Mecánica de Fluidos

Apellidos, Nombre: Mayo 2025

PROBLEMA 1

El circuito de refrigeración de un automóvil consiste en una bomba de potencia W_b que impulsa el refrigerante a través del bloque motor y del radiador. Es necesario incluir un vaso de expansión, por lo que para evaluar parte de su diseño se ha instalado un manómetro a la salida del radiador (punto B).
De forma independiente, el radiador y el bloque motor se han ensayado en un laboratorio, obteniéndose unas pérdidas de carga h_{ra} y h_{ma}, cuando circula un caudal de agua Q_{ens}.
Si todos los puntos se encuentran a la misma cota, se pide, justificando todas las hipótesis:

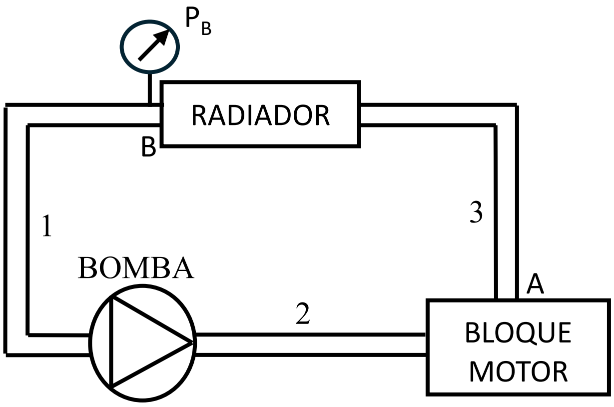
a) (1.5 puntos) Calcular las constantes de pérdidas secundarias o locales asociadas al radiador y al bloque motor.

b) (4 puntos) Determinar el caudal de refrigerante que circula por el sistema.

c) (3 puntos) Si la bomba impulsa un caudal de refrigerante Q_2 = 1.1 l/s, obtener la presión relativa mínima en B para evitar cavitación en el circuito. La presión de vapor del refrigerante es P_v = 0.5 bar.

d) (1.5 puntos) Al activar la calefacción se añade otra rama que comunica la salida del bloque motor (A) con la salida del radiador (B). Si por el radiador circula el caudal anterior Q_2 = 1.1 l/s y se desprecian las perdidas locales de las uniones en A y B, ¿cuál será la diferencia de presión por esa rama nueva?

Nota: En caso de iterar, es necesario alcanzar un error menor o igual al 5%



Ecuación de Haaland: $\frac{1}{f^{1/2}} \cong -1.8\, log\left(\left(\frac{\varepsilon/d}{3.7}\right)^{1.1} + \frac{6.9}{Re_d}\right)$

Tubería:	**1**	**2**	**3**
D [m]	0.02		
Ɛ [mm]	0.05		
L [m]	1.5	1	1
Número de Codos	2	-	1
k_{codo} [-]	0.3		

Circuito de Refrigeración		**Ensayo con agua**	
W_b [W]	300	h_{ma} [m.c.a.]	1
$\rho_{refrig.}$[kg/m^3]	1060	h_{ra} [m.c.a.]	2
$\mu_{refrig.}$[Pa·s]	0.001	Q_{ens} [l/s]	1
Q_2 [l/s]	1.1	ρ_{agua} [kg/m^3]	1000
P_v [bar]	0.5		
P_{atm} [bar]	1		
g [m/s^2]	9.81		

a) (1.5 puntos) Calcular las constantes de pérdidas secundarias o locales asociadas al radiador y al bloque motor.

$$Q_{ens} = v_{ens} \cdot A \rightarrow v_{ens} = 3.183\ m/s$$

$$h_{ma} = k_m \frac{V_{ens}^2}{2g} = k_m \frac{Q_{ens}^2}{2g \cdot A_2^2} = k_m \frac{Q_{ens}^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d^4/8} \rightarrow\ k_m = 1.936$$

$$h_{ra} = k_r \frac{V_{ens}^2}{2g} = k_r \frac{Q_{ens}^2}{2g \cdot A_3^2} = k_r \frac{Q_{ens}^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d^4/8} \rightarrow\ k_r = 3.873$$

b) (4 puntos) Determinar el caudal de refrigerante que circula por el sistema.

Dado que se trata de un circuito cerrado al aplicar Bernoulli desde un punto hasta si mismo no se obtiene variación de presión, cota ni velocidad. Por lo tanto, la bomba debe compensar las pérdidas por fricción y locales.

Alternativamente se puede aplicar Bernoulli desde la aspiración de la bomba a la impulsión obteniendo el mismo resultado:

$$h_b = \sum h_f + \sum h_m$$

$$h_b = f\frac{L_1}{d_1}\frac{v^2}{2g} + f\frac{L_2}{d_2}\frac{v^2}{2g} + f\frac{L_3}{d_3}\frac{v^2}{2g} + 3k_c\frac{v^2}{2g} + k_m\frac{v^2}{2g} + k_r\frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{W_b}{\rho g Q} = \frac{8Q^2}{\pi^2 g \cdot d^4}\left(f\frac{L_1 + L_2 + L_3}{d} + k_m + k_r + 3k_c\right)$$

$$Q = \left(\frac{\pi^2 d^4 W_b}{8\rho\left(f\frac{L_1 + L_2 + L_3}{d} + k_m + k_r + 3k_c\right)}\right)^{1/3} = \left(\frac{\pi^2 \cdot 0.02^4 \cdot 300}{8 \cdot 1060\left(f \cdot \frac{3.5}{0.02} + 6.706\right)}\right)^{1/3}\ (1)$$

