



DESARROLLO DE UNA APP PARA ASIGNATURAS DE MECÁNICA DE FLUIDO
PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA DE LA U. C. (2018-19)

C. J. Renedo, F. Ortiz, J. T. Cueli, A. Santisteban, S. Pérez, A. Ortiz, C. Méndez
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de la Universidad de Cantabria

TEMARIO

- Conceptos Generales
- Estática de Fluidos
- Dinámica de Fluidos
- Diseño de Tuberías
- Golpe de Ariete y Cavitación
- Introducción a las Máquinas Hidráulicas

Conceptos Generales

Definición de Fluido Sustancia continua con débiles fuerzas de cohesión entre sus moléculas, lo que las permite "resbalar", por lo que no tiene forma propia y se adapta al recipiente; presenta resistencia a la velocidad de deformación (no a la deformación)

Líquidos: conservan el volumen ("incompresibles"), presentan una superficie libre
Gases: no tiene volumen, ocupan todo el recipiente

Ecuación General de la Hidrostática

En el Fondo de una Columna de Fluido

$$\frac{dp}{\rho} = X \cdot dx + Y \cdot dy + Z \cdot dz$$

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Viscosidad

Dinámica: μ [Pa.s]; $\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$

Cinemática: ν [m²/s]; $\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma} \cdot g$

Presión Pascal: (F / Superficie) [N/m²]

- En el interior de un fluido se transmite igual en todas las direcciones
- Se ejerce perpendicularmente a las superficies que lo contienen

o **Atmosférica;** p_{atm} (a del aire a nivel del mar y 0°C)
o **Absoluta;** $p_{abs} (>0)$
o **Relativa;** $p_{rel} (>-1bar)$; si <0 P de vacío

$p_{abs} = p_{atm} + p_{rel}$ $p_{atm} = 101.325 \text{ Pa} \approx 100.000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$

1 m.c.a. = 1.000 kg/m³ · 9.8 m/s² · 1m ≈ 10⁴ Pa
1 bar = 100.000 Pa = 10⁵ Pa ≈ 10 m.c.a.

1 kg/cm² = 1 kg/cm² · $\frac{9.8 \text{ N/kg}}{10^{-4} \text{ m}^2/\text{cm}^2}$ ≈ 10⁶ Pa ≈ 1 bar

Estática de Fluidos

Principio de Pascal

$$\Delta p_A = \Delta p_B$$

Principio de Arquímedes
Equilibrio ⇒ Peso_{Dens} = Vol_L · γ_L

Flotador $Vol_{fl} = Vol_c \cdot \frac{\rho_c - \rho_l}{\rho_l - \rho_c}$

Flotabilidad y Estabilidad

- Centro de Gravedad del Cuerpo (P), se manifiesta el Peso
- Centro de Gravedad del Líquido Desalojado o Carena (C), se manifiesta el Empuje

Cuerpos Parcialmente Sumergidos (Metacentro, M)

- P debajo de C es Estable
- P encima de C es Inestable
- P = C Equilibrio Indiferente
- P debajo de M es Estable
- P encima de M es Inestable
- P = M Equilibrio Indiferente

Cálculo de la Distancia entre el M y C

Equilibrio estable: $[C-M] > [C-P]$
Equilibrio inestable: $[C-M] < [C-P]$
Equ. indiferente: $[C-M] = [C-P]$

Condición de Estabilidad: $\frac{I_{CG}}{V_c} > [C-P]$

Esfuerzos Sobre Superficies

Superficie Plana Rectangular Sumergida:

- Horizontal (A1) $F = P \cdot A = (\rho \cdot g \cdot h_{CG}) \cdot A_1$
- Vertical (A2) $F = P_{promedio} \cdot A_2$
- Inclinada (A3) $F = P_{promedio} \cdot A_3$

Superficie Plana Rectangular Sumergida

Superficie Curva

- Componente Horizontal de la F igual que la que tendría sobre la proyección vertical de la pared
- Pto de Aplicación de F_H En CP de la pared vertical $x_{CP} = h_{CG} + \frac{L^2}{12 \cdot h_{CG}}$
- Componente Vertical de la F Peso del líquido $F_v = \gamma \cdot b \cdot \text{área AaBb}$
- Pto de Aplicación de F_v CGL que está encima de la pared

