

Balance de materia y energía

QUIM-MS-2008

Materia



Energía



Balance



Materia

La materia esta formada por átomos.

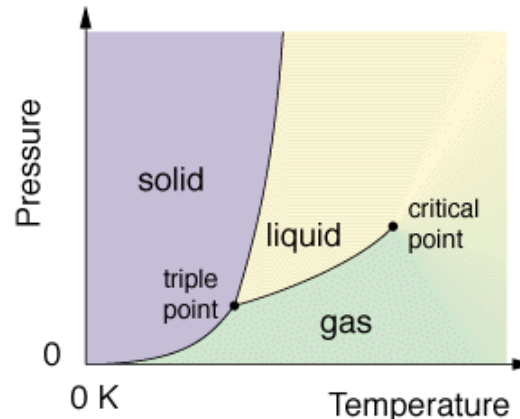
La fuerza de interacción entre los átomos en relación al movimiento térmico de los átomos determina la fase, en la cual la materia está presente.

Interacción fuerte: **estado sólido**

Interacción moderada **fase líquida**

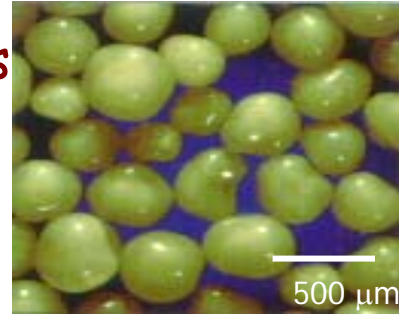
Interacción mínima: **fase gaseosa**

La fase de a materia es función de la *Temperatura y Presión*

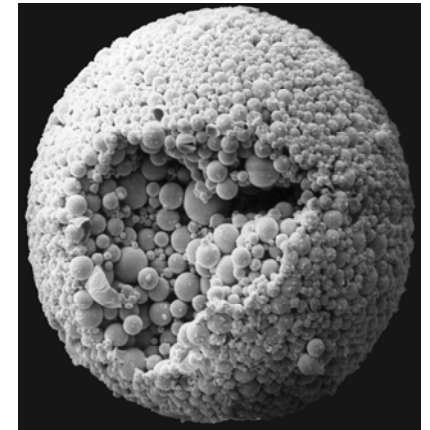


Materiales - solidos

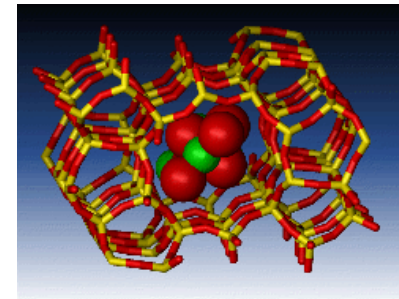
Los sólidos se forman de **partículas**



Las partículas son **aglomeraciones de** pequeñas partículas o cristales



Cristales - átomos que poseen una estructura cristalina debido a las fuerzas inter-atómicas (covalentes/ionicas)



Características de los sólidos

Los sólidos no ocupan el espacio que los contienen.

Las fuerzas intermoleculares son bastante grande. Romper los cristales es difícil ya que se requiere mucha energía. El rompimiento de partículas es fácil.

Densidad típica de sólidos:
 $0.8 - 12 \text{ g/cm}^3$ ($800 - 12000 \text{ kg/m}^3$)

El volumen de sus partículas no cambian significativamente con la temperatura y presión.

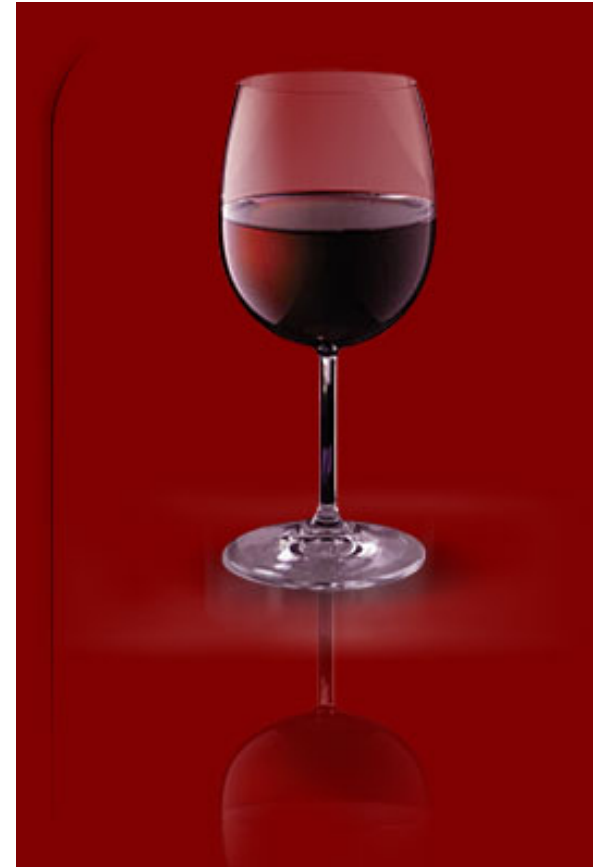


Materiales - líquidos

El estado líquido por sus fuerzas intermoleculares su materia es fácil de fluir y es prácticamente incompresible. Es decir, una sustancia en estado líquido cambia su forma, pero no su volumen.

Densidad típica de los líquidos:
 $0.8 - 4 \text{ g/cm}^3$ ($800 - 4000 \text{ kg/m}^3$;
similar a la densidad de los sólidos)

El volumen de los líquidos no cambia significativamente con la temperatura y presión.



Materiales - gaseosos

El estado gaseoso posee una densidad y viscosidad relativamente pequeña. Son compresibles y están sujetos a cambios de presión y temperatura. Ocupan el espacio que los contienen.



Yodo en fase gaseosa

Ecuación de los gases ideales:

$$PV = nRT \quad [\text{utilizando moles}]$$

$$PV = m\bar{R}T \quad [\text{utilizando masa}]$$

$$Pv = \bar{R}T \quad [\text{utilizando volumen específico}]$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{m}{V} = \bar{M}_{av} \left(\frac{n}{V} \right) = \bar{M}_{av} \left(\frac{P}{RT} \right)$$

Energía

La energía es un **concepto!!!**

La definición de acuerdo a www.pplweb.com/glossary.htm

La energía se puede definir como la capacidad para realizar un trabajo como es la energía potencial o la conversión en movimiento como es la energía cinética. La energía se transforma en varias formas, una de las más comunes es como calor y trabajo.

Unidad de energía: Joule

1 Joule = cantidad de energía correspondiente a una fuerza de 1 Newton
(1 kg con aceleración de 1 m/s^2) aplicada a través de 1 metro
= cantidad de energía requerida para calentar 1 g de agua líquida
0.24 (1/4.18) °C.

Ejemplo

Luminaria consume 60 Joule por segundo (60W)

Una planta de potencia produce $1.8 \cdot 10^9$ Joule por segundo (1800 MW)

Balance de Materia y Energía

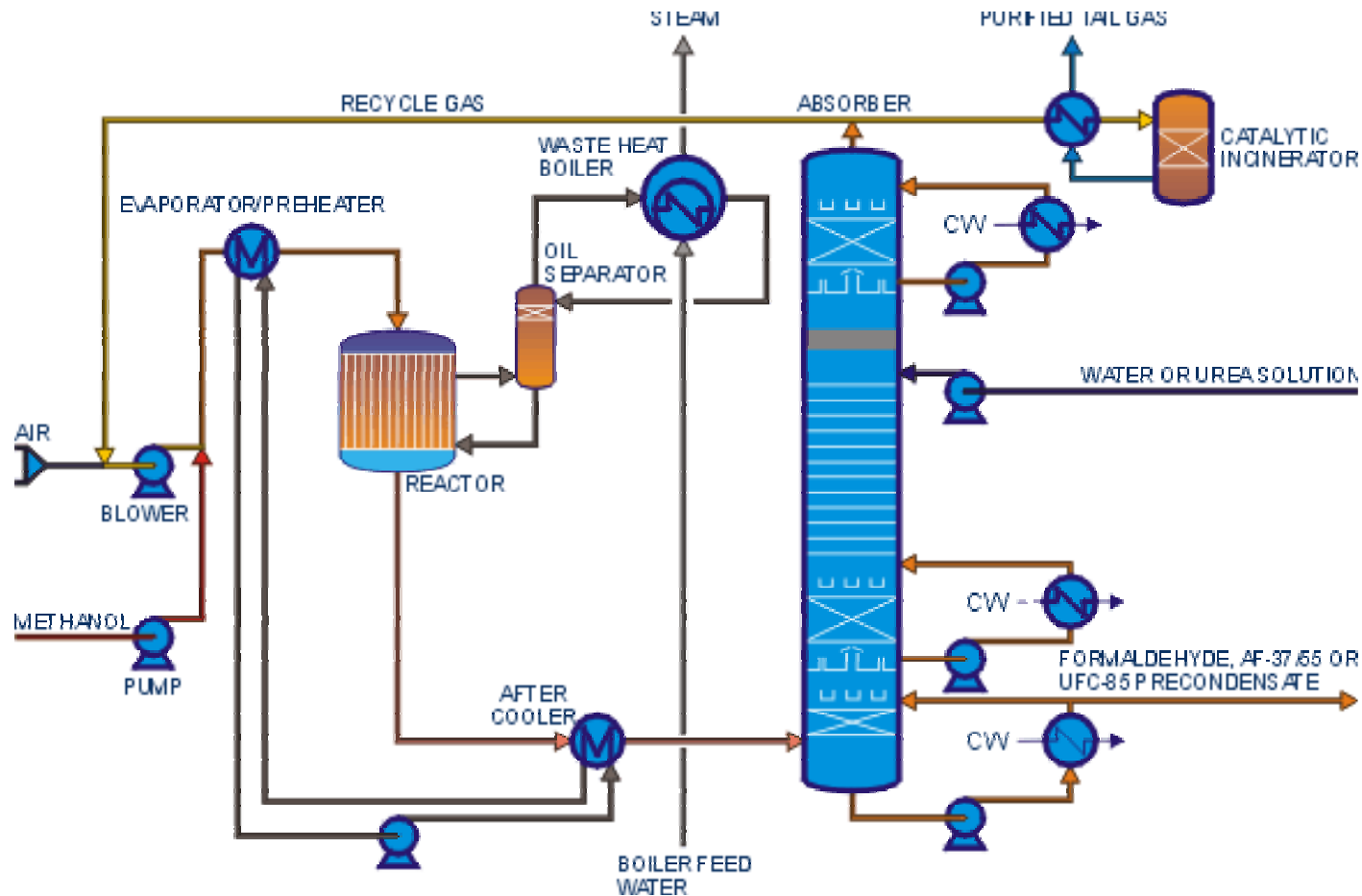
Proceso

Cualquier operación o serie de operaciones que producen un cambio de un estado inicial (1) a un estado final (2). La fabricación de cualquier producto es un proceso en el cual la materia prima a través de una serie de operaciones unitarias se transforma en producto. Cualquier balance se realiza en un proceso o en un equipo (u operación unitaria).



