

Problema nº 1

En un viscosímetro de dos cilindros concéntricos se han medido experimentalmente los siguientes pares de valores de la velocidad angular de giro y del par que actúa sobre el cilindro interior para un cierto fluido no newtoniano:

N (rpm.10 <sup>2</sup> )	Par (N.m.10 <sup>5</sup> )	N(rpm.10 <sup>2</sup> )	Par (N.m.10 <sup>5</sup> )
0,0275	1,533	4,575	4,238
0,04575	1,675	22,87	5,953
0,2287	2,422	45,75	6,256
0,4575	2,623	228,70	9,081
2,287	3,431		

Determinar qué modelo se ajusta a este comportamiento y el valor de las constantes reológicas del mismo.

- Datos: Dimensiones del viscosímetro:

Diámetro del cilindro interno (giratorio): 1,5779"  
 Diámetro del cilindro externo: 1,6535"  
 Altura del cilindro interno: 8 cm

Problema nº 2

Se utiliza un viscosímetro de plato y cono ( $R = 12$  cm;  $\psi = 4^\circ$ ) para determinar los parámetros reológicos de un cierto fluido a 10°C. Los valores del par de torsión y de la velocidad de giro obtenidos fueron:

P.10 <sup>2</sup> (N.m)	4,859	8,107	11,356	14,605	17,853
N (r.p.m.)	4	8	12	16	20

Determinar:

- ¿De qué fluido se trata?
- Los parámetros reológicos correspondientes
- La viscosidad aparente para una velocidad de giro de 30 s<sup>-1</sup>

Problema nº 3

Ácido sulfúrico del 98% se bombea con un caudal de 1 kg/s a través de una tubería de 25 mm de diámetro interno y 30 m de longitud, que contiene 1 válvula de compuerta (medio abierta), 8 codos de 90° de radio medio y 7 uniones. Calcular las pérdidas por rozamiento que se producen en este sistema, expresándolas:

- En unidades de presión
- En Julios/kg
- En forma de pérdida de carga

- Datos y notas: Propiedades del ácido sulfúrico:  $\mu = 25$  cP;  $\rho = 1,84$  g/cm<sup>3</sup>

Problema nº 4

Se desea bombear ácido sulfúrico del 98% con un caudal másico de 5000 kg/h, desde un depósito abierto hasta otro, también abierto, cuyo nivel se encuentra 12 m. por encima. La conducción que une ambos depósitos es de 1 pulgada de diámetro interno y 30 m. de longitud. Calcular la potencia que debe de tener la bomba que se utilice para la impulsión.

- Datos:

Propiedades del ácido:  $\mu = 25$  cP;  $\rho = 1840$  kg/m<sup>3</sup>  
 Rugosidad de la conducción: 0,0008"

Problema nº 5

Se utiliza una conducción de 24 pulgadas de diámetro interno para el transporte de 30000 barriles/día de petróleo a una distancia de 2250 km. El petróleo se transporta mediante bombas centrífugas situadas a intervalos iguales a lo largo de la conducción. Cada bomba se acciona por un motor eléctrico de 1500 C.V. Calcular:

- El número de grupos bomba-motor requeridos.
- La distancia entre las bombas.
- La presión de descarga de cada bomba.
- El coste actual del transporte en €/barril.

- Datos y notas:

La caída de presión debido a pérdidas menores y a diferencias de elevación puede considerarse despreciable.

Densidad del petróleo: 870 kg/m<sup>3</sup>; Viscosidad: 10 cP

La conducción es de hierro fundido

Rendimiento de los motores o mecánico: 95%

Rendimiento de las bombas o hidráulico: 75%

Presión de admisión en cada bomba: 1 atm.

Coste de la energía eléctrica: 75 €/MW.h

1 barril = 160 l; 1 C.V. <> 735,5 W.

Problema nº 6

Gasolina a 20°C, con una viscosidad de 0,667 cP y una densidad de 760 kg/m<sup>3</sup>, se bombea a través de una tubería de acero estándar de 3" (diámetro interno 3,068" y  $\epsilon = 0,046$  mm) con un caudal de 300 l/min.

La conducción de 3" tiene 35 m. de longitud y a esta distancia de la salida de la bomba, la conducción se escinde en dos tuberías idénticas de acero estándar de 2" (diámetro interno 2,067" y la misma rugosidad que la anterior) de 15 m de longitud total cada una, que van a descargar a dos depósitos simétricos. La presión en la sección de descarga es de 117,72 kN/m<sup>2</sup>.

La presión de la gasolina en la tubería de admisión a la bomba es de 88,29 kN/m<sup>2</sup>, y la salida de los tubos de descarga se encuentra a 20 m sobre la tubería de impulsión de la bomba.