Dinámica de Fluidos

Flujo de Fluidos

$$Q = A \cdot v \quad W = \gamma \cdot Q$$

$$M = \rho \cdot Q \quad p_1 \cdot Q_1 = p_2 \cdot Q_2 \quad p_1 \cdot (A_1 \cdot v_1) = p_2 \cdot (A_2 \cdot v_2)$$

$$M_1 = M_2 \quad \gamma_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \gamma_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Si el fluido es incompresible (Vol cte), y $\gamma_1 = \gamma_2$
 $Q_1 = Q_2 \quad A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

Teorema de Torricelli

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$h_{suction} = \sqrt{2 \cdot \frac{A_2}{A_1} \cdot \sqrt{h_1 - h_2}}$$

Energía de un Flujo: Ec. de Bernoulli

$$E_{pot} = W \cdot z \quad E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{W}{g}\right) \cdot v^2$$

$$E = E_{pot} + E_c + E_{pres} = W \cdot z + \frac{1}{2} \cdot \frac{W \cdot v^2}{g} + \frac{P \cdot W}{\gamma}$$

$$H = z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} \quad [\text{m.c.f.}]$$

Conductos y Canales

Díametro Hidráulico = $\frac{\text{Área Flujo}}{\text{Perímetro Mojado}}$

Venturi

Si no cambia la cota ($z_1 = z_2$):

Estrechamiento $A_1 > A_2 \Rightarrow v_1 < v_2 \Rightarrow \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}$

Ensanchamiento $A_1 < A_2 \Rightarrow v_1 > v_2 \Rightarrow \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}$

Flujo Laminar y Turbulento

Laminar: viscosidad
 $\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$

Turbulento: turbulencia
 $\tau = (\mu + \eta) \cdot \frac{dv}{dy}$

Nº de Reynolds

$$Re = \frac{v \cdot L_c}{\nu}$$

v es la velocidad (m/s)
ν es la viscosidad cinemática (m²/s)
L_c es la longitud característica

Para el interior de una tubería circular es el diámetro
Para una sección que no es circular $L_c = 4 \cdot D_h$
(D_h = Área del flujo / Perímetro mojado)

En conductos:
Si $Re < 2.000$ laminar
Si $Re > 4.000$ turbulento
 $Re_{Crítico} = 2.000 \approx \nu_{Crítico}$

Ecuación de Darcy

Marca las pérdidas por fricción, H_f , tanto en régimen laminar como turbulento

$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$ (m)

f (λ) el factor de fricción
L es la longitud de una tubería (m)
v la velocidad (m/s)
D el diámetro de la tubería (m) — Conducto no circular: L_c
g la gravedad (m/s²)

Flujo laminar: $f = \frac{64}{Re}$ $H_f = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2}$ (m)

Flujo turbulento: $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{\epsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right]$

ε la rugosidad de la tubería

Diagrama de Moody

Diseño de Tuberías

Longitud Equivalente

Accesorio Leq / D

Codo 45° 15

Codo 90° 32

Codo 180° 75

Válvula de esfera 3

Hardy Cross

- Se deben suponer los caudales en cada rama, Q'
- La red se divide en circuitos de lazo cerrado
- En cada tubería se calcula la pérdida de carga $H_L = R \cdot Q^2$
- Se suman los valores de H_L de todas las ramas del lazo $\sum H_L$
- [si el flujo es horario $H_L > 0$; si es antihorario $H_L < 0$]
- En cada tubería se calcula el producto: $\frac{2 \cdot R \cdot Q}{\sum H_L}$
- Se suman, asumiéndolos como positivos: $\sum \frac{2 \cdot R \cdot Q}{\sum H_L}$
- En cada lazo se calcula ΔQ como: $\Delta Q = \frac{\sum H_L}{\sum \frac{2 \cdot R \cdot Q}{\sum H_L}}$
- Se calcula el nuevo caudal de la tubería, Q' como: $Q' = Q - \Delta Q$
- Repetir el proceso con Q' hasta que el valor de ΔQ sea pequeño