Balance de Materia y Energía

Procesos y sus variables



Producción de formaldeído por oxidación de metanol

Procesos

Proceso:

Cualquier operación o serie de operaciones que producen un cambio de un estado inicial (1) a un estado final (2).

Algunas operaciones unitarias:

Calentamiento/enfriamiento

Caldera

Condensador

Refrigeración

Evaporación

Reacción

Reactor

Fermentador

Cristalizador

Precipitador

Separación

Distilación

Decantador

Extractor

Filtración

celdas de

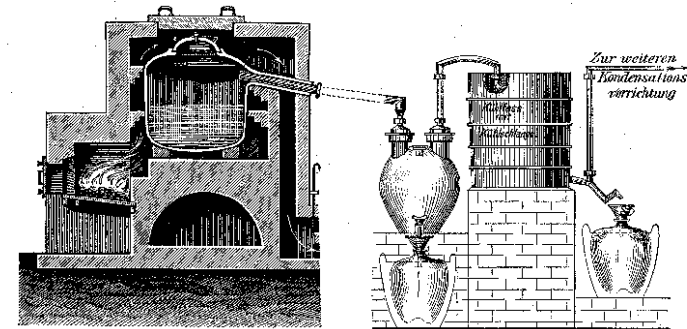
flotación

Ciclones

Clasificación de los procesos

Proceso Batch:

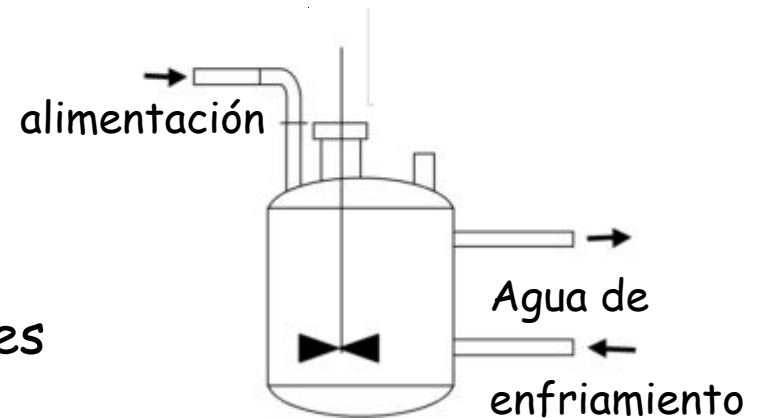
La carga es agregada y después de cierto tiempo al alcanzarse las variables de operación requeridas, se descarga del reactor.



473. Gewinnung von Salpetersäure durch Destillation von Salpeter mit Schwefelsäure.

Proceso Semi-Batch:

La carga se agrega continuamente al reactor, pero este se descarga cada cierto tiempo al alcanzarse las variables de operación correspondientes.



Proceso Continuo:

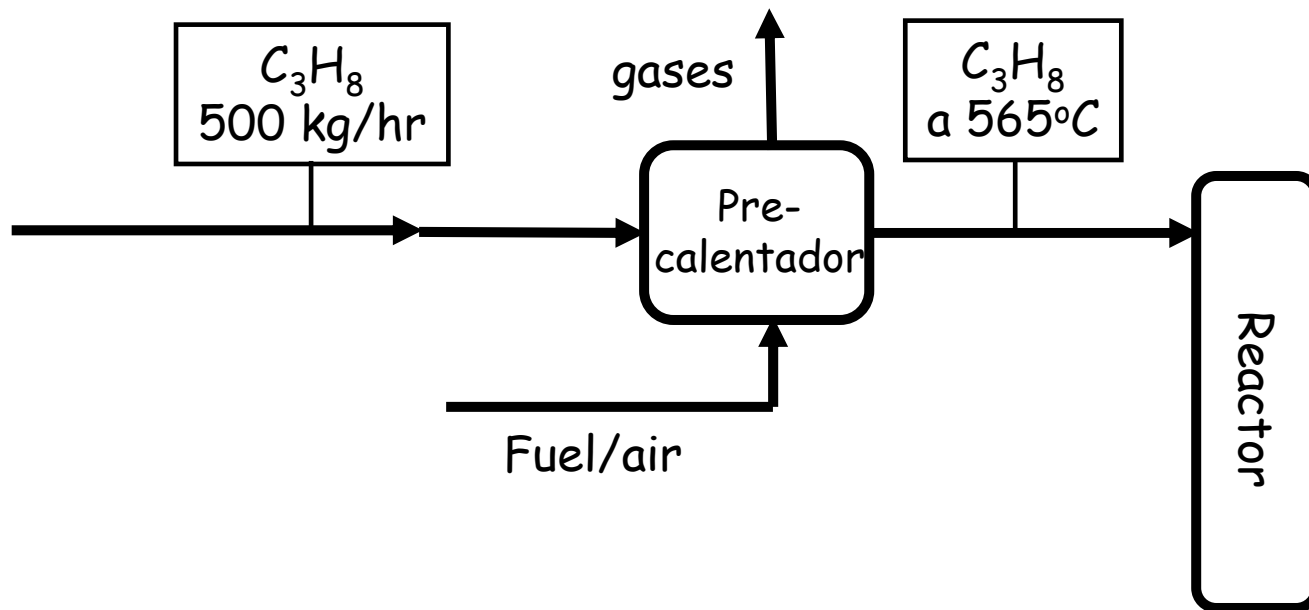
La carga y descarga es continua.

Proceso de deshidrogenación del propano

La deshidrogenación catalítica del propano se lleva a cabo en un reactor continuo de cama fluida. 500 kg/hr de puro propano. Este es alimentado a un precalentador, donde se calienta a una temperatura de 565°C antes del reactor. El efluente del reactor gaseoso (salida del reactor) constituido por propano, propileno, metano e hidrógeno, se enfrían de 550°C a 120°C y alimentan a una torre de absorción donde el propano y propileno son disueltos en aceite.

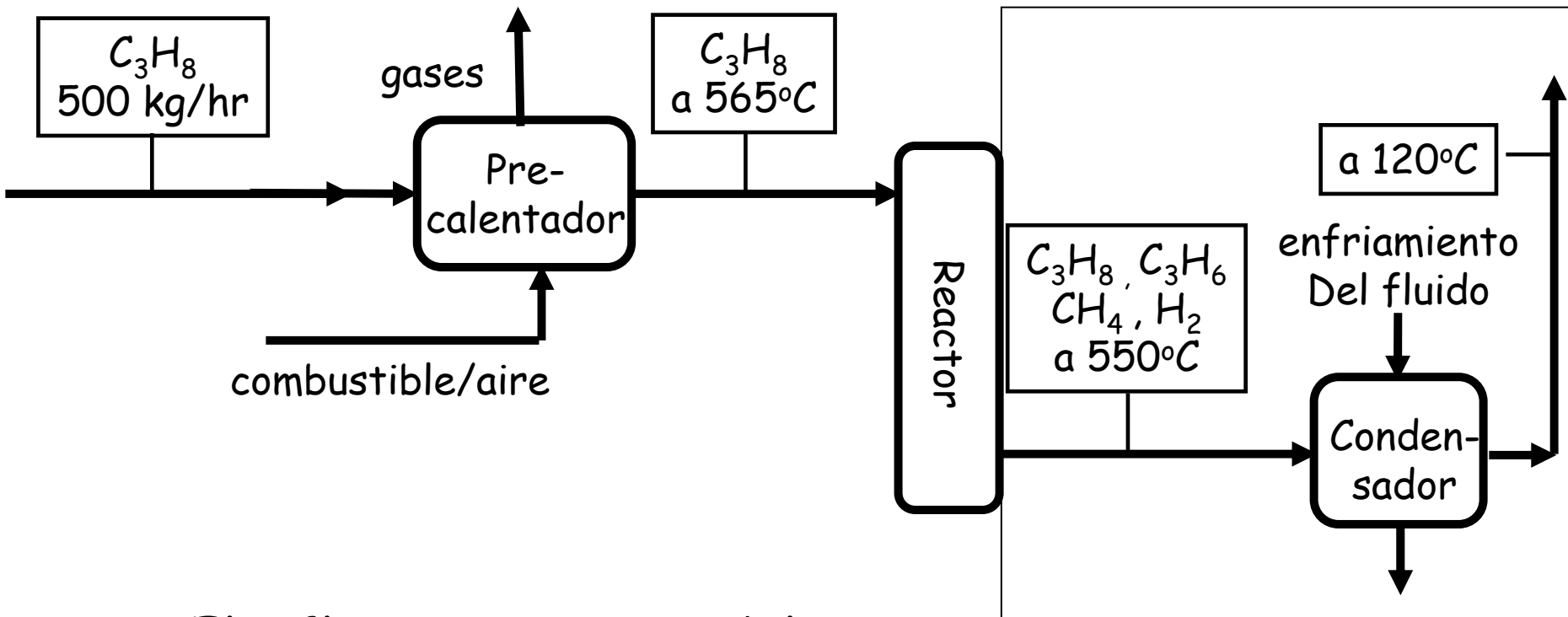
El aceite se envía a una torre en la cual se calienta y eliminan los gases disueltos. El aceite eliminado se recicla a la torre de absorción. Los productos pesados son enviados a una torre de separación. Los gases eliminados son comprimidos y enviados a una columna de destilación de alta presión donde se separa el propano del propileno. El vapor producido en la torre de fraccionamiento contiene 98% de propileno y la corriente que se recicla contiene el 97% de propano. La corriente de propano se recicla a la corriente de alimentación del reactor de precalentamiento