En la conducción de 3" hay intercalados dos codos de 90° (longitud equivalente: 1,5 m) y una té con reducción (longitud equivalente 5 m). En ambas conducciones de 2" hay intercaladas una válvula de compuerta (longitud equivalente 5 m.)

Considérense los dos casos siguientes:

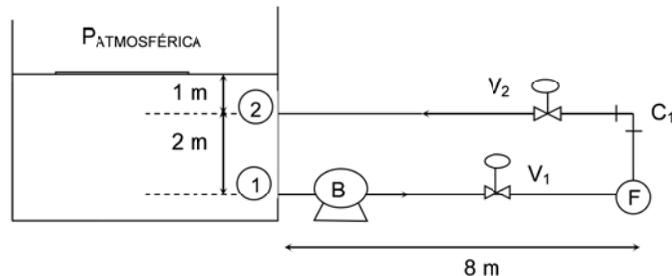
- Una de las válvulas está cerrada y todo el caudal va a un solo depósito
- Las dos válvulas están abiertas

En ambos casos:

- Calcular la presión de la gasolina a la salida de la bomba
- Si el rendimiento de la bomba es del 80% y el del motor es del 70%, calcular la potencia real consumida durante el bombeo.

Problema nº 7

En la figura se muestra de forma esquemática el circuito de depuración de agua de una piscina:



El agua se toma en el punto 1, situado 3 m por debajo del nivel del agua en la piscina y se hace pasar a través de un filtro F, retornando a la piscina en el punto 2, situado 1 m por debajo del nivel de agua en la misma.

Todas las conducciones son del mismo material ( $\epsilon = 0,0006$  m) y de 2,5 cm de diámetro interno. En el sistema existen además del filtro y la bomba (B), dos válvulas de compuerta totalmente abiertas ( $V_1$  y  $V_2$ ) y un codo de radio medio ( $C_1$ ).

Para conseguir un tiempo de filtración adecuado, el caudal que ha de circular por el filtro es de  $4,4 \text{ m}^3/\text{h}$ . Calcular:

- La presión a la salida del filtro
- La potencia de la bomba, si su rendimiento es del 80%.

- Datos y notas:

Despréciense las pérdidas por rozamiento en las conexiones de entrada y salida de la piscina.

Longitudes equivalentes: Codo de radio medio: 20 diámetros  
Válvula de compuerta abierta: 13 diámetros

$$\Delta P \text{ en el filtro: } 1,04 \cdot 10^{12} Q_v^2 \text{ N/m}^2 \quad (Q_v, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$$

Problema nº 8

Se desean transportar 12500 l/h de un medio de cultivo desde el tanque de inoculación, que se encuentra a una presión de 1,1 atm, a un fermentador que funciona continuamente a 1,3 atm, y en el que el nivel del líquido se encuentra 5 m por encima del correspondiente al tanque de inoculación. Ambos tanques son de gran diámetro y están unidos por una tubería lisa de 3,5 cm de diámetro interno, de 150 m de longitud, que contiene 2 codos de  $90^\circ$  y una válvula de diafragma totalmente abierta. Calcúlese:

- Potencia que consumiría la bomba, si su rendimiento es del 75%
- Diferencia de presión entre las secciones de entrada y salida de la bomba.

- Datos y notas:

Parámetros reológicos del medio de cultivo:  $m = 1,87 \text{ N/m}^2(\text{s}^n)$ ;  $n = 0,4$

Densidad del medio de cultivo:  $1,2 \text{ g/cm}^3$

Longitudes equivalentes: codo de  $90^\circ$ : 30 diámetros  
válvula abierta: 15 diámetros

Problema nº 9

En una instalación petrolífera se produce una fisura en la parte superior de la pared de un tanque de almacenamiento de crudo por lo que es necesario vaciarlo parcialmente. Se prevé que deben de extraerse 500 t de líquido, que se transvasarán a un segundo depósito conectado al anterior por una conducción de acero de 1 pie de diámetro de 200 m de longitud que contiene 10 codos de  $90^\circ$  (radio medio) y 2 válvulas de compuerta abiertas. Para el transvase se utiliza una bomba de 15 CV (rendimiento 75%).

Calcular el tiempo que se invertirá en la operación.

- Datos y notas:

Propiedades del líquido:  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu = 10^{-2} \text{ kg/ms}$

Dados los diámetros de los tanques, 50 m; el descenso del líquido en el tanque averiado y el ascenso correspondiente en el tanque receptor es aproximadamente de 25 cm, por lo que durante la operación puede tomarse una diferencia de alturas constante. Como valor promedio el nivel del tanque receptor se encuentra 20 m por encima del correspondiente al tanque averiado. los dos depósitos se encuentran a presión atmosférica.