Tuberías en Serie

$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$ (m)

Calcular las tuberías (D_1 y D_2) conocida Q y la energía disponible (H_0)

- Se presuponen valores de $v_{1,2}$ y $v_{2,1}$ (con $v_1 = 1$ a 3 m/s)
- Se calculan los diámetros $D_{1,2}$ y $D_{2,1}$
- Se determinan $Re_{1,2}$ y $Re_{2,1}$ con Moody $f_{1,2}$ y $f_{2,1}$
- Se calcula H_{L1} (= $H_{L1} + H_{L2}$) (incluidos accesorios, $L_{eq, tub}$)
- Se calcula H_{L2} (= $H_{L2} + H_{L1}$)
- Si $H_0 > H_{L2} \Rightarrow D > D_1 \Rightarrow v > v_1$
- Si $H_0 < H_{L2} \Rightarrow D < D_1 \Rightarrow v < v_1$
- Se suponen nuevos valores de v_2 ...

Calcular el caudal Q conocidas las tuberías (D, g) y la energía disponible (H_0)

(2a) Se presupone un caudal Q (v entre 1 a 3 m/s)

- Se determinan las velocidades v_1 y v_2 y Re_1 y Re_2
- Se calculan $f_{1,2}$ y $f_{2,1}$ (Moody)
- Se calcula H_{L1} (= $H_{L1} + H_{L2}$) (incluidos accesorios, $L_{eq, tub}$)
- Se calcula H_{L2} (= $H_{L2} + H_{L1}$)
- Si $H_0 > H_{L2} \Rightarrow Q > Q_1$ (←)
- Si $H_0 < H_{L2} \Rightarrow Q < Q_1$ (→)
- Si $H_0 < H_{L2} \Rightarrow Q < Q_1$ (v < v_1)
- Se presuponen nuevos valores Q_2 ...

(2b) Se presuponen valores para los f. ($f_{1,2}$ y $f_{2,1} \approx 0,025$)

- Se determinan $Re_{1,2}$ y $Re_{2,1}$ (Moody), y con ellos $v_{1,2}$ y $v_{2,1}$
- Se calcula H_{L1} (= $H_{L1} + H_{L2}$) (incluidos accesorios, $L_{eq, tub}$)
- Se calcula H_{L2} (= $H_{L2} + H_{L1}$)
- Se calcula H_{L2} (= $H_{L2} + H_{L1}$)
- Si $H_0 > H_{L2} \Rightarrow Q > Q_1$ con v_1 (←)
- Si $H_0 < H_{L2} \Rightarrow v > v_1 \Rightarrow Re > Re_1 \Rightarrow f < f_1$
- Si $H_0 < H_{L2} \Rightarrow v < v_1 \Rightarrow Re < Re_1 \Rightarrow f > f_1$
- Se suponen nuevos valores $f_{1,2}$ y $f_{2,1}$ o (v caso c) ...

Tuberías en Paralelo

PRINCIPIOS:

- En un nodo la suma de caudales es nula
- La pérdida de carga entre dos nodos es idéntica por todas las tuberías (codos, Tes, ...)
- El porcentaje de caudal por cada rama es independiente del caudal total

$Q_1 = Q_A + Q_B + Q_C + \dots = Q_2$

$H_A = H_B = H_C = \dots$

$\frac{Q_A}{Q_1} = cte \quad ; \quad \frac{Q_B}{Q_1} = cte \quad ; \quad \dots$

$H_A = H_B = \dots = f \cdot \frac{L_A}{D_A} \cdot \frac{v_A^2}{2g} = f \cdot \frac{L_B}{D_B} \cdot \frac{v_B^2}{2g} = \dots$ (m)

Sistemas con 2 Ramas, existen dos tipos de problemas:

- Calcular la caída de presión y los caudales por rama conocidos el caudal total y las tuberías (D, g)
 - Se presupone un caudal en cada rama, Q_A y Q_B
 - Comprobar que la $H_A = H_B$ e iterar modificando los caudales
- Calcular los caudales conocidos la caída de presión y las tuberías (D, g)
 - Como tuberías individuales



