Ejercitación 2do cuatrimestre - 2022

1) Dadas las siguientes ecuaciones no lineales, encontrar las raíces utilizando el método y la precisión sugerida.

$f(x) = x^3 - 2x^2 - 5$ [N-R][e<10-4] en el intervalo [1,4]

$f(x) = x - cos\,(x)$ [N-R][e<10-4] en el intervalo [0,π/2]

$f(x) = e^x - seno(x)$ [Bisección][e<10-4] en el intervalo [-4,0]

$f(x) = seno(x)\sqrt{x} - x^3 + 2$ [Bisección][e<10-4] en el intervalo [1,2]

---

2) La siguiente expresión corresponde a la presión de vapor del agua, en función de la temperatura. T [ºK] y Pv [bar]

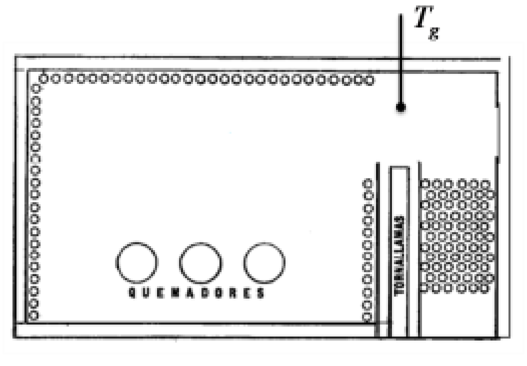
$$ln(100 \times P_v) = 65.9278 - \frac{7227.53}{\mathrm{T}} - 7.17695 \times \ln\mathrm{T} + 4.0313 \times 10^{-6} \times \mathrm{T}^2$$

a) Para una presión de 5 bar, encuentre al menos dos funciones de aproximación de la forma F(x)= x para la expresión de arriba. Grafique (una por ventana) la función de aproximación obtenida y la función identidad (y=x).
b) En base al análisis de las gráficas obtenidas seleccione una de las funciones, un valor de arranque y aplique el método de aproximaciones sucesivas para obtener la temperatura de ebullición del agua a esa presión. Fundamente su elección.
c) Aplique el método de Wegstein a la función elegida. Compare el número de iteraciones necesarias para satisfacer una misma tolerancia en ambos métodos.

---

3) Para representar el comportamiento de un horno como el de la figura, se utiliza la ecuación de Lovo y Evans que aparece a continuación.

$$\frac{Q_R}{\alpha A_{cp}\mathcal{F}} = 0.173\left(\left(\frac{T_g + 459.67}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s + 459.67}{100}\right)^4\right) + 7\left(T_g - T_s\right)$$



El sensor de temperatura ubicado a la salida de la zona radiante indica Tg=1700 ºF y según el balance de energía correspondiente el calor intercambiado en esta sección es de QR=36.400.000 BTU/h. Además, según la geometría del horno el plano frio equivalente es aAcp=1500 pie2 y el factor de visión F=0.635.

Encontrar la temperatura de pared de los tubos (Ts) para ese caso.

---

4) A partir de la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

a) Calcular el factor de fricción f para una rugosidad relativa de k/D=0.005 y numero de Reynolds de Re=20000.

Ayuda: Como punto inicial podemos tomar el valor que nos brinda la ecuación de Barr:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}}\right)$$

b) Suponga que debe reducirse el factor de fricción al menos un 5%. ¿Qué medida tomaría? Calcule el factor de fricción para ese caso.

---

5) La ecuación de Peng-Robinson (1) suele expresarse como un polinomio de grado 3 en función del factor de compresibilidad z (2).

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha(T_r)}{\left(V^2 + 2bV - b^2\right)} \tag{1}$$

Dónde: $a = \dfrac{0.45724R^2T_c^{\,2}}{P_c}$; $b = \dfrac{0.07780RT_c}{P_c}$; $\alpha(T) = \left[1 + \left(0.37464 + 1.54226\omega - 0.2699\omega^2\right)\left(1 - \sqrt{T/T_c}\right)\right]^2$

$$z^3 + (B'-1)z^2 + \left(\Theta' - 3B'^2 - 2B'\right)z + \left(B'^3 + B'^2 - \Theta' B'\right) = 0 \tag{2}$$

Dónde: $B' = \dfrac{bP}{RT}$; $\Theta' = \dfrac{a\alpha(T_r)P}{(RT)^2}$

Calcular el volumen molar del Metano a T=350 K y P=3 bar

Propiedades criticas del metano:
$T_c = 190.69900\ K;\ P_c = 46.40680\ bar;\ \omega = 0.0114984;\ R = 83.14472\dfrac{cm^3\ bar}{mol\ K}$

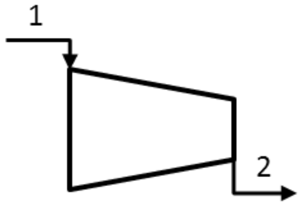
---

6) A partir del polinomio cubico de Peng-Robinson encontrar el volumen molar de ambas fases (líquido y vapor) para el propano saturado a 300 K. La presión de saturación corresponde a 9.98316 bar.

Propiedades criticas del propano:
$T_c = 369.89801\ K;\ P_c = 42.56660\ bar;\ \omega = 0.15240;\ R = 83.14472\dfrac{cm^3\ bar}{mol\ K}$

---

7) Una corriente de gas natural que se encuentra a 3.5 bar y 293 K es comprimida hasta una presión de 12 bar. El compresor tiene una eficiencia isentrópica de 0.77. Calcular la temperatura de descarga (T_2) considerando al fluido gas ideal.

