de estos puntos, aseguran al usuario el mejor rendimiento de la bomba durante su utilización.

Dicha norma establece el tipo de identificativo que le debería corresponder a cada bomba según sus puntos nominales de funcionamiento. No obstante, a la hora de la verdad, cada fabricante emplea un sistema de identificación diferente para sus modelos.

Veamos por ejemplo cual sería el identificativo correcto de la bomba NH-35 antes mencionada. El fabricante nos garantiza los siguientes puntos.

	Altura de aspiración: 1.5 m
Baja presión	4.000 l/min a 10 bar
Alta presión	500 l/min a 40 bar

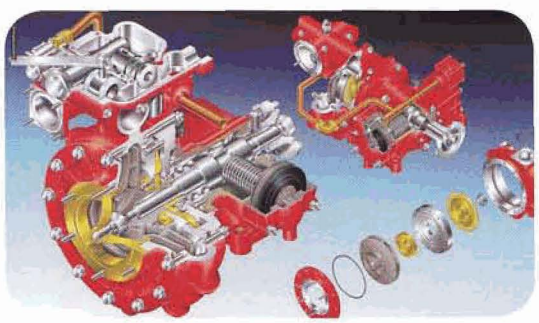
Según la Norma UNE 23 900-83, la denominación para la bomba centrífuga referida debería ser:

BC 40/10 – 5/40

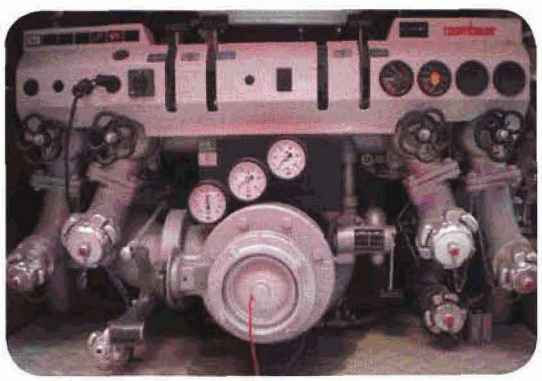
Lo más habitual suele ser el empleo de las curvas caudal/altura (presión), aunque en ocasiones también se suele proporcionar la curva caudal/potencia. Esta curva, representa la potencia que consume la bomba para impulsar el agua a unos caudales determinados para diferentes valores de la velocidad de giro.

5.4 BOMBAS INTEGRADAS EN LOS VEHÍCULOS DE EXTINCIÓN

Tal y como se ha comentado en anteriores capítulos, prácticamente la totalidad de los vehículos de extinción de incendios llevan adosadas bombas centrífugas de diferentes modelos y capacidades. Estas bombas, pueden impulsar el agua que aspiran del depósito que lleva el vehículo o de una fuente externa como ríos, pozas, pantanos.... , incluso de fuentes de abastecimiento preparadas a tal fin como lo son los hidrantes o las bocas de riego.



Despiece de una bomba Godiva.



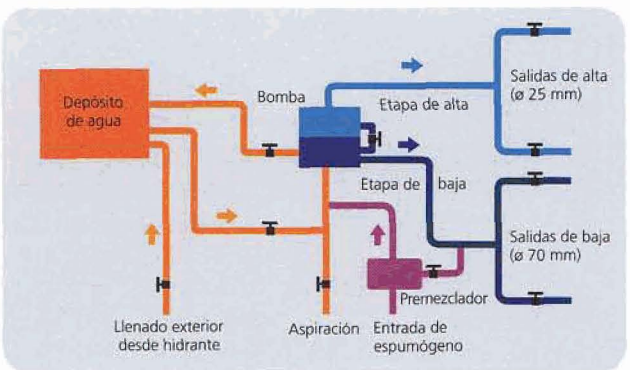
Frente de una bomba centrifuga integrada en vehículo de extinción de Incendios

Para conocer el funcionamiento de la bomba, es importante conocer previamente como se integra en el vehículo y que forma de interactuar tiene con otros elementos del mismo, ya sea el depósito integrado en el vehículo, las conducciones de aspiración e impulsión, los circuitos de generación de espuma o el cuerpo de la propia bomba. Todos ellos, se describen a continuación.

5.4.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS DEL CONJUNTO BOMBA-VEHÍCULO

Para entender de manera rápida e intuitiva la distribución de los diferentes elementos hidráulicos que componen un vehículo autobomba cualquiera, se adjunta un esquema de principio de una bomba de un vehículo de extinción de incendios concreto, cuyo funcionamiento hidráulico se puede extrapolar al de cualquier otro modelo diferente.

Obsérvese la figura adjunta:



Con el fin de facilitar la comprensión del esquema, se divide el circuito hidráulico en cuatro etapas. Estas etapas son:

Abastecimiento de agua, ya sea interno o externo, bomba, circuitos de impulsión y espuma.

La bomba para trabajar, necesita un aporte constante de agua que puede obtener de la primera etapa (no confundir las etapas aquí definidas con las de la propia bomba, es decir la de alta y la de baja presión), mediante la aspiración del contenido del depósito de agua. Este depósito a su vez se llena de varias maneras, aunque lo más habitual será el llenado a través de la entrada directa desde un hidrante o bien a través de la bomba mediante la aspiración de una fuente externa como pueda ser un río, pozo, pantano... Otra posible forma sería el llenado a través de la boca de hombre

desde un depósito externo en altura por gravedad.

La segunda etapa, es decir la bomba, recibe el agua a través del conducto que la conecta con el depósito o bien a través de la entrada de aspiración. Para ello habrá que observar con cuidado que se abren y cierran las válvulas precisas. La bomba a su vez impulsa el agua a través de sus salidas tanto del circuito de baja como de alta, hacia los colectores que darían salida hacia la etapa tercera. Por otro lado, el agua que entra a la bomba y no se impulsa, se hace retornar al depósito a través del conducto de retorno.

La tercera etapa son las diferentes salidas habilitadas para conectar las mangueras, disponiendo generalmente salidas de 70 mm o 45 mm en el circuito de baja presión, y 25 mm para el de alta. Los carretes de pronto socorro, suelen estar conectados a la salida de alta presión, empleando para ello mangueras rígidas de diferente diámetro (generalmente 25 mm o menor).

La cuarta etapa o generación de espuma (no todos los vehículos disponen de ella), inyecta el espumógeno procedente de un pequeño depósito (generalmente entre 150-400 litros) en el circuito de salida de agua de baja presión en función de la dosificación elegida y del caudal de agua que circula a la salida de la bomba.

