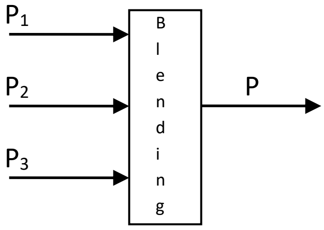
Ejercitación 1er cuatrimestre (2024)

1) Dadas tres corrientes de nafta provenientes de diferentes líneas de producción se desea mezclarlas para obtener un único producto que cumpla con las especificaciones requeridas.



La descarga (P) debe tener un flujo másico de 32 kg/h, 84 kg/h y 34 kg/h de componentes A, B y C respectivamente. Según análisis realizados, la composición (fracción de masa) de cada corriente que ingresa es:

$A_{P1} = 0.2;\ B_{P1} = 0.6 \text{ y } C_{P1} = 0.2$

$A_{P2} = 0.4;\ B_{P2} = 0.6 \text{ y } C_{P2} = 0$

$A_{P3} = 0.1;\ B_{P3} = 0.5 \text{ y } C_{P3} = 0.4$

Se desea determinar qué cantidad de cada corriente debe ingresar al equipo para obtener el producto deseado.

a) Realice un balance de materia por componentes para obtener el SEAL que representa al equipo. Exprese el sistema de ecuaciones en forma matricial.

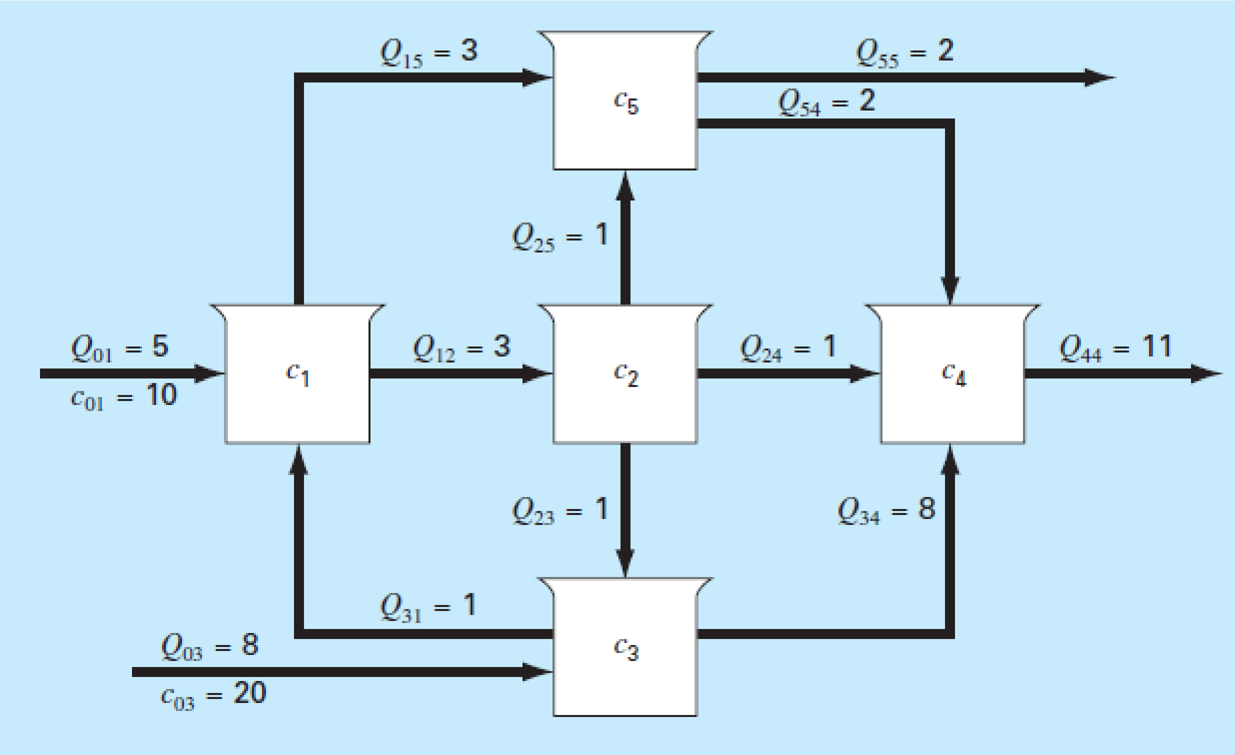
b) Resuelva utilizando la descomposición PLU de la matriz A de coeficientes del SEAL:

La descomposición PLU de la matriz A es:

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1/3 & 1 & 0 \\ 1/3 & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad U = \begin{pmatrix} 3/5 & 3/5 & 1/2 \\ 0 & 1/5 & -1/15 \\ 0 & 0 & 1/6 \end{pmatrix}$$

$$A = P \times L \times U$$

2) Dada la configuración de reactores de la Figura, con dos tubos de entrada y dos tubos de salida donde los caudales Q están en metros cúbicos por minuto y las concentraciones c están en miligramos por metro cúbico.



a) Efectúe un balance de materia suponiendo mezcla perfecta y que los reactores operan en estado estacionario.

b) Utilizando la factorización LU de la matriz de coeficientes A del SEAL, determine las concentraciones de cada reactor. La factorización LU de A ha suministrado las siguientes matrices:

$$A = \begin{bmatrix} 6 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -8 & 11 & -2 \\ -3 & -1 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{2} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{3} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{3} & -\frac{49}{53} & 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{3} & -\frac{4}{53} & 0 & 1 \end{bmatrix} \; ; \; U = \begin{bmatrix} 6 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{53}{6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 11 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}$$

Ayuda: El balance de materia obtenido es

$$
\begin{aligned}
&6c_1 - c_3 = 50\\
&-3c_1 + 3c_2 = 0\\
&-c_2 + 9c_3 = 160\\
&-c_2 - 8c_3 + 11c_4 - 2c_5 = 0\\
&-3c_1 - c_2 + 4c_5 = 0
\end{aligned}
$$

---

3) Se tiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$
\begin{aligned}
3x_1 - 0.1x_2 - 0.2x_3 &= 7.85\\
0.1x_1 + 7x_2 - 0.3x_3 &= -19.3\\
0.3x_1 - 0.2x_2 + 10x_3 &= 71.4
\end{aligned}
$$

a) Indique si el sistema es lineal o no lineal. Justifique.

b) Exprese el sistema de forma matricial, identificando la matriz de coeficientes, el vector de incógnitas y el vector de términos independientes.

c) Explique si el sistema cumple las condiciones para resolverse por el método de Thomas.

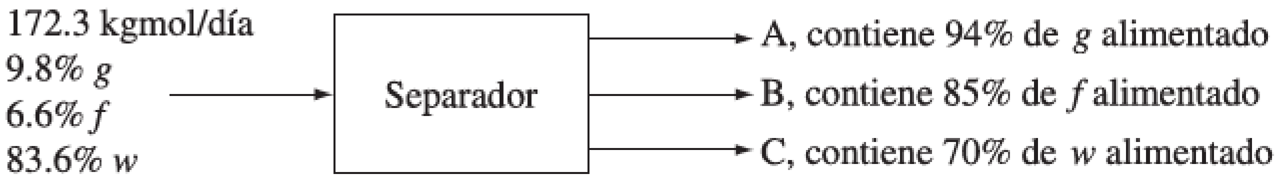
d) La descomposición PLU de la matriz A da por resultado las siguientes matrices. Resuelva el sistema utilizando el algoritmo de resolución acorde.

```
--> [L U P] = lu(A)
 L  =

   1.           0.           0.
   0.0333333    1.           0.
   0.1         -0.0271299    1.
 U  =

   3.  -0.1         -0.2
   0.   7.0033333  -0.2933333
   0.   0.          10.012042
 P  =

   1.   0.   0.
   0.   1.   0.
   0.   0.   1.
```

4) Una disolución de 9.8% mol de glucosa, 6.6% mol de fructosa y 83.6% mol de agua se alimenta a un separador a una velocidad de 172.3 kgmol/día. Tres corrientes de producto salen del separador: la corriente A contiene la mayoría de la glucosa, la corriente B la mayoría de la fructosa y la corriente C la mayoría del agua.

