

**Examen Julio 2025****POR FAVOR TENER EN CUENTA:**

1. Resolver las partes en hojas separadas
2. Escribir nombre y apellido en el margen superior derecho de cada hoja entregada
3. Poner cantidad total de hojas entregadas (M) y número de hoja (n) en cada hoja, en el margen superior izquierdo de la hoja, con el formato n/M

**Pregunta 1**

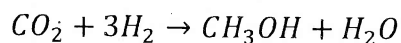
En un proceso en estado estacionario, se producen 200 kmol/h de  $\text{CH}_3\text{OH}$  según la reacción  $\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ , haciendo reaccionar los reactivos puros en proporciones estequiométricas. Se sabe que en el reactor se obtiene una conversión del 60% respecto al  $\text{CO}_2$ . A la salida del reactor se coloca un separador, con eficiencia del 100%, que separa lo que ingresa en tres corrientes: i)  $\text{CH}_3\text{OH}$  puro, ii)  $\text{H}_2\text{O}$  puro y iii) el resto de los compuestos presentes a la salida del reactor.

- a) Calcule todos los flujos molares de entrada al sistema y de salida del reactor
- b) Calcule cuánto sería la velocidad de producción del  $\text{CH}_3\text{OH}$  (kmol/h) que se obtendría a la salida del proceso si con los flujos de entrada al sistema (calculados en la parte a) se hiciera recircular el total de la corriente iii) del separador al reactor.
- c) Considere ahora la situación en la que se desea mantener la recirculación y continuar produciendo 200 kmol/h de  $\text{CH}_3\text{OH}$  pero los reactivos a la entrada del sistema no son puros, sino que con ellos ingresa un compuesto inerte. Considere que los reactivos siguen ingresando en proporciones estequiométricas. Para que el compuesto inerte no se acumule se agrega una purga en la corriente de recirculación por la que se retiran 100 kmol/h de inerte. Sabiendo que el 20% de la corriente de purga es  $\text{CO}_2$ , calcule los flujos molares totales de entrada al sistema, salida del reactor, purga y recirculación. Considere que el sistema opera en estado estacionario.



Pregunta 2

El metanol se emplea en varios procesos industriales. Se puede usar como anticongelante, disolvente y combustible, entre otros. Para producir el metanol, se hace reaccionar dióxido de carbono con hidrógeno según la siguiente reacción:



La Cía. ACME se dedica a la comercialización de diversos productos químicos a nivel internacional y ahora proyecta producir y vender metanol para lo que construirá una planta propia.

La gerencia comercial estima una venta anual de 2 millones de dólares para los siguientes 5 años.

La planta diseñada implica una inversión de 1,8 millones de dólares

La gerencia industrial calcula que, para satisfacer ese nivel de ventas, los gastos fijos serán de 300.000 dólares anuales y los variables de 1,2 millones de dólares anuales.

La gerencia administrativa informa que la depreciación es lineal en 5 años, que el valor de recuperación al quinto año es 0, que la tasa de descuento (costo de capital) es del 10% anual y que el impuesto a la renta es del 30%.

Se pide:

- a) Conocer el Estado de Resultados proyectado.
- b) Calcular el Valor Actual Neto de la inversión.
- c) Decidir si es conveniente realizar la inversión.



Pregunta 3

Un horno se utiliza para calentar aire. En el horno se queman 80 kmol/h de  $\text{CH}_4$  y 20 kmol/h de  $\text{C}_2\text{H}_6$  con un 20% de aire de exceso sobre la cantidad estequiométrica. La combustión es completa y no quedan gases combustibles sin quemar. Tanto el combustible como el aire para la reacción de combustión entran a  $25^\circ\text{C}$ , y los gases de combustión (humos) salen del horno a  $1000^\circ\text{C}$ . El calor producido por el horno se utiliza para calentar un flujo de 205000 kg/h de aire a  $25^\circ\text{C}$ .

- a) Calcule la temperatura a la que sale el aire calentado en el horno. Considere que no existen pérdidas de calor al ambiente.

A su vez, el aire caliente se emplea para calentar una corriente de agua en un intercambiador de calor de camisa y tubos.

- b) ¿Qué caudal de agua puede pasar para aumentar su temperatura en  $60^\circ\text{C}$ , sabiendo que el aire sale del intercambiador a  $200^\circ\text{C}$ ?