Consideraciones importantes:

- Cuando la bomba se encuentra en funcionamiento y no se está impulsando agua, es decir, no está circulando agua a través de la misma, si la bomba no tiene un mecanismo de autoprotección, puede ser conveniente abrir ligeramente el paso del retorno para que el agua recircule y no se caliente en exceso, ya que a temperaturas elevadas podría llegar incluso a hervir y a dañar la bomba.
- Durante los trabajos con espuma, es conveniente limpiar convenientemente con agua los circuitos que se hayan visto afectados por la misma ya que ésta al secarse puede formar una costra que se adhiere en conductos y válvulas impidiendo su correcto funcionamiento. En este caso, no es recomendable abrir la llave de paso del retorno ya que se podría contaminar de espumógeno el depósito de agua del vehículo, debiendo limpiarlo mediante el vaciado y llenado consecutivo con agua en varias ocasiones.
- La apertura y cierre de las válvulas de paso debe realizarse de manera suave y progresiva, de forma que la acción lleve de uno a dos segundos para evitar que la bomba sufra el efecto de los cambios bruscos de presión.
- El cierre brusco de una válvula de paso en la instalación exterior aguas abajo, puede ocasionar una sobrepresión debida a la inercia (sobre todo velocidad) de la masa de fluido tal que pueda llegar a dañar severamente la bomba. Este fenómeno se denomina "golpe de ariete", y se puede atenuar cerrando las válvulas o incluso la lanza de manera suave y progresiva.
- Preferiblemente, y siempre que la tipología de la intervención lo permita, se trabajará con presiones elevadas, por el tamaño de la gota, así como por su mayor energía cinética, que resultará más eficaz durante la extinción. También posibilita un menor consumo de agua, circunstancia que hay que tener en consideración en determinadas circunstancias como son los fuegos forestales donde el abastecimiento se supone más complicado.
- En invierno si la bomba se ve sometida a temperaturas muy bajas (por debajo de cero °C), es conveniente vaciarla del agua que se estanca en el cuerpo de la bomba, ya que por efecto de la temperatura, podría congelarse y reventar las conducciones debido al aumento de volumen. En algunas bombas, se dispone de pequeñas válvulas de vaciado como la de la figura.



Válvula de vaciado de bomba ubicada bajo el cuerpo de la misma.

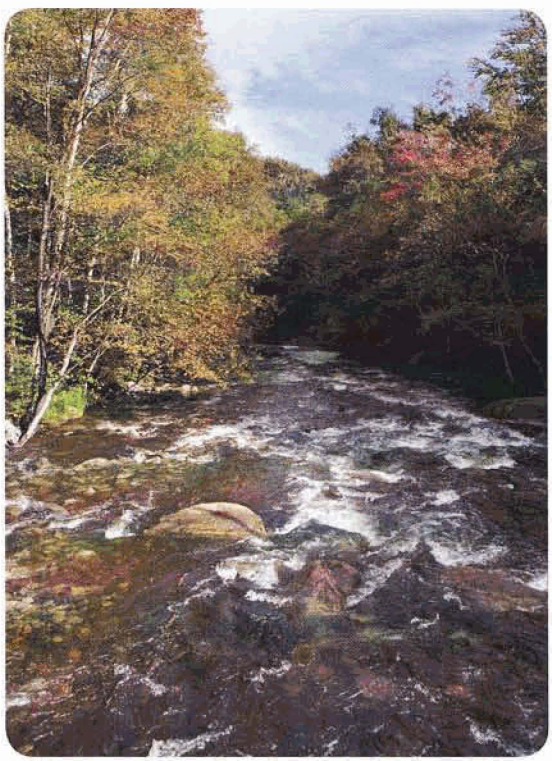
Sobra decir que para el vaciado de la bomba, es preciso cerrar previamente la llave de paso del conducto de aspiración del depósito ya que en caso contrario, podría vaciarse todo el contenido del depósito a través de la salida de vaciado del cuerpo de bomba.

5.4.2 ABASTECIMIENTO

Como ya se ha comentado anteriormente, los vehículos de extinción de incendios disponen de diferentes capacidades de transporte de agua. Dichas capacidades puede variar desde los 400 o 500 litros de un Pick-Up de montaña hasta los 8.000-12.000 litros de un autotanque o vehículo nodriza (pudiendo ser aún mucho mayores en los vehículos de los aeropuertos), pasando por un vehículo autobomba común que podrá disponer de entre 2.000 y 4.000 litros.

La experiencia dice, que estas capacidades no suelen ser suficientes para la extinción de incendios de cierta consideración, teniendo como una de las principales tareas de los responsables de la intervención, la de asegurar el abastecimiento de agua.

A la hora de abastecerse del agua necesaria para la extinción, son varias las alternativas.



5.4.2.1 Hidrantes, fuentes externas

Una de las principales fuentes de abastecimiento de agua son los hidrantes. Estos, en teoría deben proporcionar agua con caudal y presión suficiente como para llenar el depósito de un vehículo en un tiempo aceptable. Hay diversa normativa que regula el tipo y características de los hidrantes, aún así, hoy en día es prácticamente imposible garantizar la efectividad de los mismos en cuanto a los valores de presiones y caudal necesarios así como su disponibilidad fuera de entornos urbanos.

El R.D 1942/93, Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios, hace referencia a los tipos de hidrantes existentes, igual que las Normas UNE de obligado cumplimiento (UNE 23.405 y UNE 23.406 y UNE 23.407) para los hidrantes destinados a la protección contra incendios. Los racores de conexión también deberán cumplir unos estándares reflejados en la norma UNE 23.400.



Hidrante aéreo.

Por otra parte, el R.D 2267/2004, hace referencia al tipo de establecimiento industrial que deben disponer de hidrantes y las condiciones que estos deben cumplir en lo relativo al caudal que deben mantener durante un tiempo mínimo, en función del riesgo intrínseco de dicho establecimiento.

No obstante, uno de los mayores problemas surge en las zonas menos pobladas donde la presión de agua y el caudal suele ser casi siempre insuficiente.

En general, los hidrantes podrán ser de tipo arqueta (enterrados) o de columna (aéreos). Estos últimos, a pesar de resultar más cómodos y más fáciles de localizar por su mayor visibilidad, tienen el inconveniente de quedar expuestos a las inclemencias del tiempo.



Tal y como se observa en la fotografía, el hidrante se conecta directamente a la entrada del depósito que

suele ubicarse fuera del frente donde se ubica la bomba, generalmente en la parte inferior o en los costados. El paso de agua es directo al depósito siempre que se abra la llave de paso. La velocidad de llenado dependerá básicamente del caudal y presión que disponga la red local de abastecimiento.

Siempre que sea posible, la alimentación se conectará a la toma de llenado del depósito (puede proceder de un hidrante, de otra autobomba o de una motobomba) a través de una manguera de 70 mm, ya que, a mayor diámetro de manguera, mas caudal permitirá pasar y más rápido será el llenado.

Aunque no resulta muy habitual, en ciertas circunstancias puede ser conveniente utilizar la boca de hombre como segunda entrada de alimentación para aprovechar al máximo el caudal suministrado por la fuente.

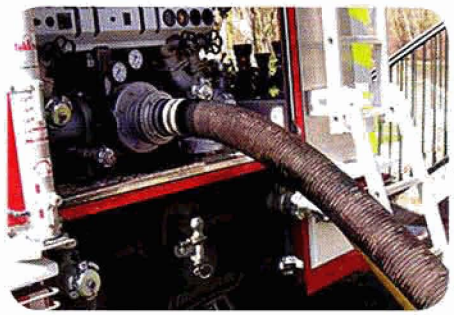
5.4.2.2 Aspiración

En ausencia de hidrantes disponibles, otra forma de abastecer el camión sería a través de la entrada de aspiración de la bomba de cualquier fuente externa (ríos, pozos...).