Proceso de deshidrogenación del propano



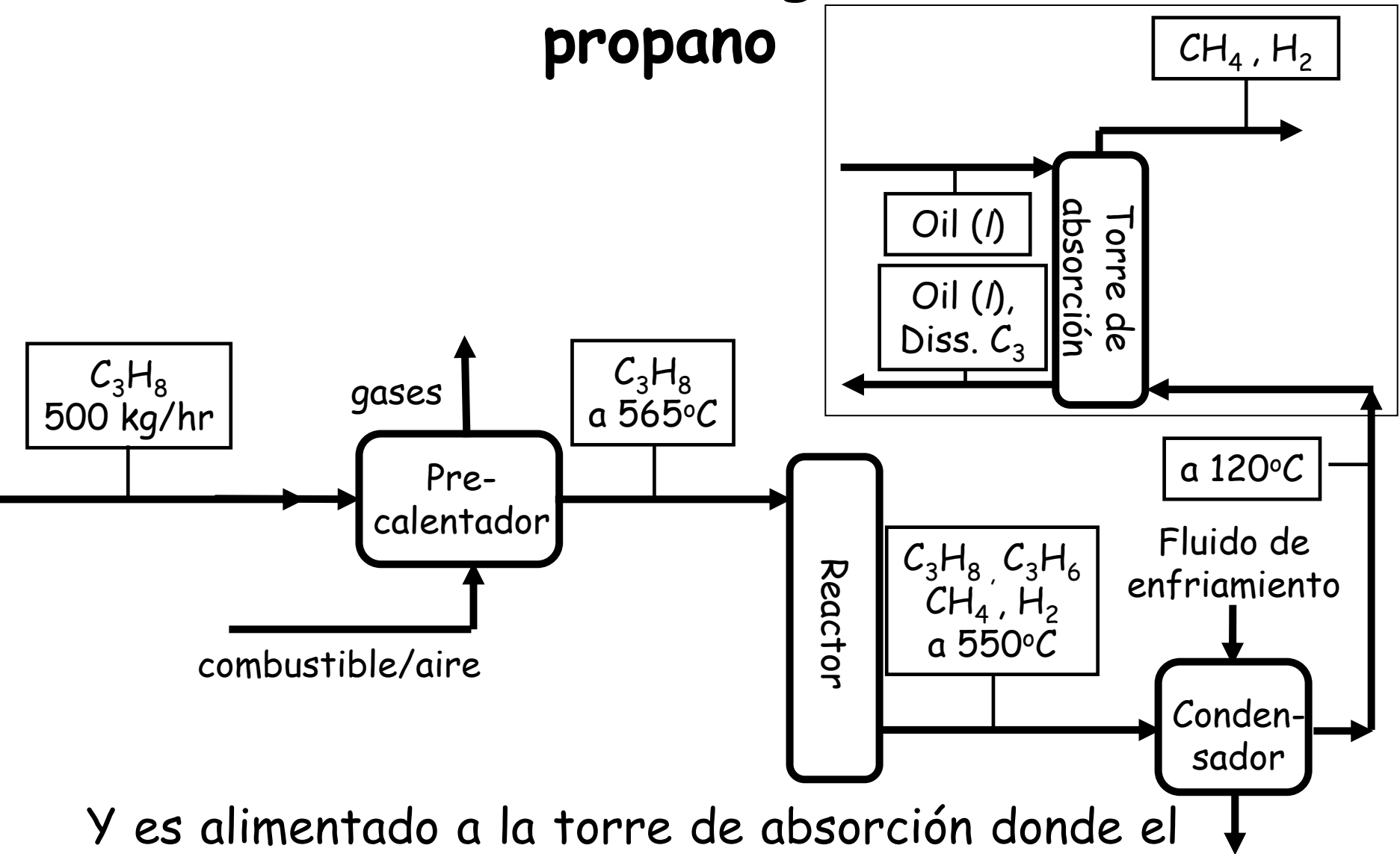
500 kg/hr de propano puro alimentan un precalentador donde se eleva la temperatura a $565^\circ C$ antes del reactor.

Proceso de deshidrogenación del propano



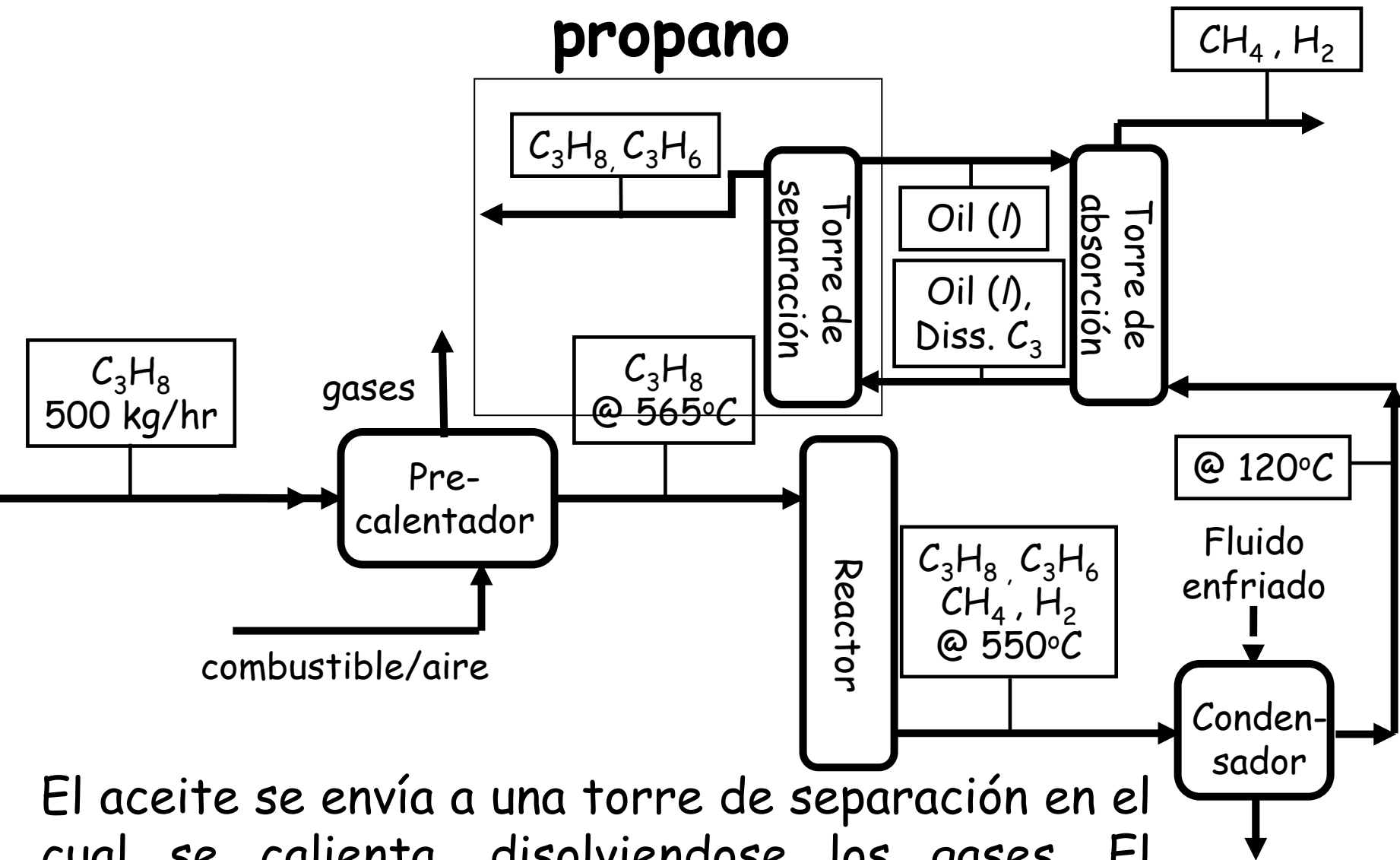
El efluente gaseoso del reactor que contiene propano, propileno, metano e hidrógeno, es enfriado de $550^\circ C$ a $120^\circ C$.

Proceso de deshidrogenación del propano



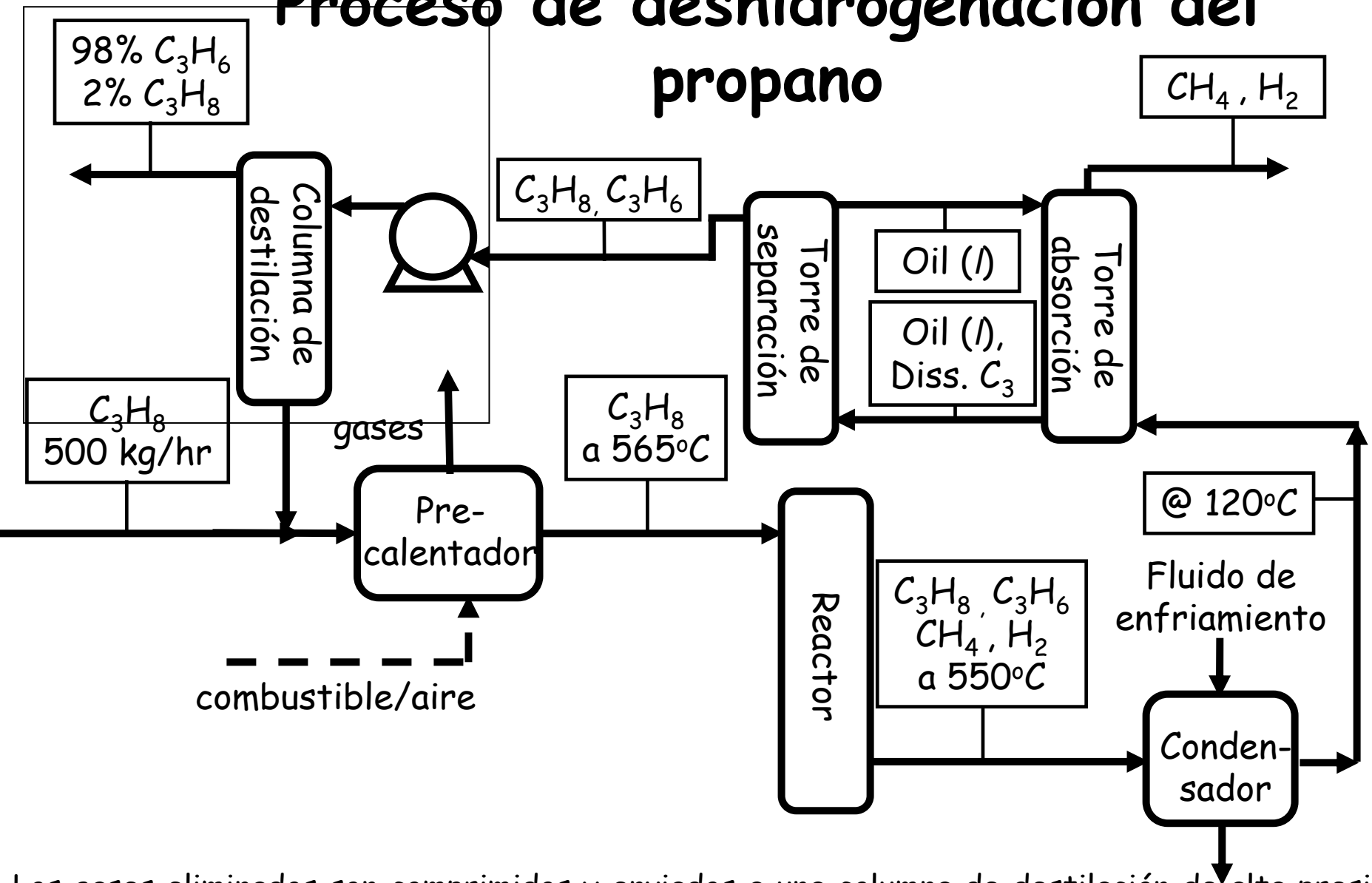
Y es alimentado a la torre de absorción donde el propano y propileno son disueltos en aceite.

Proceso de deshidrogenación del propano



El aceite se envía a una torre de separación en el cual se calienta, disolviéndose los gases. El aceite recuperado es reciclado a la torre de absorción.

