



Programa de la asignatura:

Balance de materia y energía

U2

Balance de energía





Índice

Presentación de la unidad.....	2
Propósitos de la unidad.....	3
Competencia específica.....	3
2.1. Ecuación general del balance de energía.....	4
2.1.1. Implicación termodinámica de los balances de energía.....	5
2.1.2. Sistema de energía.....	7
2.2. Clasificación de balances de energía.....	18
2.2.1. Balance con reacción química.....	19
2.2.2. Balance sin reacción química.....	22
2.3. Reactor Batch.....	26
2.3.1. Reactores exotérmicos.....	28
2.3.2. Reactor endotérmico.....	28
2.3.3. Reactor isotérmico.....	28
2.3.4. Reactor adiabático.....	30
Actividades.....	33
Autorreflexiones.....	34
Cierre de la unidad.....	34
Para saber más.....	35
Fuentes de consulta.....	36



Presentación de la unidad

En esta unidad se establece la relación de los balances de energía con la Primera Ley de la Termodinámica. Esta se refiere a que la energía sólo se transforma para su conservación, revisamos los seis tipos de energía: cinética, potencial interna, entalpía, calor y trabajo.

Los balances de materia se emplean para determinar rendimientos de los procesos, con esta herramienta se cuantifica la porción de producto obtenido por cantidad de materia prima suministrada en el proceso. Esto permite reducir al máximo las mermas de materias primas y optimizar recursos en plantas industriales.

Los balances de energía son necesarios cuando se diseña una planta Industrial debido a que proporcionan información acerca de la potencia requerida de bombas para transporte de fluidos, el tiempo para realizar el secado de productos, la cantidad de calor que adsorbe o libera un equipo en una fábrica. Estos son sólo algunos ejemplos que ilustran la importancia de identificar y realizar balances de energía en el diseño de plantas productivas.

De acuerdo a las condiciones de operación, Los balances de energía se clasifican en: balance de energía para un sistema abierto y balance de energía para un sistema cerrado.

Por otra parte, en esta unidad se identifica el procedimiento para dar solución numérica a ejercicios de ingeniería empleando balances de energía en procesos no reactivos o físicos y en los procesos químicos.

Estas herramientas las aplicamos los Ingenieros en Biotecnología en las diferentes operaciones unitarias para elaboración de un producto. Por ejemplo, se realizan balances de energía en secadores, evaporadores, turbinas, bombas peristálticas, reactores, fermentadores que son equipos comunes en la industria alimentaria, química, ambiental, de cosméticos y de bebidas.



Propósitos de la unidad



Identificar el procedimiento para aplicar los balances de energía en operaciones unitarias de uso frecuente en los diferentes tipos de industrias (alimentaria, química, cosméticos, ambiental, etcétera) en procesos donde no existe transformación de la materia, es decir, en procesos físicos como: la destilación, el secado, la evaporación, las turbinas y, finalmente, en procesos donde ocurre transformación de la materia en procesos químicos, tales como los reactores de combustión o los fermentadores.

Competencia específica



Aplicar el principio de conservación de energía, para obtener los valores de los parámetros: temperatura, presión y calor a través de las ecuaciones de balance energético en reactores.



2.1. Ecuación general del balance de energía

Los balances de energía se basan en la aplicación de leyes de conservación de masa y energía, la resolución sistemática de muchos de ellos creará la intuición necesaria para resolver casos de procesos industriales. Un balance de materia y energía es un procedimiento que lleva a la contabilidad exacta de la energía entrante y saliente de un proceso. El balance de energía se basa en la ley de la conservación de la energía enunciada por Hemholtz, que indica que la energía para un proceso químico no se crea ni se destruye solo se transforma.

El principio de energía es un principio físico fundamental igual que la de masa observa la figura 1, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiable y acumulada dentro de un sistema. Por ejemplo cuando se transmite calor de un cuerpo a otro depende directamente de dos variables; la diferencia de temperatura entre los cuerpos calientes y fríos y superficie disponible para el intercambio de calor. Recuerda que los factores como la geometría y propiedades físicas del sistema y, si existe un fluido, las condiciones de flujo.

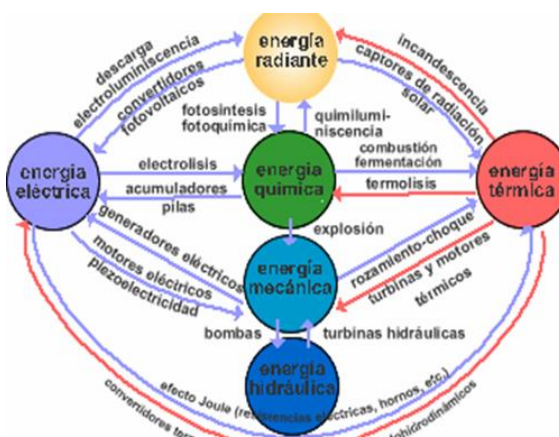


Figura 1. La energía (Martínez, S. 2008).

Para los balances de energía hay que tener claro cuál es el sistema en el que se van a plantear, así como las corrientes de entrada y salida del mismo. La energía puede intercambiarse en forma de calor, de trabajo, y energía vinculada a los flujos de masa, esta última en dos apartados: a) energía vinculada a la masa propiamente dicha (energía interna, cinética y potencial), y b) energía o trabajos vinculados al propio flujo (para que se produzca el flujo hace falta realizar un trabajo).



2.1.1. Implicación termodinámica de los balances de energía

Los balances de energía tienen implicaciones termodinámicas, debido a que para realizarlos se hace uso de la Primera Ley de la Termodinámica que, como recordarás, se refiere a la conservación de la energía. La cual señala que la energía no se crea o se destruye sólo se transforma. Esta ley nos permite identificar a los procesos que requieren suministro de energía denominados **endotérmicos** y los que liberan energía que son los **exotérmicos**.

Cuando la temperatura del sistema y su entorno es diferente, la dirección de la transferencia de calor se realiza de acuerdo, al gradiente de temperatura; la transferencia ocurre del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura.

Para la transferencia de calor y trabajo, existen dos casos de acuerdo a las condiciones del sistema y el entorno. El primer caso ocurre cuando la temperatura del sistema es mayor a la temperatura del entorno (ver la **figura 2**). Es decir, la dirección de la transferencia de calor se realiza del sistema al entorno.

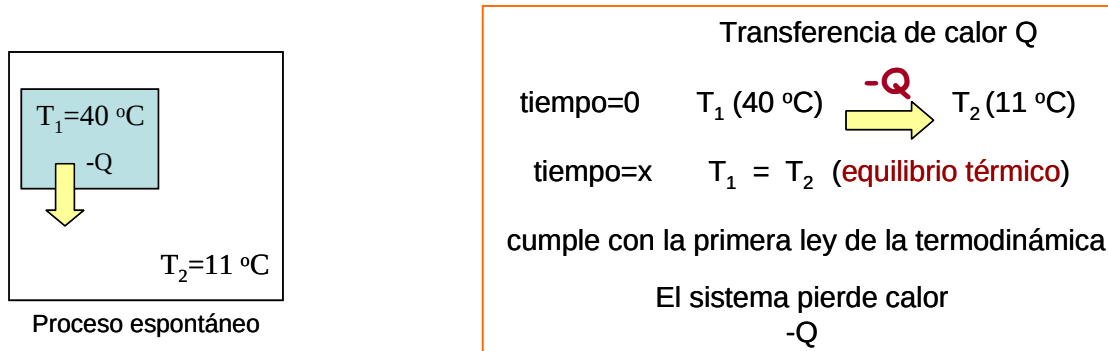


Figura 2.

Vamos a describir lo que se presenta en la **figura 2**. Tenemos en un tiempo inicial que la temperatura del sistema está a 40°C y la temperatura del entorno a 11°C . Por lo tanto, el calor va a fluir del sistema al entorno, **¿pero, hasta qué momento va a haber transferencia de calor?** La respuesta a esta pregunta es: hasta que se alcance el **equilibrio térmico**. Es decir, en el momento que la temperatura del sistema sea igual a la temperatura del entorno. Existe un acuerdo que indica que cuando la transferencia de calor ocurre en la dirección del sistema al entorno se le asigna un signo negativo ($-Q$), lo que significa que el proceso es exotérmico, **el sistema libera calor a el entorno (figura 3)**.