Desde el punto de vista de la actuación de la bomba, varios mangotes (de diámetro 100 mm o 110 mm) se conectan a la entrada de la bomba y ésta, una vez se cumplen ciertas condiciones, aspira el agua, impulsándola a través del retorno hacia el depósito. En ocasiones se suele aumentar la capacidad de entrada al depósito conectando con manguera de 70 la salida de baja con la entrada directa de alimentación del tanque.

El procedimiento general es el siguiente:

A) En primer lugar, se conectan los mangotes necesarios a la bomba según sea la distancia (cuanto menor sea esta distancia, mejor se hará la aspiración) hasta la fuente de abastecimiento. Es preciso asegurarse que los mangotes se han conectado correctamente para favorecer la estanqueidad de la conducción, para ello nos ayudaremos de la llave de medio punto. Antes de sumergir el otro extremo en el agua, es necesario conectar la "válvula de pie", también conocida como "cebolla" o "alcachofa", cuyas misiones son dos. Por un lado evitará la entrada de impurezas a la bomba (pequeñas ramas, hojas...) mediante el filtro que lleva incorporado. Y por otra parte, evita mediante la válvula que lleva dentro, la descarga del agua durante el cebado. Esta válvula suele disponer de dos argollas, una es simplemente de sujeción o elevación en su caso, y la otra se emplea para abrir la válvula una vez finalizado el trabajo para liberar los mangotes del agua que contienen, y de esa forma, hacerlos mas livianos para facilitar su recogida.





B) Se conecta la toma de fuerza de la bomba. Se trabajará en baja presión, ya que interesa sobre todo el caudal y no la presión.

C) Deberán permanecer cerradas las válvulas de paso del retorno (para posibilitar el cebado) y la de llenado desde el depósito.

D) Antes de aspirar, se debe cebar la bomba, lo que supone crear una depresión o vacio en el circuito. De esta forma, la presión atmosférica existente es suficiente para empujar el líquido y elevarlo a través de los mangotes.

E) Si bien la altura teórica de aspiración es la atmosférica, es decir 10 metros (1 atmósfera), la real siempre será menor a causa de las pérdidas por rozamiento ocasionadas, la altitud (a mayor altitud menor presión atmosférica), o la temperatura del agua (al aumentar la temperatura, disminuye la altura de aspiración debido a la presión de vapor).

Al final, y como consecuencia de estos parámetros, la altura real se reducirá a 7-8 metros (que es la altura máxima que permitirán los 4 mangotes que suelen transportar los vehículos de extinción para la aspiración).

Por ello, el manovacuómetro de la bomba no suele pasar del valor de -0,7 bar de depresión. Sobrepasar este valor podría ocasionar cavitaciones.

Existen gran variedad de cebadores para bombas, desde los cebadores de eyectores de gases basados en el teorema de Venturi (aprovecha los gases del tubo de escape para generar el vacio, hasta los autocebantes (por llenado por agua), los que emplean bombas depresoras de vacio independientes de la bomba principal, los de anillo de agua (se basa en la depresión que produce el agua al girar el rotor de paletas que proyecta agua sobre la periferia cilíndrica formando un anillo de agua) y los cebadores de membrana o de pistones. En este caso, la aspiración se realiza mediante el movimiento de uno o más pistones que se deslizan dentro de unos cilindros. Al bajar el pistón, se crea una depresión en la línea de aspiración y entra el aire, al subir el pistón se permite la salida de aire .

F) Una vez cebada la bomba, se desconecta el cebador (en algunas bombas la desconexión es automática), acto seguido se abre el retorno y se acelera la bomba para comenzar con el llenado del depósito.

Uno de los problemas principales de la aspiración es la **cavitación**. La cavitación del latín "cavus" (cavidad), básicamente se produce cuando el líquido viaja a través de una región donde la presión es menor que su presión de vapor. Esto hace que el líquido vaporice y se formen burbujas. Estas burbujas son arrastradas junto al líquido hacia regiones de mayor presión, implosionando y volviendo a su estado líquido. La fuerza de este efecto al aplastarse las burbujas contra una pared contra la que golpea, genera presiones elevadas de hasta cientos de atmósferas ocasionando efectos devastadores sobre las paredes de la bomba similares al de la corrosión.

Dos ejemplos del efecto de la cavitación en el rodete de una bomba.





Dado que la aparición de cavitaciones en la bomba es un fenómeno no deseado, es conveniente prestar atención a las señales que produce. Estas señales, son fácilmente detectables en forma de ruidos, vibraciones y golpes. Otra señal puede ser la incapacidad de la bomba de aumentar la presión a pesar de acelerarla o incluso un comportamiento errático de la aguja del manómetro.

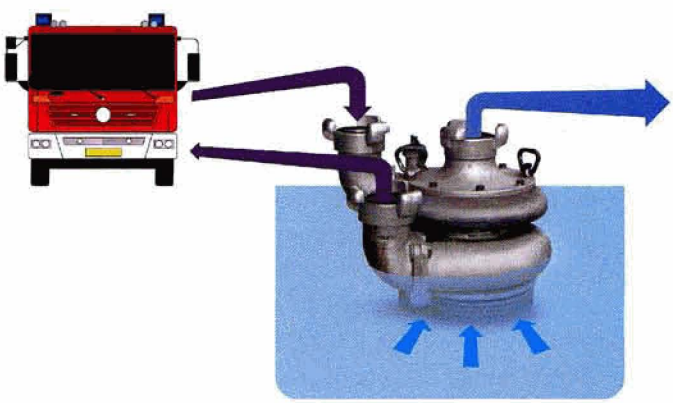
5.5 OTROS TIPOS DE BOMBA

Además de las propias bombas integradas en los vehículos de extinción, existen otra gran variedad de equipos empleados por los servicios de bomberos que a continuación se pasan a describir.

Dado que no se puede hacer referencia de todos los tipos de bombas existentes en los diferentes servicios, se mencionarán tan solo las más habituales

5.5.1 TURBOBOMBAS

Las turbobombas o hidrobombas, son equipos hidráulicos empleados generalmente para la evacuación de líquidos en inundaciones o embalsamientos.



La bomba del vehículo de extinción impulsa el agua a presión, lo cual hace rotar el rodete de la turbobomba, haciendo retornar el agua de nuevo al depósito del vehículo, actuando de esta forma como una correa de transmisión. El movimiento giratorio del rodete hace que el agua del embalsamiento sea aspirada por la turbobomba a través de las rejillas e impulsadas mediante mangueras conectadas a la salida de la turbobomba.

Puede emplearse con aguas sucias dado que el líquido que mueve el rodete y que recircula a la bomba del vehículo, no se mezcla en ningún momento con el líquido que se aspira para ser impulsado al exterior.

Son equipos relativamente ligeros y manejables debido a su peso reducido. Apenas requieren mantenimiento.

Su curva de funcionamiento, dependerá de la energía cinética que le transmita el vehículo mediante el agua impulsada.

A pesar de no ser un tipo de bombas muy empleado, su uso está recomendado en aquellas circunstancias en las que no se dispone de suministro eléctrico o en atmósferas explosivas. Además, pueden instalarse varias turbobombas en serie, mejorando los caudales de impulsión de agua hacia el exterior.