- Se recupera 94% de la glucosa en la corriente A y 4% en la corriente B.
- Se recupera 85% de la fructosa en la corriente B y 10% en la corriente A.
- Se recupera 70% del agua en la corriente C y 15% en cada una de las corrientes A y B.

a) Plantee de forma matricial el sistema de ecuaciones lineales, identificando la matriz de coeficientes, el vector de incógnitas y el vector de términos independientes.
b) Indique si la matriz de coeficientes se trata de una matriz densa o rala.
c) Calcule el número de condición de la matriz de coeficientes.
d) Calcule los flujos de todas las corrientes de salida.



---

5) Un investigador ha realizado un experimento para determinar la tasa de crecimiento de las bacterias k (por d), como una función de la concentración de oxígeno c (mg / L). Ajustar los datos experimentales obtenidos a la siguiente ecuación propuesta y calcular la norma del residuo.

c	0.5	0.65	0.8	1.1	1.5	2.5	4
k	1.1	1.6	2.4	3.2	5.3	7.6	8.9

$$k = \frac{k_{\max} c^2}{c_s + c^2}$$

---

6) Al examinar el comportamiento viscoso de un fluido es práctica común graficar la tasa de corte (gradiente de velocidad) $\frac{dv}{dy} = \gamma$ en las abscisas versus el esfuerzo cortante (τ) en las ordenadas.

- Cuando un fluido muestra un comportamiento en línea recta entre esas dos variables, se denomina *fluido newtoniano*, y la relación resultante es

  $$\tau = \mu\gamma$$

  Donde μ es la viscosidad del fluido. Los fluidos que no se comportan de esa manera se llaman *no newtonianos*.

- Para los *plásticos Bingham*, hay un esfuerzo inducido τ_y que debe superarse para que el flujo comience

  $$\tau = \tau_y + \mu\gamma$$

- Para los *seudoplásticos*, el esfuerzo cortante se eleva a la potencia n,

$$\tau = \mu \gamma^{n}$$

Los datos siguientes muestran la relación entre el esfuerzo cortante y la tasa de tensión cortante para un fluido. Proponga un modelo de los anteriores que represente el comportamiento de este fluido y obtenga los valores de los parámetros correspondientes.

Esfuerzo τ	50	70	90	110	130
Tasa de tensión cortante γ	6.01	7.48	8.59	9.19	10.21

7) En un trabajo reciente se han publicado los datos tabulados a continuación. Encontrar los parámetros de ajuste de la función propuesta por los autores:

x	1	2	3	4	5
y	0.5	2	2.9	3.5	4

$$x = e^{(y-b)/a}$$

8) Ajustar los datos tabulados la siguiente ecuación:

x	0.5	1	2	3	4
y	10.4	5.8	3.3	2.4	2

$$y = \left(\frac{a + \sqrt{x}}{b\sqrt{x}} \right)^2$$

9) Ajustar los datos tabulados la siguiente ecuación:

x	1	2	3	4	5
y	2.2	2.8	3.6	4.5	5.5

$$y = a + bx + \frac{c}{x}$$

10) Los siguientes datos corresponden al calor de vaporización del Etanol. Obtener los parámetros de la ecuación modificada de Watson.

T [K]	298.15	320.03	334.87	351.4	413.85	469.2
⍰H *[J/mol]*	42300	41031	39994	38600	31953	22574

$$\Delta H_v = A\left(1 - \frac{T}{513.92}\right)^n$$

11) Los siguientes datos corresponden a la viscosidad de Acetona en estado líquido. Obtener los parámetros de la ecuación de Vogel.

