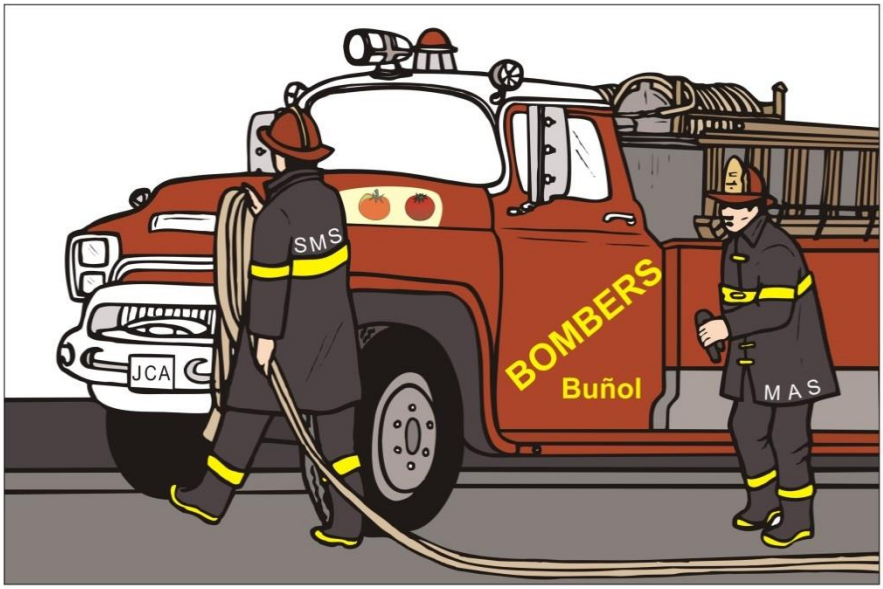
Un camión de bomberos está suministrando 400 l/min a presión de 7,5 atm a una manguera de 45 mm de diámetro, dotada de una punta de lanza cuyo diámetro de salida es 20 mm. Sabiendo que el bombero que utiliza la manguera se encuentra a 25 m de altura sobre el camión, se pide:

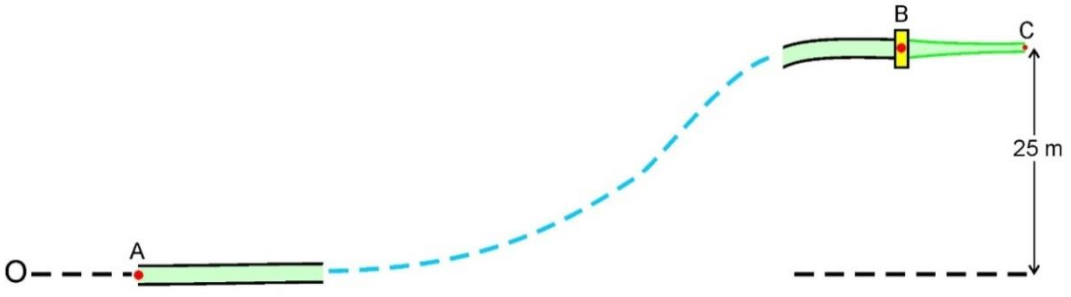


a) Velocidad del agua en el interior de la manguera y a la salida de la punta de lanza.
b) Presión con la que llega el agua a la punta de lanza.
c) Pérdida de carga que se produce en la manguera (se desprecia la correspondiente a la punta de lanza).

Datos: $P_{atm} = 1{,}013 \cdot 10^5$ N/m^2, $\rho = 10^3$ kg/m^3

a) En problemas anteriores ya hemos aplicado la ecuación de continuidad para resolver cuestiones de este tipo. Recordemos que dicha ecuación establece que en cualquier conducción por la que circula un fluido en régimen estacionario, el caudal o producto de la sección de la tubería por la velocidad del fluido en cualquier punto de la misma, ha de ser constante. Esto significa que en los ensanchamientos la velocidad será menor que en los estrechamientos. Por tanto, si lo aplicamos a este caso, deberemos comprobar cómo el valor de la velocidad del agua en el interior de la punta de lanza (más estrecha) será mayor que en el interior de la manguera (más ancha).

En la figura siguiente se ha representado de forma esquemática la manguera y la punta de lanza acoplada al final de la misma:



Si consideramos los puntos B (extremo de la manguera) y C (boca de salida de la punta de lanza) y aplicamos en ellos la ecuación de continuidad, resulta que el gasto "*Q*" o caudal de agua, podrá expresarse como:

$$Q = S_B \cdot v_B = S_C \cdot v_C$$

Puesto que el valor de *Q* es conocido, mediante la ecuación anterior, resulta inmediato el cálculo de ambas velocidades:

$$v_B = \frac{Q}{S_B} = \frac{\frac{400 \cdot 10^3}{60}}{\frac{\pi \cdot (45 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-3}}{1{,}59 \cdot 10^{-3}} = 4{,}19 \frac{m}{s}$$

$$v_C = \frac{Q}{S_C} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi \cdot (20 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{-3}}{3{,}14 \cdot 10^{-4}} = 21{,}24 \frac{m}{s}$$

Si nos fijamos en los resultados obtenidos, veremos que, como era de esperar, el valor de v_C es 5,1 veces mayor que el de v_B (al contrario de lo que ocurre con la sección, donde S_C es 5,1 veces menor que S_B).

b) Para calcular la presión con la que el agua llega a la punta de lanza, basta con aplicar Bernoulli entre los puntos B y C (despreciando la pérdida de carga que se pueda producir en la punta de lanza), con lo que:

$$P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot h_B = P_C + \frac{1}{2}\rho \cdot v_C^2 + \rho \cdot g \cdot h_C$$