Problema nº 10

Un oleoducto de 15 km de longitud, de acero comercial, tiene un diámetro interno de 15 cm y transporta un crudo petrolífero que descarga a la atmósfera en un punto situado 102 m por debajo del inicial.

Al principio del oleoducto existe una bomba, con un rendimiento total del 74%, que toma el crudo petrolífero a presión atmosférica con un caudal de  $2400 \text{ m}^3/\text{día}$ . Calcular:

- La potencia de la bomba
- El caudal que circularía si no existiese bomba
- Un día se observa que el caudal de descarga ha descendido a  $1525 \text{ m}^3/\text{día}$ . Se llama por teléfono al operador de la estación de bombeo y este informa que la bomba descarga a la misma presión, pero que el caudal ha aumentado a  $2650 \text{ m}^3/\text{día}$ . Es lógico pensar que hay una fuga en algún punto del oleoducto. Con estos datos, determinar la situación de la fuga.

- Datos: Densidad del crudo:  $\rho = 855 \text{ kg/m}^3$ ; Viscosidad del crudo:  $\mu = 11,4 \text{ cP}$

Problema nº 11

Una industria química almacena el agua que necesita en un tanque abierto. El agua procede de un lago cuyo nivel se encuentra 15 m. por encima del de la superficie del tanque. Lago y tanque están unidos por una conducción de 600 m de longitud de tubo de acero estándar de 3" ( $D_i = 3,067$ ").

- ¿Qué caudal se obtiene en estas condiciones?
- Con qué tamaño mínimo de tubo habría que montar una segunda conducción que proporcionara un caudal adicional de 810 L/min. Esta segunda conducción se colocaría paralela a la anterior y tendría la misma longitud.
- ¿Qué caudal resultaría si la conducción de tubo de 3" y 600 m se bifurcase en su mitad en dos ramas de 300 m cada una?

Problema 12

Dos depósitos elevados A y B, abiertos a la atmósfera descargan agua a  $20^\circ\text{C}$  por sendas tuberías de 5 y 6 cm de diámetro. Ambas confluyen en un punto D, del que parte una tercera tubería de 265 m de longitud que descarga en un tercer depósito C, también abierto a la atmósfera. En esta última tubería se encuentra intercalada una bomba de 5 kw, que tiene un rendimiento del 60%. El caudal de desagüe en el depósito C es de 10 L/s y la superficie del mismo está 50 m por debajo del punto D. Por la tubería de 5 cm, que tiene una longitud de 42 m, circula un caudal de 5 L/s. Las superficies de los depósitos A y B se encuentran 65 y 60 m sobre la superficie de C, respectivamente. Calcular:

- Longitud de la conducción de 6 cm de diámetro.
- Diámetro de la tubería en que se inserta la bomba.

- Datos: La rugosidad de las tres tuberías es de 0,0008 m.

**Problema nº 13**

Dos depósitos de agua abiertos a la atmósfera A y B, tienen una diferencia de nivel de 6 m, siendo A el superior y están conectados por una conducción de 10" de diámetro interno y 900 m de longitud. Otros dos depósitos C y D, tienen una diferencia de nivel de 12 m siendo C el superior y estando situado este a 3 m por debajo del nivel del depósito A, están conectados por una conducción de 12" de diámetro interno y 1800 m de longitud.

Para aumentar la cantidad de agua que llega al depósito D, las dos conducciones están conectadas por otra MN de 1650 m de longitud, estando situado el punto M en la conducción de 10" y a 300 m del depósito A, mientras que el punto N está en la conducción de 12" y a 600 m del depósito D.

Determinar el caudal de agua que llega a los depósitos B y D cuando por la conducción MN fluyen 1800 L/min y el diámetro mínimo de la conducción MN para que por ella circulen 1800 L/min.

- **Datos:** La rugosidad de todas las conducciones es 0,0008 "

**Problema nº 14**

Se desean transportar 4 kg/s de un fluido plástico de Bingham desde un depósito que se encuentra a presión atmosférica hasta otro cerrado, cuyo nivel se encuentra 3m por debajo del nivel del líquido en aquel y en el que la presión es de 150 kPa. Ambos depósitos se encuentran unidos por una conducción lisa de 200 m de longitud y 6 cm de diámetro interno en la que se insertan una válvula de ángulo abierta y dos codos de 90° de media curvatura. Calcular:

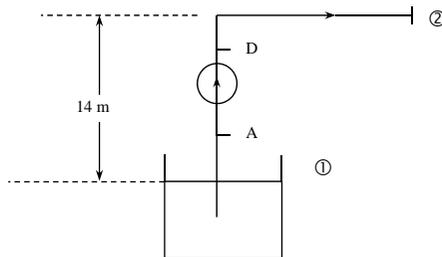
- a) Potencia necesaria para el bombeo, si el rendimiento de la bomba es del 65%.
- b) El caudal de circulación, si manteniendo constante la potencia de la bomba, ambos depósitos se encontrasen a la misma presión.