Proceso de deshidrogenación del propano



Los gases eliminados son comprimidos y enviados a una columna de destilación de alta presión donde se separa el propano del propileno. El vapor producido en la en la columna de destilación contiene 98% de propileno y la corriente que se recicla contiene el 97% de propano. La corriente de propano se recicla a la corriente de alimentación del reactor de precalentamiento

Planta comercial de deshidrogenación del propano

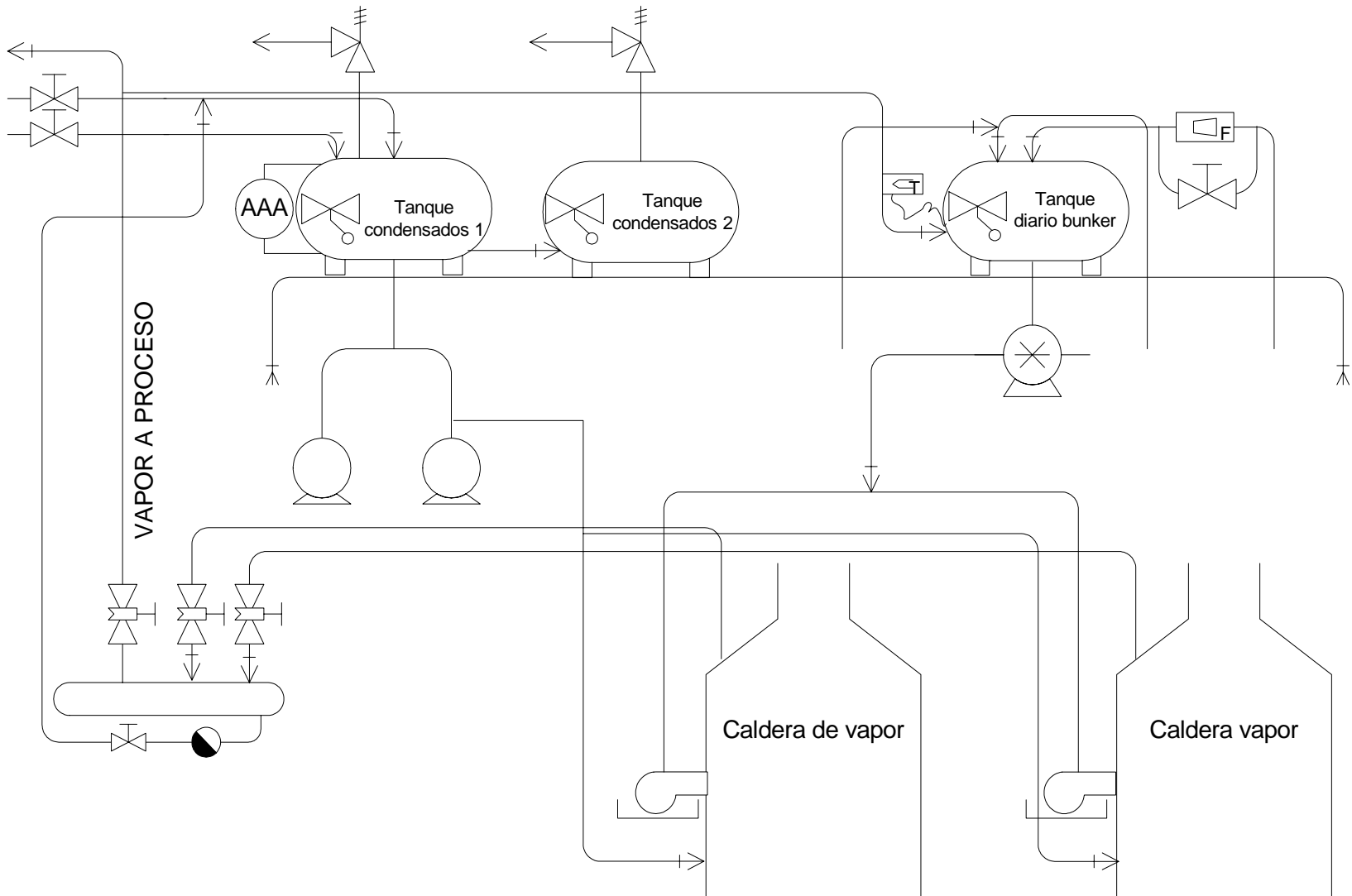


La planta de deshidrogenación de propano más grande del mundo, el complejo petroquímico se encuentra localizado en Tarragona, España. Construida por BASF Sonatrach PropanChem SA.

(<http://www.chemicals-technology.com/projects/tarragona/tarragona1.html>)

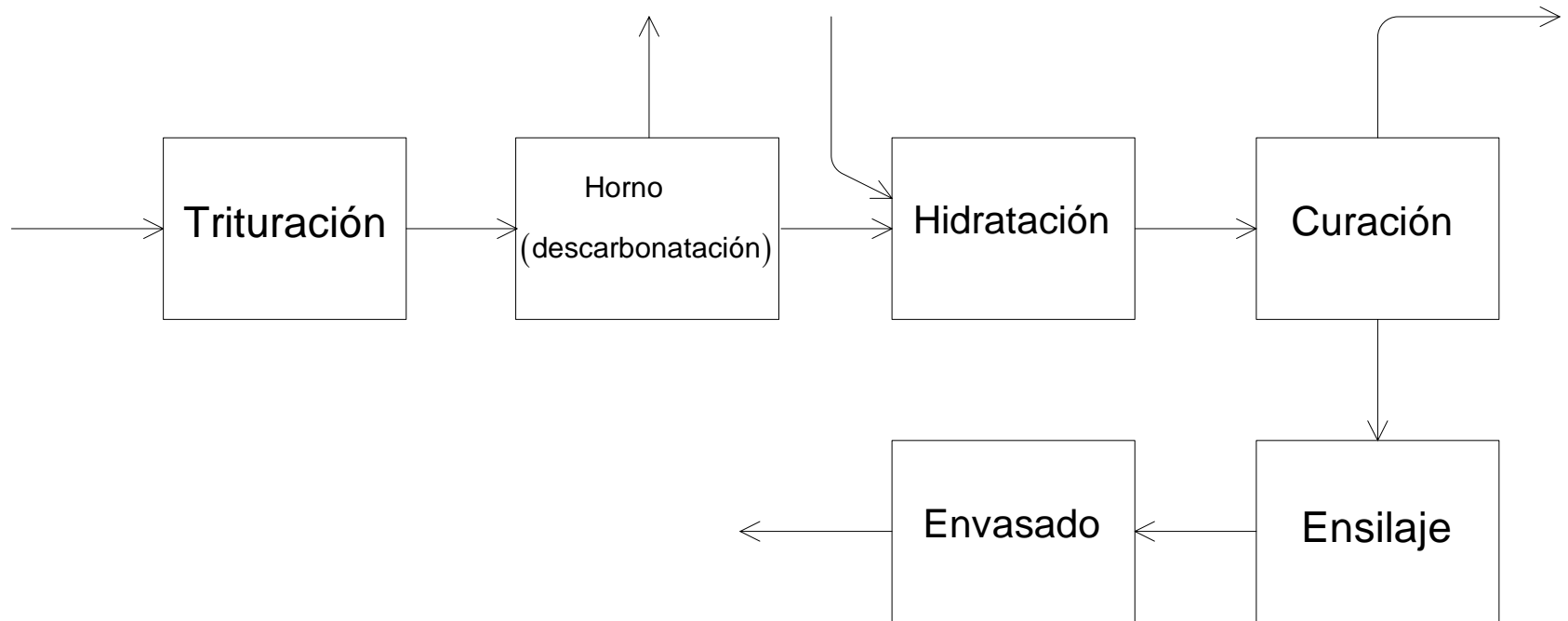
Diagramas de equipo

Generación de vapor bebida carbonatada



Diagramas de bloques

Fabricación de cal hidratada



Nomenclatura a utilizar por corriente

$m_x = \text{Masa [kg]}$

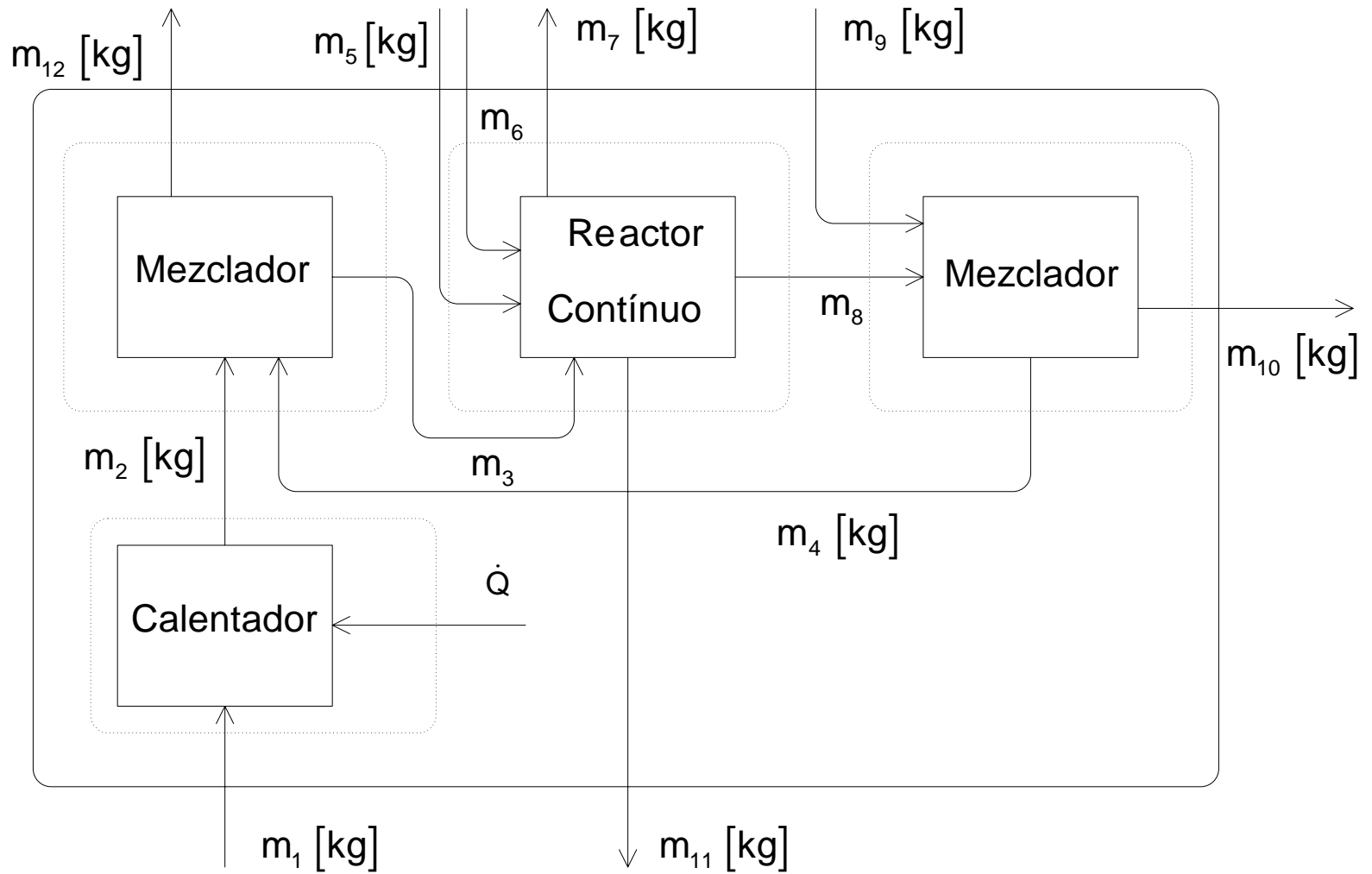
$\dot{m}_x = \text{Flujo másico} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$