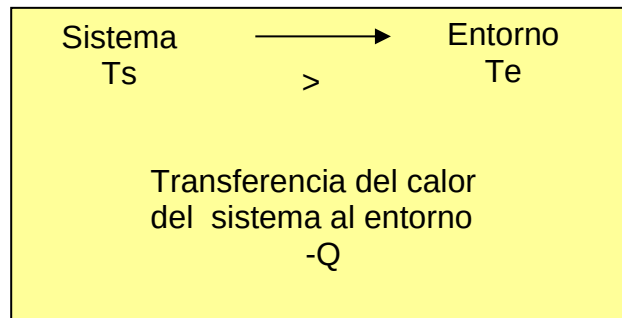


Figura 3.

En el segundo caso ocurre cuando la temperatura del sistema es menor respecto a la temperatura del entorno, así la dirección de la transferencia es del entorno al sistema, entonces se asigna al calor un signo positivo (+Q). El sistema recibe calor del entorno, hasta alcanzar nuevamente el equilibrio térmico, ver la **figura 4**.

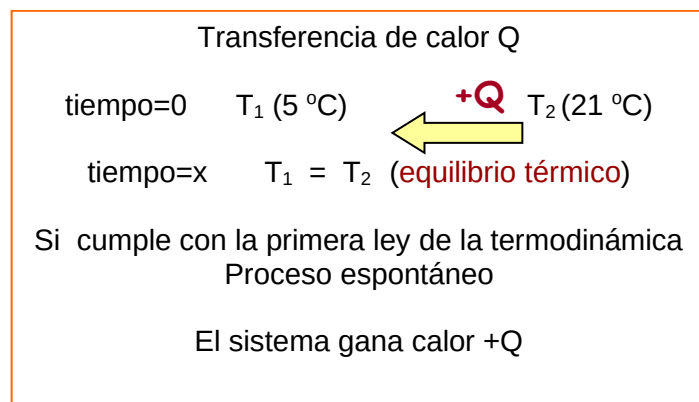
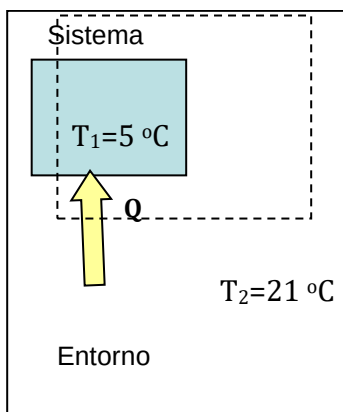


Figura 4.

Ahora revisemos la **figura 4**; tenemos en el tiempo inicial que la temperatura del sistema está a 5°C y la temperatura del entorno a 21°C, por lo tanto el calor va a fluir del entorno al sistema, hasta que se alcance el **equilibrio térmico**, es decir, en el momento que la temperatura del sistema sea igual a la temperatura del entorno. Existe un acuerdo que indica que cuando la transferencia de calor ocurre en la dirección del entorno al sistema donde se le asigna un signo positivo (+Q), lo que significa que el proceso es endotérmico, el **sistema absorbe calor del entorno (figura 5)**.

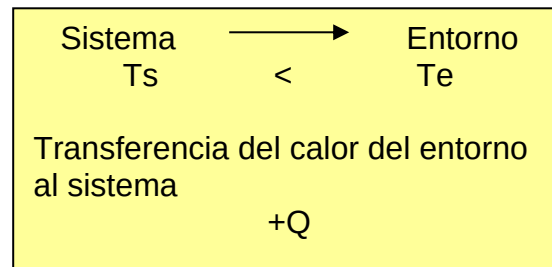


Figura 5.

En la industria existen muchos equipos o unidades de proceso en donde se lleva a cabo, la transferencia de energía (balance de energía), por ejemplo en un **evaporador** se suministra energía en forma de calor, con el propósito de reducir el contenido de agua en un producto. En la siguiente **tabla 1** se indican los equipos o unidades de proceso en donde se realizan balances de energía empleados en los diferentes tipos de industria.

Tabla 1.

Industria	Equipo donde se realiza balances de energía en los diferentes tipos de industria
Alimentos Química Cosméticos	Secador
	Evaporador
	Intercambiadores de calor
	Destilador
	Bombas
	Reactores
	Fermentadores

2.1.2. Sistema de energía

En estos equipos existe transferencia de energía entre los diferentes tipos. Hasta este momento, hemos identificado que la energía se conserva en un sistema, es decir únicamente se transforma, para ambos procesos abiertos y cerrados. Entonces **¿cuántos y cuáles son los tipos de energía en los que se puede transformar la energía?**



Existen seis tipos de energía estas son:

1. Energía cinética
2. Energía potencial
3. Entalpía
4. Energía Interna
5. Calor
6. Trabajo

Ahora vamos a ver las definiciones de cada uno de los tipos de energía, en la siguiente **tabla 2** se presentan las fórmulas de los diferentes tipos de energía y la definición.

Tabla 2. Tipos de energía definición y ecuaciones			
Tipo de energía	Definición	Ecuación para Sistema abierto	Ecuación para sistema cerrado
Energía cinética (Ec.)	“Es la energía generada por movimiento trasnacional del sistema”	$Ec = \frac{Fm}{2} \Delta v^2$ Fm= masa (Kg/s) v_f = Velocidad lineal final (m/s) v_i = Velocidad lineal inicial (m/s) $\Delta v^2 = v_f^2 - v_i^2$	$Ec = \frac{m}{2} \Delta v^2$ m= masa (Kg) v_f = Velocidad lineal final (m/s) v_i = Velocidad lineal inicial (m/s) $\Delta v^2 = v_f^2 - v_i^2$
Energía potencial (Ep)	“Es la energía que se debe a la posición o altura del sistemas”	$Ep = Fmg(Z_2 - Z_1)$ Fm= Flujo másico 8Kg/s) g= constante de la gravedad 9.8 m/s2 Z₂= altura final del sistema Z₁= altura inicial del sistema	$Ep = mg(Z_2 - Z_1)$ m= masa (Kg) g= constante de la gravedad 9.8 m/s2 Z₂= altura final del sistema Z₁= altura inicial del sistema
Energía Interna (U)	Es la energía generada por el movimiento de	No aplica	$\Delta U = \Delta H - \Delta PV$ ΔH= entalpia (Kcal) ΔP= cambio de presión V=volumen



	Rotacional y vibracional de las moléculas		
Entalpía (H)	Es la energía que se absorbe o cede en un sistema termodinámico	Ver abajo	No aplica



Te sugiero revises las definiciones de los conceptos de los tipos de energía que se tomaron de las páginas 315 y 316 del libro *Principios elementales de los procesos químicos* de Felder (2004).

Para la entalpía se tiene la ecuación

$$\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$$

T_i = Temperatura inicial; T_f = Temperatura final

C_p = capacidad calorífica a presión constante, es la energía necesaria para elevar e

$$C_p = a + bT + cT^2$$

Sustituyendo el C_p en la ecuación del ΔH y resolviendo la integral tenemos que la entalpía se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$\Delta H = a(T_f - T_i) + \frac{b}{2}(T_f^2 - T_i^2) + \frac{c}{3}(T_f^3 - T_i^3)$$

A continuación revisa la **figura 6** donde encontraras variables como la capacidad calorífica, y otras propiedades termodinámicas.