Datos:

| Sustancia                  | Calor específico (kcal/kmol. $^\circ\text{C}$ ) | Entalpía de formación a $25^\circ\text{C}$ (kcal/kmol) |
|----------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| $\text{O}_2$               | 7,3                                             | 0                                                      |
| $\text{N}_2$               | 7,0                                             | 0                                                      |
| $\text{CO}_2$              | 10,2                                            | -94500                                                 |
| $\text{H}_2\text{O}_{(v)}$ | 8,6                                             | -57720                                                 |
| $\text{CH}_4$              | 8,5                                             | -18000                                                 |
| $\text{C}_2\text{H}_6$     | 10,3                                            | -20260                                                 |

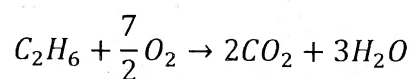
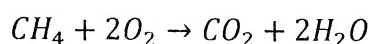
Datos adicionales:

Composición molar del aire: 79%  $\text{N}_2$  y 21%  $\text{O}_2$

Calor específico del aire: 0,241 kcal/kg $^\circ\text{C}$

Calor específico del agua líquida: 1 kcal/kg $^\circ\text{C}$

Reacciones de combustión completa:



3/13

### Pregunta 4

Los siguientes enunciados definen sistemas y procesos. En base a la información proporcionada sobre lo que ocurre durante cierto tiempo en cada uno de ellos se pide clasificar su estado dentro de alguna de las siguientes "categorías":

EE = estado estacionario

ET = estado transitorio o no estacionario

EM = estado mixto o semi-estacionario

N = no se puede determinar con los datos suministrados

Justifique en cada caso.



- a) Un reactor ha quedado vacío luego de su uso. El agitador interior se sigue moviendo normalmente, pero en el tiempo considerado no existe ingreso ni egreso de masa al reactor ni tampoco aporte de calor para mantenerlo caliente. Como el área de la planta en el que está el reactor está muy fría, la temperatura de las paredes del reactor va disminuyendo paulatinamente. Califique el estado en el que se encuentra el reactor (entendiendo por tal el equipo y todo su contenido)
- b) El sistema es una habitación donde sólo hay objetos sólidos inmóviles, calefaccionada por una estufa a gas que funciona de manera uniforme. Considere que a lo largo del tiempo considerado, el flujo de gas que recibe la estufa es constante, que las propiedades fisicoquímicas del gas no cambian y que la combustión es completa en todo momento. Durante ese tiempo, existe flujos de entrada y salida de aire entre la habitación y el exterior que permiten mantener constantes las propiedades fisicoquímicas del aire en la habitación (incluyendo composición química y temperatura). ¿Cuál es el estado de la habitación durante el tiempo considerado?
- c) El sistema considerado es una planta de procesos donde sólo se encuentra el equipamiento que forma parte del proceso y los materiales que intervienen (las personas no están en el lugar, la manejan de forma remota). Todos los equipos están operando en estado estacionario. Desde que se inauguró la planta, una de las tuberías tiene una pérdida de fluido que nunca se reparó, pero el goteo de ese fluido al piso es continuo y a velocidad constante en el tiempo. Asuma que no existe intercambio de materia ni de energía con el exterior.
- d) Una cámara de combustión opera de forma continua. Las propiedades fisicoquímicas y los flujos de las corrientes de entrada y salida de materiales (combustible, comburente, humos, etc...) son uniformes. Puede asegurarse que en cada punto de sistema las propiedades fisicoquímicas son invariables en el tiempo. Existe un flujo constante de energía térmica hacia el exterior del sistema. Califique el estado de la cámara de combustión

