



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE PETROQUÍMICA

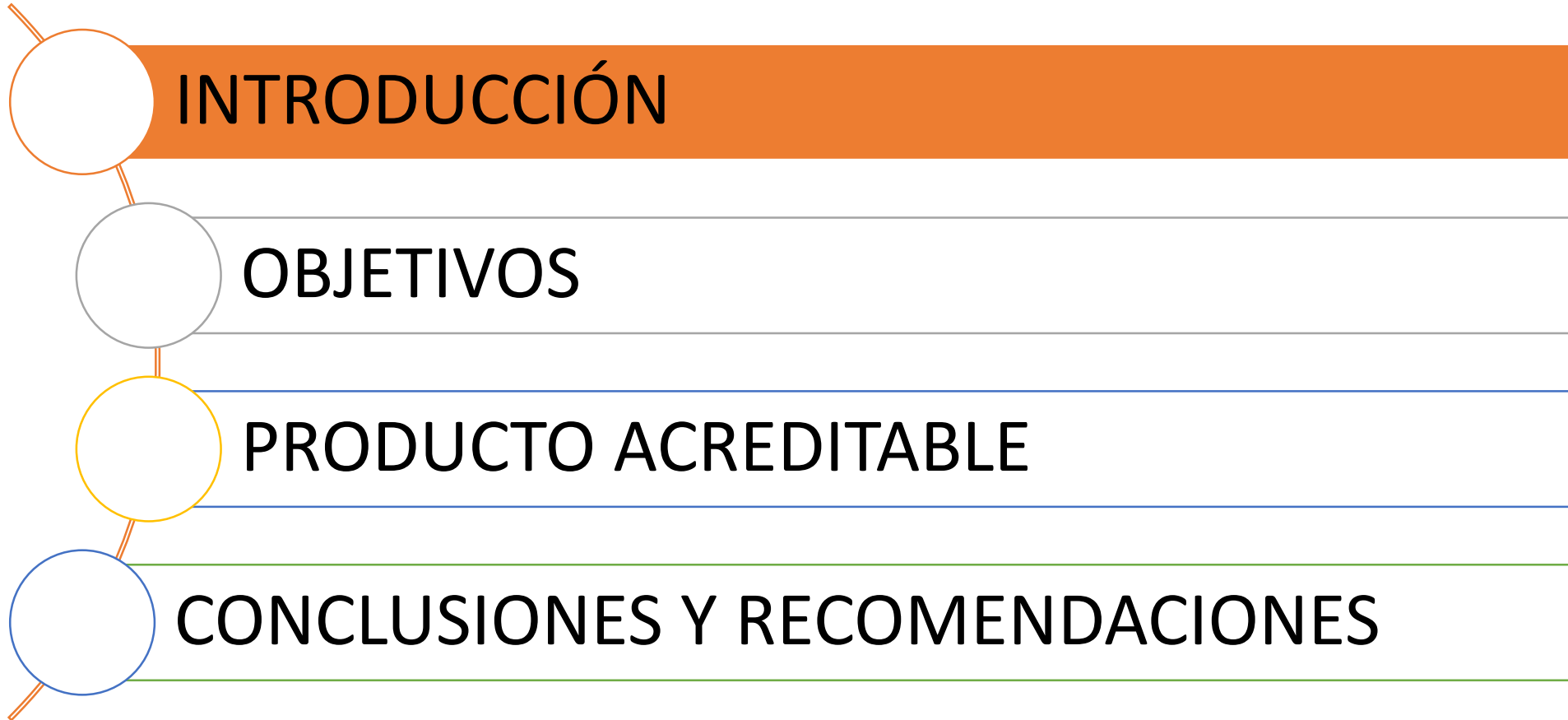
**TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE PETROQUÍMICO**

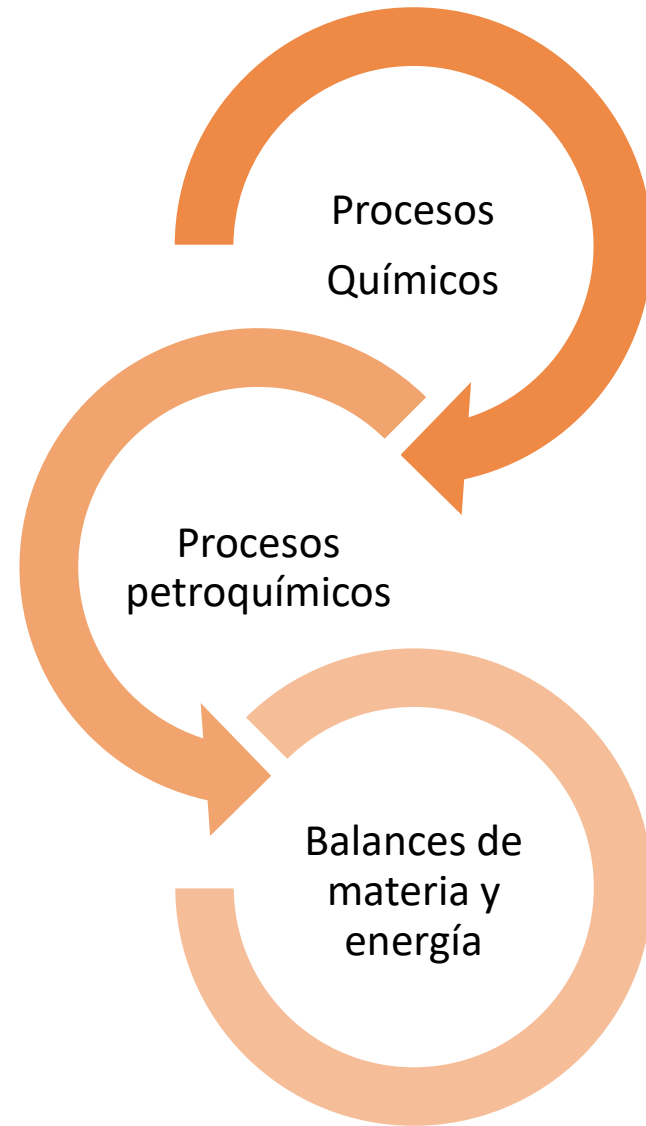
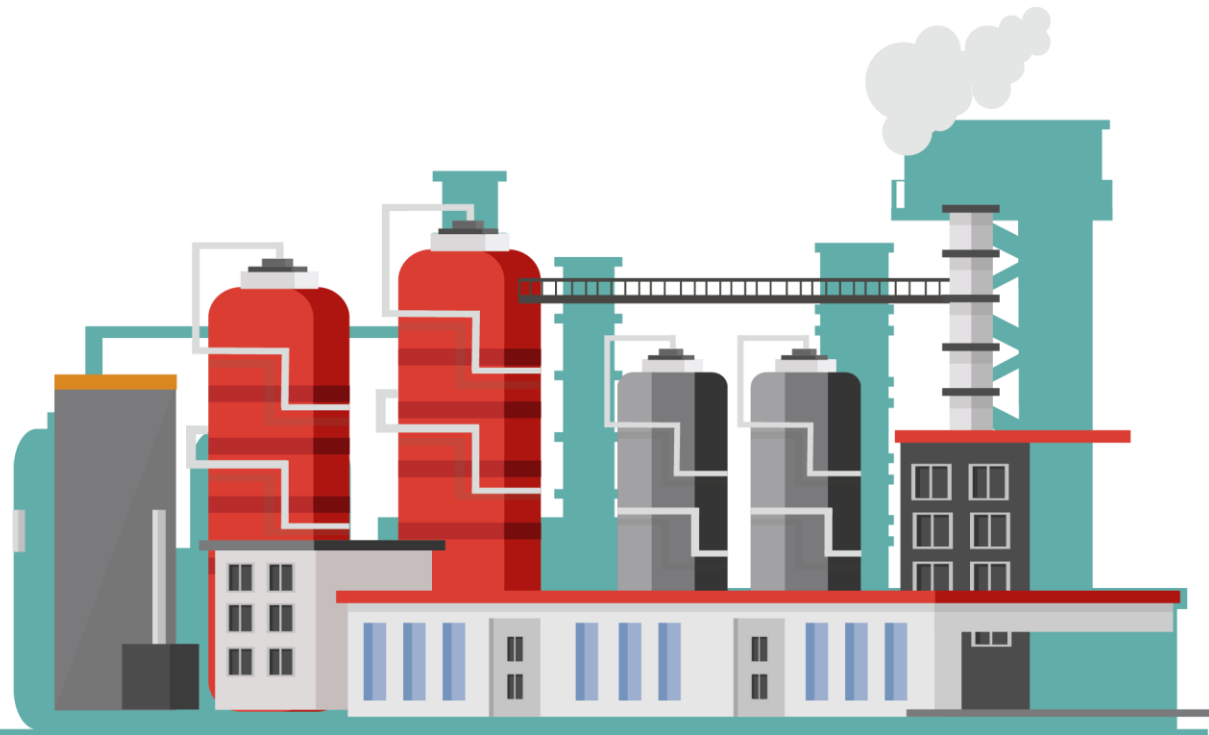
**ANÁLISIS Y COMPILACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA,
REFERENTE A LOS BALANCES DE ENERGÍA CON Y SIN REACCIÓN
QUÍMICA; Y BALANCES SIMULTÁNEOS DE MATERIA Y ENERGÍA**