Descripción	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	K (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)
Acero puro	7870	447	80.2	23.1
Acero al carbono	7854	434	60.5	17.7
Acero al carbono-silicio	7817	446	51.9	14.9
Acero al carbono-Manganeso-silicio	8131	434	41.0	11.6
Acero con cromo (bajo)	7822	444	37.7	10.9
Acero inoxidable, AISI 302	8055	480	15.1	3.91
Acero inoxidable, AISI 304	7900	477	14.9	3.95
Acero inoxidable, AISI 316	8238	468	13.4	3.48
Acero inoxidable, AISI 347	7978	480	14.2	3.71
Aluminio puro	2702	903	237	97.1
Aluminio, aleación 2024-T6	2770	875	177	73.0
Aluminio, aleación 195, vaciado	2790	883	168	68.2
Armco (99.75% puro)	7870	447	72.7	20.7
Berilio	1850	1825	200	59.2
Bismuto	9780	122	7.86	6.59
Boro	2500	1107	27.0	9.76
Cadmio	8650	231	96.8	48.4
Cinc	7140	389	116	41.8
Circonio	6570	278	22.7	12.4
Cromo	7160	449	93.7	29.1
Cobalto	8862	421	99.2	26.6
Cobre puro	8933	385	401	117
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	8800	420	52.0	14.0
Bronce fosforoso (89% Cu, 11% Sn)	8780	355	54.0	17.0
Latón (70% Cu, 30% Zn)	8530	380	110	33.9
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	8920	384	23.0	6.71
Estaño	7310	227	66.6	40.1
Germanio	5360	322	59.9	34.7
Iridio	22500	130	147	50.3
Magnesio	1740	1024	156	87.6
Molibdeno	10240	251	138	53.7
Níquel puro	8900	444	90.7	23.0
Nicromio (80% Ni, 20% Cr)	8400	420	12.0	3.40
Inconel X-750	8510	439	11.7	3.10
Niobio	8570	265	53.7	23.6
Oro	19300	129	317	127
Paladio	12020	244	71.8	24.5

Figura 6. Propiedades termodinámicas (Himmelblau D.M 1997).



Los valores de C_p son característicos para cada sustancia; te invito a que revises en las páginas 639 a 641 del libro *Principios elementales de los Procesos Químicos* de Felder en estas encontrarás las tablas de capacidad calorífica (C_p) para diferentes sustancias, te invito que las revises las tablas e identifiques los valores de la capacidad calorífica para diversas sustancias.

Recuerda existen diferentes sistemas de acuerdo a estos los **balances de energía**, los cuales se clasifican en dos:

- Balances de energía para **sistemas cerrados**
- Balances de energía para **sistemas abiertos**

A continuación se presenta la ecuación general de balances de energía

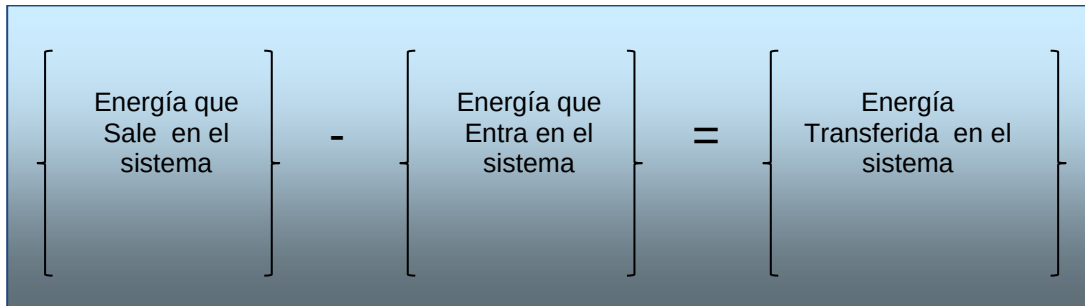


Figura 7. Ecuación general de balance de energía.

Balances de energía en sistemas cerrados

Es el momento de diferenciar los tipos energía que están presentes en un **sistema cerrado**, se identifican tres tipos de **energía en el inicio y final** del proceso, estas son: la energía potencial E_p , la energía cinética E_c y la energía interna U , los tipos de **energía** que se **transfieren** a través de las fronteras del sistema son el calor Q y el trabajo (W), Entonces la ecuación de balance de energía para un sistema cerrado queda de la siguiente forma.

$$(E_{c_{final}} + E_{p_{final}} + U_{final}) - (E_{c_{inicial}} + E_{p_{inicial}} + U_{inicial}) = Q + W$$

Esta ecuación se puede reacomodar de la siguiente forma

$$(E_{c_{final}} - E_{c_{inicial}}) + (E_{p_{final}} - E_{p_{inicial}}) + (U_{final} - U_{inicial}) = Q + W$$

Parece una ecuación muy grande dado que tiene varios términos implícitos. Te comento que la mayoría de mis alumnos de curso presencial de la asignatura de balances de materia y energía, cuando ven la ecuación en el pizarrón “**se asustan**”, espero no sea tu caso, sin embargo en caso que tengas el mismo sentimiento, te comento lo mismo que a mis alumnos, te proporcionaré herramientas para que esta ecuación se pueda simplificar de acuerdo a las condiciones del sistema.

Simplificaciones de la ecuación de Balances de energía en sistemas cerrados

1.- Cuando el proceso ocurre en condiciones isotérmicas, es decir, a temperatura constante, no hay transferencia de calor y tampoco existe cambio de energía interna, debido a que estos tipos de energía son función de la temperatura; por lo tanto la ecuación se simplifica de la siguiente forma:



$$(Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (Ep_{final} - Ep_{inicial}) = W$$

2.- Cuando en el proceso la velocidad lineal inicial y final tienen el mismo valor, en este caso el cambio de energía cinética se hace cero, así la ecuación se puede simplificar de la siguiente forma:

$$(Ep_{final} - Ep_{inicial}) + (U_{final} - U_{inicial}) = Q + W$$

3.- Cuando el sistema no cambia de altura o posición durante el proceso, en esta situación la energía potencial se hace cero debido a que este tipo de energía es función de la posición o altura del sistema. Entonces la ecuación queda:

$$(Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (U_{final} - U_{inicial}) = Q + W$$

4.- Cuando las paredes del sistema no se modifican por el proceso donde se emplea trabajo para la expansión y/o compresión, entonces trabajo se hace cero:

$$(Ep_{final} - Ep_{inicial}) + (Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (U_{final} - U_{inicial}) = Q$$

Es importante que identifiques que en un proceso puede estar presente más de un caso que se emplean para la simplificación.

Ejemplo

Se tienen 8345 Kg de dióxido de carbono en un cilindro con un volumen inicial de 33 L en condiciones isobáricas, la temperatura inicial es de 25°C, el sistema se calienta a una temperatura de 80 °C. Establecer la ecuación de balance de energía y simplificarla.

Solución: empezamos realizando el diagrama de bloque, rotulado del proceso en donde identificas las variables de proceso y las condiciones iniciales y finales (ver la figura 8).

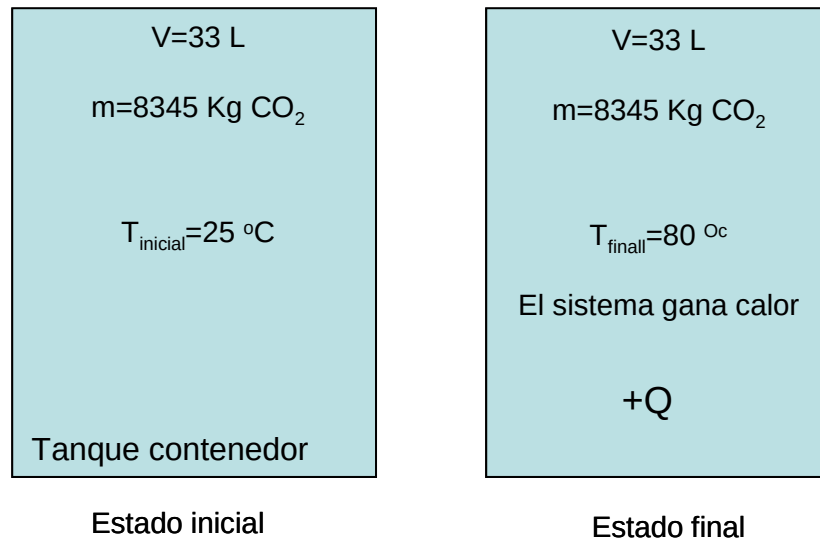


Figura 8. Diagrama de bloque con las variables de proceso identificadas

Posteriormente identifica la ecuación general de balance de energía para un sistema cerrado, es la siguiente:

$$(Ec_{final} + Ep_{final} + U_{final}) - (Ec_{inicial} + Ep_{inicial} + U_{inicial}) = Q + W$$

Ahora hay que simplificarla de acuerdo a las condiciones del proceso.
La $Ep = 0$ debido a que en el sistema no cambia de altura o posición.

