

Indicaciones: Cada hoja entregada debe indicar **nombre**, **número de C.I.**, y **número de hoja**.

Complete los siguientes cuadros y entréguelos junto con sus respuestas.

Nombre		C.I.	
Número de lista		Carrera	

Preguntas	1	2	Total
Número de hojas por preguntas			

Deje su documento de identidad a la vista para el control de asistencia al inicio del parcial.

Cada problema se debe empezar a responder en una hoja pre-numerada con su número de lista.

Instructivo

En el parcial solo se evaluará lo que dejen por escrito en papel, y allí debe quedar registrado:

- 1-El razonamiento utilizado para resolver cada problema,*
- 2-Los supuestos y aproximaciones realizadas, y sus verificaciones si corresponde.*
- 3-La o las ecuaciones o sistemas de ecuaciones empleados, así como los valores de las variables y/o parámetros conocidos con sus unidades*
- 4-Los valores de las variables y/o parámetros calculados con sus unidades.*
- 5-La interpretación de los resultados intermedios y finales, y sus conclusiones.*

Ingrese al cuestionario seleccionando INICIAR SAFE EXAME BROWSER

Recuerden guardar su planilla de cálculo frecuentemente.

CONSULTAS AL DOCENTE: Puede realizar hasta dos preguntas por escrito sobre la propuesta.

Escriba la **pregunta** y entregue la hoja al/la docente.

Pregunta 1:

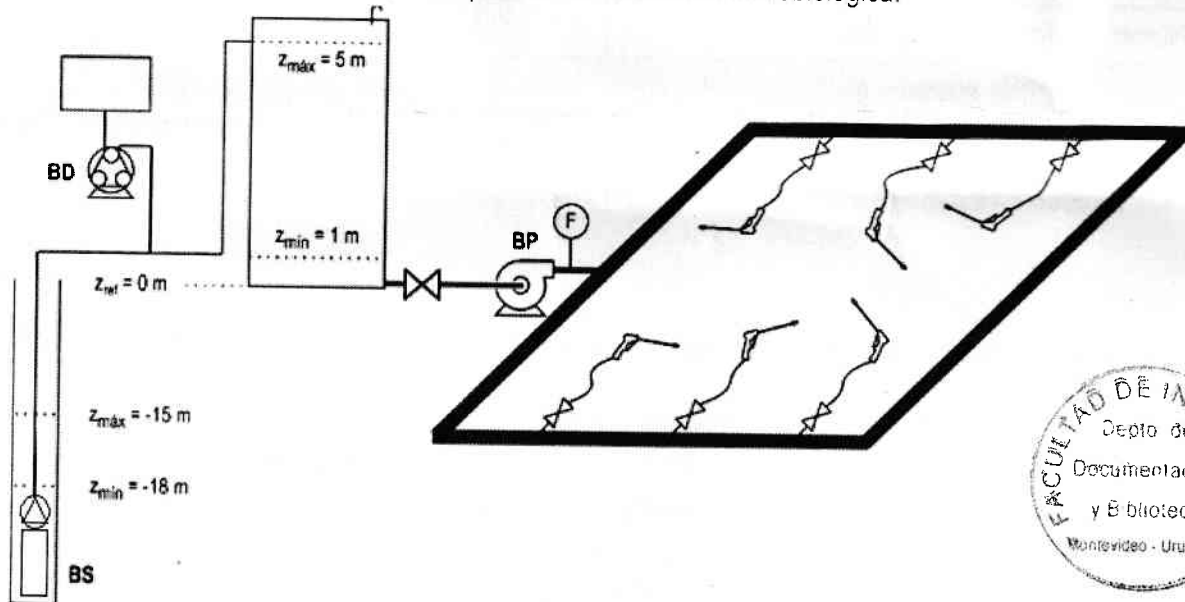


Pregunta 2:

1/9

PROBLEMA 1

Para el lavado de pisos y paredes en una planta industrial se utiliza agua subterránea proveniente de una perforación, en la cual se ubica una bomba sumergible BS. El agua se almacena en un tanque apoyado al nivel del suelo. Un sensor de nivel enciende la bomba sumergible BS siempre que el nivel en el tanque está por debajo de su nivel máximo ($z = 5$ m), nivel en el cual se encuentra la entrada al tanque. Cuando se enciende la bomba sumergible BS, se enciende también la bomba dosificadora BD, que dosifica hipoclorito desde un pequeño depósito, para eliminar posible contaminación microbiológica.