AUTOR: DUQUE OSORIO, JORGE GEOVANNY

DIRECTOR: ING. LUNA ORTIZ, EDUARDO DAVID







Justificación





INTRODUCCIÓN



OBJETIVOS



PRODUCTO ACREDITABLE



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Objetivo General

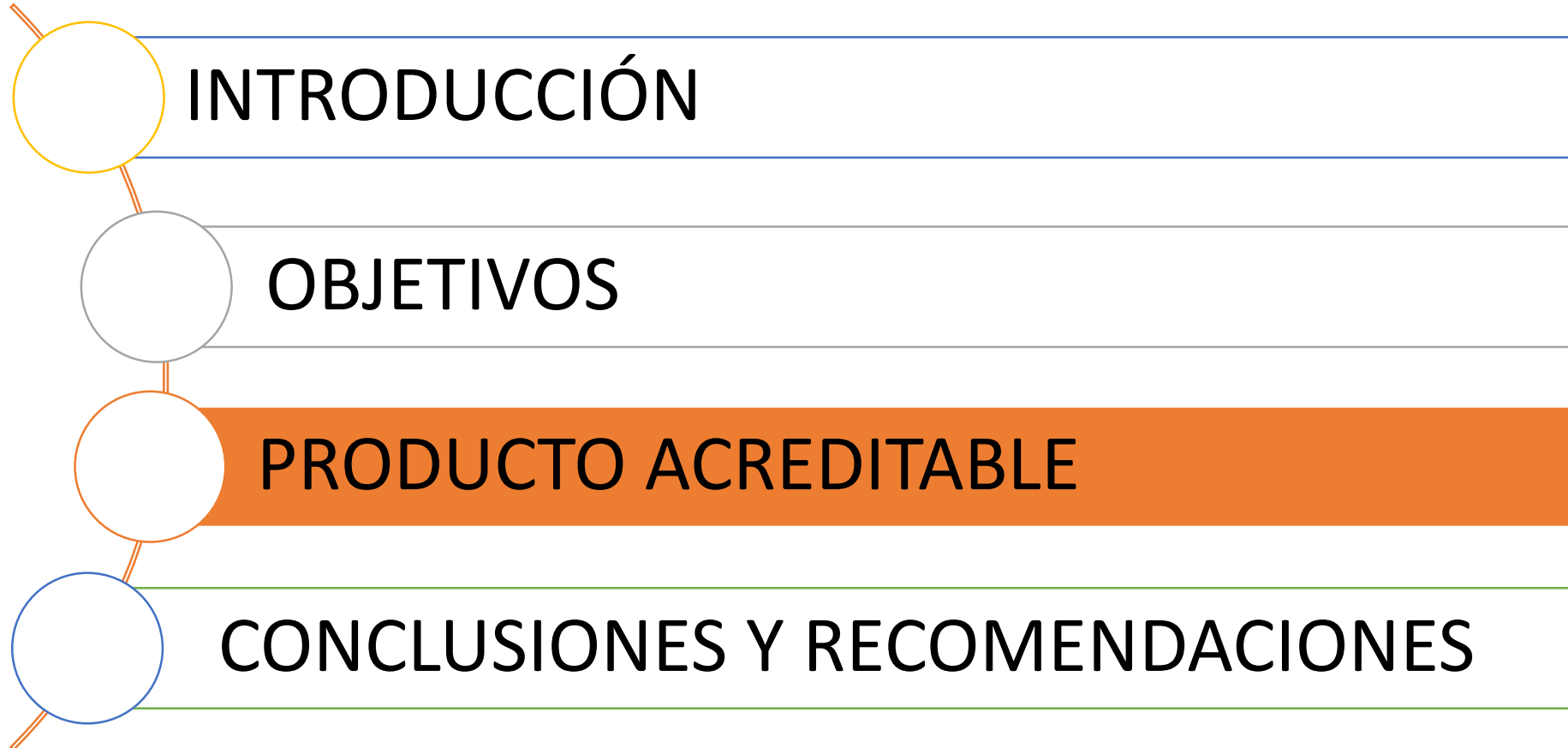
Compilar y generar información referente a los balances de energía con y sin reacción química, además de analizar y compilar información sobre los balances simultáneos de materia y energía



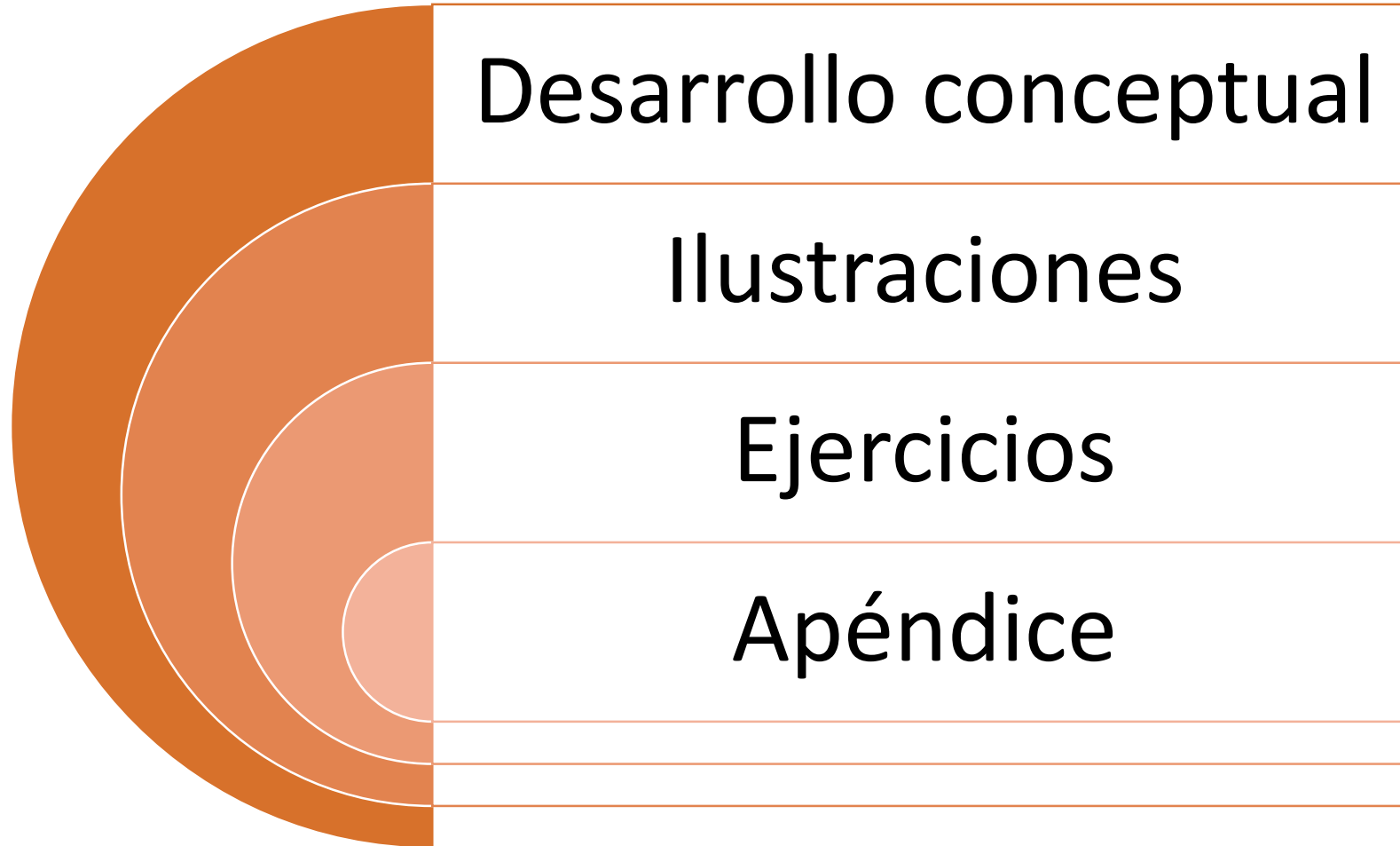
Objetivos Específicos

- Recopilar información referente a la conceptualización de la energía para el desarrollo de la ecuación general de balance de energía en sistemas abiertos y cerrados utilizando los procesos de la termodinámica.
- Describir los procesos sin reacción química, utilizando las bases de la termodinámica y la ecuación de balances de energía.
- Describir los procesos de balance de energía con reacción química, utilizando las bases de la termodinámica y la ecuación de balances de energía.
- Identificar los conceptos sobre ecuaciones generales de balance de materia y energía, para la resolución de sistemas simultáneos.
- Elaborar material bibliográfico referente a los balances de energía con y sin reacción química y balances simultáneos de materia y energía.





ESTRUCTURA GENERAL



Desarrollo conceptual

Ecuaciones

$$\dot{W}_{fl_{entrada}} = P_e \dot{V}_e \quad (1.14)$$

$$\dot{W}_{fl_{salida}} = P_s \dot{V}_s \quad (1.15)$$

Definiciones

1.1.4.2.2 Propiedad Intensiva

Son propiedades que no dependen de la masa, como la temperatura, la presión, la densidad, el volumen específico, etc.

Ejemplos

Por ejemplo, al sumar 1 litro de agua a 20 °C y 2 litros a 20 °C se obtiene 3 litros de agua a 20 °C, el volumen es considerado propiedad extensiva ya que se puede sumar, pero la temperatura es una propiedad intensiva porque no depende de la cantidad de agua, es decir, la temperatura no se puede sumar, la temperatura siempre será 20 °C independiente del volumen que se tenga.

12

1.1.4.1.2 Trabajo de Flujo \dot{W}_f

Es la diferencia de trabajo que realiza el fluido a la salida y a la entrada del sistema expresada de la siguiente forma:

$$\dot{W}_{fl_{entrada}} = P_e \dot{V}_e \quad (1.14)$$

$$\dot{W}_{fl_{salida}} = P_s \dot{V}_s \quad (1.15)$$

$$\dot{W}_f = \dot{W}_{fl_{salida}} - \dot{W}_{fl_{entrada}} = P_s \dot{V}_s - P_e \dot{V}_e \quad (1.16)$$

donde (P) es la presión y (\dot{V}) es el flujo volumétrico.

Si el proceso está constituido de varias corrientes de entrada (e) y salida (s) al sistema, el producto de P \dot{V} de cada corriente se tendrá sumar.

1.1.4.2 Propiedades Intensivas, Extensivas y Específicas.

1.1.4.2.1 Propiedad Extensiva

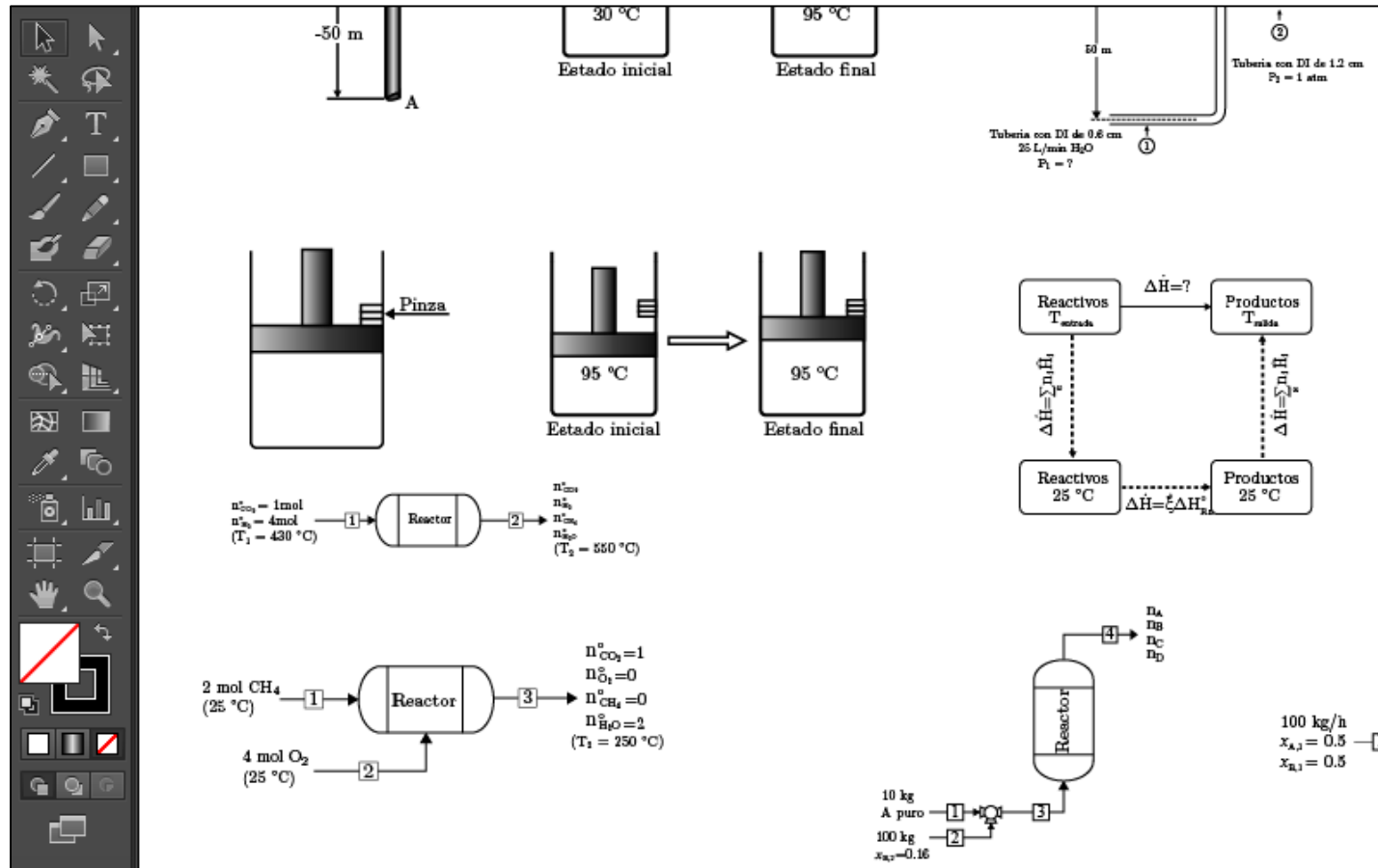
Son propiedades que dependen de la masa, como el peso, el volumen, el calor, etc.