$Ec = 0$ debido a que no hay velocidad de inicio y final
 $W = 0$ debido a que no se modifican las fronteras del sistema

Entonces la ecuación se simplifica y queda de esta forma para las condiciones del sistema:

$$(U_{final} - U_{inicial}) = Q$$

Como podrás observar quedan únicamente las energías que son función de la temperatura el calor y la energía interna.

El **balance de energía para un sistema abierto**, se identificaron tres tipos de **energías** en el **inicio y final** del proceso estas son: la energía potencial Ep , la energía cinética Ec y la entalpía H .



Los tipos de energía que **se transfieren** a través de las fronteras del sistema son el calor Q y el trabajo (W), Entonces la ecuación de balance de energía para un sistema abierto queda de la siguiente forma.

$$(Ec_{final} + Ep_{final} + H_{final}) - (Ec_{inicial} + Ep_{inicial} + H_{inicial}) = Q + W$$

Esta ecuación se puede reacomodar de la siguiente forma

$$(Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (Ep_{final} - Ep_{inicial}) + (H_{final} - H_{inicial}) = Q + W$$

Puedes observar que la ecuación de balance de energía para un sistema abierto y cerrado tiene únicamente una diferencia, para el primero está presente la entalpía y para la segunda la energía interna.



Para profundizar en el tema, revisa el texto sobre sistemas abiertos y cerrados donde se relaciona con la segunda ley de la energía del documento *Energía* de Isidoro, M. (2013).

Simplificaciones de la ecuación de Balances de energía en sistemas abiertos

1.- Cuando el proceso ocurre en condiciones isotérmicas es decir a temperatura constante, por lo tanto no hay transferencia de calor y tampoco existe cambio de **entalpía**, debido a que estos tipos de energía son función de la temperatura por lo tanto la ecuación se simplifica de la siguiente forma:

$$(Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (Ep_{final} - Ep_{inicial}) = W$$

2.- Cuando en el proceso la velocidad lineal de entrada y salida, tienen el mismo valor, en este caso el cambio de **Energía cinética** se hace cero, así la ecuación se puede simplificar de la siguiente forma:

$$(Ep_{final} - Ep_{inicial}) + (H_{final} - H_{inicial}) = Q + W$$



3.- Cuando la entrada y salida del sistema se encuentra a la misma altura o posición durante el proceso, en esta situación la **energía potencial** se hace cero debido a que este tipo de energía es función de la posición o altura del sistema. Entonces la ecuación resulta:

$$(Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (H_{final} - H_{inicial}) = Q + W$$

4.- Cuando las paredes del sistema no se modifican por el proceso donde se emplea trabajo para la expansión y/o compresión, entonces trabajo se hace cero

$$(Ep_{final} - Ep_{inicial}) + (Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (H_{final} - H_{inicial}) = Q$$

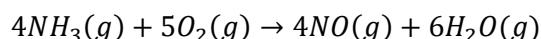
Con el propósito de aplicar las simplificaciones a continuación se da un ejemplo de balances de energía en un sistema abierto, para que veas la aplicación de los conceptos.



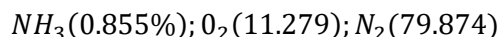
Para profundizar en el tema, revisa los ejercicios resueltos de balances de energía para diversos procesos de la industria del libro *Problemas de Balance de Materia y Energía* de Valiente A. (1991).

Ejemplo 1.

El óxido nítrico se obtiene por oxidación del amoníaco con aire según la siguiente reacción con una variación de entalpía de reacción a 920 °C:



En un reactor que trabaja a presión atmosférica se alimenta $NH_3(g)$ a 25 °C y aire precalentado a 750 °C, alcanzándose una conversión del 90 % para el amoníaco. La composición molar de los gases efluentes en base seca, es:



Si la temperatura de los gases efluentes del reactor no puede excederse los 920 °C, calcular:

- Los moles totales de gas efluentes por cada 100 kmoles de NH_3 alimentado.



- los kmoles de agua que acompañan a 100 kmoles de gas effluente seco
- el porcentaje de aire alimentado en exceso respecto del aire teórico necesario para la oxidación completa del amoníaco
- El caudal de calor a eliminar en el reactor por cada 100 kmol de NH_3 alimentado
- En la tabla 3 puedes observar los valores de entrada y salida del reactor.
- Observa la figura 7 que representa el diagrama de flujo del proceso.

Tabla 3. Variables del proceso

Producto	Capacidad calorífica media (J/mol °C)	Intervalo de temperatura (°C)
NH_3	39.71	25-920
Aire	31.40	25-920
NO	32.05	25-920
H_2O	33.10	25-920

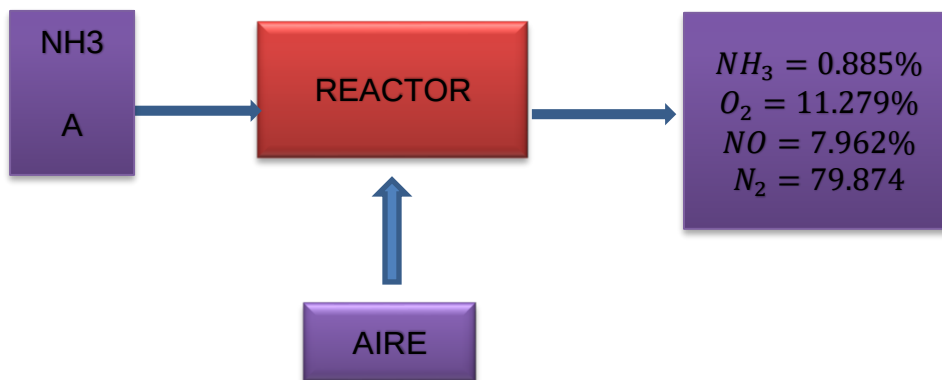


Figura 9. Diagrama de flujo de balance de materia del reactor.

$$A = 0.885 + 7.6962 = 8.847 \text{ kmoles}$$

$$\text{aire que entra: } N_2: 7.962 \left(\frac{5}{4} \right)$$

$$O_2: 79.8774 \left(\frac{0.21}{0.79} \right) = 21.232$$

$$TOTAL = 79.874 + 21.232 = 102.106 \text{ kmoles}$$



$$\text{Oxígeno consumido en la reacción} = 7.9692 \left(\frac{5}{4} \right) = 9.9525$$

$$\text{oxígeno en exceso} = 21.232 - 9.9525 = 11.279 \text{ kmoles}$$

$$\text{Agua producida} = 7.962 \left(\frac{6}{4} \right) = 11.943 \text{ kmoles}$$

a) kmoles totales de gas efluente por cada 100 kmoles de NH_3 alimentados

$$= (100 + 11.943)(100/8.847) = 1265.32 \text{ kmoles}$$

b) kmoles de H_2O que acompañan a 100 kmoles de gas efluente seco = 11.943

c) el porcentaje de aire alimentado en exceso respecto del aire teórico necesario para la oxidación completa del amoníaco.

$$\text{kmoles } \text{O}_2 \text{ teóricos necesarios } 8.847 \left(\frac{5}{4} \right) = 11.058$$

$$\text{exceso} = \frac{21.232 - 11.058}{11.058} = 92\%$$

d) tomamos ahora como base de cálculo 100 kmoles de A: la corriente S tendrá ahora $(111.943)(100/8.847) = 1255.32$ kmoles teniendo en cuenta el agua:

NH_3 : 0.790 % 10 kmoles

O_2 : 10.0 % 126.532 kmoles

NO : 7.112% 89.989 kmoles

N_2 : 71.352% 902.83 kmoles

H_2O : 10.668 % 134.98 kmoles

La corriente B sería ahora $(101.106) (100/8.847) = 1142.82$ kmoles.

$$\begin{aligned} Q &= \sum \Delta H_{\text{productos}} \\ &\quad - \sum \Delta H_{\text{reactivos}} + \sum \Delta H_{\text{reaccion}} \\ &= \{(10)(39.71) + (126.532)(31.40) + (902.8)(31.40) + (89.989)(32.05) \\ &\quad + (33.10)(134.98)\}(920_{25}) - \{(1142.83)(31.40)\}(750 - 25) \\ &\quad + \left(\frac{90}{4}\right)(-216420)(4.18) = -1.054 \cdot 10^7 \text{ KJ} = 2.521 \cdot 10^6 \end{aligned}$$



Para finalizar esta sección es indispensable que recuerdes que para tener el control de un equipo o proceso, deberás hacer la identificación, monitoreo y control de las variables de proceso, como son temperatura, presión, flujos volumétrico, másico, esto será de gran utilidad en procesos industriales para identificar variables que determinan el proceso y poder conocer la cantidad de materia y energía que cada proceso industrial requiere.