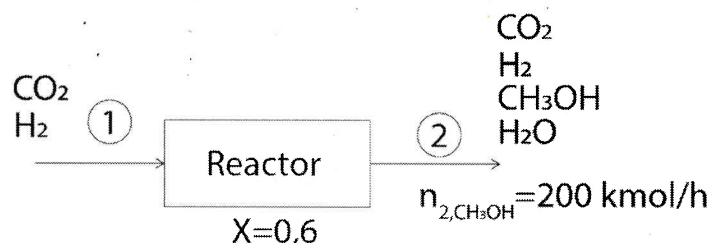
- e) Al iniciar la operación, un horno de vidrio se calienta muy lentamente para que el cambio de temperaturas no provoque rotura de materiales. Llegar desde temperatura ambiente hasta la temperatura de trabajo de  $1500^{\circ}\text{C}$  lleva unos 15 días. Asuma que el aporte de calor es a velocidad constante, y que la temperatura va subiendo a velocidad constante. ¿Cómo califica el estado del horno durante las 24 horas del séptimo día?
- f) El proceso a considerar es uno en el que se filtra un líquido que tiene sólidos en suspensión. La filtración se hace de forma continua a través de una estación de filtración. La estación de filtración está formada por dos filtros (A y B) puestos en paralelo. Mientras se filtra a través del filtro A, el filtro B se limpia. Cuando el filtro A está lleno de sólidos, se pasa el flujo al filtro B y entonces a partir de ahí, se filtra a través del filtro B y el filtro A se limpia para poder volver a ser usado cuando se llenen de sólidos el filtro B. Este ciclado se repite indefinidamente. Como los cambios de filtro son automáticos e instantáneos, tanto el flujo de líquido con sólidos que va a la estación de filtración, como el flujo de líquido sin sólidos que sale de dicha estación se mantienen uniformes en el tiempo.



**Resolución Examen Julio 2025****Pregunta 1**

a) Se piden todos los flujos de entrada al sistema y de salida del reactor.

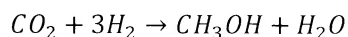
Dado que la entrada al sistema coincide con la entrada al reactor, el sistema se puede diagramar de la siguiente manera.



Sabemos que se producen 200 kmol/h de metanol.

$$n_2 \cdot x_{2,CH_3OH} = 200 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

Dado que conocemos la estequiometría de la reacción que ocurre:



Podemos plantear los balances de masa (expresados en moles) en el reactor para cada especie.

BM reactor

$$n_1 \cdot x_{1,CO_2} = n_2 \cdot x_{2,CO_2} + n_1 \cdot x_{1,CO_2} \cdot X$$

$$n_1 \cdot x_{1,H_2} = n_2 \cdot x_{2,H_2} + 3 \cdot n_1 \cdot x_{1,CO_2} \cdot X$$

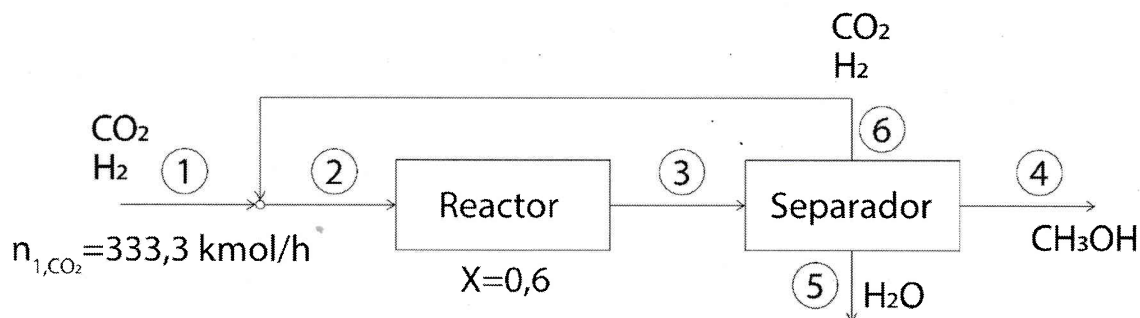
$$n_1 \cdot x_{1,CO_2} \cdot X = n_2 \cdot x_{2,CH_3OH}$$

$$n_1 \cdot x_{1,CO_2} \cdot X = n_2 \cdot x_{2,H_2O}$$

| Corriente | Flujo molar (kmol/h) |                |                    |                  |
|-----------|----------------------|----------------|--------------------|------------------|
|           | CO <sub>2</sub>      | H <sub>2</sub> | CH <sub>3</sub> OH | H <sub>2</sub> O |
| 1         | 333,3                | 1000           | 0                  | 0                |
| 2         | 133,3                | 400            | 200                | 200              |

b) Se nos pide calcular cuanto metanol se produciría si se recirculara todo el excedente de reactivos que sale del separador por la corriente iii) (llamada 6 en el diagrama que se muestra a continuación)





En este nuevo sistema, podemos comenzar con un balance global de  $\text{CO}_2$  expresado en moles.