La bomba sumergible BS tiene la siguiente curva:

Q (m ³ /h)	0	1	2	3	4	5
H (m)	39	36	32	28	22	16

La bomba dosificadora de hipoclorito es de diafragma y su caudal se puede fijar entre 0 y 5 L/h.

- a) Determine el caudal mínimo que permita asegurar una dosis suficiente de hipoclorito en cualquier situación, sabiendo que debe ser al menos el 0,1% del caudal de agua subterránea.

Dentro de la planta, para la limpieza de pisos y paredes, se utilizan mangueras "con agua a presión". Se dispone de 6 mangueras con pistolas, como la que se muestra en la figura, que reducen el área de flujo, haciendo que el agua salga a alta velocidad para facilitar la limpieza.



Cada manguera está conectada a una válvula de apertura y cierre, que está conectada a su vez a un anillo de distribución que recorre todo el perímetro de la planta industrial. El anillo de distribución está constituido por una tubería de gran diámetro, por lo cual la presión en él es prácticamente constante.

El anillo de distribución se presuriza mediante una bomba BP que toma agua del tanque. Cuando se abre una manguera, un flujostato (F: sensor que detecta el movimiento del fluido en la tubería), envía una señal por la cual automáticamente se enciende la bomba presurizadora BP.

Un sensor de nivel apaga la bomba BP si el nivel de agua en el tanque baja hasta $z = 1$ m, para evitar que opere en seco. En el diagrama se esquematiza el sistema de abastecimiento, almacenamiento y distribución hasta las válvulas de apertura y cierre donde se conectan las mangueras.

- b) ¿Qué solución propondría para que un operario que está a nivel del piso pueda conocer el nivel de agua en el tanque? Detalle la solución de manera concisa, tanto como sea necesario para implementarla.
- c) Elija una bomba de la serie RFI cuyas curvas se presentan en la siguiente tabla, para usar como bomba presurizadora BP, de modo que se asegure una velocidad de al menos 30 m/s en la salida de cada pistola.

Datos de servicio				2900 RPM							
Tipo	Motor P2		l/min m³/h	0	200	250	300	350	400	450	500
	KW	HP		0	12	15	18	21	24	27	30
RFI 32-16/2	1,5	2	m.c.a.	22,5	20,2	18,5	16	13			
RFI 32-16/3	2,2	3		27,2	25,2	23,8	21,4	18,5	14,8		
RFI 32-16/4	3	4		36,5	34,2	33,3	31,5	28,5	25,5	20,5	
RFI 32-20/5,5	4	5,5		47,5	45	43	40	36	31		
RFI 32-20/7,5	5,5	7,5		55	53,5	52	50	47	43		
RFI 32-20/10	7,5	10		68	66	64	62,5	59	56	52	
RFI 32-26/15	11	15		80	79,5	78	77	74	72	67	65
RFI 32-26/20	15	20		97	96	95	93	91	88	85	79
RFI 40-16/4	3	4		30	29,8	29,6	29,2	28,5	27,2	26,3	24,4
RFI 40-16/5,5	4	5,5		35,4	35,5	35,3	35	34,2	33,2	32	30,6

Debido a que solo estaba disponible en plaza la bomba modelo RFI 32-20/10, se instaló esta como bomba presurizadora. Su curva se ajusta a la siguiente expresión analítica:

$$H(m) = 68,0 + 0,183 Q(m^3/h) - 0,029 [Q(m^3/h)]^2$$

- d) Si se utilizara un variador de frecuencia que permitiera cambiar la velocidad de giro de la bomba presurizadora instalada en función del número de pistolas en uso. ¿Cuál debería ser la frecuencia eléctrica mínima cuando solo se usa una pistola, para que la velocidad máxima en ella sea 30 m/s?

3/9

DATOS ADICIONALES:

Entre la bomba BS y el tanque: hay 32 m de tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1" (diámetro interno 25 mm) y rugosidad 2×10^{-5} m, que tiene como accesorios 3 codos estándar de 90° y una T de flujo directo, por donde ingresa el hipoclorito con un caudal despreciable en relación con el caudal de agua. Los accesorios también son de PEAD.

Entre el tanque y la entrada al anillo de distribución: Tubería de acero comercial de 2" de diámetro nominal Sch40 (rugosidad: 5×10^{-5} m) y longitud equivalente 5 m.

Anillo perimetral: Se ubica en $z = 0$ m, y las variaciones de presión en él son despreciables (tubería de gran diámetro).

Válvulas de apertura y cierre: $K=0.1$ Diámetro 25 mm

Mangueras: son de PEAD (rugosidad 2×10^{-5} m), tienen 25 mm de diámetro interno y una longitud equivalente de 15 m cada una.