$\eta_{is} = 0.77$ $T_1 = 293K$ $P_1 = 3.5\,Bar$ $P_2 = 15\,Bar$  $cp = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 \quad \frac{kJ}{kgK}$	Gas natural: a = 2.26174518033041 b = -3.93639831210434e-03 c = 1.62519091646456e-05 d = -1.43734124642383e-08 e = 4.175025185716e-12 R' = 0.49963161 kJ/(kg.K)

Ayuda:

La variación de entropía de un gas ideal que pasa del estado (T_1,P_1) al (T_2^*,P_2) se rige por la siguiente ecuación:

$$\Delta s = \int_{T_1}^{T_2^*} \frac{cp}{T} dt - R'\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Si consideramos un salto isentrópico, esta variación es igual a cero.

$$\int_{T_1}^{T_2^*} \frac{cp}{T} dt - R'\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0$$

La única variable es T2* (temperatura de descarga ideal o isentropica), que se obtiene resolviendo la siguiente ecuación:

$$a\ln\left(\frac{T_2^*}{T_1}\right) + b\left(T_2^* - T_1\right) + \frac{1}{2}c\left(T_2^{*2} - T_1^2\right) + \frac{1}{3}d\left(T_2^{*3} - T_1^3\right) + \frac{1}{4}e\left(T_2^{*4} - T_1^4\right) - R'\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0 \qquad (1)$$

El rendimiento isentrópico se define como el cociente entre la variación ideal la entalpia respecto de la variación real.

$$\eta_{is} = \frac{\Delta H_{is}}{\Delta H}$$

De manera directa podemos calcular la variación ideal en el compresor:

$$\Delta H_{is} = \int_{T_1}^{T_2^*} cpdt$$

$$\Delta H_{is} = a\left(T_2^* - T_1\right) + \frac{1}{2}b\left(T_2^{*2} - T_1^2\right) + \frac{1}{3}c\left(T_2^{*3} - T_1^3\right) + \frac{1}{4}d\left(T_2^{*4} - T_1^4\right) + \frac{1}{5}e\left(T_2^{*5} - T_1^5\right) \qquad (2)$$

Ya es posible conocer cuál es el cambio real de entalpia que sufre el gas

$$\Delta H = \frac{\Delta H_{is}}{\eta_{is}} \qquad (3)$$

Finalmente, para conocer la temperatura de descarga se debe resolver la siguiente ecuación:

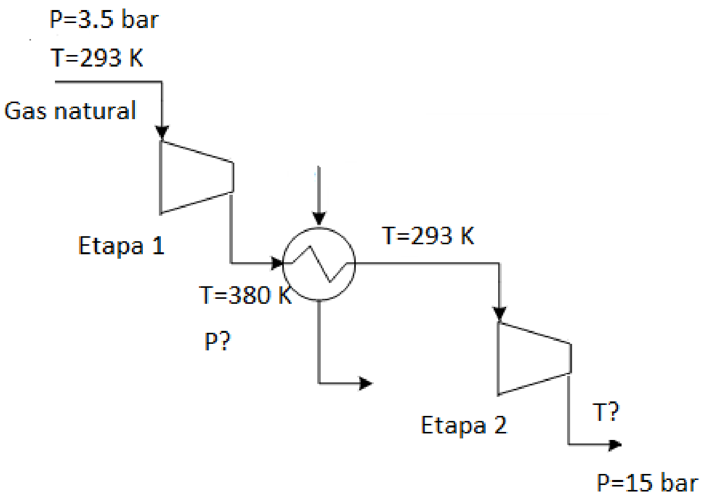
$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} cpdt$$

$$\Delta H = a\left(T_2 - T_1\right) + \frac{1}{2}b\left(T_2^{\,2} - T_1^2\right) + \frac{1}{3}c\left(T_2^{\,3} - T_1^3\right) + \frac{1}{4}d\left(T_2^{\,4} - T_1^4\right) + \frac{1}{5}e\left(T_2^{\,5} - T_1^5\right) \qquad (4)$$

Caso de estudio 1: se quiere conocer la temperatura de salida para una presión de salida conocida 1. Resolver la ecuación (1) para conocer la temperatura de salida ideal. 2. Calcular la variación de entalpía del proceso real e ideal utilizando las ecuaciones (2) y (3). 3. Resolver la ecuación (4) para conocer la temperatura de salida real.
Caso de estudio 2: se quiere conocer la presión de salida para una temperatura de salida conocida 1. Calcular la variación de entalpía del proceso real e ideal utilizando las ecuaciones (4) y (3). 2. Resolver la ecuación (2) para conocer la temperatura de salida ideal. 3. Resolver la ecuación (1) para conocer la presión de salida.

Suponga que debido al tipo de refrigerante usado para enfriar el gas natural se requiere que la salida del gas en el compresor no supere los 380 K.

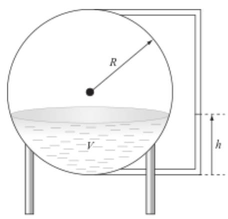
a) ¿Cuál es la temperatura de salida del gas si se usa una sola etapa?
b) ¿Cuál es la presión de salida si la temperatura de salida es 380 K?
c) En caso de que la presión obtenida en b) sea menor a los requeridos 15 bar, considere agregar una segunda etapa de compresión donde la presión de salida sea 15 bar. ¿Cuál es la temperatura de salida de ese segundo compresor? La presión se supone constante durante el enfriamiento.