BM Global de A ( $\text{CO}_2$ )

$$n_1 \cdot x_{1,\text{CO}_2} = n_2 \cdot x_{2,\text{CO}_2} \cdot X$$

$$n_2 \cdot x_{2,\text{CO}_2} \cdot X = 333,3 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

BM reactor

$$n_2 \cdot x_{2,\text{CO}_2} \cdot X = n_2 \cdot x_{2,\text{CH}_3\text{OH}}$$

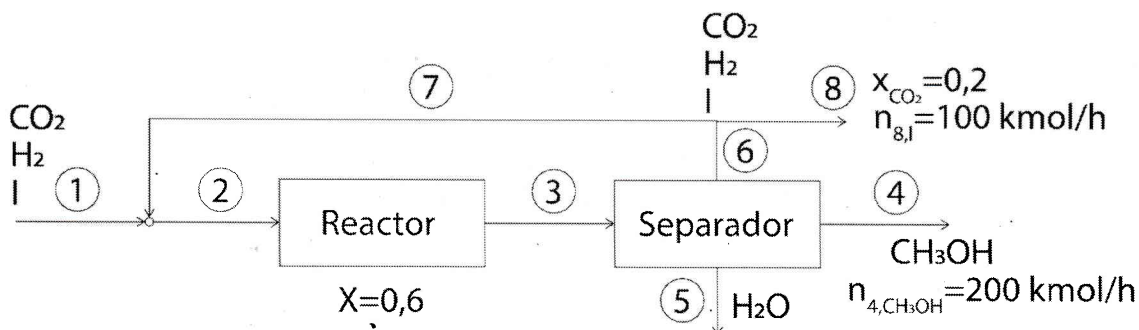
BM Separador de C ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )

$$n_2 \cdot x_{2,\text{CH}_3\text{OH}} = n_4 \cdot x_{4,\text{CH}_3\text{OH}} = 333,3 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$



Dado que todo reactivo que entra al sistema reacciona, esta alternativa con recirculación equivale a que nuestro sistema tenga una conversión del 100% a pesar de que el reactor, por si solo, tiene una conversión del 60%.

- c) En este caso, la materia prima incluye un inerte y el sistema tiene una purga. Se nos pide calcular los flujos molares totales para la entrada del sistema (corriente 1), salida del reactor (corriente 3), purga (corriente 8) y recirculación (corriente 7) considerando que se produce la misma cantidad de metanol que en la parte a).



Es dato que:

$$n_{4,\text{CH}_3\text{OH}} = 200 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} = n_{3,\text{CH}_3\text{OH}}$$

BM reactor

$$n_2 \cdot x_{2,CH_3OH} \cdot X = n_3 \cdot x_{3,CH_3OH}$$

$$n_2 \cdot x_{2,CO_2} \cdot X = 200 \frac{kmol}{h}$$

$$n_{2,CO_2} = 333,3 \frac{kmol}{h}$$

Se sabe que los reactivos siguen ingresando en proporciones estequiométricas.

$$n_{2,H_2} = 1000 \frac{kmol}{h}$$

BM Global Inerte

$$n_1 \cdot x_{1,I} = n_8 \cdot x_{8,I} = 100 \frac{kmol}{h}$$

$$n_{1,I} = 100 \frac{kmol}{h}$$



Dado que los reactivos ingresan en proporciones estequiométrica, esta relación entre reactivos se mantiene a lo largo del sistema, por lo tanto, en la purga:

$$\frac{x_{CO_2}}{x_{H_2}} = 3 \quad x_{8,CO_2} = 0,2 \quad x_{8,H_2} = 0,6$$

A su vez, la corriente de purga está compuesta únicamente por  $CO_2$ ,  $H_2$  y el inerte.

$$x_{8,CO_2} + x_{8,H_2} + x_{8,I} = 1 \quad x_{8,I} = 0,2 \quad n_8 = 500 \frac{kmol}{h}$$

$$n_{8,CO_2} = 100 \frac{kmol}{h} \quad n_{8,H_2} = 300 \frac{kmol}{h} \quad n_{8,I} = 100 \frac{kmol}{h}$$