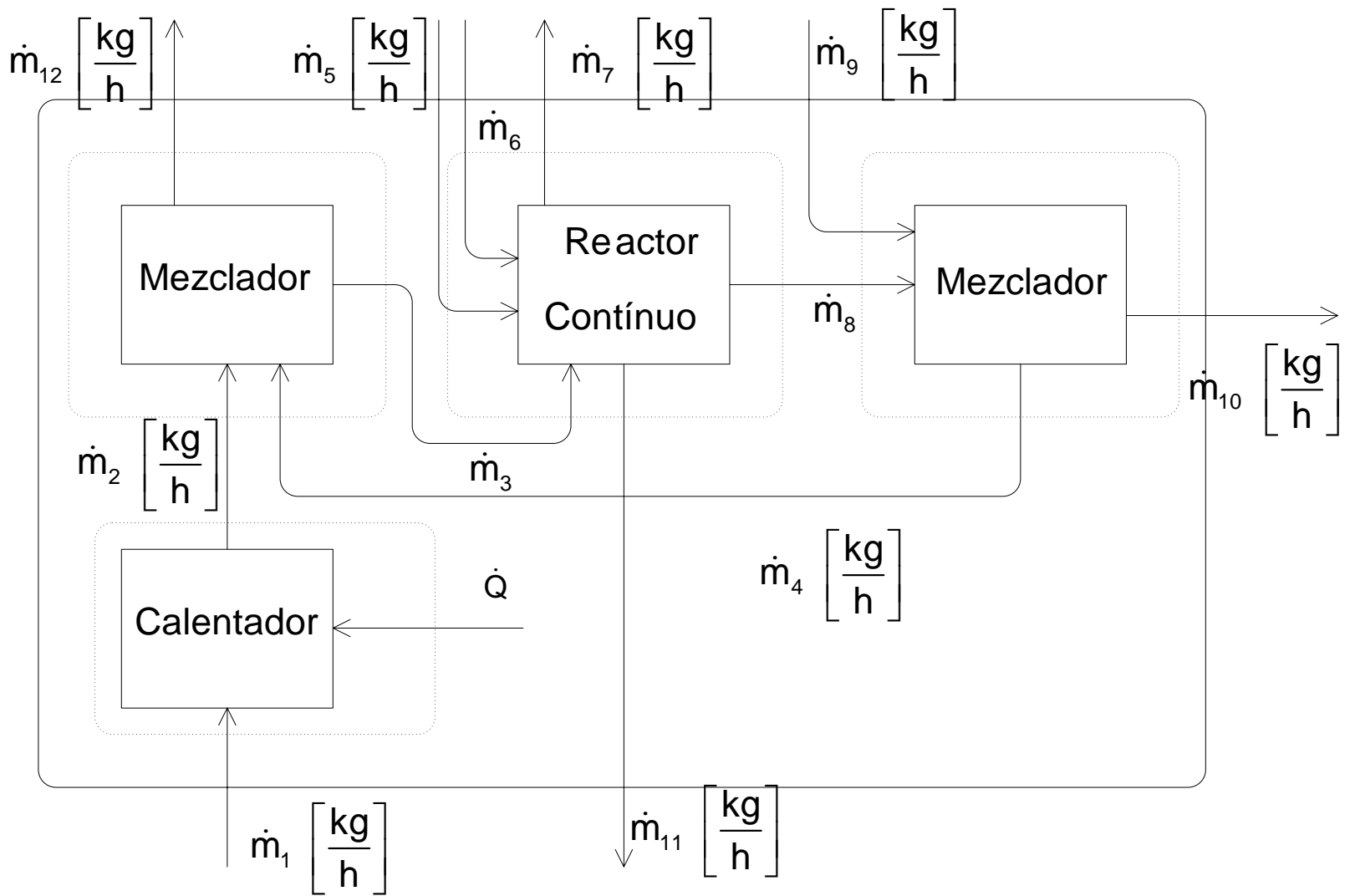
$q_x = \text{Volumen [m}^3\text{]}$

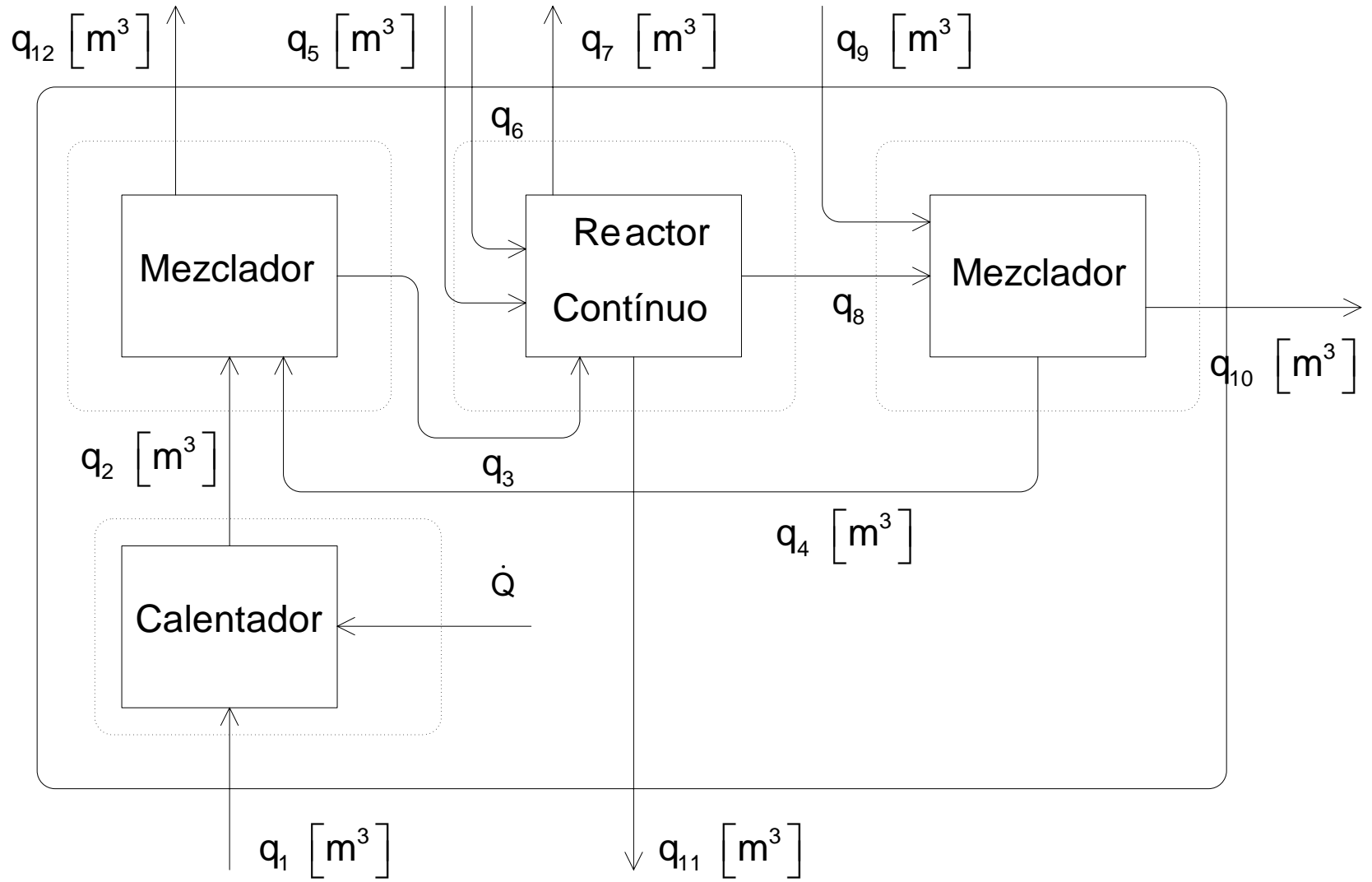
$\dot{q}_x = \text{Flujo volumétrico} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$