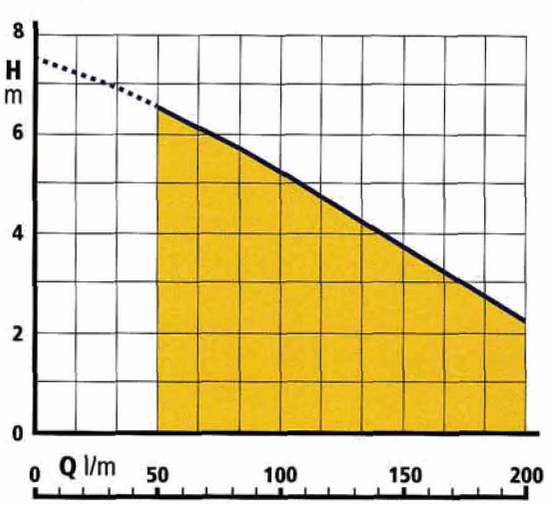
Las curvas de funcionamiento al igual que ocurría con las bombas centrífugas comunes, variarán de un fabricante a otro. No obstante, estos valores también dependerán del caudal y presión que consiga impulsar la autobomba. Por ejemplo, una turbobomba estandar, puede lograr caudales de salida al exterior de entre 1.000 y 2.000 l/min con el vehículo impulsando en baja presión (5-10) bar y recirculando caudales de entre 800 litros /min y 1.200 litros /min.

5.5.2 ELECTROBOMBAS

Son bombas sumergibles, empleadas generalmente en inundaciones en pozos, garajes...

Aspiran el agua embalsada y la impulsan a través de una instalación de manguera hacia una zona donde no cause perjuicio (arquetas en vía pública, ríos u otras...)

Dependiendo del fabricante y del modelo, tendrá diferentes curvas caudal-presión. Se adjunta la curva de un modelo de bomba de bajo caudal.



Tal y como se puede deducir por su nombre, las electrobombas requieren de alimentación eléctrica por lo que para lograr un cierto grado de autonomía durante las intervenciones en inundaciones sobre todo, requiere de un grupo electrógeno o suministro alternativo.

Suelen disponer de un medidor de nivel de agua, generalmente en forma de boya flotante. El objeto de esta boya es el de desconectar la electrobomba en cuanto el nivel de agua disminuye por debajo de un valor predeterminado. Al llegar a ese nivel mínimo, la boya hará un contacto que desconectará la electrobomba, impidiendo por lo tanto que siga trabajando sin agua, lo cual ocasionaría un evidentemente riesgo de calentamiento. Esto hace que el interviniente una vez las instala, las puede dejar trabajar prácticamente sin supervisión.

En este tipo de equipos, se suele recomendar la instalación de un codo para evitar que la salida de la manguera sea en vertical hacia arriba y al conectarla y cargarla con agua, tienda a inclinarse debido a su propio peso y produzca dobleces o cocas.



Tienen la ventaja de ser muy manejables y ligeras, por lo que su transporte y colocación se hace muy sencilla, no obstante, en ocasiones, para inundaciones de cierta entidad la evacuación de agua podría llevar demasiado tiempo por las limitaciones de caudal, debiendo optar por otro tipo de sistema.

5.5.3 MOTOBOMBAS

Su identificación proviene del hecho de tener un pequeño motor de combustión adosado a la bomba. Se trata generalmente de un motor de explosión de cuatro tiempos (potencia típica 150 cc). El movimiento giratorio que genera el motor se transmitirá al rodete de la bomba, que al igual que las instaladas en los vehículos, suelen ser bombas centrífugas con un sistema de cebado que habitualmente suele ser autocebante.

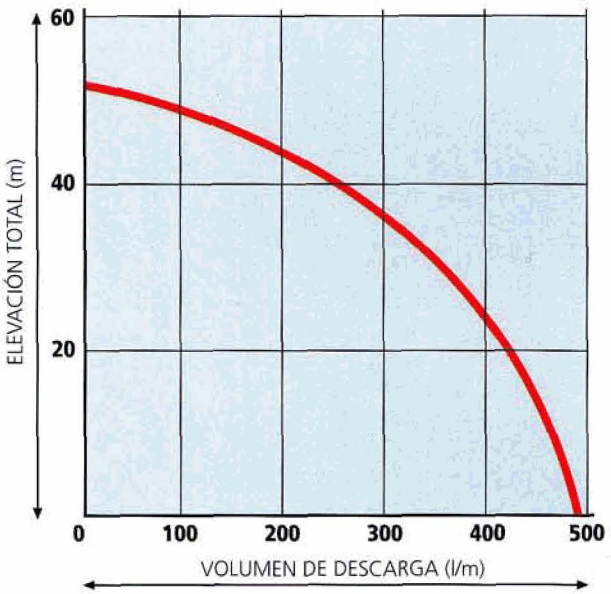


Es otro tipo de bomba transportable, en este caso y a diferencia de las anteriores, su mayor peso (entre 30 kg y 50 kg), hace que no sean tan manejables, debiendo buscar una ubicación fija de trabajo para mayor comodidad del interviniente.

Suelen disponer de un bastidor del tipo jaula que permite su transporte y sirve de protección. En ocasiones, se le suele instalar ruedas para facilitar su movilidad. Además dispone de un depósito de gasolina y otro pequeño depósito de aceite para lubricar.

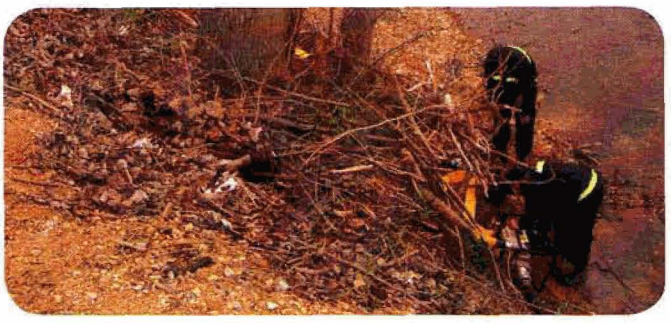
Según la curva que ofrezcan pueden ser de caudal o de presión. La primeras se utilizan para achiques y para alimentación de vehículos. Las segundas son más adecuadas para conexión de mangueras de ataque.

Existe gran variedad de modelos y según el fabricante, sus características pueden variar considerablemente. A



pesar de su tamaño menor, pueden caracterizarse por curvas de funcionamiento similares a las bombas instaladas en los vehículos de extinción, pudiendo alcanzar hasta 50 bares para caudales bajos.

La motobomba de presión, se suele emplear para cubrir la ausencia del vehículo de bomberos o para complementarlo. La motobomba de caudal generalmente se emplea, bien para evacuación de aguas tanto limpias como sucias en situaciones de embalsamiento o inundación, como para aspiración de agua y abastecimiento de vehículos de extinción. Debido a su tamaño, es posible transportarla a ríos o acuíferos para abastecerse de agua, allí donde los vehículos autobombas no pueden acceder. En el caso de incendios forestales, suele ser muy habitual ver motobombas instaladas en la orilla del río con los mangotes preparados para aspirar el agua y con una instalación de manguera hasta la carretera o zona accesible para vehículos de extinción, de forma que estos no necesiten realizar toda la instalación de aspiración, sino tan solo conectar la manguera que viene de la motobomba a la entrada de llenado del depósito.