1.1.4.2.2 Propiedad Intensiva

Son propiedades que no dependen de la masa, como la temperatura, la presión, la densidad, el volumen específico, etc.

Por ejemplo, al sumar 1 litro de agua a 20 °C y 2 litros a 20 °C se obtiene 3 litros de agua a 20 °C, el volumen es considerado propiedad extensiva ya que se puede sumar, pero la temperatura es una propiedad intensiva porque no depende de la cantidad de agua, es decir, la temperatura no se puede sumar, la temperatura siempre será 20 °C independiente del volumen que se tenga.

Ilustraciones



Diagramas

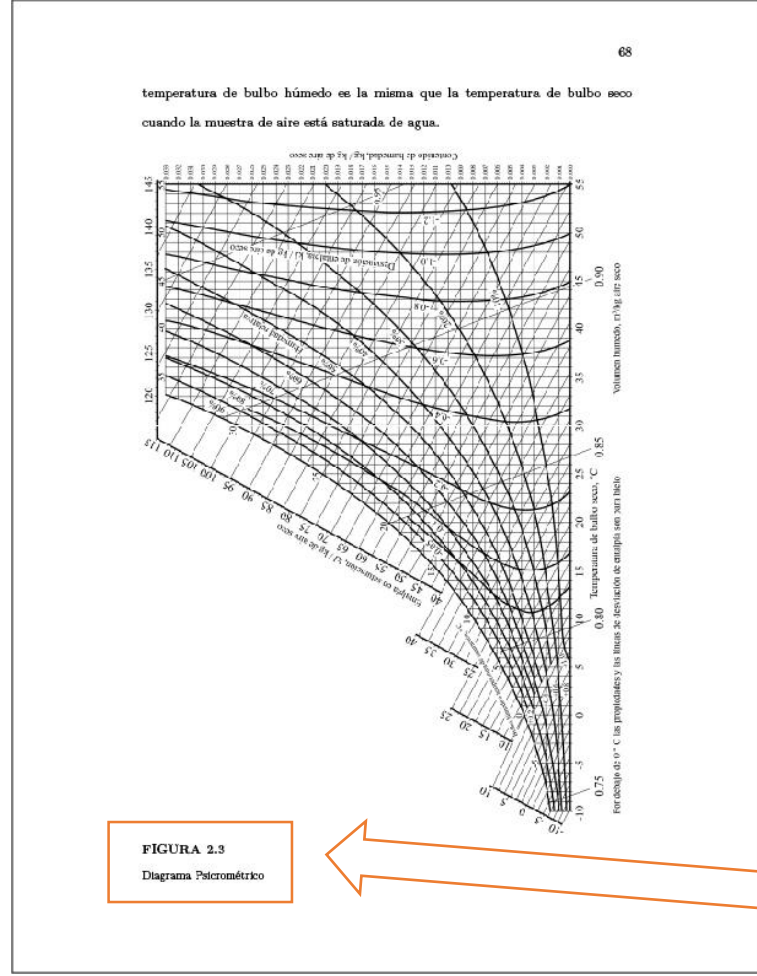


FIGURA 2.3
Diagrama Psicrométrico



FIGURA 2.3
Diagrama Psicrométrico

Ejercicios



Ejemplo 3.9 Producción de formaldehído

El formaldehído es un compuesto químico incoloro y de olor fuerte que es inflamable. En la petroquímica el formaldehído es considerado como el aldehído más simple y reactivo, su polimerización por condensación de formaldehído con fenol, urea o melamina puede generar resinas de urea formaldehído, fenol formaldehído y melamina formaldehído, estas resinas son pegamentos muy importantes que se usan en la producción de tableros de partícula y para madera contrachapada. La condensación de formaldehído con acetaldehído en presencia de un álcali fuerte produce pentaeritritol, un alcohol polihídrico para la producción de resina acrílica.

Debido a la importancia del formaldehído, este se produce en un reactor continuo en una reacción de oxidación del metano con oxígeno puro. Al reactor ingresa una alimentación de metano a un caudal de 100 mol/h y de oxígeno puro a 100 mol/h, la corriente a la salida del reactor continuo es de 200 mol/h y presenta composiciones molares de formaldehído y dióxido de carbono de 0.20 y 0.05 respectivamente. Determinar el flujo de calor que se debe agregar o retirar del reactor para mantener la temperatura del reactor en 200°C.

Las reacciones que se presentan en el reactor son:

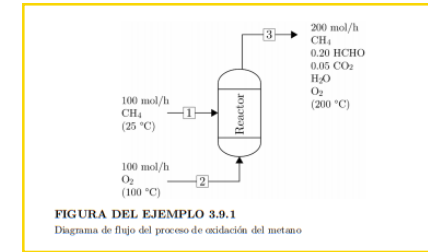
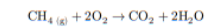
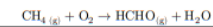


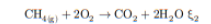
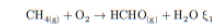
FIGURA DEL EJEMPLO 3.9.1
Diagrama de flujo del proceso de oxidación del metano

Solución

Se hará uso del método de grado de reacción para el balance de materiales y energía teniendo como base 200 mol/h de la corriente de gas de salida.

Balance de materia:

Debido a que se presentan dos reacciones en el proceso, para cada reacción se tendrá un avance de reacción:



Para calcular el avance o grado de reacción de la primera reacción química, seleccione un componente que esté disponible solo en la primera reacción y no en la segunda, se tomará formaldehído en este caso:

$$n_i = n_{i,0} - \gamma_i \xi$$

$$n_{\text{HCHO}} = n_{\text{HCHO},0}^0 + \xi_1$$

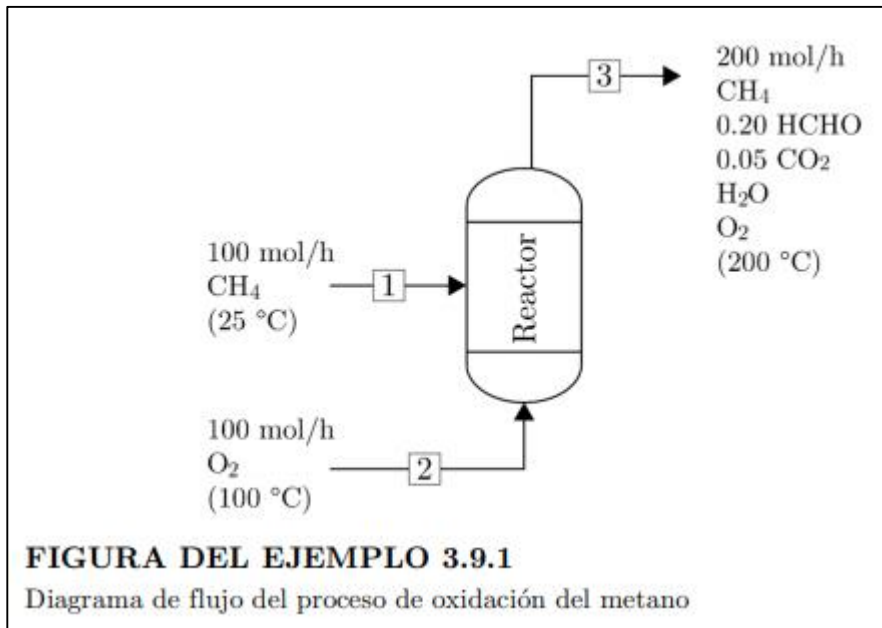
Ejercicios

Ejemplo 3.9 Producción de formaldehído

El formaldehído es un compuesto químico incoloro y de olor fuerte que es inflamable. En la petroquímica el formaldehído es considerado como el aldehído más simple y reactivo, su polimerización por condensación de formaldehído con fenol, urea o melanina puede generar resinas de urea formaldehído, fenol formaldehído y melanina formaldehído, estas resinas son pegamentos muy importantes que se usan en la producción de tableros de partícula y para madera contrachapada. La condensación de formaldehído con acetaldehído en presencia de un álcali fuerte produce pentaeritritol, un alcohol polihídrico para la producción de resina alquídica.

Debido a la importancia del formaldehído, este se produce en un reactor continuo en una reacción de oxidación del metano con oxígeno puro. Al reactor ingresa una alimentación de metano a un caudal de 100 mol/h y de oxígeno puro a 100 mol/h. la corriente a la salida del reactor continuo es de 200 mol/h y presenta composiciones molares de formaldehído y dióxido de carbono de 0.20 y 0.05 respectivamente. Determinar el flujo de calor que se debe agregar o retirar del reactor para mantener la temperatura del reactor en 200°C.

Ejercicios

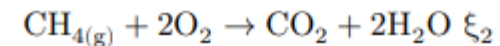
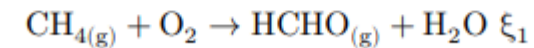


Solución

Se hará uso del método de grado de reacción para el balance de materiales y energía teniendo como base 200 mol/h de la corriente de gas de salida.