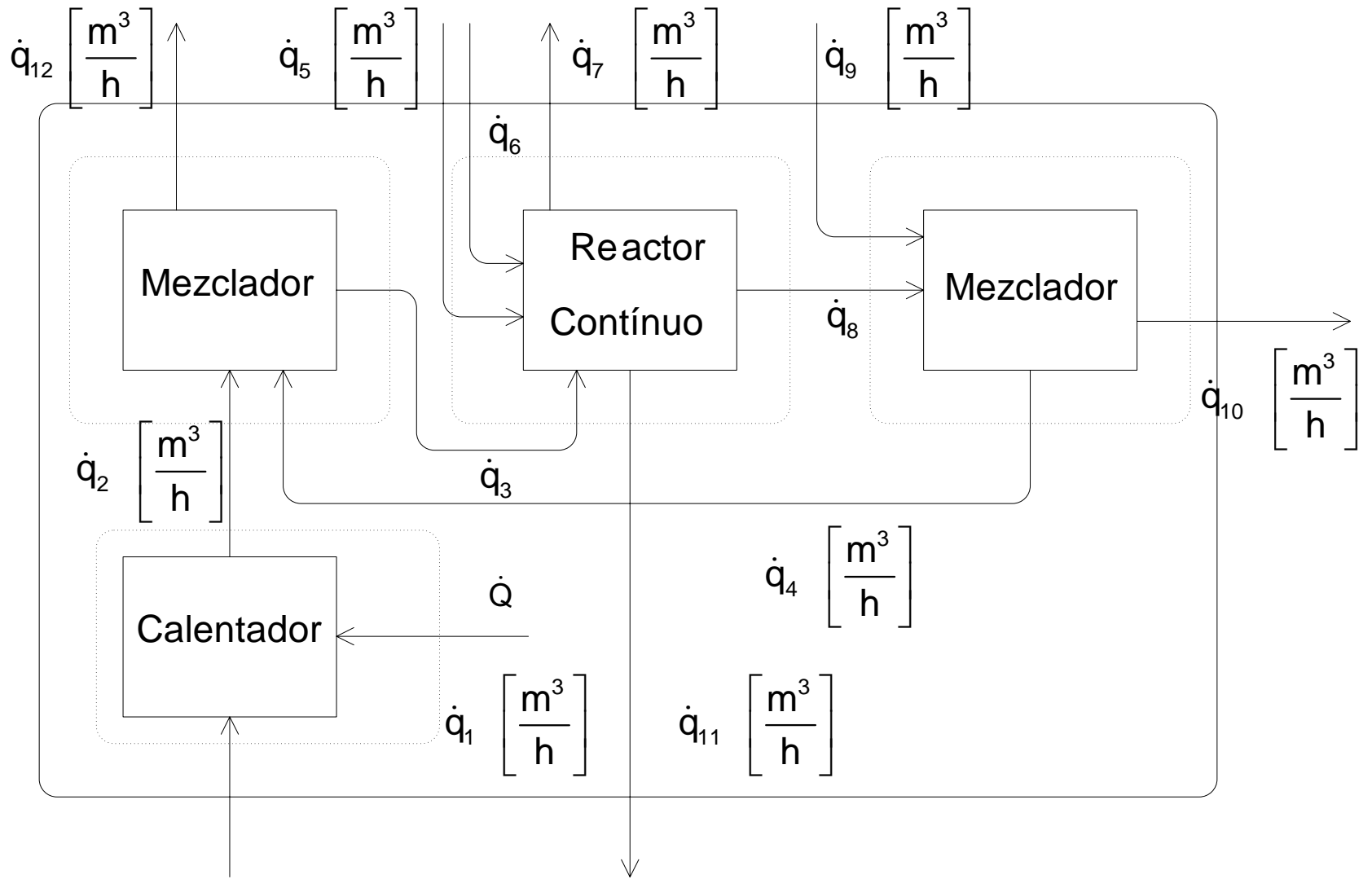
$n = \text{moles [kmol]}$

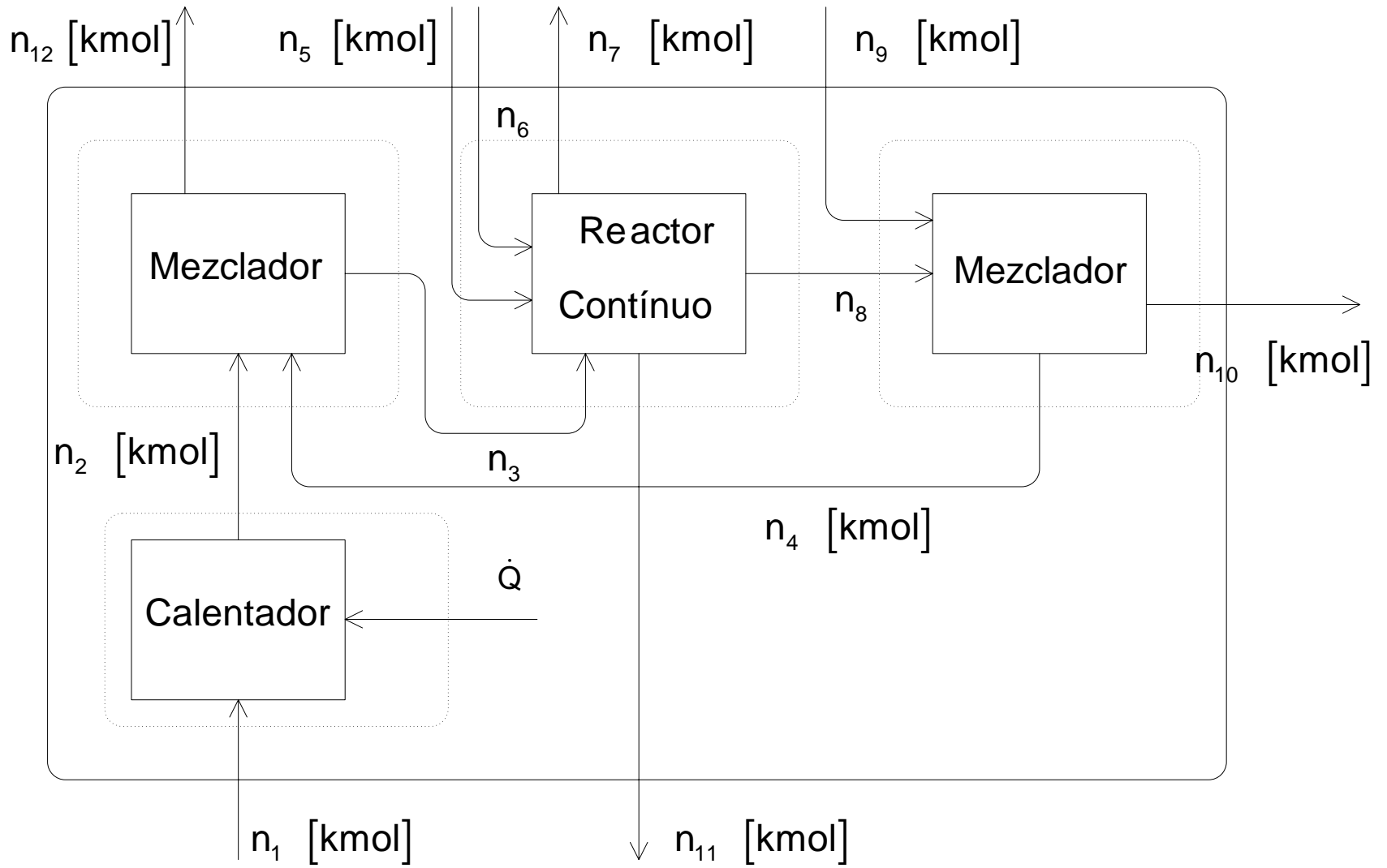
$\dot{n}_x = \text{Flujo molar} \left[\frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right]$

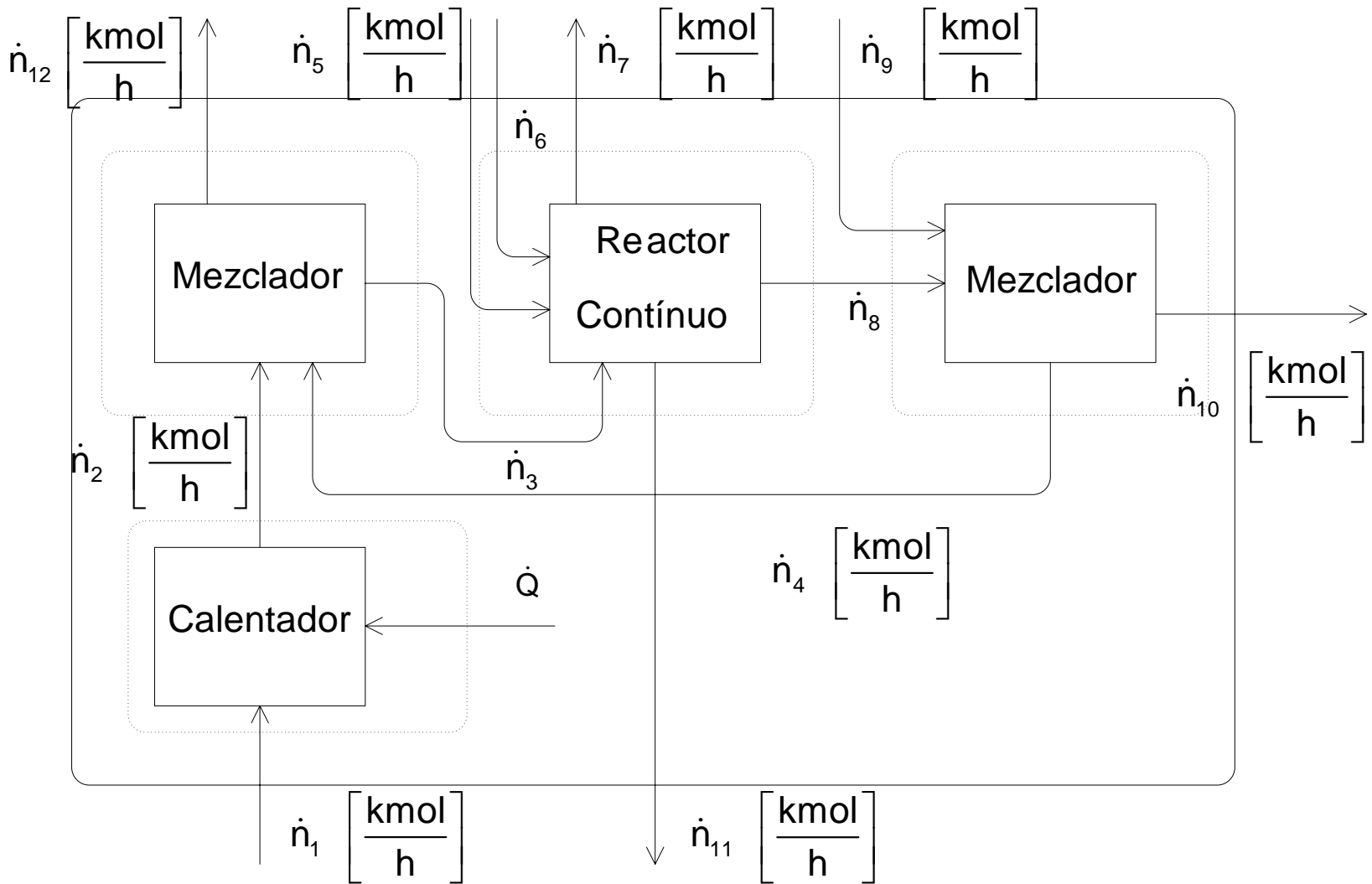












PROPIEDADES

Se denominan propiedades a las características de un proceso en estudio. Las propiedades en un proceso (sistema) pueden ser extensivas, intensivas y específicas.

Propiedades extensivas Son las propiedades que dependen de la cantidad de la sustancias. Así, la masa, el volumen, la energía total, son propiedades extensivas, es decir:

$$m_{i=1 \rightarrow x} = \frac{1}{2} m + \frac{1}{2} m = m$$

$$V_{i=1 \rightarrow x} = \frac{1}{2} V + \frac{1}{2} V = V$$

$$E_{i=1 \rightarrow x} = \frac{1}{2} E + \frac{1}{2} E = E$$

Propiedades intensivas

Son las que no dependen de la cantidad de la sustancia, como la presión, temperatura, densidad, viscosidad, tensión superficial, etc.

Propiedades específicas

Son las propiedades extensivas por unidad de masa o volumen. Las propiedades específicas son el volumen específico, densidad específica, gravedad específica, entalpía y energía interna.

$$\text{Densidad relativa} = \rho_{\text{relativa}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{agua a } 4^{\circ}\text{C}}} \quad \text{Volumen específico} = v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\frac{m}{V}}$$

PROCESO Y SISTEMA

Los balances de materia y energía se pueden realizar en equipos o en procesos. La fabricación de cualquier producto está formada por una serie de procesos o cambios físicos, químicos y mecánicos llamados operaciones unitarias que transforman la materia prima en producto.

Para realizar un balance de materia y energía en cualquier proceso, antes hay que entender el proceso, elaborar un flow sheet, definir el sistema y anotar las variables de operación que caracterizan el sistema en cada corriente [flujo, fracción y cualquier otra propiedad especificada en el problema].