BM Global de  $CO_2$ 

$$n_1 \cdot x_{1,CO_2} = n_8 \cdot x_{8,CO_2} + n_2 \cdot x_{2,CO_2} \cdot X$$

$$n_1 \cdot x_{1,CO_2} = 300$$

$$n_{1,CO_2} = 300 \frac{kmol}{h} \quad n_{1,H_2} = 900 \frac{kmol}{h}$$

BM de  $CO_2$  en punto de mezcla

$$n_1 \cdot x_{1,CO_2} + n_7 \cdot x_{7,CO_2} = n_2 \cdot x_{2,CO_2}$$

La fracción de  $CO_2$  en la recirculación es la misma que en la purga.

$$x_{7,CO_2} = x_{8,CO_2} \quad n_7 = 166,7 \frac{kmol}{h}$$

$$n_{7,CO_2} = 33,3 \frac{kmol}{h} \quad n_{7,H_2} = 100 \frac{kmol}{h} \quad n_{7,I} = 33,3 \frac{kmol}{h}$$

Finalmente se listan los flujos molares para todos los componentes en las corrientes 1,3,7 y 8. También se incluye el resto de los flujos molares.

| Corriente | Flujo molar (kmol/h) |                |       |                    |                  |
|-----------|----------------------|----------------|-------|--------------------|------------------|
|           | CO <sub>2</sub>      | H <sub>2</sub> | I     | CH <sub>3</sub> OH | H <sub>2</sub> O |
| 1         | 300                  | 900            | 100   | 0                  | 0                |
| 2         | 333,3                | 1000           | 133,3 | 0                  | 0                |
| 3         | 133,3                | 400            | 133,3 | 200                | 200              |
| 4         | 0                    | 0              | 0     | 200                | 0                |
| 5         | 0                    | 0              | 0     | 0                  | 200              |
| 6         | 133,3                | 400            | 133,3 | 0                  | 0                |
| 7         | 33,3                 | 100            | 33,3  | 0                  | 0                |
| 8         | 100                  | 300            | 100   | 0                  | 0                |



**Pregunta 2**

a) Se nos pide el estado de resultados proyectado.

Dado que la inversión se amortiza de forma lineal durante 5 años:

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Duración}}$$

$$\text{Utilidades} = \text{Utilidades antes de impuestos} \cdot \text{Impuesto a la renta}$$

Estado de resultados:

| Año                           | 1-5      |
|-------------------------------|----------|
| Ventas                        | 2000000  |
| Costos Fijos                  | -300000  |
| Costos Variables              | -1200000 |
| Amortización                  | -360000  |
| Utilidades antes de impuestos | 140000   |
| Impuestos                     | -42000   |
| Utilidades                    | 98000    |

b) Se pide calcular el valor actual neto

El valor actual neto se calcula como:

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{i=1}^n \frac{(\text{Flujo de fondos})_i}{(1+t)^i} - \text{Inversión}$$

Donde n es la duración total del proyecto, i es el año considerado y t es la tasa de descuento.

Flujo de fondos:

| Año             | 0        | 1        | 2        | 3        | 4        | 5      |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Inversion       | -1800000 | 0        | 0        | 0        | 0        | 0      |
| Utilidades      | 0        | 458000   | 458000   | 458000   | 458000   | 458000 |
| Flujo de fondos | -1800000 | 458000   | 458000   | 458000   | 458000   | 458000 |
| Valor actual    | -1800000 | 416363,6 | 378512,4 | 344102,2 | 312820,2 | 284382 |

VAN=-63.819 USD

c) No, el VAN es negativo.