Pistolas: Tienen una constante de pérdida de carga $K=4$ con el gatillo apretado a fondo y referida a la sección de la manguera. La sección de salida de las pistolas es de 5,9 mm. Puede asumir que se usan a nivel $z = 0$ m

Puede asumir que no hay riesgo de cavitación.

Propiedades del agua: Densidad 1000 kg/m^3 , Viscosidad $1 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$



4/9

PROBLEMA 2:

En una planta de alimentos se elaboran bebidas carbonatadas entre otros productos. En una de las etapas del proceso se lleva a cabo la carbonatación de las bebidas. Para esto, el flujo de bebida pasa a través de un Venturi, a cuya garganta se conecta una tubería por la que llega CO_2 desde un tanque, donde se encuentra licuado, en equilibrio con su vapor y a temperatura ambiente.

El caudal de bebida se controla mediante un medidor de placa de orificio ubicado antes del Venturi y equipado con un manómetro que mide hasta 1 bar de presión diferencial y cuenta con salida analógica. En condiciones normales este caudal no supera los $20 \text{ m}^3/\text{h}$, pero anticipándose a las festividades en diciembre, se planea aumentar la producción diaria de refrescos a $35 \text{ m}^3/\text{h}$.

- a) Determine si el manómetro diferencial acoplado al orificio es adecuado para hacer frente a la producción proyectada.

La presión en la entrada al Venturi se regula entre 3,5 y 4,0 barg para lograr una adecuada solubilización del CO_2 en la bebida.

- b) Para el caudal proyectado, indique en que rango de presión se encontrará la presión en la garganta del Venturi.

Entre el tanque de CO_2 y el Venturi hay una válvula reductora de presión (VRP) y una válvula globo (VG). La válvula globo se regula automáticamente mediante un sistema de control que tiene como elemento primario de control un sensor de concentración de CO_2 ubicado en la conducción de bebida, luego del Venturi.

- c) Determine la presión mínima en la cual se puede regular la VRP para asegurar la dosificación de CO_2 en cualquier condición de operación prevista

DATOS ADICIONALES:

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$$

$$T_{\text{amb}} = 15^\circ\text{C} \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

Tanque de CO_2 :

El CO_2 se almacena como líquido que se encuentra en equilibrio con su fase gaseosa.

Puede asumir que la temperatura en el tanque es igual a la del ambiente en todo momento.

La presión dentro del tanque sigue la siguiente expresión:

$$P_{eq} (\text{bar a}) = 1,36 T(^{\circ}\text{C}) + 30,3$$

Conducción de CO_2 entre tanque y Venturi:

Hasta la entrada de la VRP: $L = 2 \text{ m}$

Entre la salida de la VRP y la sección de entrada al Venturi: $L_{eq} \text{ mínima} = 115 \text{ m}$

Tuberías de acero comercial Sch 80 de $\frac{3}{4}"$; rugosidad: $5 \times 10^{-5} \text{ m}$.



5/9

Conducción para bebida y Venturi:

Tubería de acero comercial Sch 40 de 2 ½"; Rugosidad $5 \times 10^{-5} \text{m}$

Venturi con $\beta_v = 0,4$

Caída de presión permanente en el Venturi igual a 20% de la caída de presión máxima.

Orificio:

Con tomas en esquina y bordes a escuadra. $\beta_o = 0,6$

Propiedades físicas de las bebidas:

Densidad = 1005 kg/m^3

Viscosidad = $2,15 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

Asuma las propiedades físicas de la bebida constantes durante todo el proceso (no afectadas por la carbonatación).

Puede asumir que la mezcla tiene concentración despreciable de CO_2 previo a la carbonatación.

Propiedades del CO_2 :

Viscosidad: $1,5 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Peso molecular = 44 g/mol ;

$\text{cp/cv} = 1,3$

Nivel de carbonatación objetivo: $6,9 \text{ gCO}_2/\text{L}$.