---

8) El volumen de líquido que puede almacenar un tanque esférico está dado por la siguiente expresión:

$$V = \pi h^2 \frac{(3R-h)}{3}.$$



Complete la tabla siguiente con la altura de líquido para cada volumen si se dispone de un tanque esférico con un radio de 3 m. Para cada volumen, use la gráfica de la función $V = f(h)$ como guía para encontrar un valor inicial y luego corroborar sus resultados.

Volumen (m^3)	Nivel del tanque (m)
20	
40	
60	
80	
100	
110	
130	

---

9) A partir de la ecuación ampliada de Antoine que se muestra a continuación, calcular la temperatura de saturación del metanol a 202.65 kPa.

$$\ln P_{sat} = a + \frac{b}{T+c} + d\ln T + eT^f$$

a = 59.8373 d = -6.37873
b = -6282.89 e = 4.61746e-6
c = 0 f = 2

P_{sat} [kPa] T [K]

---

10) Un gas que contiene 20% de CO y 80% de N_2 se quema con un exceso de 100% de aire, estando ambos reactivos, aire y gas, inicialmente a 25°C.
La temperatura de salida se puede conocer aplicando la ecuación de Kirchhoff:

$$q = \sum \Delta H_P + \sum \Delta H_{25°C} + \sum \Delta H_R$$

ΔH_P: Energía necesaria para calentar o enfriar los productos desde 25°C hasta su temperatura de salida.

$\Delta H_{25°C}$: Calor de reacción a 25°C.

ΔH_R: Energía necesaria para calentar o enfriar los reactivos desde su temperatura de entrada hasta 25°C.

q : Calor agregado/retirado.

Tomando como base un mol de CO que reacciona, la expresión de ΔH_P en cal/gmol y T [K] es:

$$\Delta H_P = 59.504T + 0.01125\, T^2 - 1.484 \times 10^{-6}\, T^3 - 18703$$

El proceso se considera adiabático y el calor de reacción a 25 ºC corresponde a $\Delta H_{25°C}$ = -67636 cal/gmol.
y T_o=10000K.

a) Grafique la función para un intervalo de T donde puedan verse todas sus raíces reales.
b) Utilice un método numérico de resolución de ecuaciones no lineales y responda: ¿Cuál es la temperatura de salida de los gases? ¿Por qué?

Fuente: Ejemplo 20, página 370 del libro Principios de los Procesos Químicos de Hougen, Watson y Ragatz.

---

11) Se está estudiando el diseño de un reactor catalítico para la producción de Amoníaco. Éste será alimentado en proporciones estequimétricas de Nitrógeno e Hidrógeno y trabajará a 1.5 atmósferas. La constante de equilibrio Kp a las condiciones de trabajo es 0.8 atm^2.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \overset{Cat}{\longleftrightarrow} 2NH_{3(g)}$$

Una vez alcanzado el equilibrio se cumple $\Delta G = 0$.

Aplicando el principio de Le Chatelier, en condiciones de equilibrio:

$$Kp = \frac{p_{N2}p_{H2}^3}{p_{NH3}^2} = \frac{n_{N2}n_{H2}^3}{n_{NH3}^2}\left(\frac{p_{tot}}{n_{tot}}\right)^2$$

n_{N2}, n_{H2} y n_{NH3} son los moles presentes de cada especie una vez alcanzado el equilibrio.

P_{tot} y n_{tot} son la presión y los moles totales presentes en el equilibrio.

Encontrar la conversión alcanzada en el equilibrio.

Ayuda: Para la base de 1 mol de N_2, se obtiene el siguiente balance de materia:

Especie	Inicio	Reaccionan	Equilibrio
N_2	1	-r	1-r
H_2	3	-3r	3-3r
NH_3	0	2r	0+2r
Total	4	-2r	4-2r

Recuerde que la conversión alcanzada en un determinado punto final se obtiene de la siguiente expresión:

$$X_{N_2} = \frac{n_{N_2\ inicial} - n_{N_2\ final}}{n_{N_2\ inicial}}$$

---

12) Resolver el siguiente sistema de ecuaciones utilizando el método de Newton:

$$\begin{cases} x_1^2 + x_1 x_2 = 10 \\ x_2 + 3x_1 x_2^2 = 57 \end{cases}$$

13) Resolver el siguiente sistema de ecuaciones utilizando el método de Newton:

$$\begin{cases} x_2 + x_1{}^2 - x_1 - 0.75 = 0 \\ x_2 + 5x_2 x_1 - x_1{}^2 = 0 \end{cases}$$

14) La velocidad de un fluido en una tubería de sección constante puede calcularse a partir de un balance de energía mecánica:

$$\Delta Ec + \Delta Ep + \frac{\Delta P}{\rho} + Ev = -\tau$$

ΔEc : Variación de energía cinética.

ΔEp : Variación de energía potencial.

Δp : Caída de presión.

ρ : Densidad.

Ev : Pérdidas por fricción.

τ : Trabajo.

Las pérdidas por fricción se calculan con la ecuación de Fanning. Despreciando la variación de energía potencial y cinética, y considerando que el trabajo externo agregado es cero, se obtiene:

$$\Delta p = 2 f \rho v^2 \frac{L}{D}$$

D : Diámetro de la tubería.

L : Longitud de la tubería.

f : Factor de fricción.

v : Velocidad del líquido.

El factor de ficción puede calcularse a partir de la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

Re : Número de Reynolds.

De la definición de número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

μ : Viscosidad del líquido.

Calcule la velocidad del agua por la tubería para la caída de presión dada.
Datos:

ρ : 1 kg/L.