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1.8\ log\left(\left(\frac{\varepsilon/d}{3.7}\right)^{1.1} + \frac{6.9}{Re_d}\right)\ (2)$$

$$Q = v \cdot A = v_1 A_1 = v_2 A_2 = v_3 A_3\ (3)$$

Cálculos

	f=0.02		f=dominado por la rug.	
	1 Iterac.	2 Iterac.	1 Iterac.	2 Iterac.
f[-]	0.0200	0.0264	0.0254	0.0265
Q[m³/s]	1.762E-03	**1.702E-03**	**1.711E-03**	1.701E-03
v[m/s]	5.61	5.42	5.45	5.42
h_{bomba}[m]	16.37	16.95	16.86	16.96
Re [-] **TURB.**	1.19E+05	1.15E+05	1.15E+05	1.15E+05
f'[-]	0.0264	0.0265	0.0265	0.0265
h_f[m]	7.42	6.93	7.01	6.93
h_{mc}[m]	1.44	1.35	1.36	1.35
h_{ra}[m]	3.11	3.11	3.11	3.11
h_{ma}[m]	6.21	6.21	6.21	6.21
Error (%)	24.4	0.1	4.2	0.0

$$f \xrightarrow{Ec.\ (1)} Q \xrightarrow{Ec.\ (3)} v \rightarrow Re \xrightarrow{Ec.\ (2)} f'$$

c) (3 puntos) Si la bomba impulsa un caudal de refrigerante Q_2 = 1.1 l/s, obtener la presión relativa mínima en B para evitar cavitación en el circuito. La presión de vapor del refrigerante es P_v = 0.5 bar.

El punto de menor presión del circuito es la aspiración de la bomba (C)

Aplicando Bernoulli de B a C y trabajando en presiones relativas:

$$Q_2 = v_c^2\frac{\pi d^2}{4} \rightarrow v_c = 3.5014\frac{m}{s} \rightarrow Re = 74200 \rightarrow f = 0.027$$

$$\frac{P_B^r}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B = \frac{P_C^r}{\rho g} + \frac{v_c^2}{2g} + z_c + h_{f1} + h_c$$

$$\frac{P_B^r}{\rho g} = \frac{P_v^r}{\rho g} + f\frac{L_1}{d}\frac{v_c^2}{2g} + 2k_{codo}\frac{v_c^2}{2g}$$

$$\frac{P_B^r}{\rho g} = \frac{P_v^r}{\rho g} + \left(f\frac{L_1}{d} + 2k_{codo}\right)\frac{v_c^2}{2g}$$

$$\frac{P_B^r}{1060 \cdot 9.81} = \frac{-50000}{1060 \cdot 9.81} + \left(0.027044 \cdot \frac{1.5}{0.02} + 0.6\right)\frac{3.5^2}{2 \cdot 9.81}$$

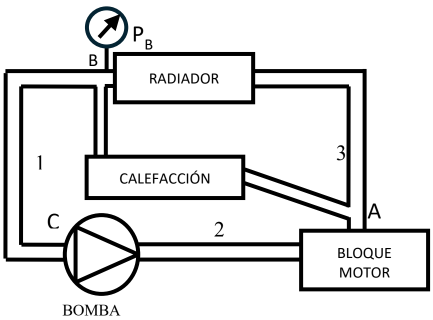
$$\frac{1}{f^{\frac{1}{2}}} = -1.8\ log\left(\left(\frac{\varepsilon/d}{3.7}\right)^{1.1} + \frac{6.9}{Re_d}\right)$$

Cálculos

Q [m³/s]	1.1
V [m/s]	3.5014
Re_1 [-]	7.42E+04
f [-]	0.027044
h_{f1}[m]	1.27
h_{mc1}[m]	0.37
$P_v^r/\rho g$ [m]	-4.81
$P_B^r/\rho g$ [m]	-3.17
P_B^r [bar]	-0.3292

d) Al activar la calefacción se añade otra rama que comunica la salida del bloque motor (A) con la salida del radiador (B). Si por el radiador circula el caudal anterior Q_2 = 1.1 l/s y se desprecian las perdidas locales de las uniones en A y B, ¿cuál será la diferencia de presión por esa rama nueva?

La diferencia de presión por la rama de calefacción será la misma que la de la rama del radiador al estar en paralelo



Bernoulli de A a B:

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + z_B + h_{f3} + h_{mc} + h_{mr}$$

$$Q_2 = v_c^2\frac{\pi d^2}{4} \rightarrow v_c = 3.5014\frac{m}{s} \rightarrow Re = 74200 \rightarrow f = 0.027$$

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{8Q^2}{\pi^2 g}\left(f\frac{L_3}{d^5} + \frac{k_r + k_c}{d^4}\right)$$

$$\frac{\Delta P}{1060 \cdot 9.81} = \frac{8 \cdot 0.0011^2}{\pi^2 \cdot 9.81} * \left(0.027 \cdot \frac{1}{0.02^5} + \frac{3.873 + 0.3}{0.02^4}\right)$$

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1.8\ log\left(\left(\frac{\varepsilon/d}{3.7}\right)^{1.1} + \frac{6.9}{Re_d}\right)$$

Cálculos

Q [m³/s]	1.1
f [-]	0.027044
$h_{f\ A\_B}$ [m]	0.84
h_{mc} [m]	0.19
h_{mr} [m]	2.42
ΔP/ρg [m]	3.45
ΔP [bar]	0.3590