- **Datos:**

Propiedades del fluido:  $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$ ;  $\tau_0 = 20 \text{ N/m}^2$ ;  $\eta = 0,025 \text{ (N/m}^2 \text{) s}$

**Problema nº 15**

Se dispone de una bomba centrífuga con un rodete de 5" que gira a 3450 r.p.m., para transportar agua a 65°C desde un tanque de almacenamiento abierto a la atmósfera hasta un punto situado 14 m por encima de su nivel que se encuentra también a presión atmosférica, tal y como se muestra en la figura:



La conducción es de acero de 2 1/2" de tamaño nominal y 50 m de longitud equivalente, 15 de los cuales corresponden al tramo anterior a la bomba. Determinar:

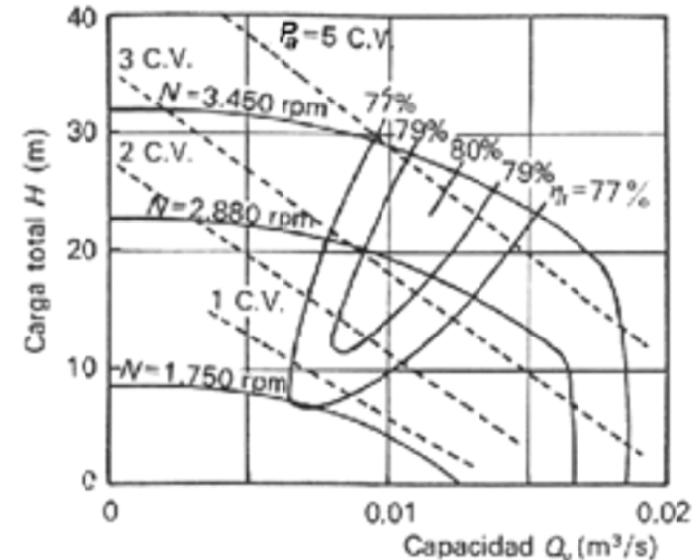
- a) El caudal de circulación
- b) El rendimiento de la bomba
- c) La altura a la que puede colocarse el punto de aspiración de la bomba respecto del nivel del depósito de succión sin que se produzcan problemas de cavitación.

- **Datos y notas:**

Tubería de acero de 2 1/2": Diámetro interior: 0,0627 m;  $\epsilon = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$   
 Presión de vapor del agua a 65°C: 25 kN/m<sup>2</sup>

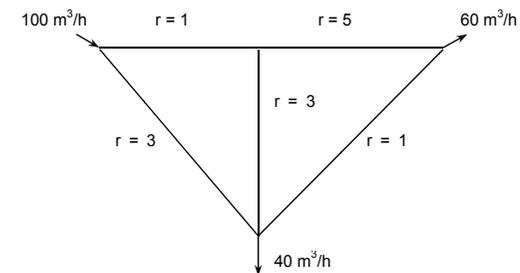
CNPA de la bomba: 2 m

Curvas características de la bomba:



**Problema nº 16**

Calcular los caudales que circulan por cada una de las conducciones de la red de flujo representadas en la figura, que se encuentra situada en un plano horizontal. Los caudales de entrada y salida que en ella se indican están expresados en m<sup>3</sup>/h.

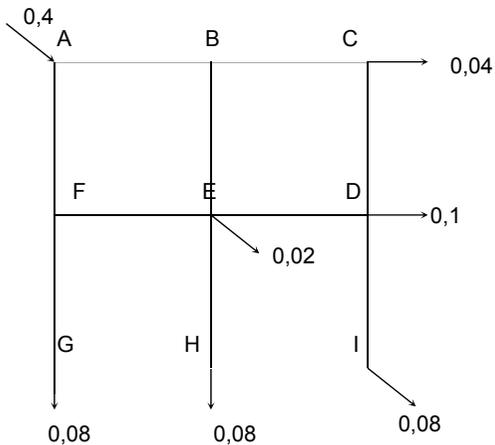


- **Datos y notas:**

En cada una de las conducciones, la pérdida de carga puede expresarse como :  $h_{roz} = r Q^n$ , siendo  $n = 2$  para todas las conducciones y los valores de  $r$  los que se indican en la figura junto a cada conducción.