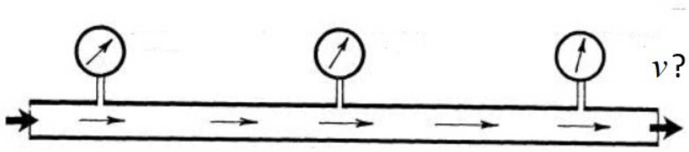
μ : 1 ctp

D : 1,18 pulg

Δp : 0,3 atm

L : 20 m

k/D: 0,005



---

15) El costo total anual de una cañería corresponde a la suma del costo de inversión (compra e instalación) y del costo operativo (bombeo).

Costo de operación: $C_{inv} = C_0 \dfrac{m\Delta p}{\rho\eta}$

Costo de inversión: $C_{inv} = C_1 D^{1.3} L$

C_0 y C_1 : Coeficientes de costo.

D : Diámetro de la tubería.

η : Eficiencia de la bomba.

Δp : Caída de presión.

ρ : Densidad.

m : Flujo másico.

L : Longitud de la tubería.

El balance de energía mecánica (sin caída de presión en los accesorios y sin cambios de elevación) corresponde a:

$$\Delta p = 2 f \rho v^2 \frac{L}{D}$$

f : Factor de fricción.

v : Velocidad del líquido.

Por la ecuación de continuidad el flujo másico está dado por la siguiente expresión:

$$m = \left(\frac{\rho \pi D^2}{4} \right) v$$

El factor de fricción está relacionado con el número de Reynolds del sistema:

$$f = 0.046 \, \mathrm{Re}^{-0.2} = \frac{0.046 \mu^{0.2}}{D^{0.2} v^{0.2} \rho^{0.2}}$$

μ : Viscosidad del líquido.

Introduciendo las expresiones anteriores en los costos originales se llega a la función que representa al costo total del sistema:

$$C = C_1 D^{1.3} L + 0.142 \frac{C_0}{\eta} m^{2.8} \mu^{0.2} \rho^{-2} D^{-4.8} L$$

Finalmente, dividiendo por la longitud de la tubería, se obtiene el costo total de tubería por unidad de longitud:

$$c = C_1 D^{1.3} + 0.142 \frac{C_0}{\eta} m^{2.8} \mu^{0.2} \rho^{-2} D^{-4.8}$$

De esta manera el diámetro óptimo de la instalación corresponde al diámetro (D) que minimiza la expresión anterior.

<u>Caso de estudio 1</u>

m : 50 lb/seg.

ρ : 60 lb/pie^3.

μ : 6.72x10-4 lb/(pie.seg)

η : 0.6 (60%)

C_0 : 0.018456

C_1 : 5.7

c : Costo total por unidad de longitud \$/(año.pie)

a) Graficar el costo de inversión, el costo de operación y el costo total por unidad de longitud para el siguiente problema:

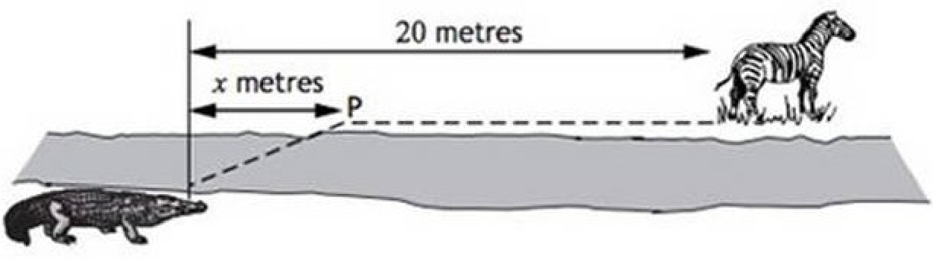
b) Encuentre el diámetro óptimo y el costo mínimo correspondiente.

c) Elija dos de los parámetros dados en el problema y estudie cuánto varía en porcentaje el costo mínimo con un aumento del 10% en cada parámetro. Tener en cuenta que para estudiar el impacto de la variación de uno de los parámetros los demás deben tomar sus valores originales (se varía uno a la vez).

	Parámetro 1	**Parámetro 2**
Valor original parámetro		
Nuevo valor del parámetro		
Variación parámetro	10%	10%
Costo total óptimo original		
Nuevo costo total óptimo		
Variación costo total óptimo		

---

16) Un cocodrilo acecha a su presa situada en la otra orilla de un río. Los cocodrilos viajan a diferente velocidad en el agua que en tierra. El tiempo que tarda el cocodrilo en llegar a su presa puede reducirse si nada x metros corriente arriba hasta un punto P en la otra orilla como muestra el diagrama.



El tiempo que tarda (t) se mide en décimas de segundo y está dado por la fórmula:

$t(x) = 5\sqrt{36 + x^2} + 4(20 - x)$

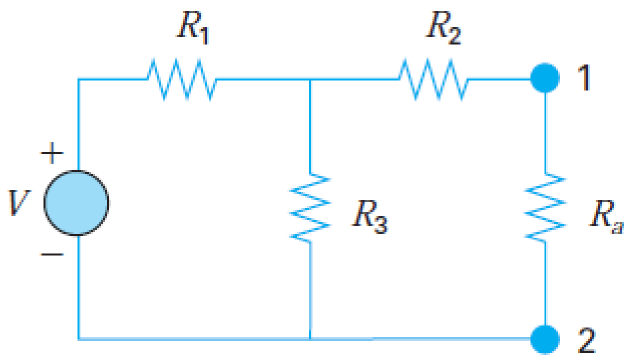
a) Calcular el tiempo transcurrido si el cocodrilo no viaja por tierra.
b) Calcular el tiempo transcurrido si el cocodrilo nada la distancia más corta posible.
c) Entre esos dos extremos, cuál es el valor de x que minimiza el tiempo transcurrido. Hallar ese valor para determinar cuál es el mínimo tiempo posible.