DESARROLLO DE UNA APP PARA ASIGNATURAS DE MECÁNICA DE FLUIDO PROYECTO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA DE LA U. C. (2018-19)

C. J. Renedo, F. Ortiz, J. T. Cueli, A. Santisteban, S. Pérez, A. Ortiz, C. Méndez
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de la Universidad de Cantabria

Golpe de Ariete y Cavitación

Golpe de Ariete

Sucesión de sobrepresiones y depresiones que se producen al convertir la energía cinética en energía de presión ante la detención brusca de un fluido (típicamente al cerrar una válvula)

Sobrepresión Producida

Cierre Rápido

$$\Delta P = \rho \cdot c \cdot v \text{ [cierre total]}$$

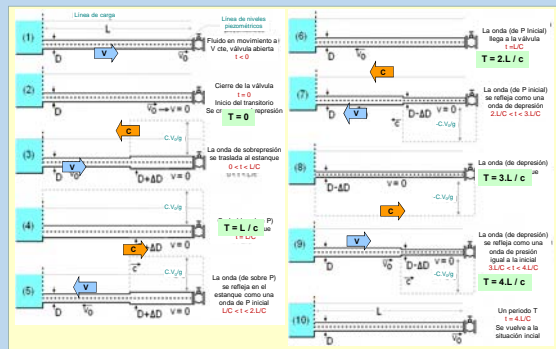
$$\Delta P = \rho \cdot c \cdot (v - v_1) \text{ [cierre parcial]}$$

$$\Delta H = \frac{c \cdot v}{g} \text{ [cierre total]}$$

$$\Delta H = \frac{c \cdot (v - v_1)}{g} \text{ [cierre parcial]}$$

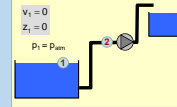
Celeridad de la Onda de Presión, C

$$c = \sqrt{\frac{E_p}{\rho} \cdot \frac{1}{1 + \frac{E_p \cdot D}{E_r \cdot \delta}}}$$



Cavitación

Vaporización de un líquido por defecto de presión; la presión cae por debajo de la presión de saturación ($p < p_{sat}(T)$)



$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_{atm}}{\gamma} - \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_{per}$$

$$H_{B \text{ disp}} = \frac{p_{atm} - p_{sat}}{\gamma} - h - H_{per}$$

$$NPSH_d > 0.5 + NPSH_r$$

p_{sat} del agua

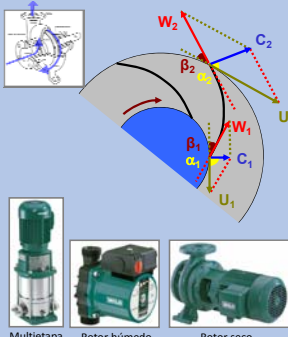
Temperatura (°C)	5	10	20	40	60	80	100
p_{sat} (bar) [p_{atm}]	0,00872	0,01227	0,02337	0,07375	0,1992	0,4736	1,0133

El riesgo de cavitación aumenta al:

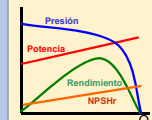
- o Disminuir la p_{atm}
- o Con la altitud del lugar
- o Con el aumento de la T° del fluido
- o Al aumentar la cota a la que sitúa la bomba respecto a su aspiración, H_2
- o Al aumentar las pérdidas de carga en la tubería de aspiración, H_{per}

Intro. a Máquinas Hidráulicas

Bombas Centrifugas



Curvas Características



Ecuaciones

$$H = C_2 - U_2 \cdot \cos \alpha_2 - C_1 \cdot U_1 \cdot \cos \alpha_1 \text{ m.c. fluido}$$

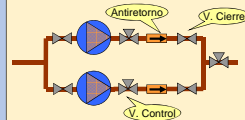
$$C = \frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot (C_2 \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_2 - C_1 \cdot r_1 \cdot \cos \alpha_1)$$

$$N = \gamma \cdot Q \cdot H = C \cdot v_{vel} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot C}{60}$$