**Problema nº 17**

A través del sistema de tuberías de la figura circula agua, y se conocen los caudales de entrada y salida que en ella se indican expresados como m<sup>3</sup>/s. Todas las conducciones son de hierro fundido con varios años de uso (C=100), y sus dimensiones y diámetros internos se indican en la siguiente tabla:

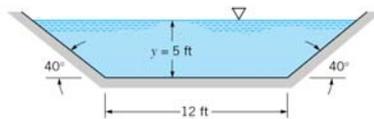


CONDUCCIÓN	L (m)	D (cm)
AB	900	50
BC	900	50
CD	1200	40
DE	900	30
EF	900	40
BE	1200	40
DI	1200	30
EH	1200	30
FG	1200	40
HI	900	30
GH	900	40
AF	1200	60

- Calcular los caudales que circulan por cada una de las conducciones.
- Si la diferencia de niveles entre los puntos A e I es de 60 m (mayor en A) y la carga de presión en A es de 45 m, calcular la carga de presión en I.

**Problema n° 18**

Un canal trapezoidal tiene una base de 12 ft y el ángulo de la pared lateral sobre la horizontal es de 40 grados. La profundidad es de 5 ft. La solera presenta una inclinación de 1.4 ft por 1000 ft de longitud. Determinar el caudal volumétrico cuando el canal está recién construido con hormigón y después de un tiempo de uso considerando que todo el perímetro de mojado está cubierto con hierbas. Determine el número de Fr en cada caso



**Problema n° 19**

En un río existe una presa que se utiliza para el abastecimiento de agua a una región. Debido a una época de lluvias, se decide abrir el aliviadero de la presa y soltar un caudal de 230 m³/s. A la salida del aliviadero, el río se encuentra canalizado de forma que su cauce, construido en hormigón (n = 0,013) es de sección rectangular con una anchura de 54 m, una altura de sus paredes de 1,2 m y una pendiente de la solera de 0,0004. Sabiendo que la velocidad media del agua en la sección de entrada al canal es de 12 m/s, calcular:

- La altura que alcanza el agua en la sección de entrada al canal.
- ¿Existirá riesgo de inundaciones por desbordamiento del canal de aguas abajo de la presa? Razone la respuesta.
- En caso afirmativo, calcule a que distancia aguas abajo de la presa se desbordará el río. Supóngase para este apartado flujo no uniforme gradual. Para no prolongar los cálculos, divídase el cauce del río en tres tramos.
- ¿Cuál sería el máximo caudal que podría desaguar para que no existiera riesgo de inundación?

**Problema n° 20**

Aire, a una presión de 1000 kN/m² y a 40°C se expande en una boquilla hasta una presión de 100 kN/m². Suponiendo que el flujo es isentrópico, sin rozamiento, y que la velocidad en la sección de entrada puede considerarse nula, calcular:

- La velocidad en la sección de salida.
- La temperatura en la sección de salida.

**Problema n° 21**

Se desea diseñar una tobera para acelerar 2452 kg/h de vapor de agua saturado a 260°C (p₁ = 4669,6 kN/m², v₁ = 0,0410 m³/kg) de forma que la presión en la sección de salida sea 10³ kN/m². Calcular:

- Tipo de tobera que ha de utilizarse.
- Sección en la garganta
- Sección de salida.

- **Notas:** Considérese que la velocidad de vapor en la sección de entrada es nula y que el flujo es adiabático (γ<sub>vapor</sub> = 1,135).

**Problema n° 22**

Se ha diseñado una tobera ampliada para acelerar 3356 kg/h de aire (γ = 1,4; M = 28,9) que se encuentran inicialmente a 400000 N/m² y 27 °C. La presión de descarga en el diseño es igual a 100000 N/m². Calcular:

- Sección de diseño de la garganta
- Nº de Mach en la sección de descarga para una presión exterior de 100000 N/m²
- Sección de diseño en la salida
- Caudal másico para una presión exterior de 80000 N/m²
- Caudal másico para una presión exterior de 340000 N/m²

- **Datos y Notas:** Utilice exclusivamente las siguientes expresiones para la velocidad y el caudal másico, justificando el valor de cada una de las variables

$$m = \rho \cdot V \cdot S$$

$$V = \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left( \frac{p_1}{\rho_1} \right) \cdot \left( 1 - \left( \frac{p}{p_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right)} \quad ; \quad V_s = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}}$$

Supóngase flujo isentrópico en todos los casos  
Considérese despreciable la velocidad en la sección de entrada

Razón de Laval:  $\left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$  R = 8314 J/mol K

**Problema n° 23**

Se ha de instalar un gaseoducto para transportar gas natural desde un depósito en el que el gas se encuentra a 1 atm de presión absoluta hasta otro en el que la presión absoluta debe ser de 2 atm. La conducción tendrá 1 m de diámetro interno (puede considerarse ε = 0), y una longitud de 30 Km. El gas circulará isotérmicamente a 27°C con una velocidad de 25 m/s en las condiciones de salida (2 atm y 27°C). Calcular la potencia a suministrar al compresor necesario si éste está situado al principio de la conducción.