Fuente: Scottish Qualifications Authority (SQA) Higher Maths exam 2015: Crocodile and zebra question 'proved to be challenging'

---

17) El circuito de la figura contiene tres resistencias fijas (R_1, R_2 y R_3) y una variable (R_a).

$V = 80$ V; $R_1 = 8\ \Omega$; $R_2 = 12\ \Omega$; $R_3 = 10\ \Omega$



Encontrar el valor de R_a que maximiza la potencia disipada entre los terminales 1 y 2. Elegir alguno de los métodos de optimización vistos en clase para su resolución.

Ayuda: Utilizando las leyes de Kirchhoff podemos llegar a una expresión que relaciona la potencia con la resistencia R_a.

---

18) Encontrar un valor mínimo de las siguiente funciones en el intervalo propuesto:

$$f(x) = e^x - 1.5x^2 \ \ / \ x \in [1,2]$$

$$f(x) = x^3 - 3x \ / \ x \in [-3,3]$$

$$f(x) = 2x^2(x-2)(x+2) \ / \ x \in [-5,5]$$

$$f(x) = 0.1x^6 - 0.29x^5 + 2.31x^4 - 8.33x^3 + 12.89x^2 - 6.8x + 1 \ / \ x \in [-1,2]$$

---

19) El costo total anual operativo de un motor en un determinado proceso es función de su tamaño. Encontrar el tamaño del motor x (Hp) que minimiza el costo total operativo C [$/año].

$$C = 500 + 0.9x + \frac{0.03}{x}150000$$

---

20) El tiempo de filtrado según la ecuación de Cook corresponde a:

$$t_f = \beta \frac{\Delta P_c A^2}{\mu M^2 c} x_c \exp(-a x_c + b)$$

Dónde:

t_f : tiempo de filtrado, *min*

ΔP_c: caída de presión a través del filtro, *psig* (20)

A: Área de filtrado, ft^2 (250)

μ : viscosidad del fluido filtrado, *ctp* (20)

M: flujo másico de filtrante, lb_m/min (75)

c : concentración de sólidos en la alimentación al filtro. lb_m/lb_m *filtrante* (0.01)

x_c : fracción másica de sólidos en la torta de filtrado seca

a : constante del filtro (3.643)

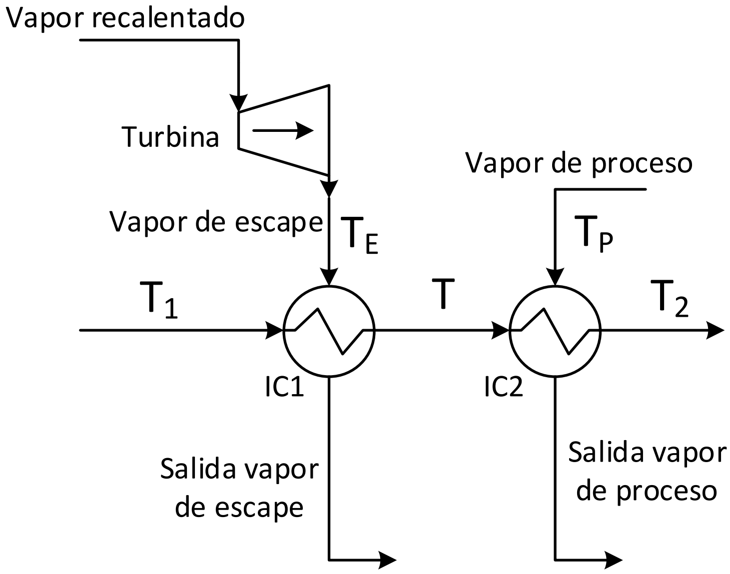
h : constante del filtro (2.680)

β : 3.2x10^{-8} $(lb_m/ft)^2$

Obtener el máximo tiempo de filtrado en función de la fracción de sólidos en la torta (x_c). Los valores de las demás variables se encuentran entre paréntesis.

---

21) Para calentar un líquido de 150 a 200 °F se dispone de vapor de escape a 5 lb/plg^{2}g (228°F) y vapor de proceso a 85 lb/plg^{2}g (328°F). El costo del vapor de escape es de 5 centavos por cada 1000 lb, y el del vapor de proceso de 30 centavos por cada 1000 lb. De la experiencia se puede esperar un U de 50 BTU/h pie^2°F. El costo fijo es de \$8 por pie^2, las horas anuales de trabajo son 8000 h y el calor latente es 960,1 BTU/lb para el vapor de escape y 888,8 BTU/lb para el de proceso.



Utilizando la siguiente expresión del costo total anual (C_T [\$]) calcule la temperatura de la corriente intermedia (T) que lo minimiza.