OPERACIONES UNITARIAS Y UTILITARIOS

Es una serie de procesos que causan un cambio físico, químico o mecánico en las materias primas para obtener un producto. Las operaciones unitarias realizan cambios en la materia prima y en las corrientes de transformación para obtener el producto [materia prima \Rightarrow operaciones unitarias \Rightarrow producto]. Se pueden mencionar algunas de las operaciones unitarias utilizadas en los procesos, como son las siguientes: Trituración, molienda, secado, evaporación, sedimentación, mezcla, filtrado, flotación, combustión, lixiviación, destilación, absorción, adsorción, intercambio iónico, ultra filtración, fundición, decantación. Para poner en marcha las operaciones unitarias o los procesos se requiere de servicios [utilitarios] los cuales se tratarán en otro capítulo.

Los servicios o utilitarios son la fuerza motriz de los procesos y estos son: Agua [sistema de bombeo], aire [compresores y ventiladores], electricidad [motores eléctricos], vapor [calderas], calor [combustores] y generación de potencia [generación o cogeneración de electricidad y/o vapor a partir de ciclos de potencia]. Como consecuencia se deduce que los utilitarios siendo la parte motora de los procesos es indispensable su tratamiento en la integración a los balances.

CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Según su estabilidad Los procesos según su estabilidad se dividen en procesos estables e inestables: **Proceso estable** es aquel en el cual sus variables [intensivas, extensivas y específicas] no varían respecto al tiempo es decir, los procesos controlados cuya operación no varía con el tiempo obteniéndose así un producto de calidad y razón de producción constante. **Proceso inestable** es aquel en el cual sus variables intensivas varían respecto al tiempo es decir, son procesos cambiantes cuyos flujos de corrientes y propiedades intensivas varían respecto al tiempo [presión, temperatura, flujo específico], estos procesos son llamados también **procesos transitorios** ya que su estabilidad depende del tiempo en que el proceso alcance sus condiciones de operación establecidas. Usualmente puede ser que estén fluctuando [inestables] por arranque, razones de un mal funcionamiento del equipo o experimentación.

CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Según su continuidad Los procesos de acuerdo a sus corrientes o flujos de entrada o salida se clasifican según su continuidad en proceso continuo, proceso discontinuo o batch y semi continuo o semi batch. El **proceso continuo** es aquel en el cual se establecen flujos de salida y entrada constantes. **Proceso semi continuo** es aquel en el cual las corrientes de entrada son por "tandas" y las corrientes de salida son continuas o viceversa. **Proceso discontinuo** es aquel en el cual las entradas y salidas se realizan por "tandas" [proceso batch].

SISTEMAS

Un balance de materia y energía puede realizarse en la totalidad del proceso de fabricación o en una porción del proceso; para definir el "área" en estudio se define el sistema o volumen de control.

Sistema Es la parte del proceso en la cual se enfoca el estudio: Es importante tomar en cuenta que el sistema se delimita a través de la frontera y esta se representa por medio de líneas punteadas que facilitan la visualización de las corrientes de materia y energía que entran y salen del sistema. En sistemas de flujo el sistema se define como volumen de control.

Sistema cerrado Es aquel en el cual no existe intercambio de materia con los alrededores, como el aire confinado en un pistón, aceite de amortiguamiento, esfera de helio, carter de aceite de un vehículo.

Sistema aislado mecánica o térmicamente Un sistema aislado térmicamente es aquel en el cual no existe intercambio de calor con sus alrededores como es el caso de un sistema aislado con material aislante como fibra de vidrio o lana mineral; aunque en la práctica siempre existirá cierta pérdida de calor que para fines de cálculo puede despreciarse. Sistema aislado mecánicamente es aquel que está limitado por paredes rígidas como son los tanques de almacenamiento [Un pistón con su émbolo es un sistema cerrado, aunque no aislado mecánicamente ya que el pistón puede moverse con un cambio de presión o temperatura].

Sistema totalmente aislado Es aquel sistema que se encuentra aislado térmica y mecánicamente.

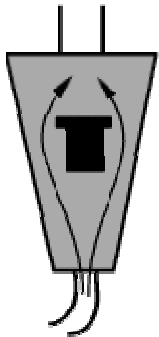
Sistema abierto Es aquel en el cual existen corrientes de entrada y corrientes de salida, como es el caso de un intercambiador de calor en el cual se calienta una corriente a expensas del enfriamiento de la otra en contacto indirecto. Los ciclos de potencia que generan vapor y producen energía eléctrica a partir de la energía química del combustible, cuya energía química la transformándola en energía térmica a través del proceso de combustión. Para analizarlos, puede elegirse como sistema cualquiera de los equipos que intervienen en el ciclo; como es el caso de la caldera, turbina de vapor, condensador o bomba de agua.

Balance de Materia y Energía

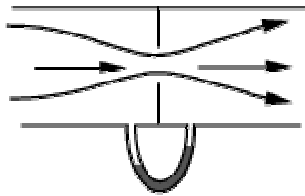
Medición de variables del proceso

Mediciones en las variables del proceso:

Razón de flujo volumétrico

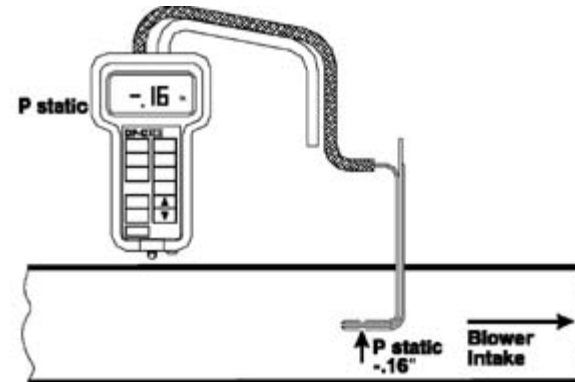


rotameter

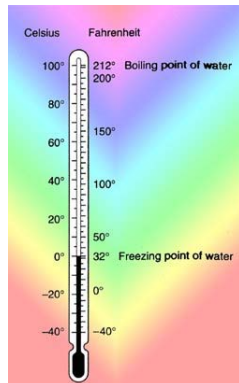


orifice meter

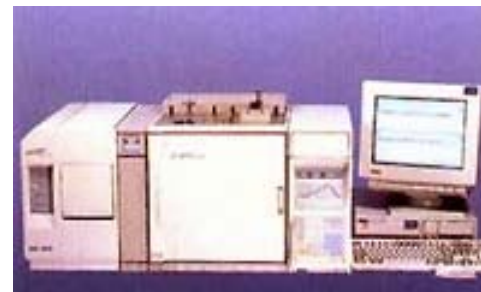
Presión



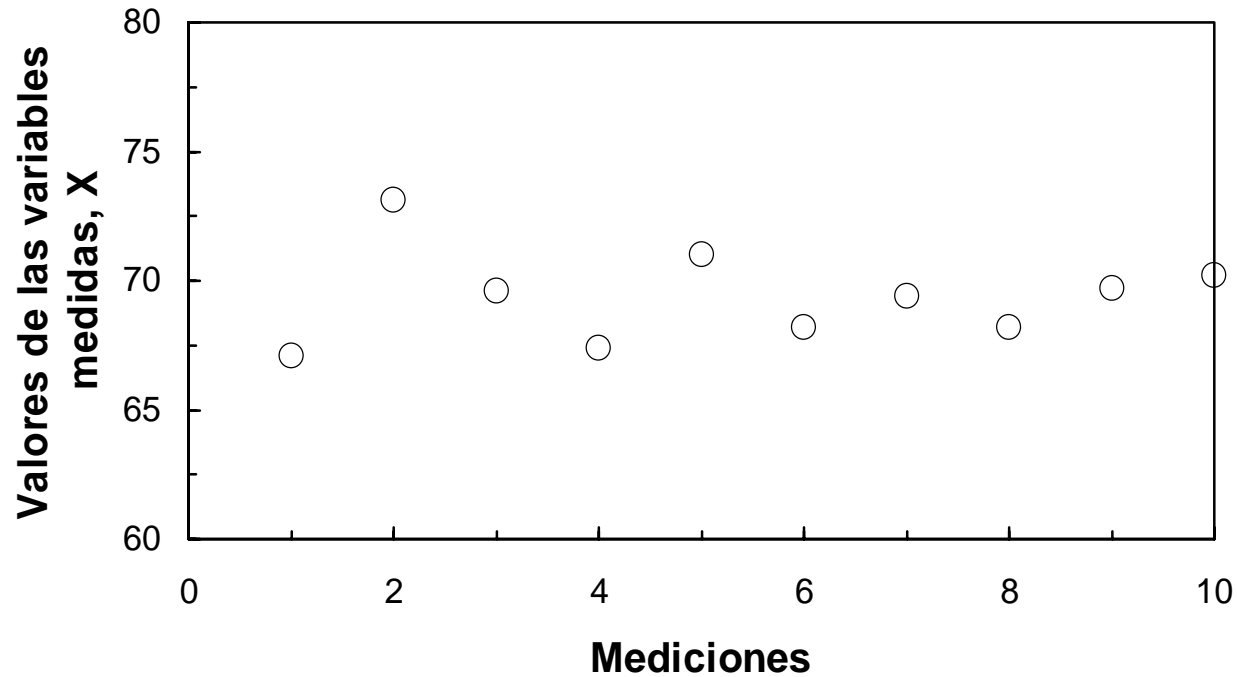
Temperatura



Composición del vapor



Estimación de las variables medidas



Measurement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	67.1	73.1	69.6	67.4	71.0	68.2	69.4	68.2	68.7	70.2

Variaciones debido a:

1. Imposible mantener las condiciones de operación
2. Variaciones debido a la instrumentación
3. Variaciones debido a la toma de muestra/procedimiento de análisis

Muestra promedio y rango de muestra

Promedio de la muestra \bar{X} :

Valor promedio dado por el set de mediciones:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \cdot (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^{j=N} X_j$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \cdot (67.1 + 73.1 + 69.6 + 67.4 + 71.0 + 68.2 + 69.4 + 68.2 + 68.7 + 70.2)$$

$$\bar{X} = 69.4$$

Rango de la muestra, R:

Diferencia entre el valor más alto y más bajo de X en los datos tomados

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

$$R = 73.1 - 67.1 = 6$$

Varianza de la muestra/desviación estándar

Varianza de la muestra s_X^2 :

