

Bilboko IGET-eko Jariakinen Mekanikako laborategian, banku hidrauliko bat dago Pelton turbinak entseatzeko (1 irudia).

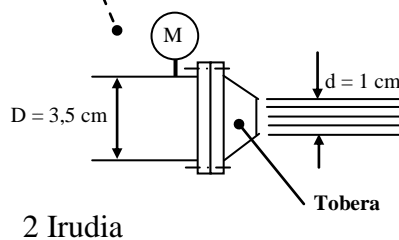
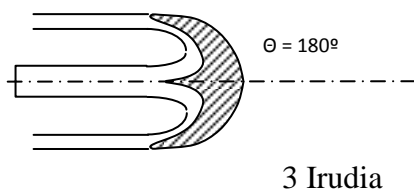
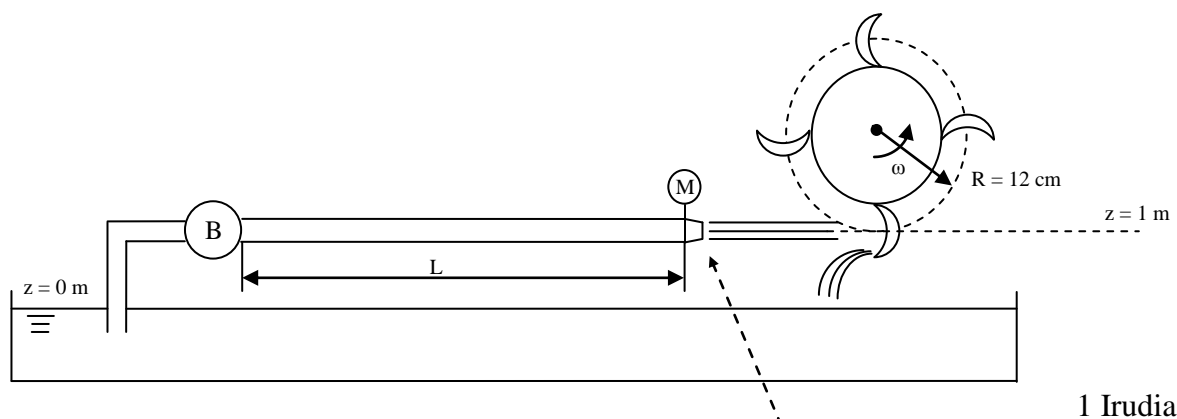
Entseguaren ura ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) banku hidrauliko batetik dator. Gainazal askea atmosferara irekita dago eta erreferentzia plano ($z = 0 \text{ m}$) han kokatuko da. Ponpa hidrauliko batek 4,306 kW kontsumitzen du, % 90-ko etekin total batekin (ponpa-motor taldea) ur emari bat hodi leun batean turbinako tobera/injektoreantz eramateko. Toberaren kokapena $z = 1 \text{ m}$ da. Tobera horren sarrerako presioa, $p = 11,32 \text{ bar}$, ezagutzen da (2 Irudia), (M) manometroan irakurtzen delako. Funtzionamenduaren puntuan toberaren abiadura-koefizientea $C_v = 0,9$ da eta uzkuradura-koefizientea $C_c = 1$ da. Toberaren sarrerako diametroa eta hodi nagusiarena 3,5 cm-koak dira eta turbinarantz abiatzen den zorrotadaren diametroa 1 cm-koa. Entseatutako turbina 12 cm-ko erradioduna da (biraketa-ardatzatik zorrotadak turbinako besoetan jotzen duen punturaino neurtutako distantzia da) eta bere biraketa-abiadura $\omega = 1170 \text{ b/min}$ -koa da.

Kalkula itzazue:

- 1) Zirkuitoan zirkulatzen ari den emaria.
- 2) Hodi nagusiaren luzera.
- 3) Injektorean sortzen den tokizko karga-galera.
- 4) Toberaren sarrerako ur-zorrotadaren energia zinetikoa (m.u.z.)-an, (J/kg)-an, (W)-an.
- 5) Kota piezometrikoaren eta energiaren lerroak marraztu. Altuera garrantzitsuak adierazi behar dira zenbaki-eran.
- 6) Fluidoak toberan egiten duen indar efektiboa.
- 7) Zorrotadak Pelton turbinako besoetan egiten duen indarra (180° -ko irteerako angelu bat suposatuko da - 3 irudia) eta garatutako potentzia mekanikoa.