2.2. Clasificación de balances de energía

Durante el proceso industrial para obtener un producto alimentario, químico o cosmético se realizan diferentes operaciones unitarias en donde ocurren fenómenos físicos, es decir, cuando no existe transformación de la materia del sistema. Las operaciones unitarias en donde se presentan **fenómenos físicos** y se requiere establecer balances de energía, estas son las más importantes: la destilación, evaporación, secado, intercambiadores de calor, turbinas, bombas.

Para entender el procedimiento de solución de balances de energía en procesos físicos, vamos a describirlo mediante la solución de dos casos en donde se aplica la metodología para obtener la solución numérica.

Te sugiero que sigas el siguiente procedimiento para realizar en general balances de energía.

Procedimiento para realizar balances de energía

1. Lee cuidadosamente el enunciado.
2. Realiza el diagrama del proceso.
3. Coloca en el diagrama las variables de proceso que se proporcionan en el enunciado.
4. Identifica la variable de proceso que se solicitan; identifica: **qué buscas**.
5. Reconoce el tipo de sistema abierto o cerrado, además el tipo de proceso físico o químico.
6. Colocar la ecuación general de balance de energía.
7. Realizar la simplificación de la ecuación de balances de energía de acuerdo a las condiciones del proceso.
8. Finalmente se calcula la transferencia de energía en el proceso.



De los siete puntos que se sugieren para la solución de los ejercicios de balance de energía, observa que las primeras cinco son herramientas que se te proporcionaron en la primera unidad de la asignatura, los últimos tres puntos son de la unidad 2 de la asignatura.

La información o **capacidades** que desarrolles en cada unidad para este curso es **acumulativa**, para seguir avanzando en el desarrollo de los ejercicios requieres de los conocimientos de la unidad anterior, no es necesario memorizarlos pero te sugiero realices un **glosario** de los términos para tener una guía rápida de búsqueda en caso que se te olvide algún concepto.

2.2.1. Balance con reacción química

Los balances se realizan en procesos químicos donde las sustancias intervinientes, sufren cambios en su estructura, para dar origen a otras sustancias. El cambio es más fácil entre sustancias líquidas o gaseosas, o en solución, debido a que se hallan más separadas y permiten un contacto más íntimo entre los cuerpos reaccionantes. También puede decirse que es un fenómeno químico, en donde se producen sustancias distintas a las que les dan origen.

Las características de un balance con reacción químicas son:

- Formación de precipitados
- Formación de gases acompañados de cambios de temperatura
- Desprendimiento de luz y de energía.
- En toda reacción se conservan los átomos y las cargas.
- No pueden ocurrir un proceso de oxidación o de reducción aislado, ambos ocurren simultáneamente
- No se pueden formar productos que reaccionen energéticamente con alguno de los productos obtenidos.

Podemos tener reacciones químicas de acuerdo a las sustancias reaccionantes tales como la reacción de composición o adición o síntesis, así como los de descomposición o las reacciones de doble sustitución, reversibles o irreversibles.

En todo proceso en donde se lleva a cabo una reacción química es necesario cuantificar la energía moderada que es necesario suministrar para que se lleve a cabo la transformación a esta energía se le conoce como calor de reacción.

Para el cálculo de la energía en un balance de reacción química utilizaremos la entalpía para el cálculo de calor involucrado en nuestra reacción.



La entalpía es una magnitud termodinámica simbolizada con la letra H, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía que es absorbida o cedida por un sistema, en pocas palabras la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno. Si la entalpía en una reacción tienen un signo negativo esta es exotérmica, por el contrario si tiene un significado positivo entonces es endotérmica.

Para resolver el problema se realizarán los siguientes pasos:

- Verificar si la ecuación está balanceada
- Balancear nuevamente la ecuación tomando en cuenta los criterios de exceso y conversión
- Obtener las fracciones mol en productos y reactivos
- Obtener las constantes de Cp de reactivos y productos medias
- Ocupar las ecuaciones de 3 etapas de entalpía y obtener resultados
- Sumar las tres etapas de la entalpía y ese será el calor en la reacción

Ejemplo 1. Balance de energía en un intercambiador de calor, para pasteurizar leche.

El siguiente ejercicio se tomó del texto *Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria* de Antonio Valiente página 118.

“Se calienta 4500 kg/h de leche de vaca de 5 °C hasta 60 °C en un intercambiador de calor, utilizando para ello agua caliente. ¿Cuánto calor se debe transmitir (**transferir**) si el Cp de la leche es de 0.916 Kcal/Kg °C?”

Solución: Hay que seguir el procedimiento para resolver ejercicios de balances de energía, presentado anteriormente (8 puntos) entonces inicia con la lectura cuidadosa del enunciado 1, 2 y 3.

Revisa el diagrama de flujo del intercambiador **Figura 10**, donde se encuentran las variables de proceso.

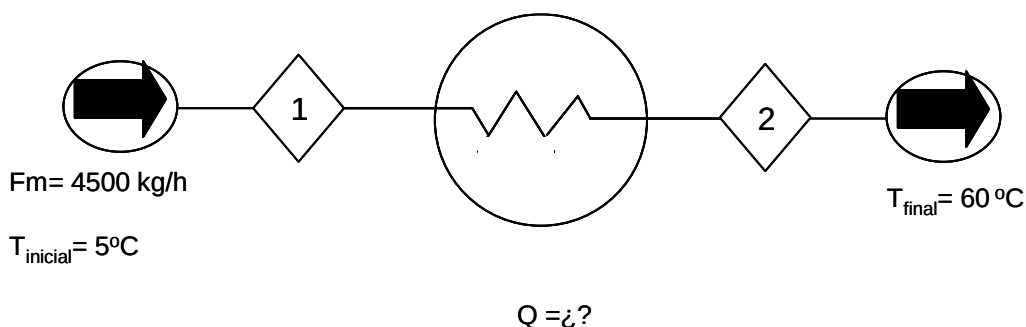




Figura 10. Diagrama de flujo del intercambiador de calor (Valiente A. 1991).

4. Las variables de proceso que nos proporcionan en el ejercicio son el flujo másico (F_m) y la temperatura inicial y final del proceso.
5. El **sistema** es **abierto**, esto lo identificamos, porque la variable de proceso flujo másico es la cantidad de materia que ingresa por unidad de tiempo.
6. La ecuación general de balance de energía para un sistema abierto es:

$$(E_{c_{final}} - E_{c_{inicial}}) + (E_{p_{final}} - E_{p_{inicial}}) + (H_{final} - H_{inicial}) = Q + W$$

7. Simplificaciones de la ecuación general de balances de energía

- a) Debido a que la altura del sistema no cambia en la entrada y salida por lo tanto el cambio de energía potencial $\Delta E_p = 0$
- b) La velocidad inicial y final, a la cual fluye la leche en el intercambiador de calor es la misma por lo tanto el cambio de energía cinética se hace cero:

$$\Delta E_c = \frac{F_m}{2} (v_{final}^2 - v_{inicial}^2)$$

8. El proceso no realiza trabajo y tampoco se le adiciona trabajo por lo tanto el trabajo es cero. $W=0$. Entonces la ecuación simplificada queda

$$(H_{final} - H_{inicial}) = Q$$

Como $(H_{final} - H_{inicial}) = \Delta H$

Tenemos que $\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$

Entonces para calcular el calor transferido en el sistema lo calculamos así:

$$a(T_{final} - T_{inicial}) = Q$$



El valor de “a” lo proporciona el ejercicio, es el Cp de la leche, la $T_{\text{final}}=60^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{inicial}}=5^{\circ}\text{C}$, sustituyendo estos datos en la ecuación tenemos que el calor transferido al sistema en el proceso es de:

$$Q = 0.916 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} (60^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}) = 50.38 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Para que el resultado sea en unidades de Kcal/h, el resultado anterior se multiplica por el flujo másico ($F_m=4500 \text{ kg/h}$).

$$Q = 50.38 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \left(4500 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) = 226710 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Respuesta: **Q= 226710 Kcal/h**, es el resultado que presenta el libro.