Balance de materia:

Debido a que se presentan dos reacciones en el proceso, para cada reacción se tendrá un avance de reacción:



Ejercicios

Balance de energía:

El calor estándar de reacción para ambas reacciones se calcula con estado de referencia de 25°C a partir de los calores estándar de formación de la siguiente manera:

El calor estándar de la primera reacción viene dado por $\Delta\hat{H}_{\text{Rx1}}^{\circ}$, los estados de agregación para los componentes que no se expresen en la reacción se verificara en el apéndice A, tabla A.1 a la temperatura de 200 °C, por ejemplo, la temperatura de ebullición del agua es 100 °C por tanto a 200 °C se garantiza que estará en estado gas, la entalpía

Apéndice

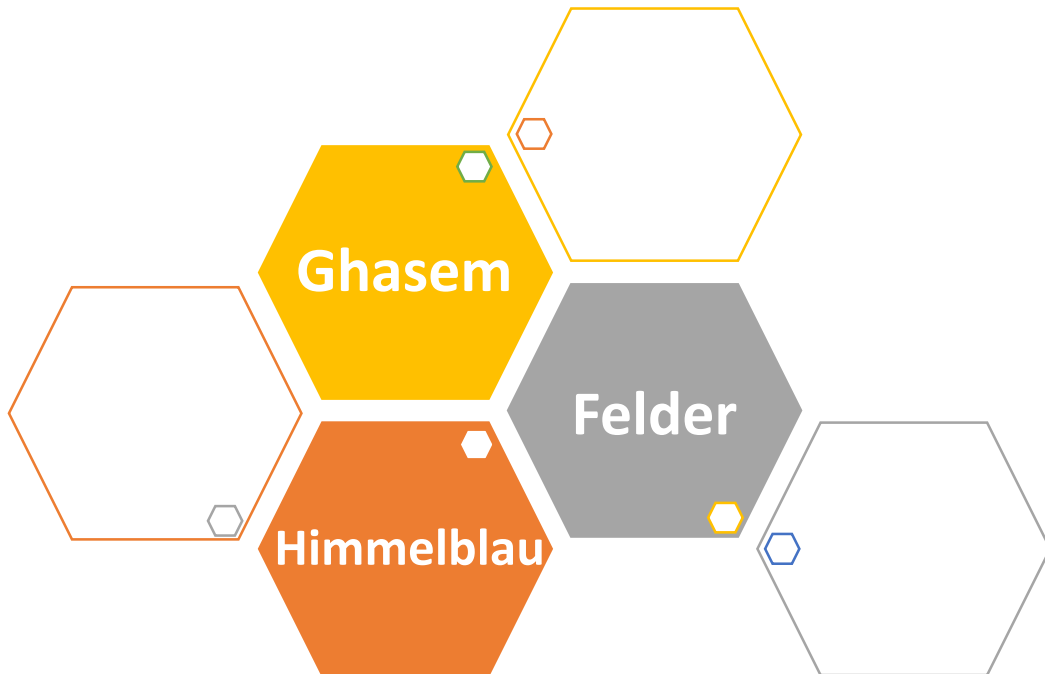
Tabla A.4

Propiedades del vapor saturado: tabla de presiones (continúa)

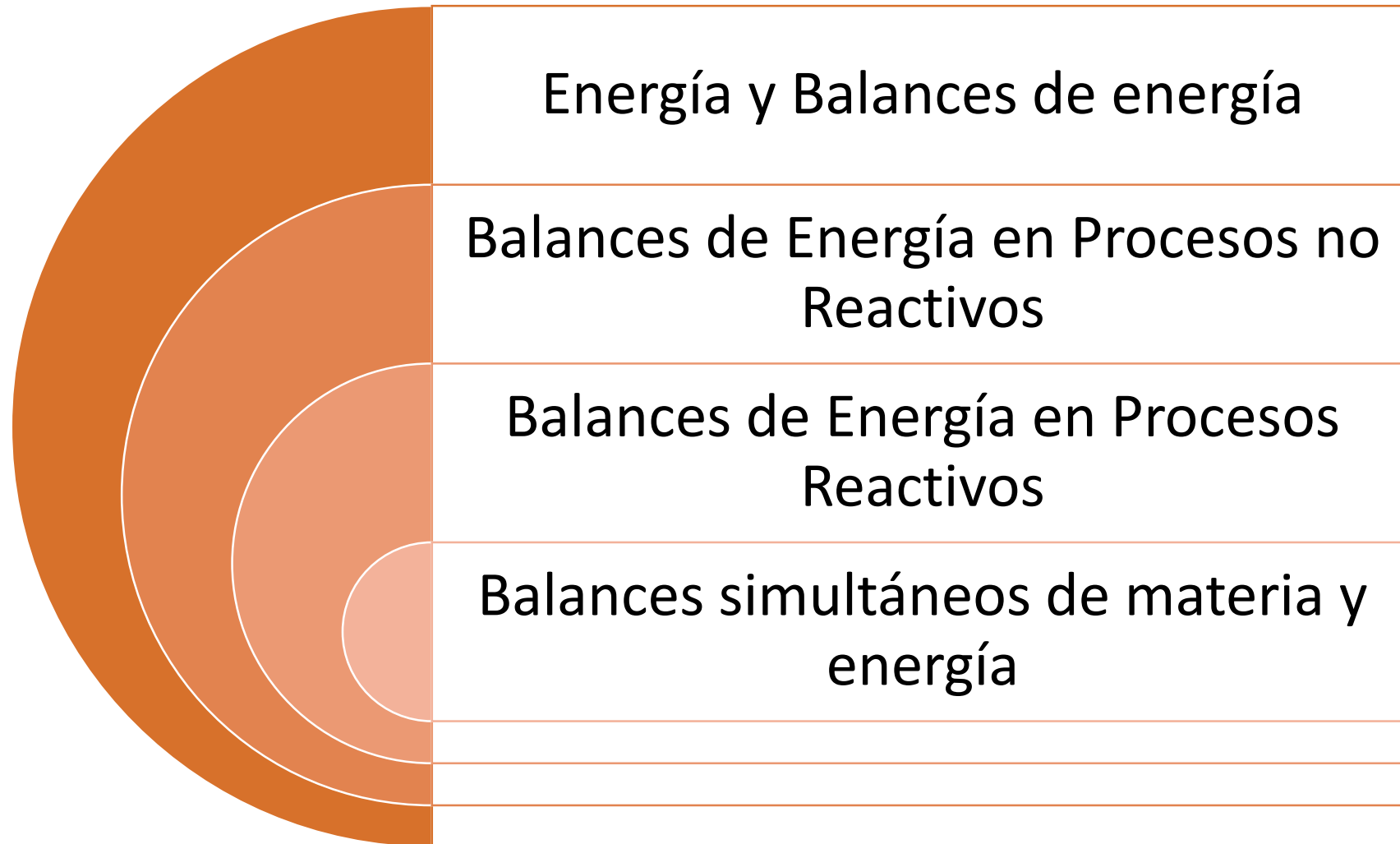
Tabla A.4

Propiedades del vapor saturado: tabla de presiones (continúa)

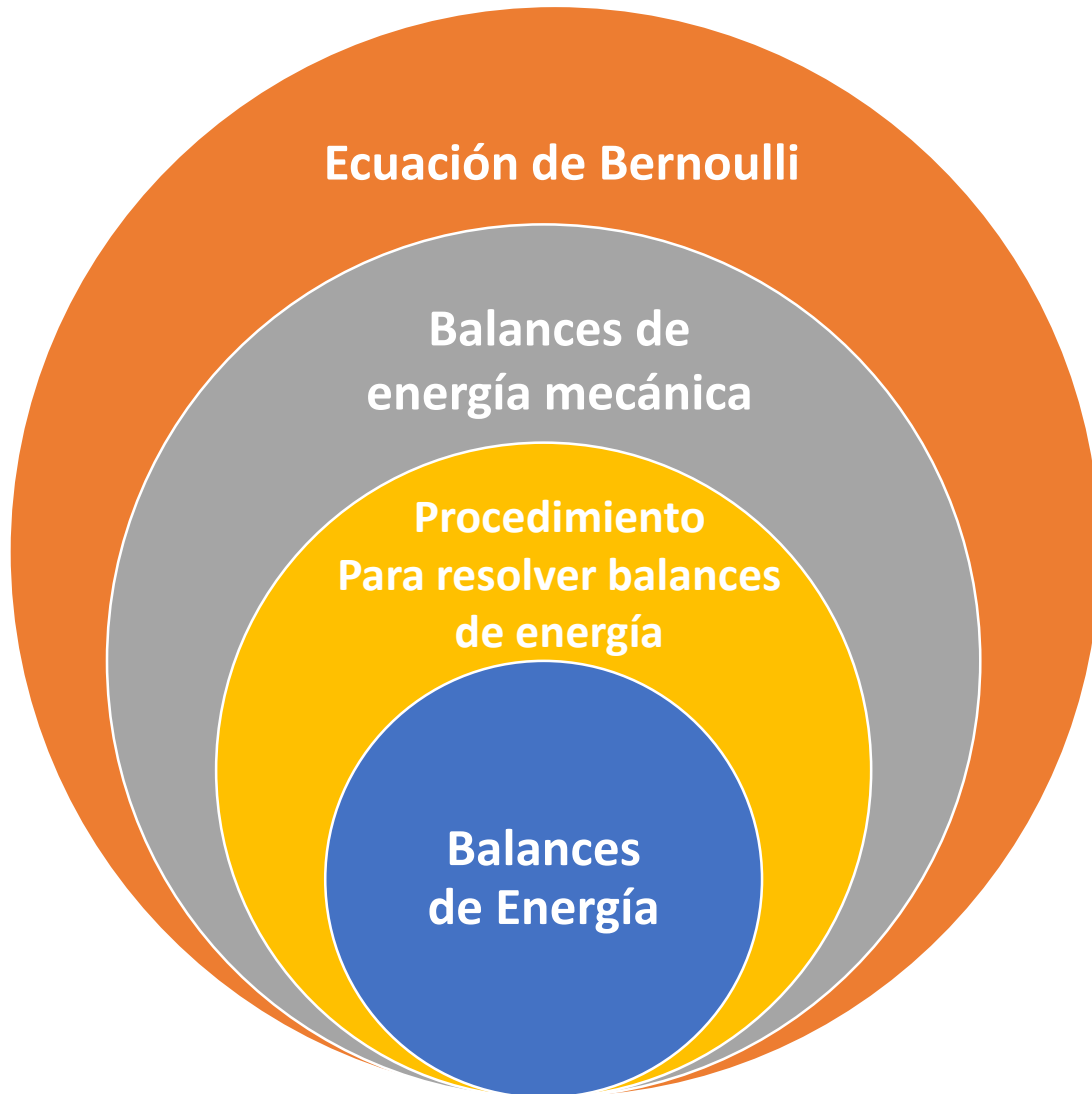
| P(bar) | T(°C) | \hat{V} (m ³ /kg) | | \hat{U} (kJ/kg) | | \hat{H} (kJ/kg) | | |
|---------|-------|--------------------------------|-------|-------------------|--------|-------------------|-------------|--------|
| | | Agua | Vapor | Agua | Vapor | Agua | Evaporación | Vapor |
| 0.90 | 96.7 | 0.001041 | 1.869 | 405.1 | 2502.6 | 405.2 | 2265.6 | 2670.9 |
| 0.95 | 98.2 | 0.001042 | 1.777 | 411.4 | 2504.4 | 411.5 | 2261.7 | 2673.2 |
| 1.00 | 99.6 | 0.001043 | 1.694 | 417.4 | 2506.1 | 417.5 | 2257.9 | 2675.4 |
| 1.01325 | 100.0 | 0.001044 | 1.673 | 419.0 | 2506.5 | 419.1 | 2256.9 | 2676.0 |
| 1.1 | 102.3 | 0.001046 | 1.549 | 428.7 | 2509.2 | 428.8 | 2250.8 | 2679.6 |
| 1.2 | 104.8 | 0.001048 | 1.428 | 439.2 | 2512.1 | 439.4 | 2244.1 | 2683.4 |
| 1.3 | 107.1 | 0.001049 | 1.325 | 449.1 | 2514.7 | 449.2 | 2237.8 | 2687.0 |
| 1.4 | 109.3 | 0.001051 | 1.236 | 458.3 | 2517.2 | 458.4 | 2231.9 | 2690.3 |
| 1.5 | 111.4 | 0.001053 | 1.159 | 467.0 | 2519.5 | 467.1 | 2226.2 | 2693.4 |
| 1.6 | 113.3 | 0.001055 | 1.091 | 475.2 | 2521.7 | 475.4 | 2220.9 | 2696.2 |
| 1.7 | 115.2 | 0.001056 | 1.031 | 483.0 | 2523.7 | 483.2 | 2215.7 | 2699.0 |
| 1.8 | 116.9 | 0.001058 | 0.977 | 490.5 | 2525.6 | 490.7 | 2210.8 | 2701.5 |
| 1.9 | 118.6 | 0.001059 | 0.929 | 497.6 | 2527.5 | 497.8 | 2206.1 | 2704.0 |
| 2.0 | 120.2 | 0.001061 | 0.885 | 504.5 | 2529.2 | 504.7 | 2201.6 | 2706.3 |
| 2.2 | 123.3 | 0.001064 | 0.810 | 517.4 | 2532.4 | 517.6 | 2193.0 | 2710.6 |
| 2.4 | 126.1 | 0.001066 | 0.746 | 529.4 | 2535.4 | 529.6 | 2184.9 | 2714.5 |
| 2.6 | 128.7 | 0.001069 | 0.693 | 540.6 | 2538.1 | 540.9 | 2177.3 | 2718.2 |
| 2.8 | 131.2 | 0.001071 | 0.646 | 551.1 | 2540.6 | 551.4 | 2170.1 | 2721.5 |
| 3.0 | 133.5 | 0.001074 | 0.606 | 561.1 | 2543.0 | 561.4 | 2163.2 | 2724.7 |
| 3.3 | 135.8 | 0.001076 | 0.570 | 570.6 | 2545.2 | 570.9 | 2156.7 | 2727.6 |
| 3.4 | 137.9 | 0.001078 | 0.538 | 579.6 | 2547.2 | 579.9 | 2150.4 | 2730.3 |
| 3.6 | 139.9 | 0.001080 | 0.510 | 588.1 | 2549.2 | 588.5 | 2144.4 | 2732.9 |
| 3.8 | 141.8 | 0.001082 | 0.485 | 596.4 | 2551.0 | 596.8 | 2138.6 | 2735.3 |
| 4.0 | 143.6 | 0.001084 | 0.462 | 604.2 | 2552.7 | 604.7 | 2133.0 | 2737.6 |