T [K]	183	213	273	303	333
⍰ *[cP]*	2.075	0.982	0.389	0.292	0.226

$$\ln \mu_l = A + \frac{B}{T + C}$$

12) Majer and Svoboda (1985) recomiendan la siguiente ecuación para representar el calor de vaporización de compuestos puros:

T [K]	298.15	337.15	393.25	416.85	443.35	476.85

$$\Delta H_v = A\left(1 - T_r\right)^{\beta} e^{-\alpha T_r}$$

ΔH [J/mol]	37450.8	35281.6	30949	28550	25236	19616

Los datos corresponden al Metanol (Tc=512.64)

---

13) Los siguientes datos representan la temperatura como una función de la profundidad vertical dentro de un lago.

Z (m)	0.1	0.8	3.6	12.0
T (°C)	21.2	27.3	31.80	35.6

Se desea ajustar los datos a una apropiada curva de tendencia. Para este propósito se proponen dos modelos o expresiones funcionales de la dependencia de la temperatura con la profundidad de lago:

(1) Lineal: $\boldsymbol{T = a + b\,z}$

(2) Logarítmica: $\boldsymbol{T = a + b\,ln(z)}$

a) Escriba el problema de mínimos cuadrados para ambos modelos, identificando claramente la matriz de las funciones de modelización, el vector de parámetros y el vector de términos independientes (valores medidos).

b) Resuelva el problema de mínimos cuadrados aplicando la factorización QR de la matriz A de funciones de modelización. Ayuda: La factorización QR generó las matrices:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} -0.5000 & -0.4253 & -0.5053 & -0.5601 \\ -0.5000 & -0.3514 & -0.0821 & 0.7873 \\ -0.5000 & -0.0555 & 0.8254 & -0.2562 \\ -0.5000 & 0.8322 & -0.2379 & 0.0290 \end{pmatrix} \; ; \; R_1 = \begin{pmatrix} -2.0000 & -8.2500 \\ 0 & 9.4630 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

y

$$Q_2 = \begin{pmatrix} -0.5000 & 0.7307 & 0.0793 & 0.4580 \\ -0.5000 & 0.1491 & -0.4887 & -0.6992 \\ -0.5000 & -0.2716 & 0.7840 & -0.2483 \\ -0.5000 & -0.6083 & -0.3745 & 0.4896 \end{pmatrix} \; ; \; R_2 = \begin{pmatrix} -2.0000 & -0.6201 \\ 0 & -3.5753 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

correspondientes a los modelos (1) y (2), respectivamente.

c) A partir de los datos presentados, determine cual modelo presenta un mejor ajuste desde el punto de vista de los mínimos cuadrados.

---

14) El reactivo A se descompone en un reactor intermitente: A → productos . Se mide la concentración de A en el reactor a varios tiempos con los resultados que se muestran en la tabla. Se proponen dos modelos para representar los datos. Indique cuál de los dos modelos es más adecuado a los datos y calcule sus parámetros.

TIEMPO	**CONCENTRACIÓN**

t (s)	Ca (mol/L)
0	10
20	8
40	6
60	5
120	3
180	2
300	1

Modelo 1:

$$\ln(Ca) = \mathrm{B} - \mathrm{k} * \mathrm{t}$$

Modelo 2:

$$\frac{1}{Ca^{0,5}} = \mathrm{B} + k * t * 0,5$$

Para ambos casos se considera $x = \binom{B}{k}$

15) Se desea determinar las constantes a, b y E que mejor ajusten a la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{k = a T^{b} e^{-\frac{E}{RT}}}$$

Empleando los siguientes datos:

T [ºK]	k
273	0.682
298	1.973
305	2.580
315	3.711
323	4.891

Nota: R = 1.98 [cal/(mol.K)]

Se realizaron dos regresiones lineales y se obtuvieron los siguientes resultados:

a	8,251329
b	1,5283
E	5981,642

a	8,64525
b	1,49248
E	5852,452

A partir de los datos anteriores, ¿Qué conjunto de valores resulta mejor elegir? Justificar.