6/9

1) Q_{min} de hipoclorito debe ser suficiente para Q_{max} de agua

$$Q_{max} \text{ de agua} \Rightarrow \Delta z_{min} \Rightarrow z_{perf} = z_{max} = -15m$$

Q_{max} es el P.O. con $\Delta z = 20m$

BEM entre sup. perforacion y entrada a tanque

$$\frac{u^2}{2g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \left(f_s \frac{L}{D} + \sum k\right) \frac{Q^2}{2g A^2} = H$$

$\Rightarrow$ Con datos de BS obligeo curva $H = 39,0 - 2,55Q - 0,411Q^2$

$$L = 32m \quad A = 4,81 \times 10^{-4} \quad \left. \begin{array}{l} Re = 4,76 \times 10^4 \rightarrow \alpha = 1 \\ f_{Darcy} = 26,2m \end{array} \right\}$$

$$D = 0,025m \quad e/D = 8 \times 10^{-4}$$

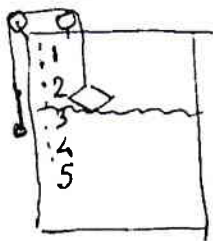
$$\sum k = (20 + 30 \times 3) 0,0185 = 2,04$$

$$Q_{max} = 3,37 m^3/h \Rightarrow Q_{min} = 3,37 L/hypoclorito$$

(b) Habra multiples soluciones: Entre ellas

I Manómetro en la pared del tanque. Si estuviera en $z_{min} = 1m$ podría tener escala 0 - 500mmbar (por ej).

II Indicador de flotador con escala invertida en la pared externa del tanque, flotador interno y peso sobre la escala



(c) $u_p \geq 30m/s$. Determino H_{min} requerido para obtener esa velocidad en las 6 pistolas en simultáneo.

$$u_2 = 30m/s = u_p \quad u_1 = u_2 \quad A_2/A_1 \quad A_1 = 4,81 \times 10^{-4} m^2 \quad A_2 = 2,73 \times 10^{-5} m^2$$

$$u_1 = 1,67 m/s \quad Q_i = u_1 A_i = 2,95 \frac{m^3}{h}$$

BEM entre orificio y punta de mangues para determinar $P_{orificio}$

$$\frac{u_p^2}{2g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta h_f = 0 \Rightarrow \frac{P_{orificio}}{\rho g} = \left(f_s \frac{L}{D} + \sum k\right) \frac{u_p^2}{2g} + \frac{u_p^2}{2g}$$

$$L = 15m \quad D = 0,025m \quad e = 2 \times 10^{-5}m \quad A = 4,81 \times 10^{-4}m^2 \quad Re = 4,2 \times 10^4 \quad f_s = 0,024$$

$$\Rightarrow \text{Solve } P_{orificio} = 4,75 \times 10^5 Pa \text{ abs.}$$

Sigue 1) c) Determino H requerido para presurizar el anillo siendo 30 m/s la U_p en los 6 pistones

$$Q = U_p A_p \cdot 6 = 4,92 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \Leftrightarrow 17,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

BEM entre sup. del Tanque con $z_{\min}$ (más desfavorable) y el anillo siendo $P_{\text{anillo}} = 4,75 \times 10^5 \text{ Pa}$

$$0 \approx \frac{\Delta u^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\rho g} + \Delta z + f_2 \frac{L_c}{D} \frac{u^2}{2g} = H$$

$$L_c = 5 \text{ m} \quad D = 0,0525 \text{ m} \quad A = 2,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \Rightarrow u = 2,27 \text{ m/s} \quad Re = 12 \times 10^5$$

$$e = 5 \times 10^{-5} \text{ m} \Rightarrow f_2 = 0,0218 \xrightarrow{\text{BEM}} H_{\text{req}} = 48,2 \text{ m} \text{ por } Q = 17,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Análogamente, por $z_{\max}$ (más favorable) $H_{\text{req}} = 44,2 \text{ m}$ por $Q = 17,7 \text{ m}^3/\text{h}$

RFI 32-20/7,5 da 50 m por $18 \text{ m}^3/\text{h}$
 43 m por $24 \text{ m}^3/\text{h}$ } $\Rightarrow$ Opero dentro de su rango de Q dando

$\Rightarrow$ Elijo RFI 32-20/7,5

$$u \geq 30 \text{ m/s}$$

d) Una manguera con $U_p = 30 \text{ m/s} \Rightarrow Q = 2,95 \text{ m}^3/\text{h}$

$f_{\min} \Rightarrow H_{\text{req. mínima}} \Rightarrow z_{\max}$ en tanque BEM sup. Tanque $\rightarrow$ anillo ^{entrada}

$$H_{\text{req.}} = \frac{\Delta u^2}{2g} + \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \left(f_2 \frac{L_c}{D} \right) \frac{u^2}{2g} = \frac{u^2}{2g} - 5 + 4,75 \times 10^5 + f_2 \frac{L_c}{D} \frac{u^2}{2g}$$

$$L_c = 5 \text{ m} \quad D = 0,0525 \text{ m} \quad A = 2,16 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad u = 0,378 \text{ m/s} \Rightarrow Re = 2 \times 10^5$$

$$e = 5 \times 10^{-5} \text{ m} \Rightarrow f_2 = 0,0281 \Rightarrow H_{\text{req}} = 43,4 \text{ m}$$