ESTRUCTURA POR CAPÍTULO



Energía y Balances de Energía



1

Energía y Balances de Energía

En el presente capítulo se revisarán conceptos fundamentales de energía, que servirán para aplicarse en los distintos procesos que impliquen balances de energía. Se definirá la primera ley de la termodinámica en sistemas cerrados y abiertos, luego se explicarán los tipos de energía que puede poseer un sistema, y como esta energía se transmite, además, se utilizarán ejercicios de aplicación para resolver balances de energía en las diferentes unidades de proceso y en los equipos utilizados principalmente en la industria química y petroquímica. En este capítulo, además, se tratará balances de energía mecánica y la ecuación de Bernoulli.

Energía y Balances de Energía

Ecuación de Bernoulli

Balances de energía mecánica

Procedimiento Para resolver balances de energía

Balances de Energía

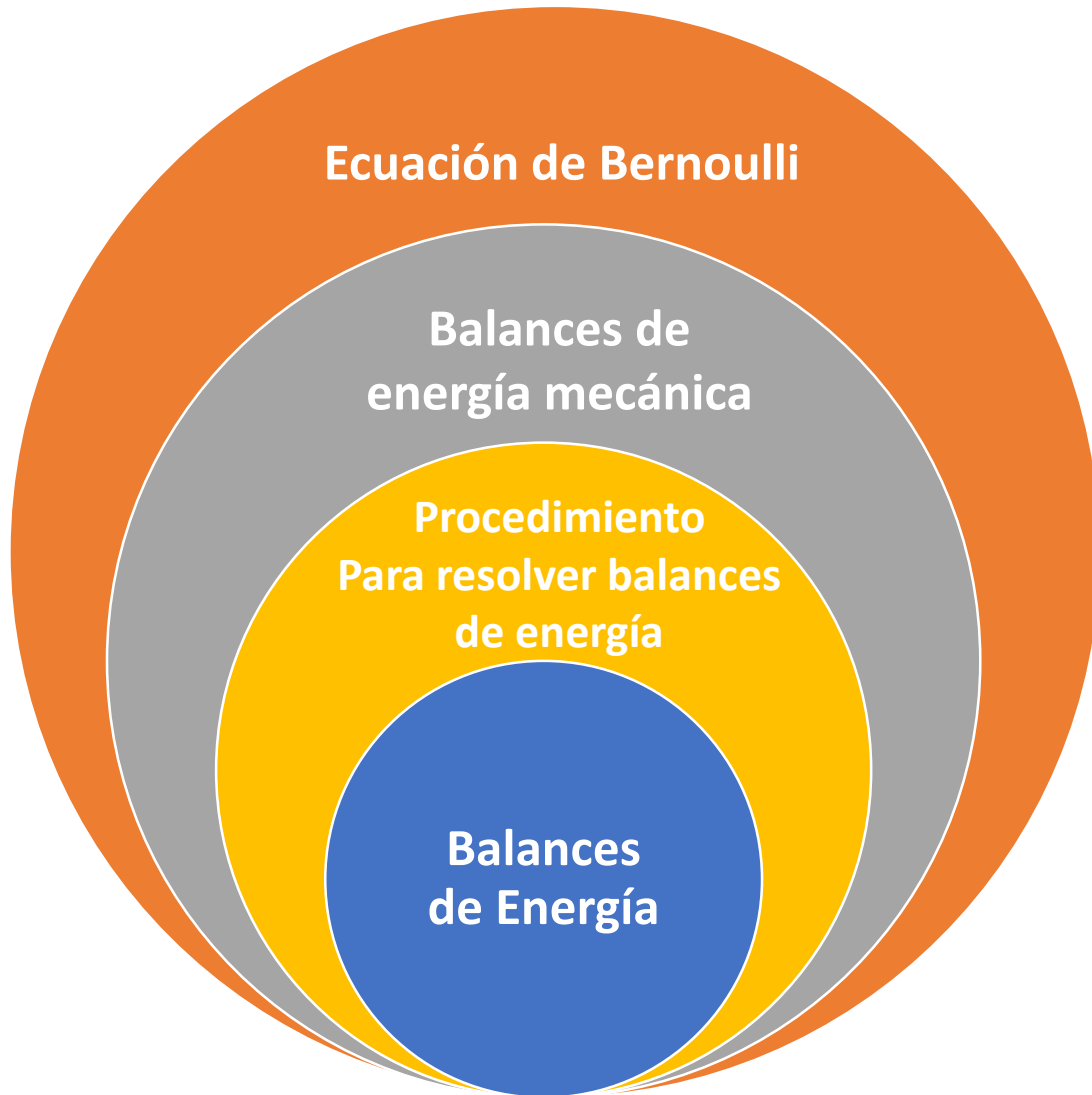
1. De ser posible se deberá determinar las velocidades de flujo de las especies en las corrientes mediante balance de masa, para este ejercicio el flujo másico que entra será igual al que sale, la velocidad del vapor es 295 kg/min.

2. Se determinará las entalpías específicas para cada componente de las corrientes. Las tablas A.4 del apéndice A, se usan para determinar las entalpías específicas para agua líquida a las temperaturas de 25 °C y 78 °C y para determinar la entalpía específica a una presión de 20 bar donde se encuentra el vapor saturado esta tabla también aporta la temperatura de vapor saturado a la presión correspondiente.