$$C_T = wc\left[(T - T_1)\theta C_E + \frac{1}{U} ln\frac{T_E - T_1}{T_E - T} C_F + (T_2 - T)\theta C_P + \frac{1}{U} ln\frac{T_P - T}{T_P - T_2} C_F\right]$$

$$C_E = \frac{Costo\ por\ libra\ \left(\frac{\$}{lb}\right)}{\lambda_E\ \left(\frac{btu}{lb}\right)} \qquad\qquad C_P = \frac{Costo\ por\ libra\ \left(\frac{\$}{lb}\right)}{\lambda_P\ \left(\frac{btu}{lb}\right)}$$

w: masa del líquido a calentar (lb/h)
c: calor específico del líquido a calentar (BTU/(lbºF))
T_1: temperatura de entrada del líquido a calentar (150 ºF)
T_2: temperatura de salida del líquido a calentar (200 ºF)
U: coeficiente total de transferencia de calor (50 BTU/(h pie^{2}ºF))
T: temperatura intermedia del líquido (ºF)
θ: horas anuales de trabajo (8000 h)
T_E: temperatura del vapor de escape (228 ºF)
T_P: temperatura del vapor de proceso (328 ºF)
C_P: costo del vapor de proceso (\$/BTU)
C_E: costo del vapor de escape (\$/BTU)
λ_E: calor latente del vapor de escape (960,1 BTU/lb)
λ_P: calor latente del vapor de proceso (888,8 BTU/lb)
C_F: costo fijo (8 \$/pie^2)
¿Qué pasa si el costo fijo es 2 \$/pie^2?

---

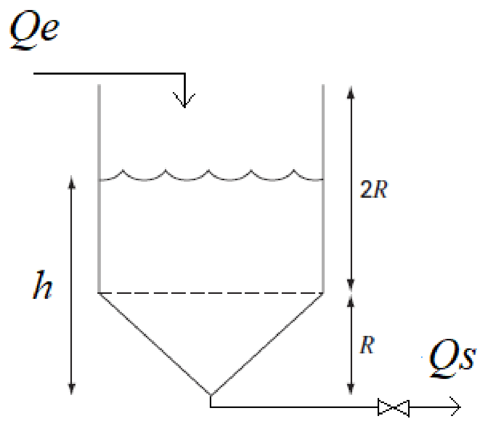
22) El siguiente sistema corresponde al problema 7 pero reformulado como un sistema de ecuaciones no lineales. Identificar las incógnitas y resolver utilizando el método de Newton.

$$\begin{cases} a\ln\left(\dfrac{T_2^*}{T_1}\right)+b\left(T_2^*-T_1\right)+\dfrac{1}{2}c\left(T_2^{*2}-T_1^2\right)+\dfrac{1}{3}d\left(T_2^{*3}-T_1^3\right)+\dfrac{1}{4}e\left(T_2^{*4}-T_1^4\right)-R'\ln\left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)=0 \\ a\left(T_2^*-T_1\right)+\dfrac{1}{2}b\left(T_2^{*2}-T_1^2\right)+\dfrac{1}{3}c\left(T_2^{*3}-T_1^3\right)+\dfrac{1}{4}d\left(T_2^{*4}-T_1^4\right)+\dfrac{1}{5}e\left(T_2^{*5}-T_1^5\right)-\eta_{is}\Delta H=0 \\ a\left(T_2-T_1\right)+\dfrac{1}{2}b\left(T_2^{\,2}-T_1^2\right)+\dfrac{1}{3}c\left(T_2^{\,3}-T_1^3\right)+\dfrac{1}{4}d\left(T_2^{\,4}-T_1^4\right)+\dfrac{1}{5}e\left(T_2^{\,5}-T_1^5\right)-\Delta H=0 \end{cases}$$

---

23) Para estudiar la dinámica de un sistema, debe realizarse un balance de materia en estado transitorio. Para el tanque de la figura se obtiene:

$$Qe\,\rho-Qs\,\rho=\rho\frac{dV}{dt}$$



ρ : Densidad del fluido.

Qe : Caudal de entrada.

Qs : Caudal de salida.

V : Volumen del fluido en el tanque.

Dividiendo ambos miembros por la densidad y considerando que

$$V = A\,h$$

h : Altura del líquido. A : Área del tanque.

Reemplazando se obtiene:

$$Qe-Qs=\frac{d(A\,h)}{dt}$$

El caudal de salida está dado por:

$$Qs=cv\,\sqrt{h\,g}$$

cv : Coeficiente de la válvula.

g : Constante de gravedad.

Grafique la evolución de la altura de líquido en un tanque cónico con el tiempo. Considere un tiempo final igual a 210 segundos y para el método numérico considere un Δt =1 segundo.

Datos:

Altura inicial del tanque: 4 m

Diámetro del tanque: 4 m

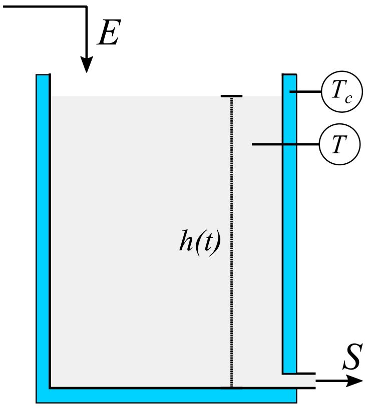
Coeficiente válvula: 0.0816 m^2

Caudal de entrada: 0.25 m^3/s

Ayuda: En un tanque de **sección no constante**, el área es función de la altura. Una vez conocida su funcionalidad, se reemplaza en la ecuación obteniendo la ecuación diferencial de interés.

---

24) Un tanque cilíndrico que cuenta con una camisa de calentamiento se comienza a alimentar con un caudal de fluido de 0.01 m^3/s. En el mismo instante se pone en funcionamiento su camisa calefactora. Encontrar cual es la temperatura de salida del fluido transcurrido 15 minutos.