6 EMPLEO DE ADITIVOS

6.1 INTRODUCCIÓN
6.2 HUMECTANTES
6.3 ESPESANTES
6.4 RETARDANTES
6.5 OTROS ADITIVOS
6.6 ESPUMAS

6. EMPLEO DE ADITIVOS



6.1 INTRODUCCIÓN

Tanto en la lucha contra incendios como en cualquier tipo de actividad industrial o doméstica, es habitual el uso de agentes aditivos que varían las propiedades del agua, tanto para mejorar su calidad como para modificar su comportamiento y adaptarlo a las necesidades propias. Existen gran variedad de aditivos, no obstante, solo se detallarán aquellos que de alguna forma tengan relación con el trabajo de los servicios de bomberos.

6.2 HUMECTANTES

El principal objetivo de los humectantes (o aligerantes) es el de disminuir la tensión superficial del agua. Dado que el agua tiene una tensión superficial elevada, tiene una baja capacidad de penetración en ciertos combustibles sólidos incendiados. Por ejemplo apilamientos de madera, fardos de paja...



Efecto de la tensión superficial.

Al añadir este aditivo y disminuir la tensión superficial, se mejora la penetración dentro del combustible llegando a zonas que antes resultaban inaccesibles. Al aumentar la superficie de contacto del agente extintor (agua) que absorbe el calor, se facilita la extinción rebajando la temperatura interior del sólido.

Dado que se trata de un aditivo para mejorar la penetración en los sólidos, se da por hecho que se emplea para fuegos de clase A.

Es preciso asegurarse antes de emplear cualquier tipo de aditivo ya que en ocasiones pueden resultar tóxicos o incluso corrosivos.

Uno de los principales agentes humectantes son los jabones. Los generadores de espuma o espumógenos, también disminuyen la tensión superficial del agua aunque dada su importancia por el uso habitual que se le da en los servicios de bomberos, se le dedicará un capítulo aparte.

6.3 ESPESANTES

A diferencia del caso anterior, con los agentes espesantes, se busca que el agua se adhiera más fácilmente al material combustible formando entre su capa superficial y el comburente (oxígeno) una capa de mayor espesor y resistencia. Se suelen emplear productos como la bentonita.

En el caso de la extinción de incendios, que el agua tenga una baja viscosidad puede resultar en ocasiones problemático. La baja viscosidad favorece que la capa adherida a la superficie del elemento combustible al entrar en contacto, sea de un grosor mínimo.

Para que esta capa sea más duradera y resistente, en ciertos casos conviene que su espesor sea mayor. Mediante el aumento de la viscosidad, se consigue el aumento de dicho espesor (mayor capacidad de refrigeración y tarda más en escurrirse por la superficie) y este efecto se logra con los aditivos espesantes.

En la actualidad, se viene empleando mucho en los incendios forestales, ya que al proyectarse, forma una especie de gelatina que se adhiere a las hojas y maleza y tarda tiempo en secarse. Este gel se mantiene en la vegetación hasta que el fuego entra en contacto y es entonces cuando actúa, soltando el agua contenida. A pesar de su eficacia, es preciso considerar que dado que se adhiere a la superficie y que por lo tanto no favorece la penetración, la extinción prácticamente se localiza en las capas superficiales del combustible.



6.4 RETARDANTES

Al igual que el caso anterior, los aditivos retardantes, son productos químicos muy empleados en los incendios forestales. Su uso, se basa en la utilización de un aditivo disuelto en el agua empleada en la extinción que una vez impregnada la vegetación mantiene durante horas la capacidad de inhibir la combustión, retardando por lo tanto la propagación del fuego (le hace perder intensidad e incluso en ocasiones lo extingue) y permitiendo a los intervinientes una mayor capacidad operativa.

Se clasifican en dos grupos, según el tiempo de permanencia de sus propiedades extintoras:

a) Retardantes de corta duración: Solo permanecen activos hasta que el agua por el efecto del calor, se evapora (suelen emplearse espumógenos o viscosantes).

b) Retardantes de larga duración: A pesar de la evaporación del agua el producto mantiene su efecto retardante (el agua es el medio de transporte, no se emplea como medio retardante). El producto, una vez se ve afectado por el calor del fuego forma una serie de residuos derivados del Carbono de combustión muy lenta y que por lo tanto dificultan la propagación del incendio.

El empleo de ese tipo de aditivo, debe hacerse respetando escrupulosamente las proporciones recomendadas por el fabricante al añadirse al agua (generalmente suele ser una parte de aditivo por tres de agua), para favorecer una efectividad máxima de la mezcla.

Así mismo, es preciso considerar que dicho aditivo puede ocasionar corrosión en el depósito del vehículo por lo que en ocasiones se utilizar otro depósito desde el cual se inyecta el retardante en la conducción de agua.

Como conclusión, la aplicación de aditivos retardantes dentro del estudio de los métodos de lucha contra incendios, se encuadra dentro de la clasificación de métodos de ataque indirecto. Empleándose generalmente para la realización de franjas cortafuego ya sea en los frentes o en los flancos del incendio.

6.5 OTROS ADITIVOS

A pesar de no tener una relación directa con la extinción , existen gran variedad de aditivos que modifican las propiedades físicas y químicas del agua y que ocasionalmente son empleados en los servicios de bomberos.

Este es el caso de los anticongelantes (al mezclarlo con el agua disminuye su punto de congelación), los inhibidores de corrosión (se añaden para evitar ciertas características negativas derivadas de otros tipos de aditivos, una de ellas es la corrosividad) o modificadores de flujo (disminuyen pérdidas por fricción al fluir por una canalización).

6.6 ESPUMAS

6.6.1 INTRODUCCIÓN

Basándose en la definición efectuada en la norma UNE-23.603 la espuma empleada para la extinción de incendios, es un agregado estable de pequeñas burbujas. Tras esta definición se encuadran gran variedad de tipos de espuma con diferentes propiedades extintoras y eficacias.

Estas propiedades variarán según el fabricante, los componentes, el origen, o incluso la dosificación del agente espumógeno o incluso el modo de empleo y generación de la espuma.



Se suelen clasificar en dos grandes grupos según su origen, las espumas químicas y las físicas.

Las espumas químicas, generalmente basadas en la reacción de Bicarbonato de Sodio y Sulfato de aluminio con el agua, provocan ciertos productos corrosivos por lo que en la actualidad, se encuentra en desuso.

Las mas empleadas por lo tanto suelen ser las espumas físicas, dentro de las cuales se podría establecer otra subdivisión, en las que se destacarían las espumas proteicas y las sintéticas (hoy en día las mas empleadas).

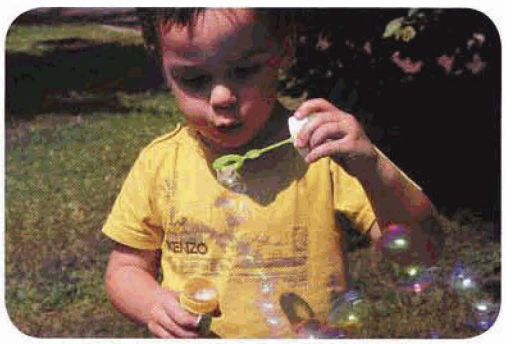
6.6.2 GENERACIÓN DE ESPUMA

El proceso por el cual se genera la espuma se basa en un principio relativamente sencillo.