2.2.2. Balance sin reacción química

Un balance de materia de un proceso industrial es una contabilidad exacta de todos los materiales que entran, salen, se acumulan o se agotan en el curso de intervalo de tiempo de operación dado. Un balance de materia es de este modo una expresión de la ley de conservación de la masa y energía.

Si no existe reacción química, de nada sirve establecer balances de materia para los elementos químicos presentes, en tales procesos los balances de materia deberían basarse

$$(Ec_{\text{final}} - Ec_{\text{inicial}}) + (Ep_{\text{final}} - Ep_{\text{inicial}}) + (H_{\text{final}} - H_{\text{inicial}}) = Q + W$$

En los compuestos químicos mejor que en los elementos o en los componentes de composición fija aun cuando no sean compuestos químicos puros.



Cuando el sistema es cerrado no hay intercambio de materia con el entorno. Tal es el caso de las operaciones discontinuas salvo los periodos de carga y descarga. En este caso en lugar de considerarse la sección inicial y el final de la observación.

$$(Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (Ep_{final} - Ep_{inicial}) + (H_{final} - H_{inicial}) = Q + W$$

La anterior expresión es está relacionada con la primera ley de la termodinámica aplicado a un sistema abierto donde hay una transferencia de materia entre el entorno y el sistema a través de su frontera, en operaciones continuas o se mini continuas sin reacción química. Entre estas últimas se encuentran procesos ampliamente utilizados como el mezclado, la destilación, el secado, la absorción, la filtración, la vaporización, el intercambio de calor.

Ejemplo 2. Balance de energía en una bomba que transporta jugo de manzana

Se emplea para transportar jugo de manzana una bomba, el flujo másico es de 0.5Kg/s se desea mover desde un punto que se encuentra 5 m por debajo de la superficie terrestre hasta un contenedor que se encuentra 10 m por arriba del nivel del suelo, el proceso se lleva a cabo a temperatura constante y la velocidad lineal en la entrada y salida es la misma (20 m/s).

Calcular la potencia de la bomba (W)

Seguimos el procedimiento de ocho pasos:

1, 2 y 3. El diagrama de bloques del proceso e identificando las variables de proceso que proporciona el enunciado, ver **figura 11**:

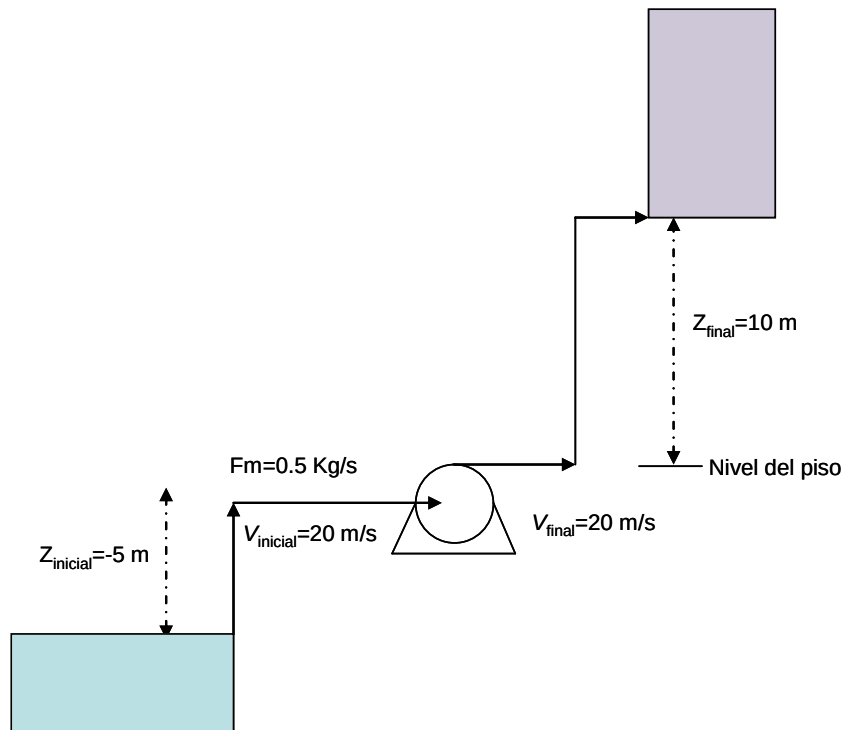


Figura 11.

4. Las variables de proceso que proporciona el enunciado son: el flujo másico, (que indica que la temperatura es constante), la posición inicial del sistema $Z_{inicial}$ y posición final Z_{final} y la velocidad inicial y final.

5. El sistema es abierto y no hay transformación de la materia por lo tanto es un proceso físico.

6. La ecuación general de balance de energía para un **sistema abierto** es

$$(Ec_{final} - Ec_{inicial}) + (Ep_{final} - Ep_{inicial}) + (H_{final} - H_{inicial}) = Q + W$$

7. Simplificaciones de la ecuación general de balances de energía

- a) El proceso ocurre a temperatura constante por lo tanto no hay transferencia de calor $Q=0$ y entalpía es función de la temperatura $H=0$)



- b) La velocidad inicial y final, a la cual fluye el jugo de manzana en e la misma por lo tanto el cambio de energía cinética se hace cero

$$\Delta E_c = \frac{Fm}{2} (v_{final}^2 - v_{inicial}^2)$$

8. La ecuación simplificada queda:

$$(E_{p_{final}} - E_{p_{inicial}}) = W$$

Entonces para calcular el trabajo tenemos que la E_p está definida por la ecuación:

$$\Delta E_p = F_m g (Z_2 - Z_1)$$

$$F_m g (Z_2 - Z_1) = W$$

Sustituyendo los valores de flujo másico, la constante de gravedad (g) y la posición inicial y final en la ecuación:

$$W = 0.5 \frac{Kg}{s} \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right) (10m - (-5m)) = 735 \frac{Kgm^2}{s^3}$$

Realizando la conversión a caballos de fuerza=hp, se requiere una bomba que tenga una potencia de $W=985635$ hp.

Para cerrar el apartado recuerda que todos los procesos industriales requieren de una cantidad de energía y como sabemos existen diversos tipos, por lo que las condiciones en el proceso cambiarán para cada tipo de energía el cual debemos de tomar en cuenta para realizar y elaborar un balance de energía. Además es una herramienta necesaria para la entrega de reportes técnicos. En esta etapa de la formación de Ingenieros en Biotecnología, haz una pausa y permite una mejor comprensión del proceso industrial mediante la esquematización general de las variables que afectan el sistema.



2.3. Reactor Batch

En los balances de energía en procesos con reacción (donde se realizan cambios en la composición de la materia para que ocurra una reacción química o biológica) se requiere energía para romper los enlaces de los reactivos. De forma simultánea se libera energía cuando se forman los enlaces nuevos para la formación de los productos.

De acuerdo a la cantidad de energía en un proceso químico se pueden clasificar en procesos **endotérmicos** y **exotérmicos**.

- Cuando la energía requerida para romper los enlaces de **reactivos es mayor** a la energía liberada por la formación de productos, entonces se denomina que es un proceso **endotérmico**. Es decir, es un **proceso no espontáneo** y requiere que se suministre energía para que se realice.
- Cuando la energía requerida para romper los enlaces de **reactivos es menor** a la energía liberada por la formación de productos, entonces se denomina que es un proceso **exotérmico**. Es decir, es un **proceso espontáneo** y libera energía en forma de calor durante el proceso.

A la energía liberada o absorbida durante un proceso químico se le denomina **calor de reacción**.

La definición de calor de reacción o **entalpía de reacción**, es la diferencia de entalpía entre la entalpía de productos y la entalpía de reactivos, tomando en cuenta la relación estequiométrica de la reacción a presión constante.

Entonces el balance de energía para un sistema con reacción se calcula a partir del calor total de una reacción química, es igual a la sumatoria de los calores de formación de los productos menos la sumatoria de los calores de formación de los reactivos.

$$\Delta H_r = n \sum H_{\text{productos}} - n \sum H_{\text{reactivos}}$$

Donde “n” es el número de moles de reactivos y productos, y son los coeficientes estequiométrico en las reacciones.