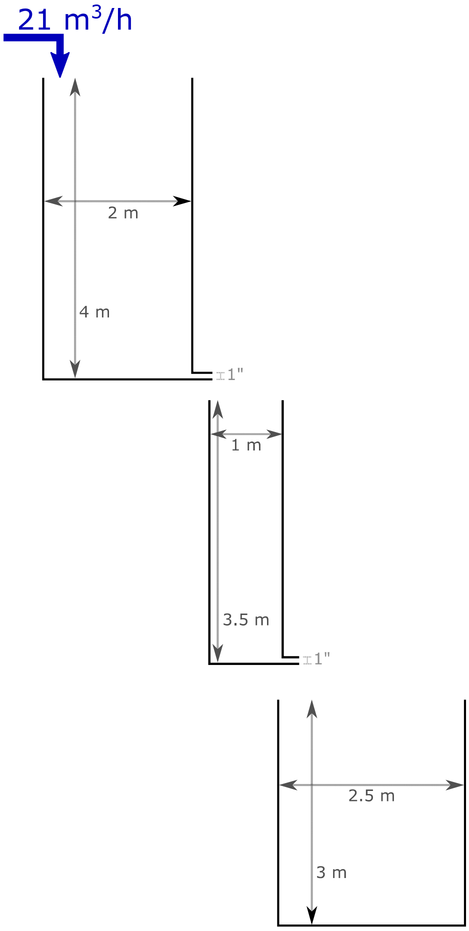
Datos:

Altura inicial del tanque: 0.1 m
Diámetro del tanque: 1 m
Diámetro de orificio de salida: 0.0508 m
Densidad del fluido 1000 kg/m^3
Temperatura inicial 283.15 K
Temperatura de alimentación 283.15 K
Temperatura de la camisa 373.15 K
Calor especifico del fluido 4.2 kJ/(kg K)
Coeficiente de intercambio de calor 1 $kW/(m^2K)$

---

25) En la siguiente figura se muestran tres tanques cilíndricos con sus respectivas alturas y diámetros. En un instante se comienza a alimentar el tanque superior con un caudal de 21 m3/h de agua. Los tanques superiores tienen un orificio de descarga de 1" que permite alimentar los tanques inferiores.

a) ¿Cuál de los tres tanques rebalsa primero?
b) ¿Cuál de los tres tanques rebalsa primero si el caudal de alimentación es ahora de 15 m3/h?



26) Se quiere conocer las concentraciones a lo largo del tiempo dentro de un reactor discontinuo en donde se presenta la siguiente reacción en serie:

$$A \xrightarrow{k1} R \xrightarrow{k2} S$$

La reacción deseada es la que de A produce R, su orden de reacción es 0 y su constante cinética 0.5 [mol/(litro*min)]. Por lo tanto, la variación de la concentración de A a lo largo del tiempo corresponde a:

$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A{}^0 = 0.5$$

La segunda reacción (no deseada) es de primer orden y su constante cinética es de 0.3 [1/min]. El compuesto R está involucrado en ambas reacciones por lo que la variación de su concentración a lo largo del tiempo corresponde a:

$$\frac{dC_R}{dt} = -k_2 C_R{}^1 + k_1 C_A{}^0 = -0.3C_R + 0.5$$

Por último, la variación de la concentración de S a lo largo del tiempo corresponde a:

$$\frac{dC_S}{dt} = k_2 C_R{}^1 = 0.3C_R$$

<u>Caso de estudio</u>

El reactivo A ingresa puro al reactor con una concentración de 2 mol/litro.

Graficar las concentraciones de todas las especies presentes en función del tiempo y una breve interpretación de lo que ocurre.

Utilizar un salto temporal de 0.1 minutos.

Si se desea producir R, ¿qué haría?

27) La búsqueda de línea nos permite encontrar el valor mínimo (o máximo) que toma una función sobre una dirección determinada de búsqueda. Partiendo del punto x_o y utilizando la dirección en el espacio d podemos encontrar el valor mínimo que toma la función mediante una optimización unidimensional.

Determinar ese valor mínimo de la función f en la dirección dada.

$$Min.\ f(\underline{x}) = 8x_1^2 + 4x_1x_2 + 5x_2^2$$

$$\underline{x}^0 = \begin{bmatrix} -4 \\ -4 \end{bmatrix} \qquad \underline{d} = \begin{bmatrix} \cos(\pi/4) \\ sen(\pi/4) \end{bmatrix}$$

---

28) El trabajo producido por un proceso termodinámico a temperatura, presión y volumen constantes se calcula por medio de

$$W = \int p\, dV$$

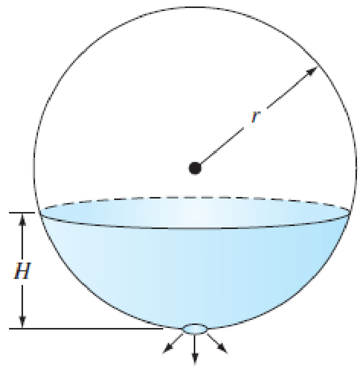
Donde W es el trabajo, p la presión, y V el volumen.
Con el empleo de la regla del trapecio, utilice los datos siguientes para calcular el trabajo en kJ:

Presión (kPa)	336	294.4	266.4	260.8	260.5	249.6	193.6	165.6
Volumen (m3)	0.5	2	3	4	6	8	10	11

---

29) Un tanque esférico tiene un orificio circular en el fondo a través del cual fluye líquido. La tasa de flujo a través del agujero se calcula como:

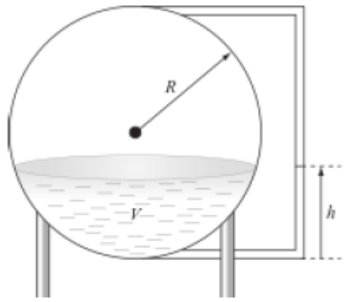
$$Q_{sal} = CA\sqrt{2gH}$$



Donde Q_{sal} es el flujo de salida (m3/s), C es un coeficiente obtenido en forma empírica, A es el área del orificio (m2), g es la constante gravitacional y H es la profundidad del líquido dentro del tanque. Determine cuántos minutos tomaría que el agua fluyera por completo de un tanque de 1 m de diámetro con altura inicial de 0.75 m. Observe que el orificio tiene un diámetro de 3 cm y C = 0.55.