- **Datos:**
- Viscosidad del gas a 27°C = 1,5 · 10<sup>-2</sup> cP
  - Peso molecular medio = 10
  - Exponente de la compresión real, n = 1,30
  - Rendimiento total del compresor = 70%.

**Problema nº 24**

Una compañía de gas tiene una conducción de 6" de diámetro interno ( $\varepsilon/D = 0,0003$ ), para transportar gas ciudad a sus clientes. Para atender a los nuevos clientes ha decidido instalar una derivación en paralelo con parte de la presente conducción y de igual longitud que dicha parte. Una vez instalada la derivación se encuentra que el 70% del gas circula por la conducción de 6" y el 30% a través de la derivación, siendo 1350 kg/h la cantidad total del gas que fluye por ambas conducciones. Si el gas entra en la derivación a 230 kN/m<sup>2</sup> y la abandona a 106 kN/m<sup>2</sup>, calcular el diámetro de tubo usado para la derivación.

El peso molecular medio, la temperatura y la viscosidad del gas son respectivamente, 24, 21°C y 0,016 cP.

**Problema nº 25**

Se desea transportar gas natural a través de un gaseoducto de sección circular de 1 m de diámetro interno y 250 km de longitud, con un caudal de  $6 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/día (medidos a 15°C y 101,33 kN/m<sup>2</sup>).

Suponiendo que la presión en el punto de descarga es de 160 kN/m<sup>2</sup>, que el compresor toma el gas a presión atmosférica y 15°C y que la circulación del gas puede considerarse isoterma a 15°C, calcular la potencia teórica del compresor.

**- Datos:**

Viscosidad del gas natural a 15°C:  $\mu = 0,01$  c.p.      Peso molecular del gas: 16

Exponente de la politrópica del compresor:  $n = 1,3$       Rugosidad de la conducción:  $\varepsilon = 0,045$  mm  
Considérese comportamiento ideal para el gas natural.

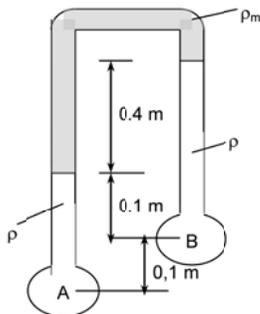
**Problema nº 26**

Se bombea un gas (peso molecular 18) a través de una tubería de 0,90 m de diámetro, que une dos estaciones compresoras situadas a 65 km de distancia. En la primera estación, la presión de descarga no debe exceder de 618 kN/m<sup>2</sup> y en la segunda, la presión de admisión deberá ser al menos de 68,7 kN/m<sup>2</sup>. Calcular la máxima velocidad de flujo permitida (metro cúbicos por día a 20°C y 1 atm) suponiendo que el gas se mantiene a través de la tubería a 20°C.

- **Datos:** La viscosidad cinemática del gas es de  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s (medida a la presión media del gas). Supóngase que por ser muy grande el diámetro,  $\varepsilon/D \cong 0$ .

**Problema nº 27**

Dos tuberías A y B por las que circula agua a 25°C ( $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>), se encuentran conectadas por su parte superior mediante un manómetro diferencial que utiliza un cierto aceite como fluido manométrico ( $\rho_m = 750$  kg/m<sup>3</sup>), tal y como se muestra en la figura. Calcular la diferencia de presión existente entre ambas tuberías.

**Problema nº 28**

En una conducción de acero de 1 ½ pulgadas (tamaño estándar) se instala un orificio de cantos vivos de 0,76 cm de diámetro. Las conexiones de presión están situadas a distancia de 1 diámetro y 1/3 de diámetro antes y después del orificio respectivamente. Por la conducción circula bencol a 15°C ( $\rho = 874$  kg/m<sup>3</sup>) procedente de una columna de rectificación, que se conduce a un depósito. En el manómetro vertical que mide la depresión a través del orificio se utiliza agua como líquido manométrico y los tubos de conexión, están llenos de bencol. La máxima lectura que puede hacerse con el manómetro es de 20 cm y la lectura mínima que puede hacerse con seguridad suficientes, de 3 cm.

¿Qué intervalo de caudales de bencol en litros/hora podrán medirse satisfactoriamente con este dispositivo medidor?

**- Datos y notas:**

Tubo de acero estándar de 1 ½ pulgadas:      diámetro externo = 1,900"  
diámetro interno = 1,610"

Viscosidad del bencol a 15°C = 0,67 cP

Gráfica: Coeficiente de descarga respecto al número de Reynolds.

**Problema nº 29**

Por una conducción de acero extra duro (Schedule 80) de 2" de diámetro circula etileno gaseoso, puro y seco, cuyo caudal se mide mediante un orificio de cantos vivos estándar de 1,03" de diámetro. La presión del gas antes del orificio es de 50 kg/cm<sup>2</sup> y su temperatura 70°C. La pérdida de presión en el orificio equivale a una lectura manométrica de 25 cm de Hg.