Indica la distancia promedio del valor medido X de \bar{X}

$$s_X^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \left((X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2 \right)$$

$$s_X^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^{j=N} (X_j - \bar{X})^2$$

$$s_X^2 = \frac{1}{9} \cdot \left((67.1 - 69.4)^2 + (73.1 - 69.4)^2 + (69.6 - 69.4)^2 + \dots + (70.2 - 69.4)^2 \right)$$

$$s_X^2 = 3.24$$

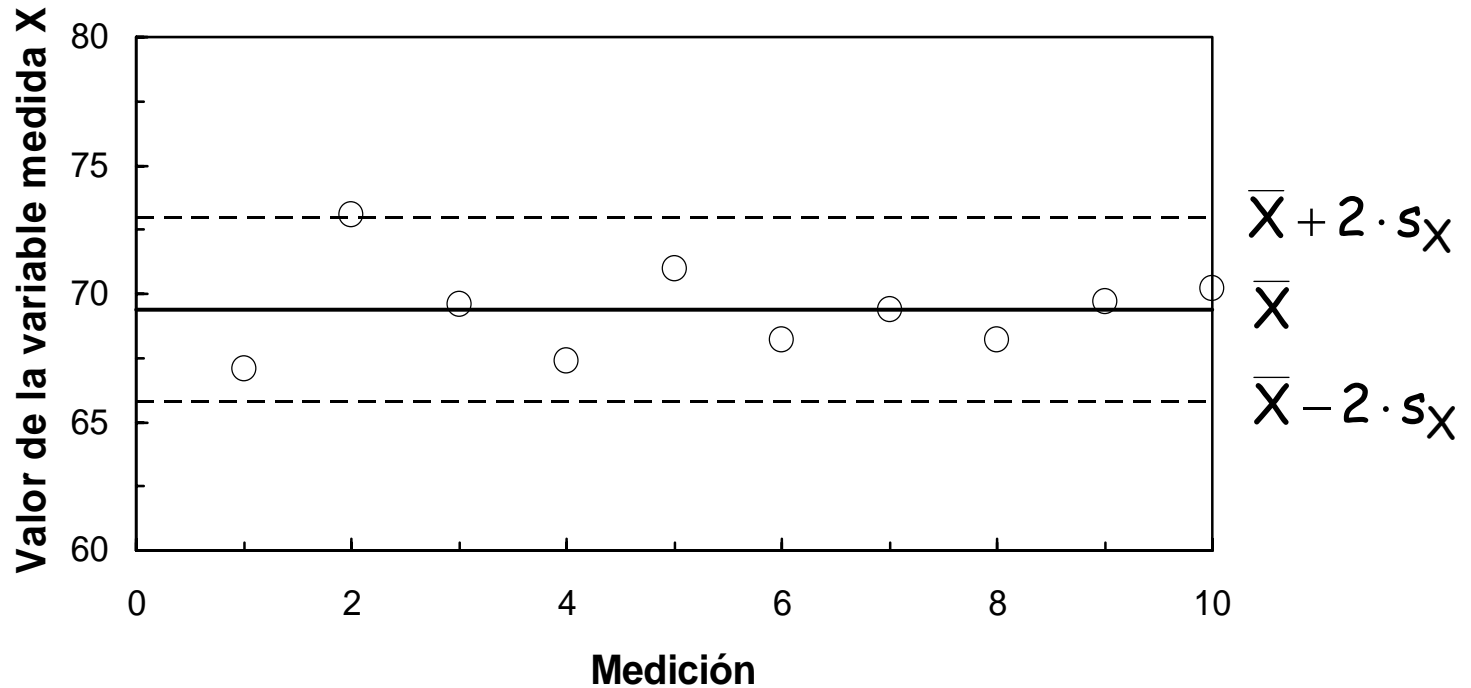
Desviación estándar de la muestra s_X :

Medición de dispersión de una muestra

$$s_X = \sqrt{s_X^2}$$

$$s_X = \sqrt{s_X^2} = \sqrt{3.24} = 1.8$$

Desviación estándar y control de calidad



For a typical random measured variable X (Gaussian distribution):

2/3 fall within $\pm s_X$

95% fall within $\pm 2 \cdot s_X$

99% fall within $\pm 3 \cdot s_X$

Variation from mean is typically used for quality control.

e.g. if X falls outside range $\bar{X} \pm y \cdot s_X$ sample will be rejected (y is chosen value)

Balance de materia y energía

QUIM-MS-2008

ECUACION DE CONTINUIDAD

Para la resolución de algunas variables que forman parte de las corrientes que entran y salen del sistema, se debe tener presente que estas son función de la razón de flujo, para determinar el flujo de masa o de volumen de una determinada corriente, se aplica como herramienta de cálculo la ecuación de continuidad:

Sistema: tubería de flujo

Desarrollo de la ecuación de continuidad para un sistema [Volumen de control] correspondiente a un sistema de tubería en la cual las condiciones 1 son las correspondientes a la entrada y 2 son las condiciones correspondientes a las condiciones de salida:

Considerando un sistema estable [no hay acumulación = entrada = salida]:

$$\sum m_2 - \sum m_1 + \frac{dM}{dt} = 0$$

Desarrollo:

Flujo de masa a través del área seccional del ducto [tubería]:

$$\dot{m} = \int \rho V_n dA$$

Integrando:

$$\boxed{\dot{m} = \rho V_n A}$$

Flujo volumétrico a través del área seccional del ducto [tubería]:

$$\dot{q} = \int V_n dA$$

Integrando:

$$\dot{q} = V_n A$$

Principio de conservación de la masa en régimen inestable:

$$\dot{m}_{\text{sale}} - \dot{m}_{\text{entra}} = \Delta m_{\text{sistema}}$$

Aplicando respecto al tiempo en régimen inestable:

$$\left(\frac{\dot{m}_{\text{sale}}}{dt} \right) - \left(\frac{\dot{m}_{\text{entra}}}{dt} \right) = \frac{\Delta m_{\text{sistema}}}{dt}$$

Aplicando en régimen estable: $\frac{dm}{dt} = 0 \Rightarrow \dot{m}_{\text{entra}} = \dot{m}_{\text{sale}}$

Para sistemas estables con un flujo de salida y uno de entrada
[Flujo másico vrs volumétrico]:

$$\dot{m} = (\rho VA)_1 = (\rho VA)_2 = (\dot{q}\rho)_1 = (\dot{q}\rho)_2$$

Dimensionales del flujo másico y volumétrico:

Unidades inglesas :

$$\dot{m} = \left[\frac{\text{lb}_m}{\text{s}} \right] \quad \dot{q} = \left[\frac{\text{pie}^3}{\text{s}} \right]$$

Unidades internacionales :

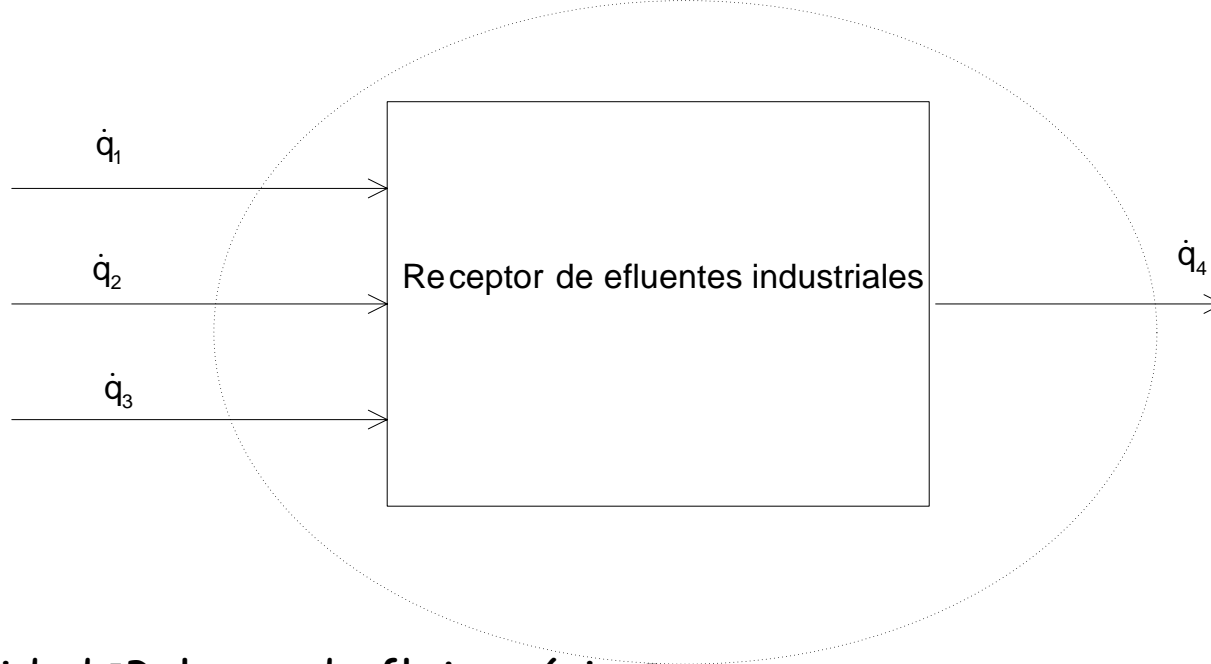
$$\dot{m} = \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \quad \dot{q} = \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

PROCESO 2.1 [DEPOSITO DE EFLUENTES INDUSTRIALES]

Un depósito receptor de efluentes industriales de granjas de crianza de pollos recibe tres efluentes con las siguientes características:

Corriente	Razón volumétrica [m ³ /h]	Densidad [kg/m ³]
1	72.40	1.18
2	50.71	1.70
3	114.28	1.48

El efluente de salida posee una densidad de 1.60 kg/m³. Determinar la razón de flujo volumétrico saliendo del receptor de efluentes. Estos efluentes industriales se envían a una laguna de oxidación utilizando tanques cisterna. Las granjas de crianza de pollos opera 24 horas, durante 330 días anuales y el costo actual de transporte es de \$50 por tanque cisterna, siendo la capacidad de cada cisterna de 100 m³. Un nuevo contratista presenta una oferta por valor de \$900,000 por año de transporte de los efluentes a la laguna de oxidación. ¿Las granjas aceptarían la nueva contratación?



Por continuidad [Balance de flujo másico]:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad \equiv \quad \rho_1 \dot{q}_1 + \rho_2 \dot{q}_2 + \rho_3 \dot{q}_3 = \rho_4 \dot{q}_4$$

$$\Rightarrow \dot{q}_4 = \frac{\rho_1 \dot{q}_1 + \rho_2 \dot{q}_2 + \rho_3 \dot{q}_3}{\rho_4}$$

$$= \frac{\left(1.18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(72.40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) + \left(1.70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(50.71 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) + \left(1.48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(114.28 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{\left(1.60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \boxed{212.98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Volumen de efluentes anuales:

$$\left(212.98 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \left(\frac{24 \text{h}}{\text{día}}\right) \left(\frac{330 \text{día}}{\text{año}}\right) = 1,686,802 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Costo anual del transporte del efluente:

$$\left(1,686,802 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right) \left(\frac{1}{100 \text{m}^3}\right) \left(\frac{\$50}{\text{cisterna}}\right) = \boxed{843,401 \frac{\$}{\text{cisternas} - \text{año}}}$$

De los cálculos anteriores se determina que a las granjas les conviene seguir con el mismo contratista, pues económicamente representa un ahorro de \$ 56,599, en relación a la nueva propuesta.