Oharrak:

- 1) Tokizko karga galerak mespretxatuko dira, toberan izan ezik.
- 2) Hodiko aspirazio-tartean energiaren galerak mespretxatuko dira.
- 3) Energia-diagrama egiteko, zorrotadaren energia osoa turbinan geratuko da.
- 4) Gomendagarria da energiaren altuerak mm-ko zehaztapen batekin kalkulatzera.
- 5) $g = 9,81 \text{ m/s}^2$



En el laboratorio de Mecánica de fluidos de la E.T.S.I. de Bilbao se cuenta con un banco hidráulico para el ensayo de una turbina Pelton (Figura 1).

El agua de ensayo ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) procede de un tanque con la superficie libre en contacto con la atmósfera situada en el plano de referencia ($z = 0 \text{ m}$). Una bomba hidráulica consume una potencia eléctrica de 4,306 kW con un rendimiento total (grupo motor bomba) de 90 %, para impulsar un caudal de agua a través de una tubería lisa hacia la tobera / inyector de la turbina ubicada a una altura de $z = 1 \text{ m}$. Se conoce la presión a la entrada de dicha tobera (Figura 2) en el manómetro (M) $p = 11,32 \text{ bar}$. La tobera en el punto de trabajo tiene un coeficiente de velocidad $C_v = 0,9$ y un coeficiente de contracción de vena $C_c = 1$. El diámetro de entrada de la tobera y el diámetro de la tubería principal es 3,5 cm y el diámetro del chorro saliente hacia la turbina es 1 cm. La turbina ensayada que tiene un radio de 12 cm (distancia desde el eje de giro al punto de impacto del chorro sobre los álabes) y gira con una velocidad de rotación de $\omega = 1170 \text{ r.p.m.}$

Calcúlese:

- 1) Caudal circulante en el circuito
- 2) Longitud de la tubería principal
- 3) Pérdida de carga local producida en el inyector
- 4) Energía cinética del chorro de agua a la salida de la tobera en (m.c.a.), (J/kg), (W)
- 5) Dibujar el diagrama de energías y cotas piezométricas acotando las alturas representativas de forma numérica
- 6) Fuerza efectiva ejercida por el fluido sobre la tobera
- 7) Fuerza ejercida por el chorro sobre los álabes de la turbina Pelton (se supone ángulo de salida 180° - Figura 3) y potencia mecánica desarrollada.

Notas:

- 1) Se desprecian las pérdidas de carga locales exceptuando las producidas en la tobera
- 2) Se desprecia la pérdida producida en el tramo de aspiración de la tubería
- 3) Para el diagrama de energía suponer que toda la energía del chorro se absorbe totalmente en la turbina
- 4) Recomendable operar con una precisión de mm en las alturas de energía.
- 5) $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

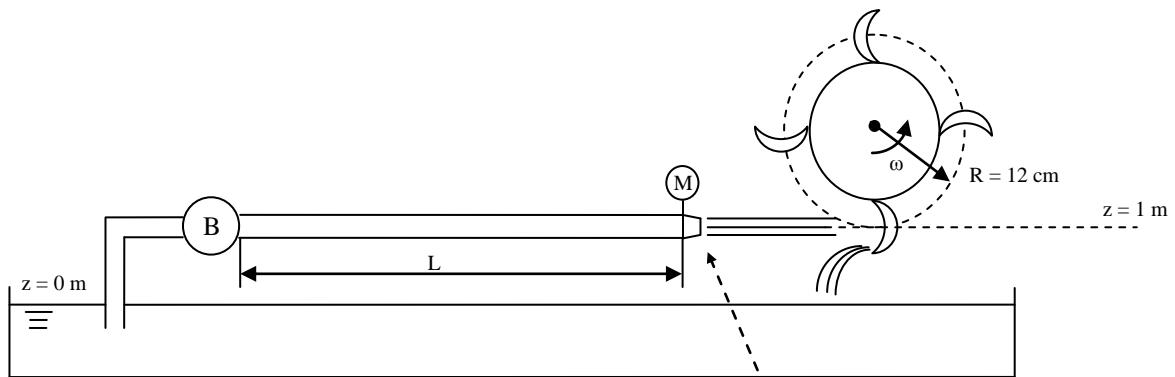


Figura 1

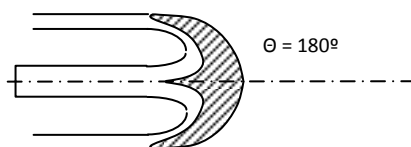


Figura 3

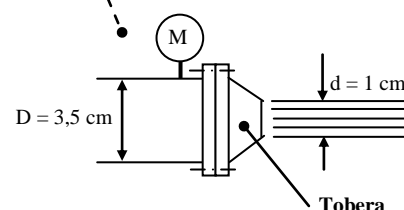


Figura 2

DATOS:

Fluido agua: $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Bomba: $P = 4306 \text{ W}$; $\eta = 0,9$

Manómetro: $p_M = p_1 = 11,32 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

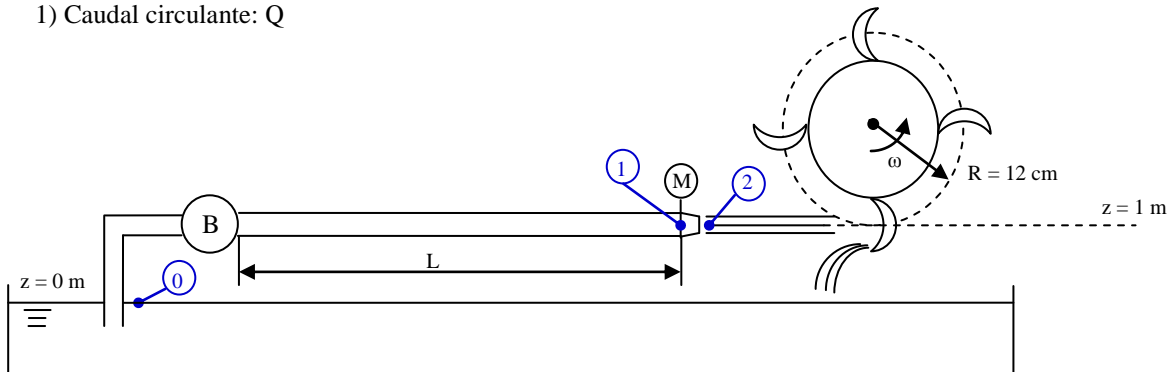
Tobera: $C_c=1$, $C_v=0,9$

Tubería lisa: $\varepsilon = 0$, $D = 0,035 \text{ m}$

Chorro: $d = 0,01 \text{ m}$

Turbina: $R = 0,12 \text{ m}$, $\omega = 1170 \text{ r.p.m.} = 122,52 \text{ rad/s}$, $U = 14,7024 \text{ m/s}$

1) Caudal circulante: Q



En la tobera:

$$Q = C_v \frac{C_c A_t}{\sqrt{1 - C_c^2 \beta^4}} \sqrt{2gh}$$

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{11,32 \cdot 10^5 - 0}{9810} = 115,392 \text{ m}$$

$$Q = 0,9 \frac{\frac{\pi \cdot 0,01^2}{4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,01}{0,035}\right)^4}} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 115,392} = 0,003375 \text{ m}^3 / \text{s}$$

2) Longitud tubería: L

Ec. Energía (0) - (1):

$$H_0 + H_m = H_1 + \Delta H_{0-1}$$

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{U_0^2}{2g} + H_m = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{U_1^2}{2g}$$

$$\text{Bomba: } H_m = \frac{P \cdot \eta}{\gamma \cdot Q} = 117,051 \text{ m}$$

$$\text{Tubería: } U_1 = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = 3,5079 \text{ m/s}$$

Factor de fricción: $f = 0,01708$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0 \quad ; \quad \text{Re} = \frac{U_1 D}{\nu} = 122776,5 \quad ; \quad \text{Haaland: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{\text{Re}} \right]$$

$$f = 0,01708$$

$$0 + 117,051 = 1 + \frac{11,32 \cdot 10^5}{9810} + \frac{3,5079^2}{2 \cdot 9,81} + 0,01708 \frac{L}{0,035} \frac{3,5079^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$L = 0,101 \text{ m}$$

3) Pérdida en el inyector

$$\Delta H_{1-2} = H_1 - H_2 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_2^2}{2g}$$

$$U_1 = 3,5079 \text{ m/s}$$

$$U_2 = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = 42,972 \text{ m/s}$$