Se trata de una mezcla en la proporción adecuada (según uso y recomendaciones del fabricante) de agua y espumógeno, generalmente entre el 0,25%-6% de proporción de espumógeno, para generar una solución de "espumante".

Una vez se aplica aire en la mezcla (empleando para ello los equipos correspondientes) se generan las burbujas que componen la espuma.

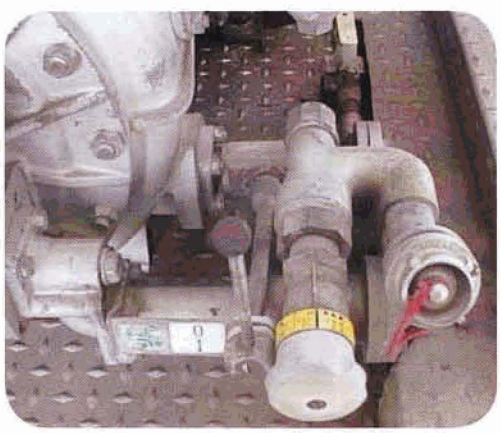
Es el mismo principio de funcionamiento que se emplea en los generadores de pompas para niños.



Como ya se ha comentado en anteriores capítulos, la espuma en los servicios de extinción de incendios se suele generar de dos maneras diferentes. Se puede hacer, bien automáticamente desde las bombas de los vehículos o bien en una instalación independiente mediante el uso del proporcionador o premezclador.

6.6.2.1 Generación de espuma desde la bomba

La mayoría de la autobombas de primera salida disponen de un dispositivo premezclador en bomba. Los más básicos incorporan un sistema de aspiración por venturi, que es sencillo pero muy poco preciso en lo que a la proporción de la mezcla se refiere.



Otros vehículos disponen de instalación de automática generación de espuma, más compleja de funcionamiento, pero más sencilla de utilización.

Estas instalaciones suelen componerse de un pequeño autómata adosado al vehículo en el que se configuran los parámetros que se desean para la espuma a generar.

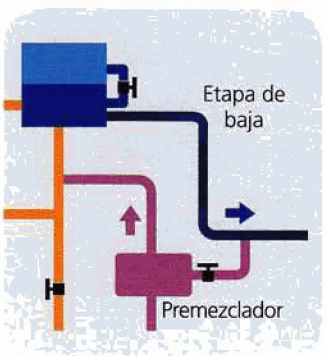
En su configuración, el usuario tiene la posibilidad entre otras cosas de seleccionar la dosificación de espumógeno, que generalmente puede oscilar entre el 0,25% y el



6% . En ocasiones se emplea al 0,1%, pero no para hacer espuma sino simplemente como agente humectante, es decir, para reducir la tensión superficial del fluido.

En función de la dosificación solicitada, el autómata (existen gran variedad en el mercado) inyectará el espumógeno procedente de un depósito adicional habilitado en el vehículo, en la línea de corriente del agua, en función de los valores de caudal que toma de un caudalímetro instalado en la tubería de salida.

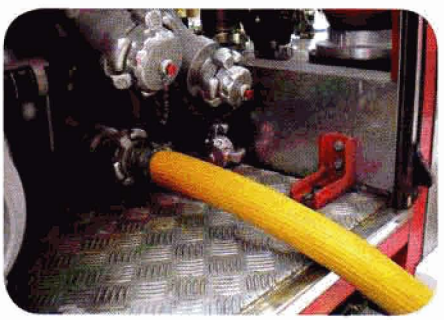
Es decir, si se le pide una dosificación del espumante del 3% y detecta a través de su caudalímetro un flujo de agua con un caudal de 400 l/min tendrá que inyectar en la línea de agua, un caudal de 12 litros/minuto de espumógeno. Para ello se deberá disponer de una pequeña bomba capaz de generar la presión suficiente para inyectar ese espumógeno en la línea de agua.



Una vez se genera la mezcla, la bomba suele disponer de una salida específica, generalmente de 45 mm a la cual conectar las mangueras.

Por último, se conectará la lanza de espuma, que es la más apropiada para una generación de burbuja más estable y homogénea. Aunque también es posible emplear las lanzas habituales utilizadas para impulsar agua ésto supondría una menor eficiencia.





Durante los trabajos con espuma y sobre todo a la hora de generarla desde el camión, hay que tener en consideración las pérdidas de carga que se ocasionan durante la circulación del espumante.

Dependiendo del tipo de espumógeno seleccionado, las pérdidas podrán ser menores o mayores que solo con agua sin ningún tipo de aditivos. Si bien generalmente se desprecia la diferencia de pérdida de carga frente a la del agua, lo cierto es que el espumógeno al reducir la tensión superficial del agua también hace que las pérdidas por fricción se reduzcan. No obstante, el empleo de espumógenos pseudoplásticos (que aumentan la viscosidad de la mezcla) puede hacer que dichas pérdidas aumenten.

A este respecto los autómatas configurables generadores de espuma, permiten la modificación de la configuración de los parámetros relativos al tipo de espumógeno, ya que su comportamiento varía en el caso de tratarse de un fluido pseudoplástico.

6.6.2.2 Generación de espuma con proporcionador o premezclador

No se pretende profundizar en exceso en esta materia, no obstante, y desde el punto de vista de la hidráulica, se comentará el principio de funcionamiento que rige este tipo de equipo hidráulico de mezcla.

La generación de espuma en este caso, se realiza mediante el uso de un proporcionador o premezclador de línea cuyo principio de funcionamiento basado en el principio de Venturi, se describe a continuación.



Los proporcionadores de espuma básicamente inyectan el agente espumógeno que aspiran de un recipiente a través de un tubo de pequeña sección debido a la depresión que produce el agua al pasar a través del premezclador en el que se produce un estrechamiento de sección.

Como ya se ha comentado anteriormente, de la ecuación de Venturi se deduce que una disminución de la sección implica un aumento de la velocidad del fluido, al igual que ocurre cuando se tapa una parte de la sección de salida de una manguera para favorecer la velocidad de salida del agua.