Estímese el caudal de gas, expresado en kg/día.

**Problema nº 30**

Un lecho de cubos de un material refractario de 1/4" de arista, de tres metros de altura total, se utiliza como regenerador de calor. Se introducen en el lecho 4500 kg/(h.m<sup>2</sup> de sección transversal) de aire a 27°C y 700 kN/m<sup>2</sup> de presión absoluta que salen del mismo a 204°C.

Calcular la caída de presión a través del lecho, considerando un valor medio de la viscosidad del aire de 0,018 cP y que la porosidad del lecho es 0,44.

**Problema nº 31**

En una planta de ácido sulfúrico por el método de contacto, el catalizador del convertidor secundario está dispuesto en tres capas de 45 cm de espesor cada una y está constituido por pastillas cilíndricas de 9,5 mm de diámetro e igual longitud. La fracción de huecos del lecho es 0,35. El gas entra al convertidor a 675 K y lo abandona a 720 K. Las composiciones de entrada y salida del gas son:

% en vol	SO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Entrada	6,6	1,7	10,0	81,7
Salida	8,2	0,2	9,3	82,3

La velocidad másica del gas es  $0,68$  kg.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> y su viscosidad media 0,032 cP. Calcular la caída de presión en el convertidor.

**Problema nº 32**

En un lecho formado por esferas de 3 mm y de densidad 4200 kg/m<sup>3</sup>. Cuál será la velocidad de mínima fluidización cuando pasa un líquido de viscosidad 0,003 kg/ms y densidad 1100 kg/m<sup>3</sup>.

Datos y notas:  $\varepsilon_{mf} = 0,4$

**Problema nº 33**

Aceite de densidad 900 kg/m<sup>3</sup> y viscosidad 0,003 kg/ms, se pasa en sentido ascendente a través de un lecho catalítico formado por partículas cilíndricas de 3 cm de diámetro y 5 cm de longitud y

densidad 2600 kg/m<sup>3</sup>. ¿Entre que velocidades ocurrirá la fluidización?

#### Problema nº 34

Se desean filtrar 1650 l/h de una suspensión acuosa que contiene 250 g de sólido por litro de suspensión. Para ello se dispone de un filtro prensa con diez marcos, cada uno de ellos de 1 m<sup>2</sup> de superficie filtrante. Calcular la presión a que debe bombearse la suspensión para llevar a cabo la operación, suponiendo que la misma se mantiene constante durante toda la operación.

#### - Datos y notas:

La torta se comporta como incompresible, con una resistencia específica de  $2,5 \cdot 10^{12}$  m/kg y porosidad de 0,30. El medio filtrante ofrece una resistencia a la filtración equivalente a 2 mm de torta.

Densidad del sólido: 2500 kg/m<sup>3</sup>

Viscosidad de la disolución acuosa: 1,2 cP.

#### Problema nº 35

Se utiliza en el laboratorio un filtro de velas cuya superficie filtrante total es de 650 cm<sup>2</sup> para determinar las características filtrantes de una suspensión acuosa que contiene 0,0876 kg de sólido/kg de suspensión. En un ensayo a  $\Delta P = \text{cte} = 12000$  N/m<sup>2</sup> y al cabo de 3 minutos el volumen de filtrado obtenido es 33,8 dm<sup>3</sup>; transcurridos 8 minutos el volumen de filtrado es 57,05 dm<sup>3</sup>.

Para filtrar la misma suspensión a escala industrial se piensa utilizar un filtro prensa con 9 marcos. Cada uno de los marcos tiene la superficie de filtración cuadrada de 70 cm de lado y el espesor de los marcos es de 11 cm.

La forma de operar en el filtro industrial será la siguiente: Se inicia la filtración a un caudal constante de 0,016 m<sup>3</sup>/s, hasta que la diferencia de presión necesaria sea 15000 N/m<sup>2</sup>. Alcanzada esta diferencia de presión, se continua la filtración a  $\Delta P = \text{cte}$  hasta que las superficies libres de las tortas formadas en el interior del marco quedan separadas 1 cm, momento en el que se detiene la filtración. Calcular:

- La resistencia específica de la torta.
- La duración de cada etapa de filtración en el filtro industrial.
- El volumen de filtrado obtenido en cada etapa de filtración del filtro industrial.
- El espesor de torta que ofrece la misma resistencia que el medio filtrante.

#### - Datos y notas:

La torta resultante es incompresible ( $\alpha = \text{cte}$ ) y se utiliza el mismo medio filtrante en ambos filtros.