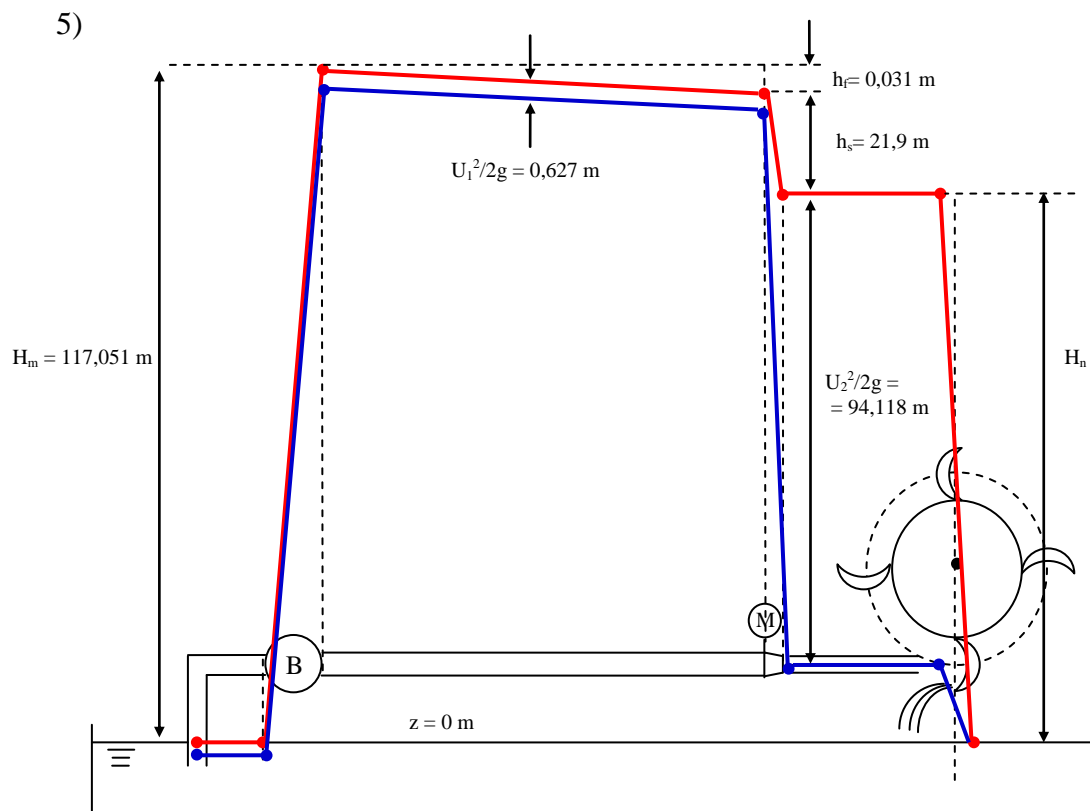
$$\Delta H_{1-2} = 21,90 \text{ m}$$

4) Energía cinética:

$$h_{\text{vel}} = \frac{U_2^2}{2g} = 94,118 \text{ m.c.a.}$$

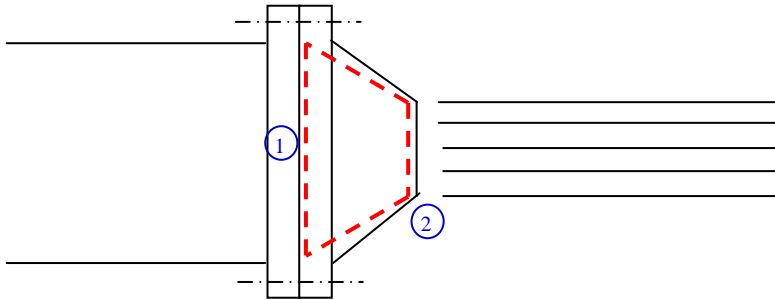
$$gh_{\text{vel}} = \frac{U_2^2}{2} = 923,296 \text{ J/kg.}$$

$$\dot{E}_c = \gamma Q h_{\text{vel}} = q_m \frac{U_2^2}{2} = 3116,13 \text{ W}$$



6) Fuerza sobre tobera: R

1er Tma. Euler (1) – (2)



$$\vec{P} + \vec{G} = \dot{\vec{M}}_2 - \dot{\vec{M}}_1$$

$$-R_h + p_1 A_1 = q_m (U_2 - U_1)$$

$$\boxed{R = R_h = p_1 A_1 - q_m (U_2 - U_1) = 955,92 \text{ N}}$$

7) Fuerza sobre álabes: R y potencia mecánica: P

Velocidad tangencial álabes:

$$U = \omega \cdot R = 122,52 \cdot 0,12 = 14,7024 \text{ m/s}$$

Velocidad del chorro:

$$V_0 = 42,972 \text{ m/s}$$

Ángulo: $\theta = 180^\circ$

$$\text{Fuerza: } \boxed{R = q_m (V_0 - U)(1 - \cos \theta) = 190,82 \text{ N}}$$

$$\text{Potencia: } \boxed{P = M \cdot \omega = R \cdot U = 2805,5 \text{ W}}$$