Si tenemos en cuenta que $h_B = h_C$ *y que* $P_C = P_{atm}$:

$$P_B = P_{atm} + \frac{1}{2}\rho \cdot (v_C^2 - v_B^2)$$

Y, sustituyendo:

$$P_B = 1{,}013 \cdot 10^5 + \tfrac{1}{2} 10^3 \cdot (21{,}24^2 - 4{,}19^2) = 3{,}18 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 3{,}14 \text{ atm}$$

c) Sabemos que, en la manguera, debido a las pérdidas de energía por fricción, se produce una pérdida de carga. Para determinar su valor, aplicaremos Bernoulli con pérdidas entre A y B:

$$P_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot h_A = P_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot h_B + P_{fAB}$$

Teniendo en cuenta que $v_A = v_B$, y que $h_A = 0$, nos queda: $P_A = P_B + \rho \cdot g \cdot h_B + P_{fAB}$

Despejando P_{Fab}, queda: $P_{fAB} = P_A - P_B - \rho \cdot g : h_B$.

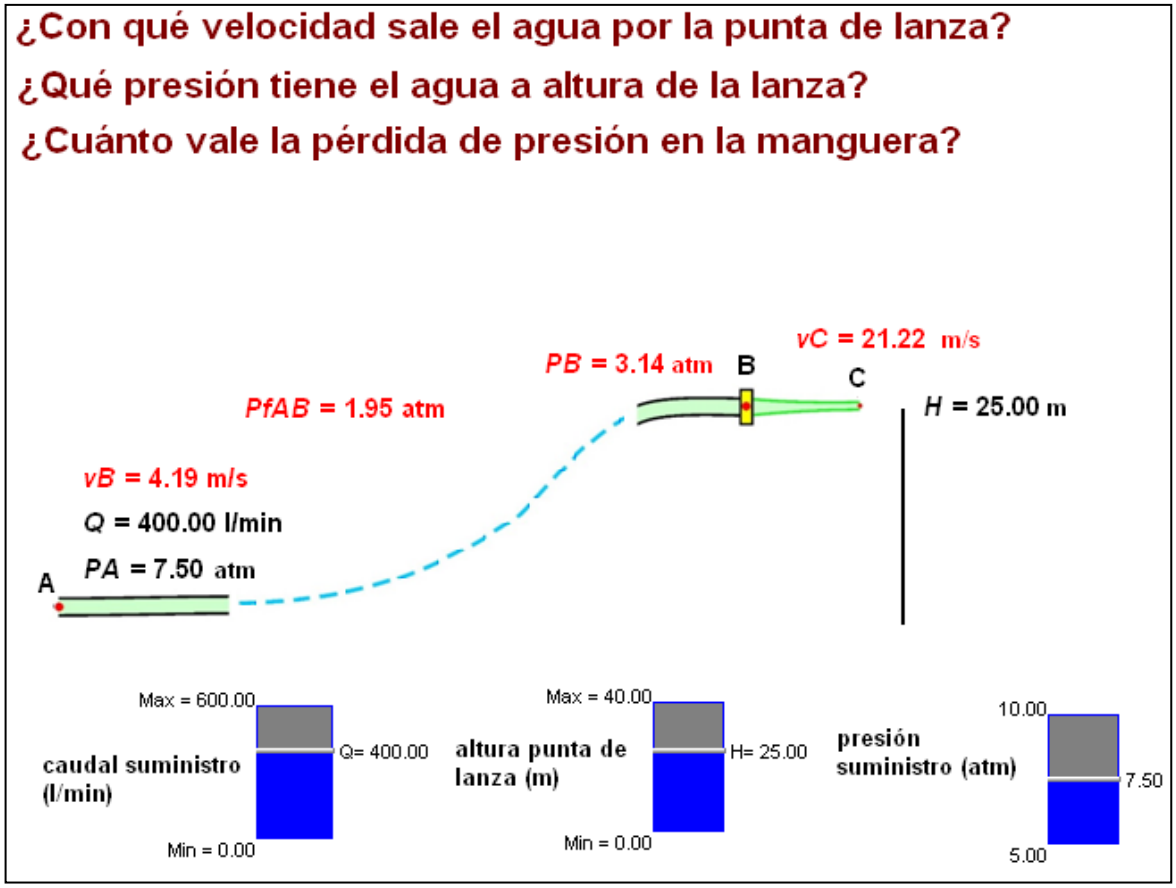
Y sustituyendo:

$$P_{fAB} = (7{,}5 - 3{,}14) \cdot 1{,}013 \cdot 10^5 - 10^3 \cdot 9{,}8 \cdot 25 = 4{,}42 \cdot 10^5 - 2{,}45 \cdot 10^5 = 1{,}97 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1{,}94 \text{ atm}$$

Si analizamos el resultado literal anterior (así como su valor cuantitativo), vemos que en el tramo AB hay una pérdida de presión ($P_B < P_A$), debida tanto a la diferencia de altura como a las fricciones a lo largo de la conducción.

Para reforzar este problema hemos elaborado una animación *Modellus* que obtiene la velocidad del agua a la salida de la punta de lanza, la presión con la que esta llega a la punta de lanza y la pérdida de carga que se produce en la manguera. En la pantalla de la misma, se dispone de tres controladores manuales con los que los alumnos pueden modificar el caudal de suministro, la presión de suministro y la altura a la que se sitúa la punta de lanza con respecto al resto de la manguera, que se supone extendida en dirección horizontal.

En la imagen adjunta, vemos su aspecto cuando los valores de los datos del problema coinciden con los que hemos adoptado aquí.



La animación y el programa necesario para hacerla correr están disponibles en la Web de Materiales para la Enseñanza y la Divulgación de la Física de la Sección Local de Alicante de la RSEF: http://rsefalicante.umh.es/fisica.htm