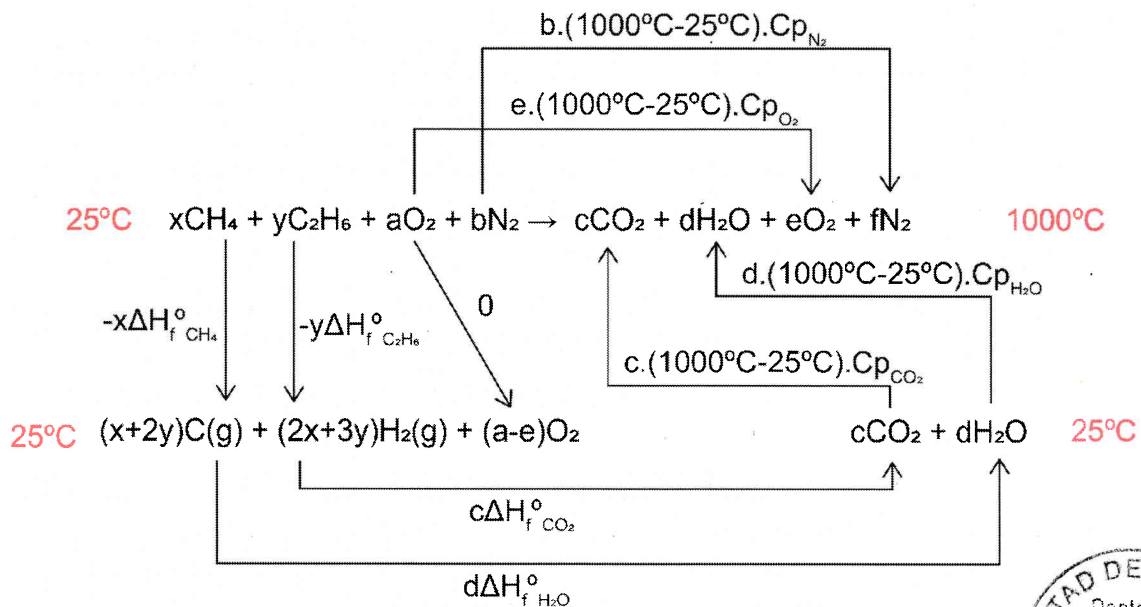


**Pregunta 3**

- a) El sistema consiste en un horno que quema combustible para calentar aire. Se nos pide calcular la temperatura de salida del aire.

Para esto debemos conocer cuanto calor se le suministra a la corriente de aire. Es posible realizar un balance de energía teniendo en cuenta el proceso de combustión que ocurre en el horno y para esto asistiremos el razonamiento con un ciclo de Hess.

Ciclo de Hess



Balance de Energía

$$Q = (1000 - 25) \cdot (b \cdot Cp_{N_2} + e \cdot Cp_{O_2} + c \cdot Cp_{CO_2} + d \cdot Cp_{H_2O}) - x \cdot \Delta H_{f,CH_4}^{\circ} - y \cdot \Delta H_{f,C_2H_6}^{\circ} + c \cdot \Delta H_{f,CO_2}^{\circ} + d \cdot \Delta H_{f,H_2O}^{\circ}$$

$$Q = -11.741.395 \frac{kcal}{h}$$

Con el calor liberado por la combustión podemos realizar el balance de energía para el aire.

Balance de energía aire

$$-Q = (T - 25) \cdot Cp_{Aire} \cdot \dot{m}_{Aire}$$

$$T = 263^{\circ}C$$

- b) El aire calentado en la parte anterior se utiliza para calentar una corriente de agua. Se nos pide calcular el caudal de agua que es posible calentar sabiendo que se aumenta su temperatura en 60°C y que el aire abandona el intercambiador a 200°C.



Balance de energía agua

$$(T_{final} - T) \cdot C_{pAire} \cdot \dot{m}_{Aire} = \Delta T \cdot C_{pAgua} \cdot \dot{m}_{Agua}$$

Finalmente:

$$\dot{m}_{Agua} = 51.592 \frac{kg}{h}$$



### Pregunta 4

A continuación, se clasifican los sistemas/procesos descritos según las "categorías":

EE = estado estacionario

ET = estado transitorio o no estacionario

EM = estado mixto o semi-estacionario

N = no se puede determinar con los datos suministrados

- a. ET. La temperatura de las paredes del reactor varía con el tiempo.
- b. EE. Las variables no cambian con el tiempo.
- c. ET. La cantidad de fluido acumulado en el piso varía (aumenta) con el tiempo.
- d. EE. Las variables no cambian con el tiempo.
- e. ET. La temperatura del horno varía con el tiempo.
- f. ET. En el filtro se acumula materia.

**La justificación presentada es una opción, sin embargo, pueden considerarse otras alternativas de justificación.**