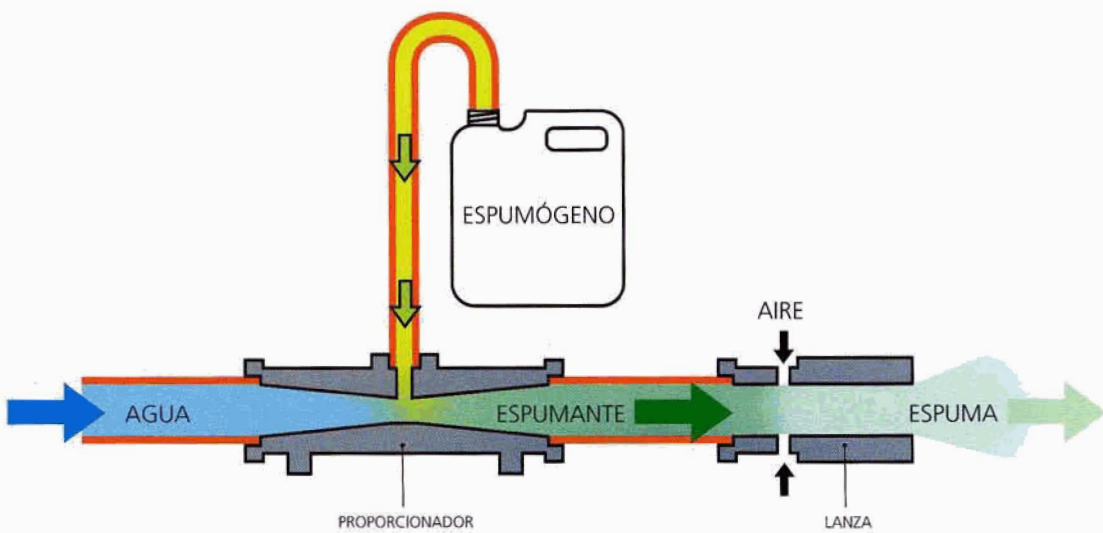
El agua pasará por el estrechamiento que se ocasiona en el proporcionador produciendo el aumento de velocidad. Por la ecuación de Bernoulli, se puede concluir que un aumento de la velocidad, ocasiona una disminución de la presión. A su vez, esta depresión (por debajo de la presión atmosférica) provoca la aspiración del líquido espumógeno con la presión suficiente como para inyectarla en la corriente de agua y favorecer su mezclado.

Consideraciones importantes:

a) Los proporcionadores solo tienen un sentido de funcionamiento, por lo que en ocasiones es conveniente señalizarlo previamente en el cuerpo del mismo para evitar incidentes en una situación real de emergencia.

b) Al igual que ocurre con las lanzas de espuma, es habitual emplear premezcladores de distintos caudales. Para un aprovechamiento máximo de la instalación, es preciso que ambos equipos (lanza y premezclador) sean del mismo caudal, generalmente suelen emplearse de 200 l/min o 400 l/min.

c) Ante la cuestión sobre donde debe colocarse el premezclador en la línea, existe un gran debate al respecto, pero hay ciertos hechos objetivos que deben tenerse en cuenta.



En primer lugar, son equipos que generan una gran pérdida de carga, entre un 20% y un 40% de la presión de entrada (según modelo, estado de conservación, tipo de espumógeno, valores de caudal y presión...). Por ese motivo, es conveniente situarlo lo más alejado posible de la bomba, ya que en caso contrario nos restaría de entrada mucha más presión que si se sitúa en los tramos últimos.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta la propia operatividad de la instalación. En caso de una intervención de larga duración, es probable que haya que sustituir los bidones de espumógeno vacíos por otros nuevos, con lo que en el caso de situarlo muy alejado, es preciso acarrear con ellos desde el vehículo hasta el premezclador. Además es posible que se tenga que emplear un bombero para su vigilancia, tanto para la sustitución periódica de bidones como para evitar el vuelco o la salida del tubo del mismo por el viento.

Por último, en caso de emplear espumógenos pseudoplásticos, la viscosidad hará que las pérdidas de carga aumenten, con lo que en este caso, una forma de disminuir las pérdidas de carga, sería situarlo lo más alejado posible.

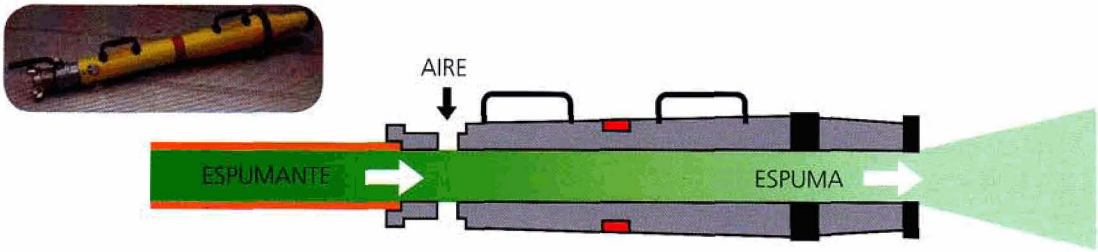
Con toda esta información, será responsabilidad del mando de la intervención, la determinación en función de las peculiaridades de la misma (longitud de la instalación, número de bomberos disponibles, tipo de espumógenos..) de la ubicación del premezclador para un eficaz desarrollo de la extinción.

6.6.2.3 Tipos de equipos generadores de espuma

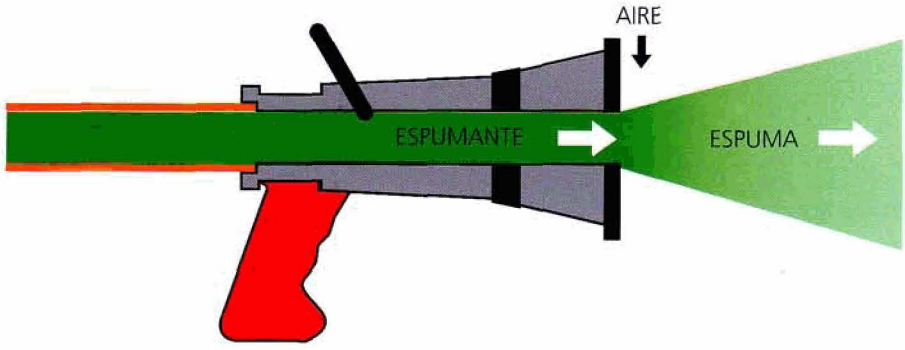
Una vez realizada la mezcla de espumante (agua más espumógeno en la proporción deseada), para generar las burbujas que conforman la espuma, es preciso un aporte de aire. Este aporte se efectúa en la lanza de salida. Se clasifican en dos tipos:

a) Aspirantes: el aire penetra por los orificios que dispone la lanza, mezclándose con el aporte de espumante prácticamente a la entrada de la misma. De esta forma la espuma se forma en el interior de la lanza.

b) No aspirante: el aire necesario entra a la salida del chorro de espumante desde lanza, de manera que se forma una aspiración de la masa de aire de las capas cercanas, produciendo la generación de la espuma en el exterior de la misma. Genera espumas de peor calidad que con las aspirantes.



Lanza aspirante (la espuma se genera en su interior).



Lanza no aspirante (la espuma se genera en el exterior).

6.6.3 CLASIFICACIÓN DE ESPUMAS

No todos los espumógenos sirven para el mismo fin. Es preciso conocer los usos especificados para cada uno, evitando así incidentes durante la extinción. Si bien la gran mayoría resultan aptos para fuegos clase A, no todos lo son para los de clase B. Existen además, algunos indicados para la extinción de fuegos de alcoholes, éteres, acetonas...El uso de espumógenos convencionales para tales usos están claramente contraindicados.

Mientras que unas espumas son adecuadas para ataque directo, otras lo son para ataque indirecto mediante generación de colchones de espuma en modo preventivo.

Para ello, y para conocerlas de mejor manera, se establecen una serie de clasificaciones que se relacionan a continuación:

6.6.3.1 Clasificación según índice de expansión

Expansión: por expansión de la espuma, se hace referencia al aumento de volumen que se producirá en la espuma con respecto al volumen que llega de mezcla espumante. Es la relación de volumen espuma-espumante.