Los valores de las entalpías para reactivos y productos se encuentran en tablas que puedes consultar en los libros.



A continuación se presenta un ejemplo tomado del texto de Monsalvo, et al (2010) *Balances de materia y energía en procesos industriales*.

Ejemplo de balances de energía para procesos con reacción

La obtención de monóxido de carbono se realiza a partir de carbono y agua, obteniendo como subproducto el hidrógeno gaseoso. A partir de los calores de formación de las siguientes sustancias que participan en el proceso, determinar el calor de reacción a presión constante (ΔH_r) (Monsalvo, et al 2010)

1. Establecer la reacción



2. Revisar que la ecuación este balanceada; en este caso cumple.

3. Consultar tablas para encontrar las entalpías de productos y reactivos; cabe aclarar que la entalpía de elementos C e H_2 siempre es cero.

$$H_{(H_2O)} = -68.32 \frac{Kcal}{mol}$$

$$H_{(CO)} = -26.4 \frac{Kcal}{mol}$$

Entonces

$$\Delta H_r = n_{CO}(H_{CO}) - n_{H_2O}(H_{H_2O}) = 1mol \left(-26.4 \frac{Kcal}{mol} \right) - 1mol \left(-68.32 \frac{Kcal}{mol} \right) = +41.92 Kcal$$

El calor de reacción es **positivo** por lo tanto es un **proceso endotérmico**.

En la biotecnología una de las aplicaciones más significativas de los balances de energía se encuentra en los reactores, así dependiendo de las condiciones en que esté operando se pueden clasificar en:

- Reactores exotérmica
- Reactores endotérmicos
- Reactores isotérmicos
- Reactores adiabáticos



2.3.1. Reactores exotérmicos

Los reactores exotérmicos son aquellos en los cuales ocurre transformación de materiales con liberación de energía en forma de calor, la principal aplicación es en reactores de combustión, a continuación se presenta la imagen de un reactor de combustión.

2.3.2. Reactor endotérmico

Los reactores endotérmicos son aquellos en los cuales la reacción química requiere de energía en este caso de entalpía (H) donde se lleva cabo un incremento de entalpía o ΔH es decir la energía que posee los productos es mayor a la de los reactivos a este tipo de reacciones requieren de un sistemas de calentamiento para su reacción observa la figura 12 donde observarás un reactor endotérmicos con las variables de entrada y salida.

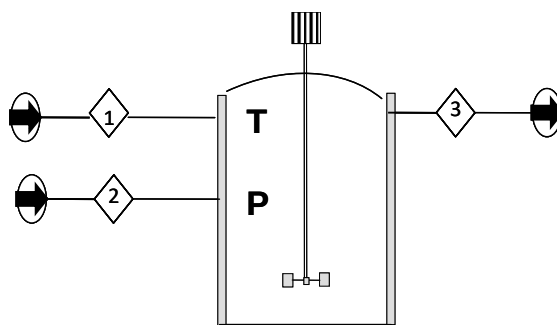
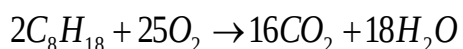


Figura 12. Reactor endotérmico.

2.3.3. Reactor isotérmico

Los reactores isotérmicos no necesitan energía se realiza espontáneamente, para el diseño de un reactor isotérmico es necesario un balance de materia referido a determinado reactante o producto que se realiza sobre determinado volumen de control.

Los reactores discontinuos se usan a escala de laboratorio en investigación para determinar la cinética d reacciones y a escala comercial en situación de producciones

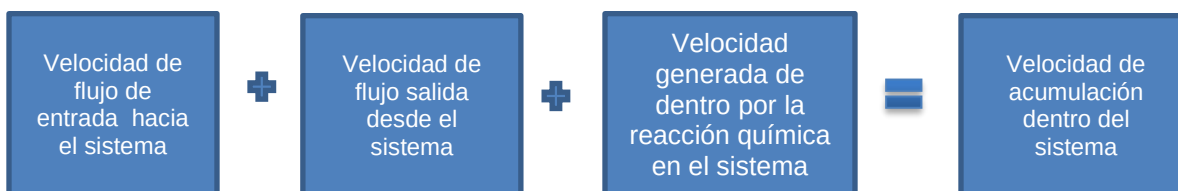


multiproducto cuando requieren volúmenes de producción pequeños. También se utilizan en producciones de elevado volumen como es el PVC. Observa la siguiente tabla.

Operación en discontinuo	Operación en continuo
Generalmente mejor para pequeños volúmenes de producción(V) Más flexible en operaciones multiproducto (V)	Mejor para producciones indefinidas de un producto o conjunto de productos (V)
Generalmente requiere un capital relativamente bajo (V) Fácil de parar y limpiar (V)	Generalmente requiere un capital relativamente alto (D)
Requiere un tiempo de parada inherente entre cargas (D)	No hay tal tiempo (V) pero las paradas provocadas por mantenimientos inesperados pueden ser costosas (D)
El Coste de operación puede ser relativamente alto (D)	Coste de operación relativamente bajo (V)
Estado no estacionario implica control de proceso y una uniformidad de producto más difícil de conseguir (D)	Estado estacionario implica control de proceso y una uniformidad de producto menos difícil de conseguir (V)

Tabla 4. Operación en continuo y discontinuo. Ventajas (V) y desventajas (D) de la operación en continuo y en discontinuo (Cunill F. M et. al 2010)

El balance energético de este reactor.



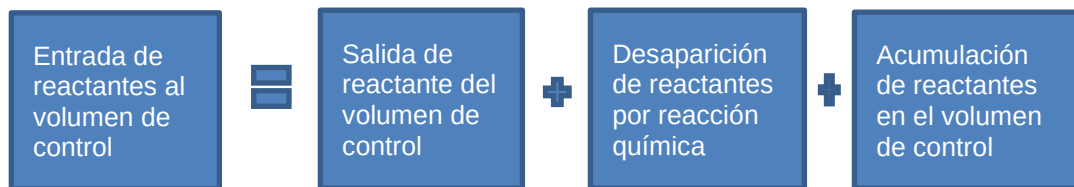
Esta ecuación general de balance de moles de la cual podemos partir para desarrollar las ecuaciones de diseño para los diversos tipos de reactores industriales. Evaluando estas ecuaciones se pueden determinar para convertir una cantidad de reactivos en productos.



2.3.4. Reactor adiabático

Los reactores adiabáticos son aquellos que tienen paredes aislantes y no existe transferencia de calor entre el reactor y sus alrededores ($Q=0$).

Los reactores isotérmicos son aquellos en donde la temperatura del reactor es constante durante el proceso de transformaron de la materia.



En ocasiones cuando se desea producir productos con alto valor agregado, y en pequeñas cantidades, se recurre al empleo de un reactor batch llamado también reactor por lotes. Este reactor se emplea en la producción de farmacéuticos y en la industria de alimentos.

Este tipo de reactor es un recipiente que posee un medio de calentamiento o enfriamiento con agitación, debido al sistema no se emplea corrientes continuas de alimentación ni de extracción de productos, el reactor batch frecuentemente opera por ciclo, un ciclo de operación podría estar compuesto por las siguientes operaciones:

- Limpieza
- Carga de reactivos
- Calentamiento enfriamiento
- Operación hasta cumplir con el objetivo
- Descarga de productos.

Normalmente las operaciones de llenado y vaciado del reactor batch son irrelevantes, desde el punto de vista de las reacciones que se llevan a cabo durante la operación normalmente del reactor.

En un reactor Batch no hay flujo de entrada ni de salida, por lo tanto su balance queda representado de la siguiente manera en la **figura 13**.

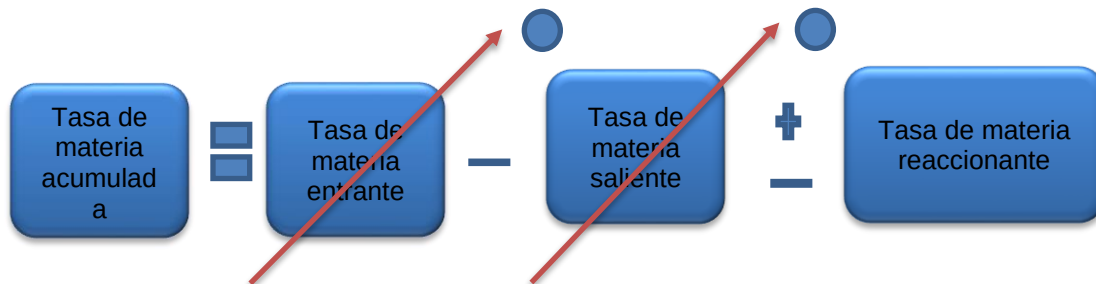


Figura 13.