Densidad del sólido: 3470 kg/m<sup>3</sup>

Densidad del agua: 999 kg/m<sup>3</sup>; Viscosidad del agua:  $1,12 \cdot 10^{-3}$  kg/m.s.

Densidad de la torta seca: 1922 kg/m<sup>3</sup>

Suponer que la relación  $V_e/A$  se mantiene en el filtro industrial.

#### Problema nº 36

Un filtro rotatorio de 3 m<sup>2</sup> de área trabaja con una presión interna de 30 kN/m<sup>2</sup> y con el 30% de su superficie sumergida en la suspensión. Calcular la velocidad de producción de filtrado y el espesor de la torta cuando gira a 0,5 r.p.m. si la torta es incompresible y el tejido filtrante tiene una resistencia igual a 1 mm de torta.

Se desea aumentar la velocidad de filtración aumentando la velocidad de giro del tambor. Si el espesor mínimo de torta que puede ser separado del tambor es 5 mm, ¿cuál es la velocidad de filtración que puede ser conseguida y qué velocidad de giro del tambor se requiere?

- Datos:  $\varepsilon = 0,4$ ;  $\alpha = 1,84 \cdot 10^9$  m/kg;  $\rho_p = 2000$  kg/m<sup>3</sup>;  $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>;  $\mu = 1$  cP  
Concentración de la suspensión: 20% en peso de sólidos.

#### Problema nº 37

Antes de la clarificación de la cerveza, ésta tiene un contenido en sólidos de 1,5 % en peso. Calcular la velocidad terminal de sedimentación de las partículas sólidas cuyo diámetro es de 0,05

mm, a) Suponiendo que las partículas no interaccionan entre si.  
b) Teniendo en cuenta la interacción entre las partículas.

- Datos y notas: Densidad de la cerveza: 1042 kg/m<sup>3</sup>  
Densidad de los sólidos: 1160 kg/m<sup>3</sup>  
Viscosidad de la cerveza: 1,4 cP.

#### Problema 38

Una partícula esférica de 0,5 mm de diámetro cae a través de un líquido con una velocidad límite de sedimentación de 0,60 cm.s<sup>-1</sup>. La densidad del líquido es 1100 kg.m<sup>-3</sup> y su viscosidad 5 cP.

- Calcular la densidad de la partícula.
- ¿Qué efecto tendría sobre la velocidad límite la sustitución de la partícula por otra de la misma densidad y diámetro, i) Mitad; ii) Doble.

- Datos:  $Re_x < 1$ ;  $f_D = 24/Re_x$   
 $1 < Re_x < 100$ ;  $f_D = 24/Re_x \cdot (1 + 0,15 Re_x^{0,687})$

#### Problema nº 39

Se desea clarificar cerveza que contiene 1,5% de sólidos mediante una centrifuga de discos de las siguientes características:

$$r_1 = 4,77 \text{ cm}; r_2 = 14,5 \text{ cm}; \alpha = 45^\circ \quad \text{Número de discos: 50}$$

Sabiendo que la densidad de la cerveza es 1042 kg/m<sup>3</sup> y su viscosidad  $1,4 \cdot 10^{-3}$  kg/m.s y que la densidad de los sólidos es 1160 kg/m<sup>3</sup>, calcular la velocidad de giro de la centrifuga si se desea operar con un caudal de 540 l/h y que separe partículas de diámetro superior a 0,68 micras.

#### Problema 40

En una empresa farmacéutica se dispone de un depósito cilíndrico de 9455 l de volumen total, que se quiere emplear como fermentador para la producción de levadura. Para ello es necesario dotarle de un sistema de agitación.

Como sistema de agitación se ha pensado instalar un agitador de turbina de 6 palas planas de 0,7 m de diámetro que ha de girar a 180 r.p.m.

- Si se instalaran 4 tabiques deflectores de 7 cm de anchura, calcular la potencia necesaria para la agitación.
- En el caso de no instalar tabiques deflectores, ¿cuál sería la velocidad de giro del agitador si la potencia del motor fuera la calculada en el apartado a)? ¿Cuál sería la máxima velocidad de agitación que podríamos tener sin que se formen vórtices?
- Pensando en una posible ampliación de la instalación se realizan experimentos con un fermentador de laboratorio de 52,5 cm de diámetro provisto de un agitador de turbina de 17,5 cm de diámetro y los correspondientes tabiques deflectores. La velocidad de giro de este agitador era de 7,56 r.p.s. ¿Qué criterios de extrapolación se cumplen para el cambio de escala si se opta por el sistema de agitación?

#### - Datos y notas:

Densidad del fluido: 985 kg/m<sup>3</sup>

Viscosidad del fluido: 128 cP.

Altura de líquido en el tanque: 2,5 m

Relación altura/diámetro del tanque = 1,3