- **Espumas de baja expansión.** Su coeficiente de expansión varía entre 1:1 y 1:20 aproximadamente. Se suelen emplear lanzas de baja expansión que trabajan con presiones de 6 o 7 bares en punta de lanza. Genera una espuma densa formando una delgada capa, útil para extinguir por enfriamiento y sofocación. En caso de ataque a líquidos inflamables, conviene impulsarla contra las paredes del recipiente que lo contiene para evitar que rompa la superficie y penetre en el mismo contaminándose. De esta forma, una vez golpea contra la pared, se distribuye por toda la superficie del líquido de manera suave.



- **Espumas de media expansión.** Su coeficiente oscila entre 1:20 y 1:200 (esto quiere decir, que por cada litro de mezcla espumante se genera un volumen de espuma de 200 litros). Las lanzas de media expansión requieren de una presión en punta de lanza de 3 o 4 bar. Se obtiene gran volumen de espuma con poco líquido espumante y permite cubrir grandes superficies. Se emplea también para la supresión de vapores o gases.



- **Espuma de alta expansión.** Tienen coeficientes superiores a 1:200. Requiere en punta de una presión de entre 3 y 4 bar. Se usa el denominado generador de espuma y se suele emplear para la inundación total de espacios cerrados.



6.6.3.2 Clasificación según naturaleza del agente espumógeno

Considerando únicamente los espumógenos del tipo físico, a su vez estos, se pueden clasificar en los de base proteica o de base sintética.

Los espumógenos de base proteica o de base mecánica, reconocible por un color más oscuro que la sintética, generan espumas estables y compactas muy efectivas. Por su formulación con proteína animal, el espumógeno debe ser adecuadamente almacenado para evitar su descomposición.

Los de base sintética, formados a base de detergentes, son los más empleados en la actualidad en los servicios de extinción de incendios, dado que no ofrecen el inconveniente de la descomposición de los mismos con el tiempo.

6.6.3.3 Clasificación según comportamiento y utilidad

A pesar de existir gran variedad de espumógenos, nos centraremos en tres tipos básicos, que son los que habitualmente se emplean en la lucha contra el fuego.

Resulta complicado establecer características genéricas para los compuestos espumógenos ya que cada fabricante emplea diferentes productos en su elaboración y por lo tanto con diferentes comportamientos ante el fuego. A pesar de ello, se tratará de hacer una simplificación para que el lector pueda hacerse una idea del alcance y uso posible de cada tipo.

• **Espumas de clase A o convencionales.** Poco eficaces en fuegos de combustibles líquidos. Tienen generalmente buena resistencia al calor y son de flujo lento (es decir, tarda más en expandirse por la superficie),



además son de drenaje lento (la velocidad a la que van soltando el agua contenida), lo cual implica, que dificulta la reignición del fuego. Por tratarse de las más económicas, son habitualmente empleadas, y suelen ir en los depósitos de espumógeno de los vehículos, dejando el empleo de otros tipos más específicos para los casos puntuales en los que sean necesarios.

- **Espumas AFFF.** Buena tolerancia a los líquidos inflamables. Son espumas formadoras de película polimérica, que se deposita sobre la superficie del líquido inflamable, impidiendo el contacto entre el combustible inflamado y el oxígeno del aire. Tiene una gran velocidad de cubrición, y aunque tiene menor resistencia al calor que la anterior, sus valores son elevados.
- **Espumas Antialcohol.** Se emplean en fuegos de alcoholes, éteres, acetonas..., ya que este tipo de combustibles polares suelen degradar las espumas de uso habitual. También están indicadas para fuegos del tipo B (líquidos inflamables).

6.6.3.4 Otras clasificaciones

Sin entrar en detalle, también se suelen emplear otro tipo de clasificaciones como son las clasificaciones según eficacia (clase I, clase II o clase III, determinado según los tiempos de extinción de un determinado volumen de combustible inflamable), o la clasificación según la resistencia a la reignición (A, B, C, D).



6.6.4 SISTEMAS CAF (COMPRESSED AIR FOAM)

Posiblemente una de las tecnologías que mayor receptividad está suscitando dentro de los servicios de extinción de incendios debido a su alta eficacia en la extinción.

En realidad, no deja de ser un sistema de generación de espuma. La diferencia radica en que el aporte de aire se realiza mediante el empleo de un compresor integrado en el vehículo.

En algunos vehículos el régimen óptimo de funcionamiento se efectúa al máximo régimen de revoluciones de la bomba, no obstante, en los modelos más actuales, el aporte del aire a presión, se realiza de manera automática e independientemente de las revoluciones por minuto a las que gire la bomba.

El aire se mezcla en cámaras mediante acción puramente mecánica con la mezcla de espumante. En la generación de CAF, se contemplan dos tipos de espuma, la espuma seca o la húmeda, siendo la primera empleada generalmente en acciones preventivas, y la segunda en extinción. La diferencia entre una y otra radica en el mayor o menor aporte del espumante a la mezcla final.





Una de sus grandes ventajas frente a las espumas convencionales es la gran presión que se aporta al sistema, que transmitida en forma de energía cinética a las burbujas, estas adquieren una gran capacidad de penetración en las llamas consiguiendo una rápida extinción.

Esta presión (debida al aire comprimido), hará que la manguera se cargue a modo de un calderín de presión. De esta forma, cuanto mayor sea el tendido, mayor potencia de disparo se obtendrá al abrir la lanza. Otra consecuencia de la presión es el hecho de que no se producen cocas ni dobleces.

Gracias al aporte constante de aire comprimido, produce una espuma uniforme compuesta por burbujas de pequeño tamaño y gran energía que permite la posibilidad de generar espuma con menor cantidad de agua que en el caso de la extinción por agua o espuma convencional.

Esto implica una mayor duración de los depósitos de agua de los vehículos de extinción, así mismo, el empleo de una menor cantidad de agua, impide la generación de excesivo vapor durante la intervención, facilitando de esta forma la visibilidad al personal interviniente.

Las mangueras empleadas, al resultar más ligeras, requieren menos esfuerzo al arrastrarlas..

El inconveniente, es que se pierde la sencillez de la instalación ya que requiere de otro equipo más añadido a los ya existentes en el vehículo para la generación del aire comprimido.

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos miembros del SPEIS de Vitoria-Gasteiz, de las UCEIS de la Diputación Foral de Alava y de las Agrupaciones de Bomberos Voluntarios del Territorio Histórico de Alava, que de alguna forma han colaborado en la elaboración de este documento.

Agradecer sobre todo la colaboración de:

Javier García Reina. Subinspector del SPEIS del Ayto. de Vitoria-Gasteiz.

Eduardo Aragolaza. Subinspector Subjefe del SPEIS del Ayto. de Vitoria-Gasteiz.

Javier Elorza Gómez. Subinspector del SEIS de la Diputación Foral de Bizkaia.

Se extiende este agradecimiento a las empresas ROSENBAUER y Productos MESA por su aporte documental y colaboración desinteresada.

BIBLIOGRAFÍA

· ANITUA ALDECOA, Pedro. *Manual Básico del bombero. 1ª Edición. Hidráulica Básica.*

· ESCUELA DE BOMBEROS Y PROTECCIÓN CIVIL. *Manual Básico de Hidráulica.*

· MATAIX PLANA, Claudio. *Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas.*

· SUAY BELENGUER, Juan Miguel. *Conceptos básicos de Hidráulica para bomberos.*