Supongamos que cargamos un reactor batch con una cierta cantidad de reactivo A y que la reacción endotérmica que se efectúa está dada por la siguiente reacción (ver **figura 14**).



Figura 14. Reacción entre reactivos y productos.

Esta reacción entre el reactivo A nos generará el reactivo B se calienta hasta cierta temperatura T donde comienza la reacción anterior, el reactor se mantiene operando a la temperatura hasta lograr un cierto objetivo de operación (Levenspiel O. 2006).

Ahora planteamos el balance de masa del reactor batch

$$\frac{dN_A}{dt} = r_A V$$

En términos de concentración C_A .

$$N_A = V C_A$$

Por lo cual si suponemos que la reacción ocurre a volumen constante.

$$-r_A = k C_A$$

Sustituyendo



$$\int_{C_{Ai}}^{C_A} \frac{dC_A}{dt} = -k \int_0^t$$

Integrando y sustituyendo límites:

$$C_A = C_{A0}e^{-kt}$$

Ejemplo 1 Supongamos que la reacción elemental, y de primer orden, $A \rightarrow B$ se lleva a cabo en un reactor batch.

- Calcular el tiempo que se requiere para convertir 90 % del reactivo A.
- ¿Cuál es el efecto de incrementar la velocidad de reacción?
- ¿Como puede conseguirse este efecto?

A constante de velocidad de reacción es igual a .05 1/min.

Anteriormente obtuvimos la ecuación de diseño para una reacción de primer orden del Tipo descrito.

Despejando de la ecuación,

$$X_A = 1 - e^{-kt}$$

Obtenemos,

$$\begin{aligned} t &= -\frac{1}{k} \ln(1 - X_A) \\ &= -\frac{1}{0.05} \ln(1 - 0.9) = 46 \text{ min} \end{aligned}$$

De la ecuación anterior podemos observar que a medida que la velocidad de reacción es mayor K incrementa y se podrá lograr la misma conversión en menor tiempo aumentando en k puede lograrse, por ejemplo aumentando la temperatura a la que operara el reactor, esto significa en términos prácticos que la disminución del tiempo de reacción podría implicar aumentar el consumo del medio de calentamiento. En la mayoría de las situaciones practicas resulta difícil o imposible el disponer de la solución analítica de la ecuación de diseño.



Las ventajas del reactor mienten con su flexibilidad, un solo recipiente puede realizar una secuencia de diversas operaciones sin la necesidad de romper la contención, esto es particularmente útil cuando se procesan toxico o componentes altamente potentes.

A pesar de que estos reactores son muy usados en procesos industriales y aplicaciones de control de contaminación, para el tratamiento de aguas residuales son poco practicas pues se necesitan tener entrada y salida de agua para que se pueden tratar volúmenes de agua residual considerables (Muños R.C 2009).

Encontrarás el desarrollo de técnicas de diseño para sistemas homogéneos y heterogéneos en procesos químicos y bioquímicos a nivel comercial e industrial, así como en el diseño de reactores.



Te invito a revisar las páginas 90 a 94 del libro *Ingeniería de las reacciones químicas* de Levenspiel (2006); en él encontrarás información acerca de los balances en reactores, en el documento podrás identificar las ecuaciones de balance para los reactores.

Actividades

La elaboración de las actividades estará guiada por tu docente en línea, mismo que te indicará, a través de la Planificación de actividades del docente en línea, la dinámica que tú y tus compañeros (as) llevarán a cabo, así como los envíos que tendrán que realizar.

Para el envío de tus trabajos usarás la siguiente nomenclatura: BBME_U2_A1_XXYZ, donde BBME corresponde a las siglas de la asignatura, U2 es la unidad de conocimiento, A1 es el número de actividad, el cual debes sustituir considerando la actividad que se realices, XX son las primeras letras de tu nombre, Y la primera letra de tu apellido paterno y Z la primera letra de tu apellido materno.



Autorreflexiones

Para la parte de **autorreflexiones** debes responder las *Preguntas de Autorreflexión* indicadas por tu docente en línea y enviar tu archivo. Cabe recordar que esta actividad tiene una ponderación del 10% de tu evaluación. Para el envío de tu autorreflexión utiliza la siguiente nomenclatura: BBME_U2_ATR_XXYZ, donde BBME corresponde a las siglas de la asignatura, U2 es la unidad de conocimiento, XX son las primeras letras de tu nombre, y la primera letra de tu apellido paterno y Z la primera letra de tu apellido materno

Cierre de la unidad

En esta unidad se estudió, Primero, la ley de conservación de la energía que es la Primera Ley de la Termodinámica, esta se refiere a que la energía sólo se transforma para su conservación, revisamos los seis tipos de energía: cinética, potencial, interna, entalpía, calor y trabajo.

Por otra parte, como Ingeniero en Biotecnología debemos dar soluciones de ingeniería en la industria; para ello se requieren realizar los balances de energía. Se te proporcionaron herramientas para seguir el procedimiento de balances de energía, para resolver numéricamente balances de energía en procesos no reactivo o físico y los procesos químicos.

Es importante que recuerdes que los balances de energía se clasifican de acuerdo a la operación proceso en balance de energía para un sistema abierto y balance de energía para un sistema cerrado, debido a que las ecuaciones cambian dependiendo del tipo de operación.



Para saber más



Himmelblau, D. (1997). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química*. (6ª ed.) Edo. De México: Prentice Hall Hispanoamericana. pp. 1 – 103.

En el texto encontrarás las herramientas básicas de ingeniería, sólo que está enfocado a aplicaciones en la industria química; sin embargo, te presenta las variables del proceso, equipo empleado para control de las variables. Contiene varios ejercicios resueltos de aplicación en balances de materia y energía.

Richard, F., & Ronald, R. (2004). *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. México DF: Limusa Wiley. pp. 83 – 186.

Este texto proporciona las herramientas básicas para la Ingeniería; va de los temas más simples a lo complejo; inicia con el sistema de unidades, y continúa con las variables de proceso, balances de materia, balances de energía, etcétera. Hay que aclarar que el texto está enfocado a procesos de ingeniería química, sin embargo el fundamento de los conceptos es el mismo para cualquier aplicación de ingeniería como: Ing. en alimentos, Ing. Biotecnología, Ing. Bioquímica, por mencionar algunos.

Reklaitis G. V. (1986). *Balances de Materia y Energía*. México: Nueva Editorial Interamericana. pp. 252 – 351.

En la sección del libro podrás extender tus conocimientos hacia el uso de los diagramas de flujo y podrás percatarte de que estos son muy diversos en los procesos químicos; asimismo podrás asociar directamente los diagramas de flujo con el balance de materia. Existen varios ejemplos de cálculo, en términos de álgebra lineal, pero lo más importante de este contenido es reconocer la diversidad de aplicaciones en procesos industriales.



Fuentes de consulta



Complementarias:

- Muños R.C. (2009). *Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de laguna de Tamiahua, Veracruz*. Tesis licenciatura. Ingeniería civil. Departamento de ingeniería civil y ambiental, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla.

Básicas:

- Felder, et al (2004). *Principios Elementales de los Procesos Químicos*. México: Limusa-Wiley.
- Garcés, C. et al (2012). *Producción de etanol en una fermentación Batch*. Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas. Universidad de Chile.
- Levenspiel O. (2006). *Ingeniería de las reacciones químicas*, Limusa Wyley, tercera edición.
- Monsalvo R., et al (2010). *Balance de Materia y Energía en Procesos Industriales*. Grupo Editorial Patria S.A de C.V.
- Valiente A. (2008) *Problemas de Balance de Materia y Energía en la Industria Alimentaria*. Editorial Limusa, segunda edición.
- Vázquez, H.J. et al (2007). *Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México.