Ayuda: El volumen de líquido que puede almacenar un tanque esférico está dado por la siguiente expresión

$$V = \pi h^2 \frac{(3R-h)}{3}$$



30) Una reacción homogénea en fase gaseosa $A \rightarrow 3R$ responde a la cinética

$$(-r_A) = k\, C_A^{\;0.5} \qquad k = 10^{-2} \left[\left(\frac{mol}{L} \right)^{0.5} s^{-1} \right]$$

Donde C_A es la concentración de A y k la constante de velocidad de reacción.

Para esta reacción, se determina que el volumen V del reactor flujo pistón necesario para una conversión X_A deseada se obtiene por medio del siguiente cálculo:

$$V = \frac{F_{A0}}{C_{A0}^{\;0.5}\, k} \int_0^{Xa\ deseada} \left(\frac{1+X_A}{1-X_A} \right)^{0.5} dX_A$$

Donde k es la constante de la velocidad de reacción, F_{A0} es el caudal molar en la entrada y C_{A0} la concentración de A en la entrada.

Calcular el volumen del reactor necesario para alcanzar una conversión de 0.8 en un reactor de flujo pistón alimentado con un caudal molar F_{A0} de 10 mol/s y una concentración C_{A0} de 0.0625 mol/L.

31) El tiempo necesario para la reacción en un reactor intermitente se calcula de la siguiente manera.

$$t = -\int_{C_{A0}}^{C_{Af}} \frac{dC_A}{(-r_A)}$$

Donde A es el reactivo, C_{A0} es la concentración de A al inicio de la reacción, C_{Af} es la concentración de A al final y $-r_A$ la velocidad de reacción de A.

Se está planeando la conversión de A en R en un reactor de este tipo. La reacción se efectúa en fase líquida, la estequiometria es $A \rightarrow R$ y la velocidad de reacción se indica en la Tabla 1. Calcular el tiempo que ha de reaccionar cada carga al reactor para que la concentración disminuya desde C_{A0} = 1.3 mol/L a C_{Af} = 0.3 mol/L.

C_A (mol/L)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	2.0
$-r_A$ (mol/L min)	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	0.25	0.06	0.05	0.045	0.042

Ejercitación adicional

ENL.1: Para el flujo turbulento de un fluido a través de un tubo liso es posible establecer la siguiente relación entre el factor de fricción cf y el número de Reynolds Re:

$$\sqrt{\frac{1}{c_f}} = -0.4 + 1.74\ ln\left(R_e \sqrt{c_f}\right)$$

a) Partiendo de una primera estimación de la raíz x0 = 0.001, utilice el Método de Newton para calcular cf para Re = 104.

b) Determine el número de iteraciones que le permite encontrar la solución con una tolerancia de error ε<10-3.

ENL.2: Una mezcla equimolar de monóxido de carbono y oxígeno debe alcanzar el equilibrio a una temperatura de 3000 ºK y una presión de 5 bar. La reacción teórica es:

$$CO + ½\ O_2 \rightarrow CO_2$$

La reacción química real se escribe así:

$$CO + O_2 \rightarrow x\ CO + ½\ (1 + x)\ O_2 + (1 - x)\ CO_2$$

La ecuación de equilibrio químico para determinar la fracción de CO restante, o sea x, está dada por:

$$K_p = \frac{(1-x)\sqrt{3+x}}{x\sqrt{1+x}\sqrt{P/P_0}} \quad ; \quad 0 < x < 1$$

donde $K_p=3.06$ es la constante de equilibrio para la reacción teórica a:

$$T = 3000\ ºK,\ P = 5bar \text{ y } P_0 = 1bar.$$

a) Determine el valor de x utilizando el método de la bisección tomando como puntos iniciales $x_0 = 0.15$ y $x_1 = 0.20$ hasta reducir el intervalo de incertidumbre a un valor menor a 10^{-4}.

b) Haga lo mismo pero utilizando el método de la secante. Adopte como valor de arranque los mismos valores que en el Ítem (a). Estime el valor de x con un error absoluto inferior a 10^{-4}.

c) Compare el número de iteraciones que demanda cada uno de ellos.

ENL.3: Una reacción química reversible:

$$2A + B \leftrightarrow C$$

se puede caracterizar por la relación de equilibrio:

$$K = \frac{C_C}{C_A^2 C_B}$$

Donde la nomenclatura C_N indica la concentración del componente N. Suponga que se define una variable x que representa el número producido de moles del componente C. La conservación de materia se puede utilizar para reformular la relación de equilibrio como:

$$K = \frac{\left(C_{C,0} + x\right)}{\left(C_{A,0} - 2x\right)^2 \left(C_{B,0} - x\right)}$$

Donde el subíndice 0 indica la concentración inicial de cada componente.

Si $K = 0.015$, $C_{A,0} = 42$, $C_{B,0} = 30$ y $C_{C,0} = 4$,

a) Calcule x mediante el método de Newton Raphson adoptando como valor de arranque $x = 15$ para una tolerancia de error (no relativo) $\varepsilon < 10^{-6}$. Observe que la función presenta singularidades en $x = 30$ y en $x = 21$.

b) Determine el número de iteraciones para alcanzar x con el error especificado.