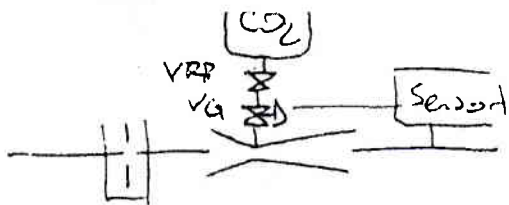
$$\Delta 50 \text{ Hz} \quad H_1 = 68 + 0,183 Q_1 - 0,028 Q_1^2$$

$$\Rightarrow H_2 = 68 \frac{f_2}{50} + 0,0183 Q_2 \frac{f_2}{50} - 0,028 Q_2^2$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_2 = 2,95 \text{ m}^3/\text{h} \\ H_2 = 43,4 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow f_2 = 40 \text{ Hz}$$

8/9





$$T_{amb} = 15 \text{ a } 25^\circ\text{C}$$

$$P_{atm} = 1 \text{ bar}$$

$$(a) W = C_D \gamma A_2 \sqrt{\frac{-2 \rho \Delta P}{(1 - \beta^4)}}$$

$$\rho = 1005 \text{ kg/m}^3 \quad \mu = 2,15 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$\gamma = 0 (\text{incompresible}) \quad A_2 = 1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$W = Q \cdot \rho = 9,77 \text{ kg/s}$$

$$C_D \text{ para orificio / Torno en espuma: } C_D = f(f(\beta), Re, \beta, F_1, F_2)$$

$$F_1 = F_2 = 0 \quad \beta = 0,6 \quad Re = 9,23 \times 10^4 \quad f(\beta) = 0,603 \Rightarrow C_D = 0,608$$

$$\Rightarrow \Delta P = 9,04 \times 10^4 \text{ Pa} < 1 \text{ bar} \Rightarrow \text{es adecuado el rango}$$

$$(b) P_{min} = 3,5 \times 10^5 \text{ Pa mm} \quad P_{máx} = 4,0 \times 10^5 \text{ Pa mm}$$

$$W = C_D \gamma A_2 \sqrt{\frac{-2 \rho \Delta P}{(1 - \beta^4)}} \quad \rho = 1005 \text{ kg/m}^3 \quad \mu = 2,15 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$A_2 = 4,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \beta = 0,4$$

$$C_D = 0,9853 - 0,196 \beta^{1,5} \Rightarrow C_D = 0,983$$

$$\Rightarrow \Delta P = -1,96 \times 10^5 \text{ Pa} \Rightarrow P_{2 \text{ min}} = 2,54 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{atm} = 1 \times 10^5 \text{ Pa} \quad P_{2 \text{ máx}} = 3,04 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$(c) \text{ Concentración } CO_2 = 6,88 \text{ g/L} \Rightarrow W_{CO_2} = 6,71 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$$

$$Q_{bchida} = 35000 \text{ L/h}$$

$$D = 0,742" < 1,38 \times 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow A = 2,79 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$T_{rapue} = T_{amb} \text{ y el gas se enfría al calentarse} \Rightarrow T_{sede \text{ VAP}} < T_{amb}$$

$$Por \Delta P_{fijo} > T_1 \text{ para menor flujo} \Rightarrow \text{Es seguro asumir } T_1 = T_{amb} = 28^\circ\text{C}$$

$$W_{isot} < W_{real} < W_{ad} \Rightarrow \text{asumo } W \text{ isotérmico por asegurar}$$

$$\text{flujo suficiente con VG totalmente abierta de modo de poder}$$

$$\text{ajustarlo. Asumo } P_2 \text{ máx por ser la máx aducida} \Rightarrow P_2 = 3,04 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{Flujo isotérmico en tubería } \left(\frac{W}{A}\right)^2 \ln \frac{P_1}{P_2} + \frac{PM(P_2^2 - P_1^2)}{2RT_1} + \left(\frac{W}{A}\right)^2 \frac{f L_c}{2D} = C$$

$$L_c = 115 \text{ m}$$

$$D = 0,0128 \text{ m}$$

$$A = 2,79 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$e = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\mu = 1,5 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$PM = 4,4 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$$

$$T_1 = 28^\circ\text{C}$$

$$Re = W D = 30 \times 10^5 \Rightarrow f = 0,026$$

9/9

$$\Rightarrow P_1 = P_{VAP} = 7,86 \text{ bar}$$

$$(6,86 \text{ bar min})$$