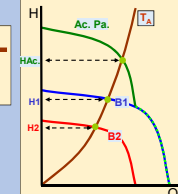
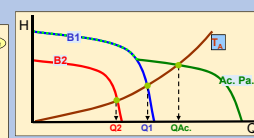
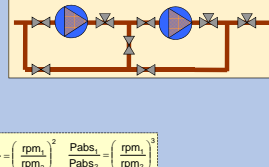
Leyes de Similitud

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2}\right)^3, \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2}\right)^2, \frac{P_{abs1}}{P_{abs2}} = \left(\frac{rpm_1}{rpm_2}\right)^5$$

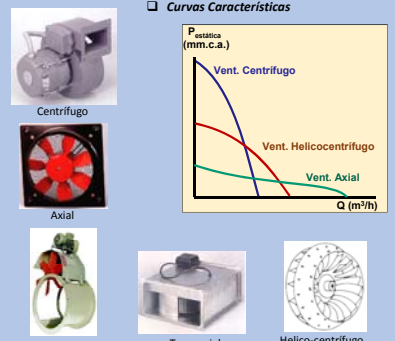
Acoplamientos en Paralelo



Acoplamientos en Serie



Ventiladores



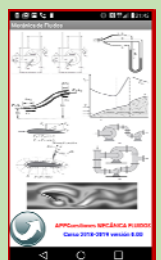
APP APP

- Pantalla inicial
- Selección del Grado
- Contenidos
- Cálculos
- Test
- Problemas Cortos

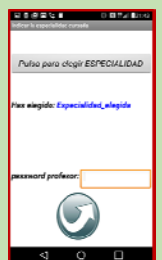


<https://web.unican.es/departamentos/diee/Documents/MFLuidos.apk>

Pantalla Inicial



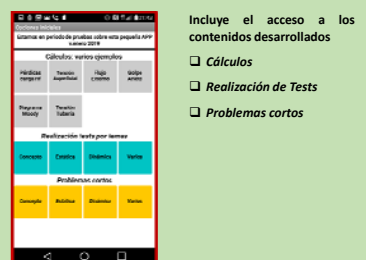
Selección del Grado



Incluye una opción para el acceso como profesor



Contenidos



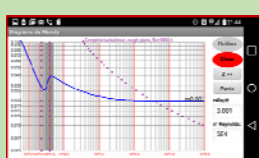
- Incluye el acceso a los contenidos desarrollados
- Cálculos
 - Realización de Tests
 - Problemas cortos

Cálculos

Pérdida de Carga



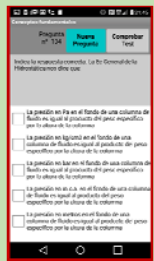
Diagrama de Moody



Ofrece el resultado final después de introducir los datos del problema

Test

Conceptos Fundamentales



Cada tema tiene una serie de test disponibles

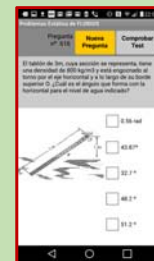
Aparece una pregunta

Después de dar la respuesta se puede comprobar la solución

Se puede acceder a la siguiente cuestión

Problemas Cortos

Estática



Cada tema tiene una serie de problemas disponibles

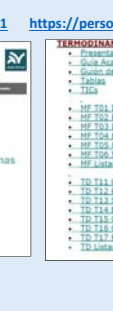
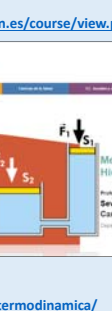
Aparece una pregunta y varias posibles respuestas

Después de dar la respuesta se puede comprobar la solución

Se puede acceder a la siguiente cuestión

BIBLIOGRAFÍA

- Mecánica, Y. Cende Fluidos y Máquinas Hidráulicas, C. Mateja
- Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, UNED
- Mecánica de los Fluidos Teoría e Hidráulica, R. V. Giles
- Mecánica de Fluidos Incompresibles y Turbo Máquinas Térmicas, J. Aguera
- Mecánica de Fluidos Aplicada, R. L. Mott
- Mecánica de Fluidos, A. Crespo
- Mecánica de Fluidos y J. Cimbalá



<https://ocw.unican.es/course/view.php?id=152§ion=1>

<https://personales.unican.es/renedoc/docencia.htm>



<http://www.uco.es/termodinamica/>