16) Se introduce un reactivo acuoso A con una concentración inicial C_{Ao} = 1 mol/L en un reactor tanque agitado discontinuo donde reacciona para formar R (producto) de acuerdo con la estequiometría A → R. La concentración A en el reactor es monitoreada en distintos tiempos, obteniéndose la siguiente tabla:

t (min)	*0*	*100*	*200*	*300*	*400*
Ca(mol/m3)	*1000*	*500*	*333*	*250*	*200*
ra (mol/min m3)	*-5*	*-3.335*	*-1.25*	*-0.665*	*-0.5*

La velocidad de generación de A (suponiendo volumen constante) se puede ajustar a la siguiente expresión:

$$r_A = \frac{dC_A}{dt} = -k\left(C_A\right)^n$$

Donde $-r_a$ es la velocidad de desaparición de A, k es la velocidad de reacción específica y n es el orden de reacción.

d) Calcule los parámetros del modelo propuesto usando los datos experimentales de la tabla.
e) Se cree que el técnico cometió un error de dilución en las dos primeras medidas. Con ayuda de las respuestas del apartado a) comente si cree que esta sospecha puede ser cierta y justifique.

Basado en Fogler, Elementos de ingeniería de las reacciones químicas tercera edición (2001), P5-3, página 270.

---

17) Se propone correlacionar los datos de transferencia calórica a una esfera por convección forzada a través de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Nu} = 2 + \boldsymbol{a}\left(\boldsymbol{Re}\right)^{\boldsymbol{n}}$$

donde $\boldsymbol{Nu}$ representa al número de Nusselt y $\boldsymbol{Re}$ al número de Reynolds.

Para la transferencia de calor por convección forzada de aire a esferas se obtuvieron los siguientes datos (McAdams, 1954):

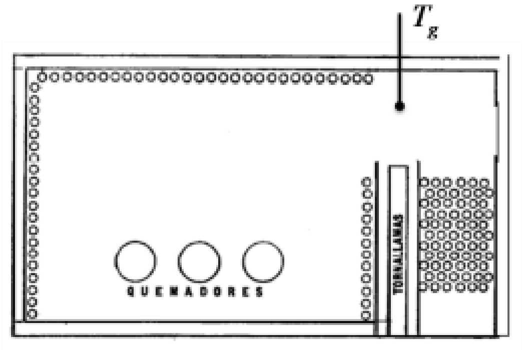
Re	Nu
10	2.8
100	6.3
1000	19.0

a) Muestre como puede convertir el problema (modelo) a una forma lineal, identificando claramente los nuevos parámetros y funciones de modelización.
b) Escriba el problema de mínimos cuadrados en la forma matricial dada en clase, presentando explícitamente a la matriz $\boldsymbol{A}$ y al vector $\boldsymbol{b}$.
c) Transforme este problema a ecuaciones normales (Ayuda: Este nuevo problema deberá conducirnos a un sistema cuadrado de ecuaciones lineales de 2 x 2).
d) Resuelva este problema por eliminación Gaussiana.

---

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

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



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 de la siguiente manera:

a) Realizar dos iteraciones con algún método acotado.
b) Con el mejor valor obtenido en a) como valor de arranque, usar un método abierto para obtener un error relativo no porcentual menor a 1×10^{-4}

---

19) 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.

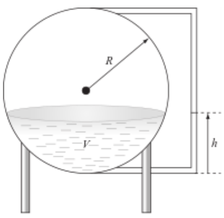
Ayuda: Como punto inicial podemos tomar el valor que nos brinda la ecuación de Barr:

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

---

20) 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	
130	

---

21) 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]

---

22) 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:

$$\Delta H_P = 59.504T + 0.01125\, T^2 - 1.484\times10^{-6}\, T^3 - 18703$$

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

Realice el ejercicio suponiendo dos valores semilla de T, T_o=1000K 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.

---

23) 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:

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

---

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

$$\begin{cases} x_1^2 + x_1x_2 = 10 \\ x_2 + 3x_1x_2^2 = 57 \end{cases}$$

---

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

$$\begin{cases} x_2 + x_1^{\ 2} - x_1 - 0.75 = 0 \\ x_2 + 5x_2x_1 - x_1^{\ 2} = 0 \end{cases}$$