$$\hat{H} \text{ a } 25 \text{ °C} = 104.8 \text{ kJ/kg}$$

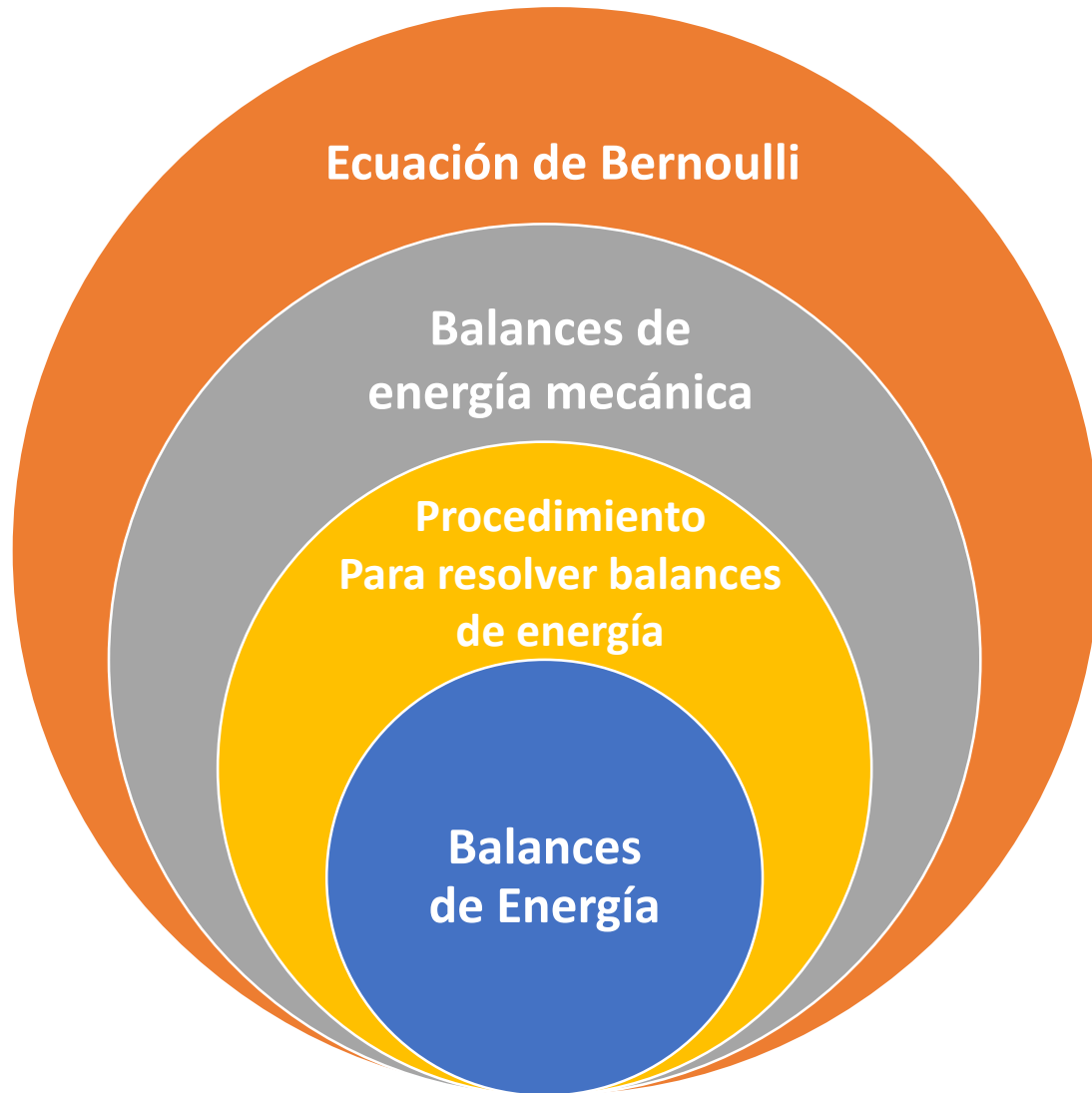
$$\hat{H} \text{ a } 78 \text{ °C} = 326.4 \text{ kJ/kg}$$

Energía y Balances de Energía



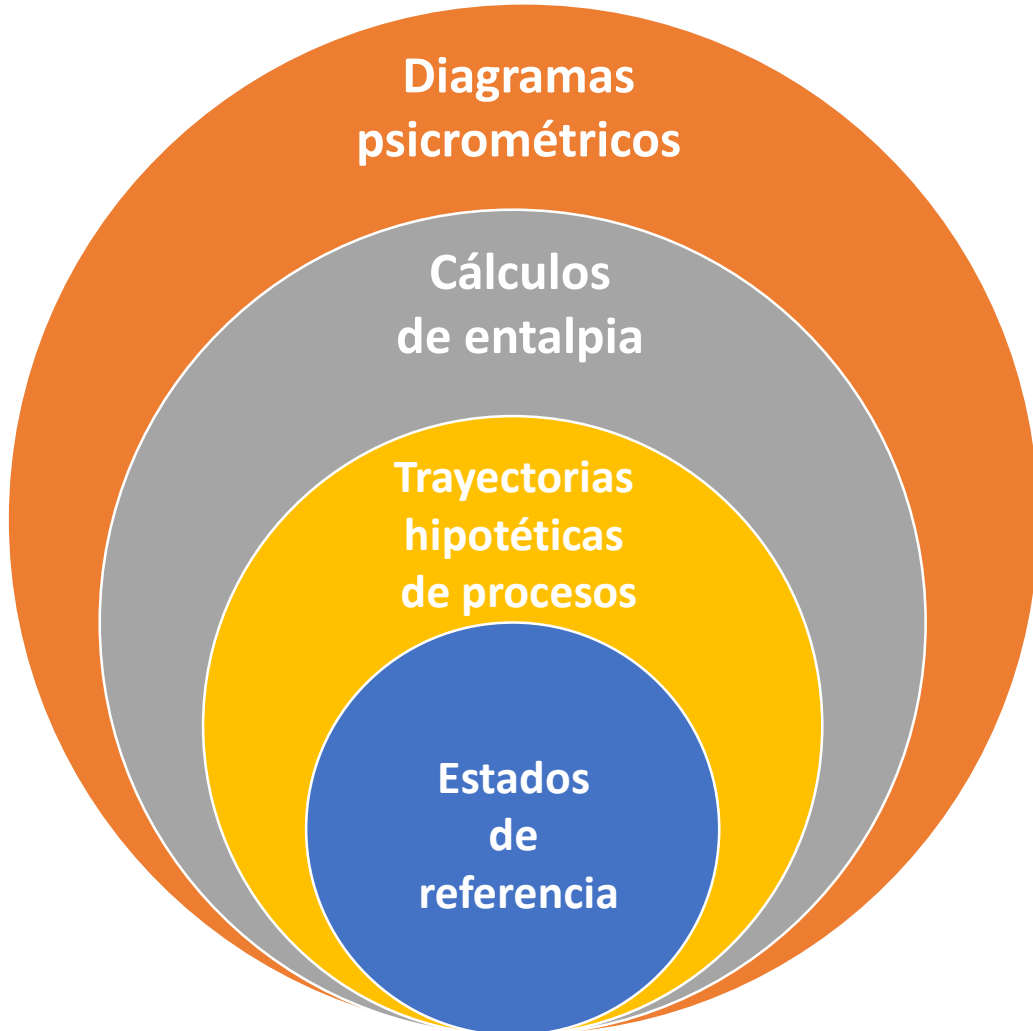
$$\frac{-\dot{W}_s}{\dot{m}} = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta z + F$$

Energía y Balances de Energía



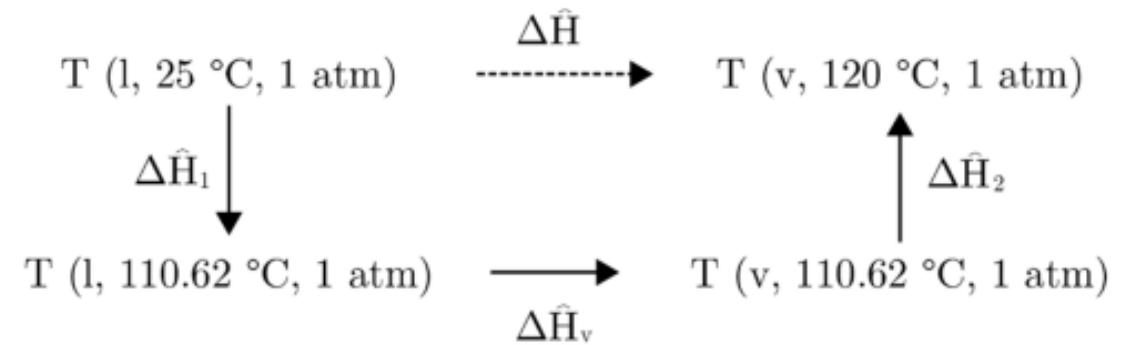
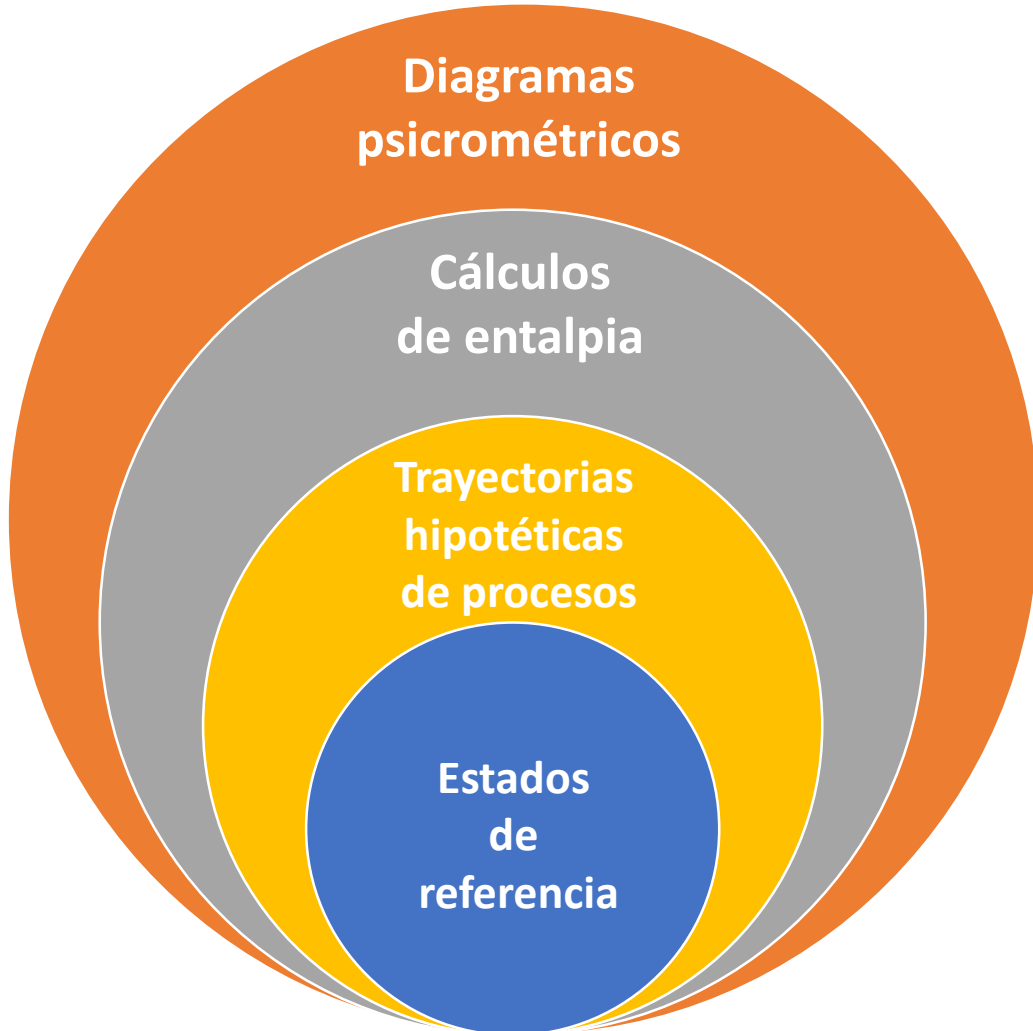
$$0 = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta z$$

Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química

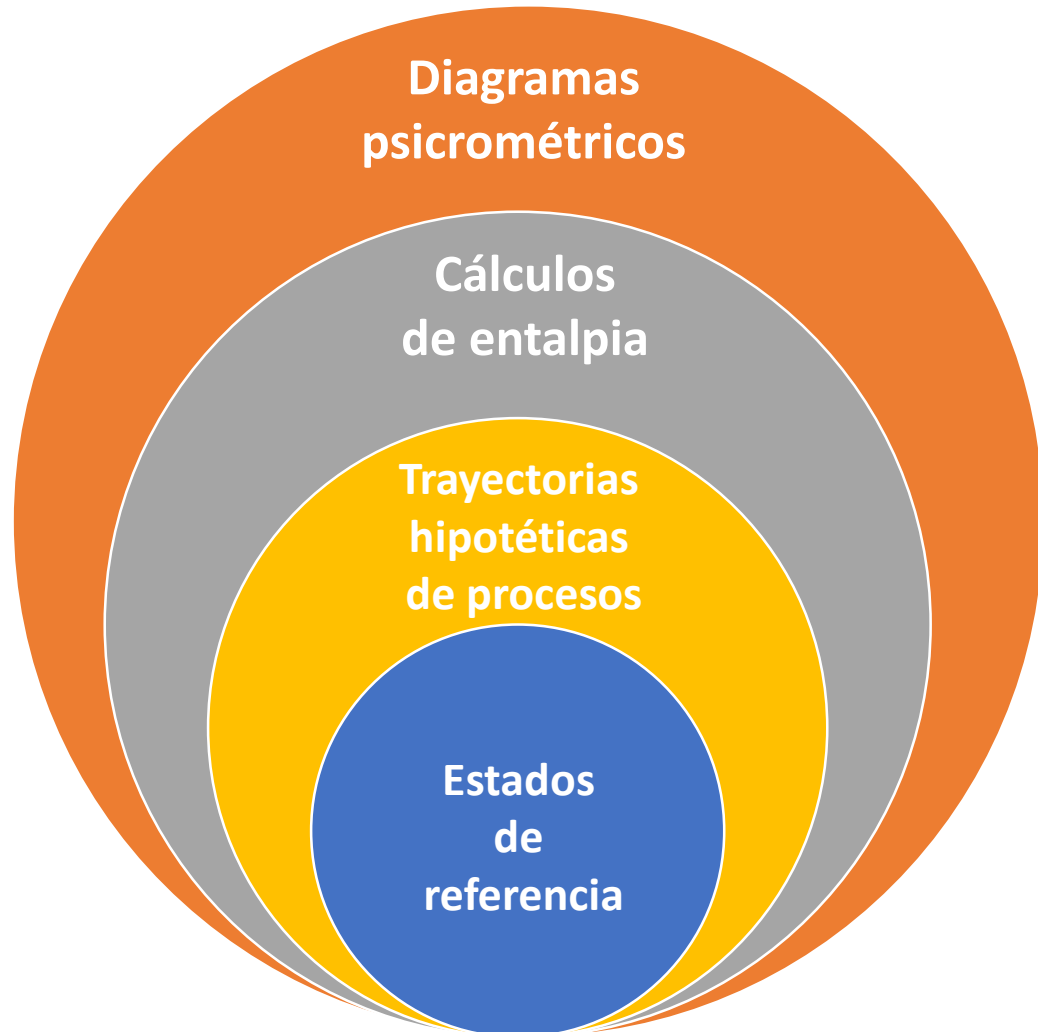


| Estado de referencia | Cambio de estado | Cambios de entalpía |
|----------------------|---------------------|---|
| CO(g, 0°C, 1 atm) | CO(g, 100°C, 1 atm) | $\Delta\hat{H}_1 = 2919 \text{ J/mol}$ |
| CO(g, 0°C, 1 atm) | CO(g, 500°C, 1 atm) | $\Delta\hat{H}_2 = 15\,060 \text{ J/mol}$ |

Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química



Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química



$$\Delta H = m C_p dT$$

$$\Delta \dot{H} = \dot{m} \int_{T_{\text{final}}}^{T_{\text{inicial}}} C_p dT = \dot{m} \int_{T_{\text{final}}}^{T_{\text{inicial}}} (a + bT + cT^2 + dT^3) dT$$

Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química

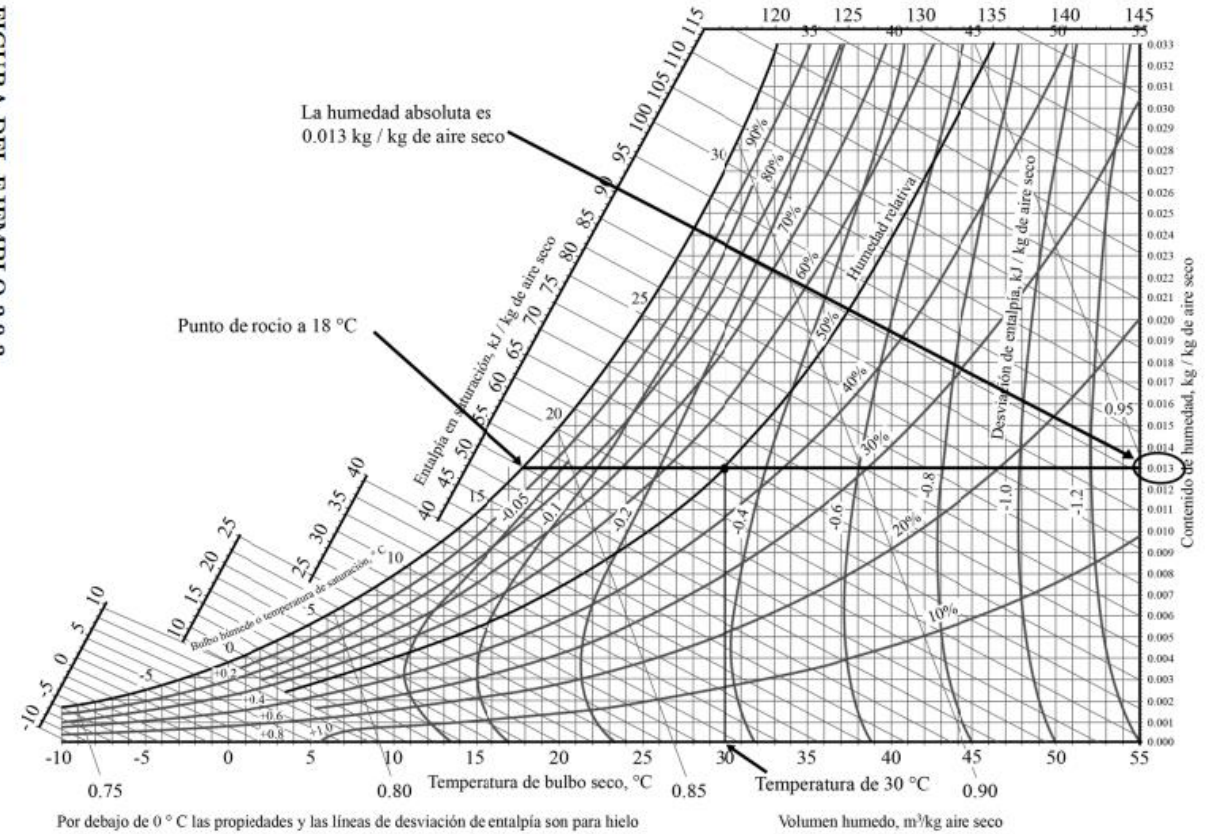
Diagramas
psicrométricos

Cálculos
de entalpia

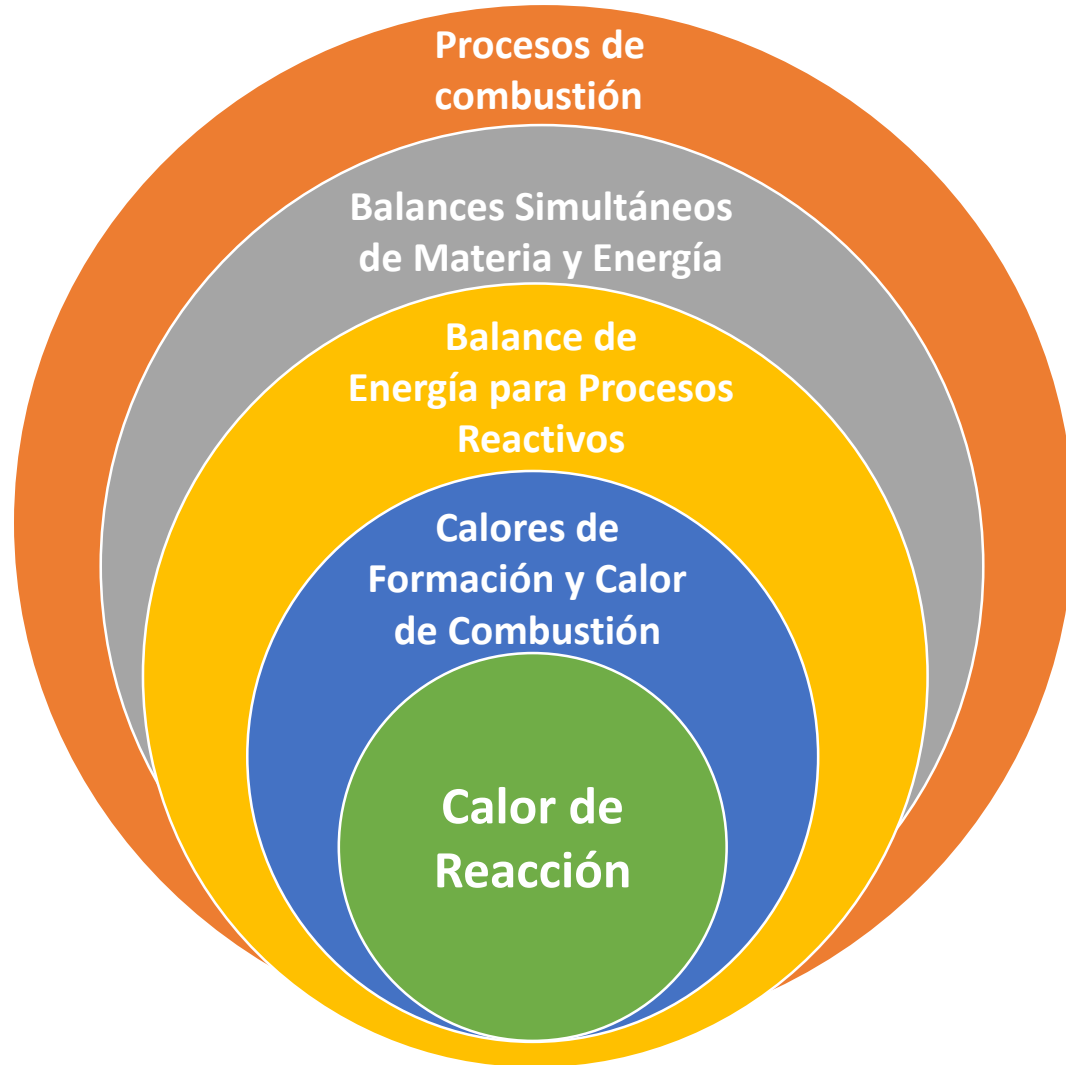
Trayectorias
hipotéticas
de procesos

Estados
de
referencia

FIGURA DEL EJEMPLO 2.9.2
Cálculo de la humedad absoluta



Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química

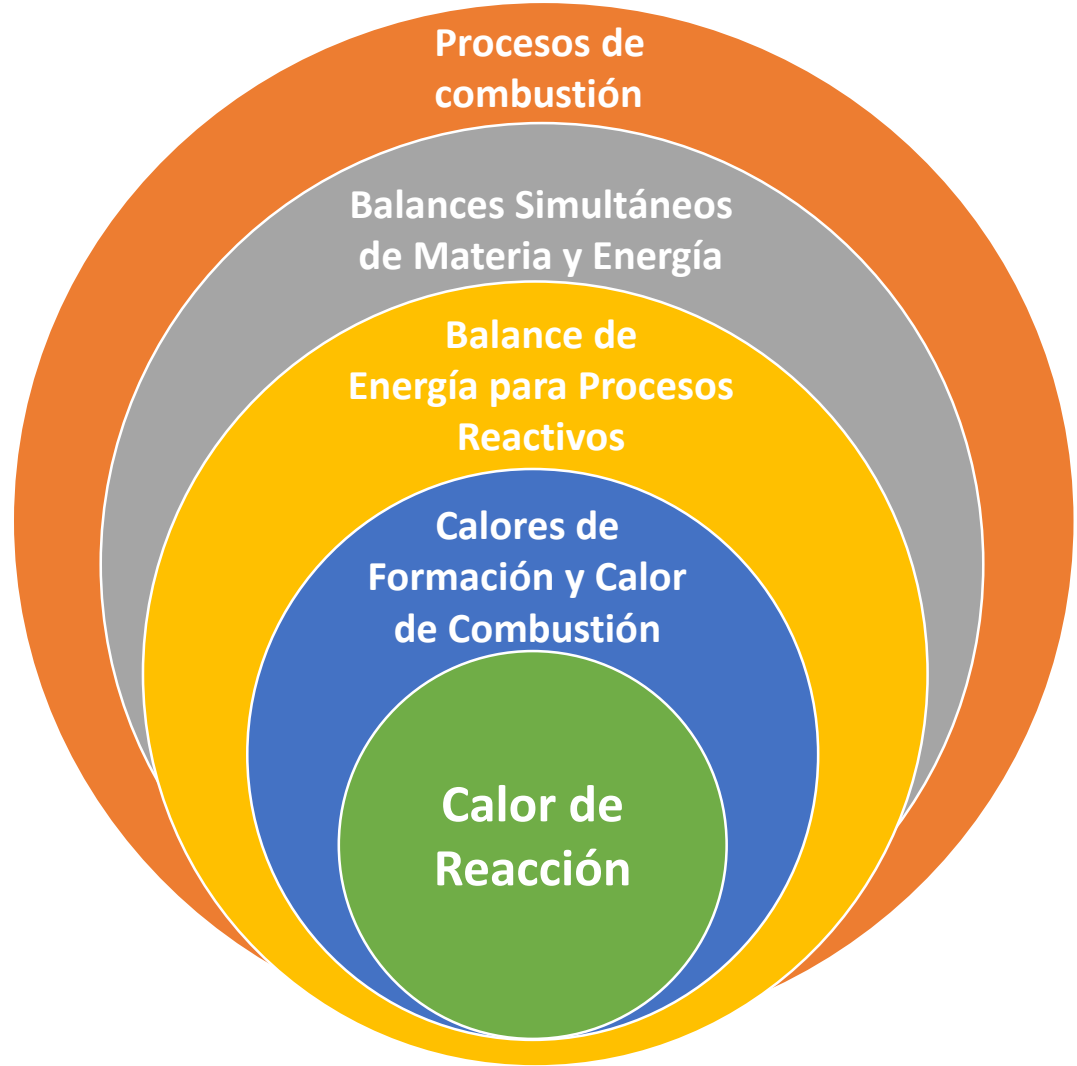


$$\Delta \hat{H}_{R_x}^{\circ} (\text{kJ/mol}) = \hat{H}_{\text{productos}} - \hat{H}_{\text{reactivos}}$$

$$\Delta \hat{H}_{R_x}^{\circ} (\text{kJ/mol}) = c\Delta \hat{H}_{f,C}^{\circ} + d\Delta \hat{H}_{f,D}^{\circ} - a\Delta \hat{H}_{f,A}^{\circ} - b\Delta \hat{H}_{f,B}^{\circ}$$

$$\Delta \hat{H}_{R_x}^{\circ} (\text{kJ/mol}) = \sum \gamma_i \hat{H}_i^{\circ}$$

Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química



3.2 Calores de Formación y Calor de Combustión

El calor estándar de reacción ($\Delta\hat{H}_{Rxx}^\circ$), es el cambio de entalpía cuando una sustancia pura se está formando a partir de productos en condiciones estándar, es decir, a 25 °C y 1 atm, y se lo puede determinar a partir del calor estándar de formación ($\Delta\hat{H}_f^\circ$), una sustancia pura puede ser un elemento o compuesto, sin embargo, el calor estándar de formación ($\Delta\hat{H}_f^\circ$) de todas las especies elementales son cero (H_2 , O_2 , N_2). Los valores de $\Delta\hat{H}_f^\circ$ se pueden encontrar a partir de datos tabulados (Tabla A.1, apéndice A). La ecuación general queda de la siguiente manera:

$$\Delta\hat{H}_{Rxx}^\circ = \sum_i \gamma_i \Delta\hat{H}_{f,i}^\circ \quad (3.4)$$

Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química

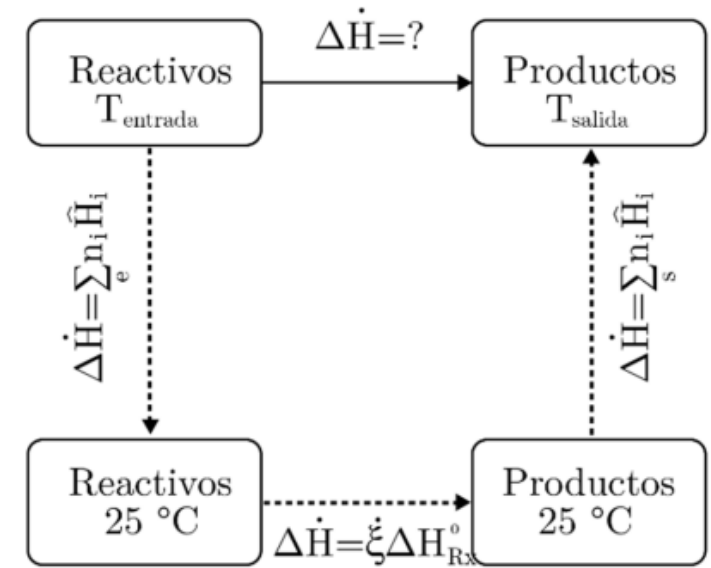
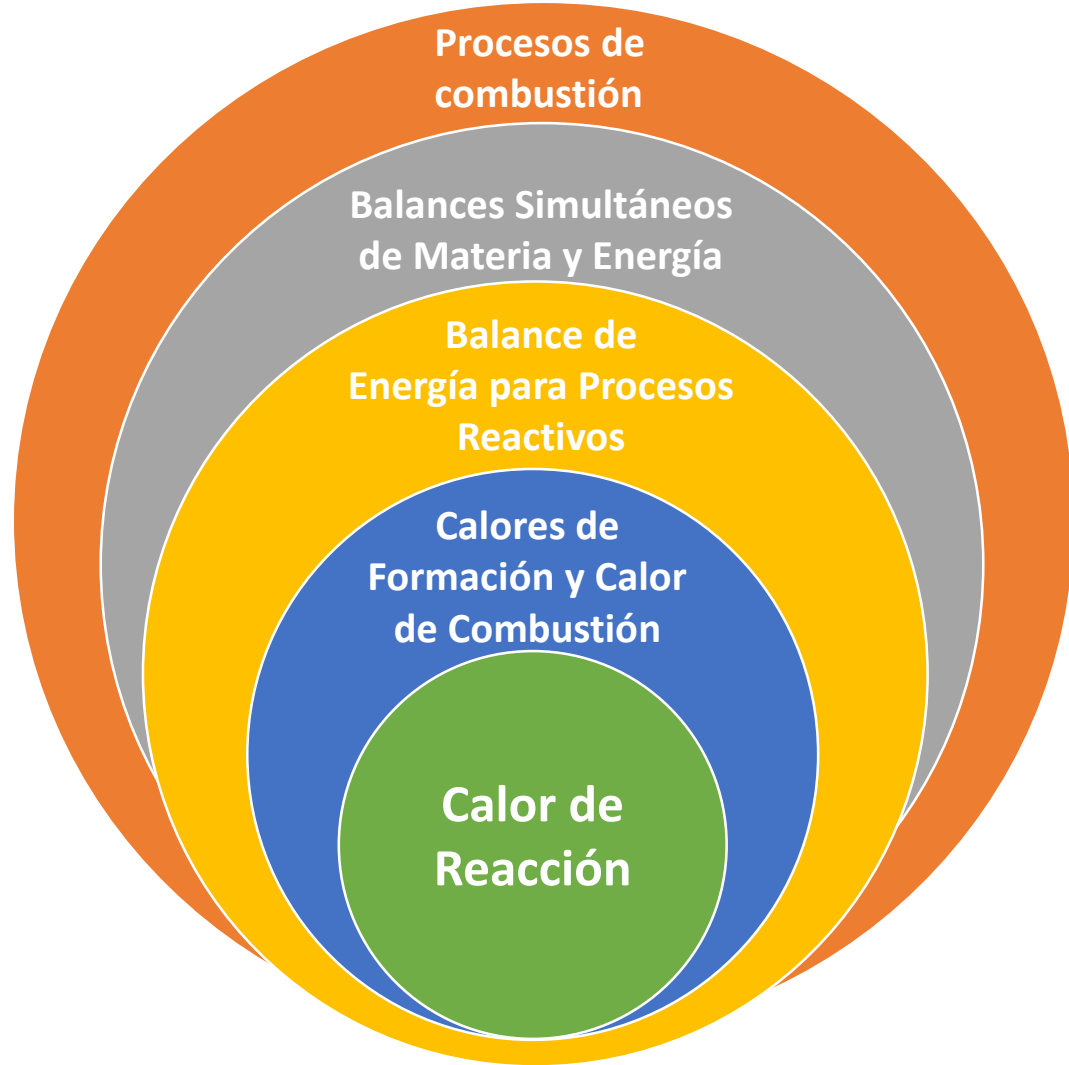
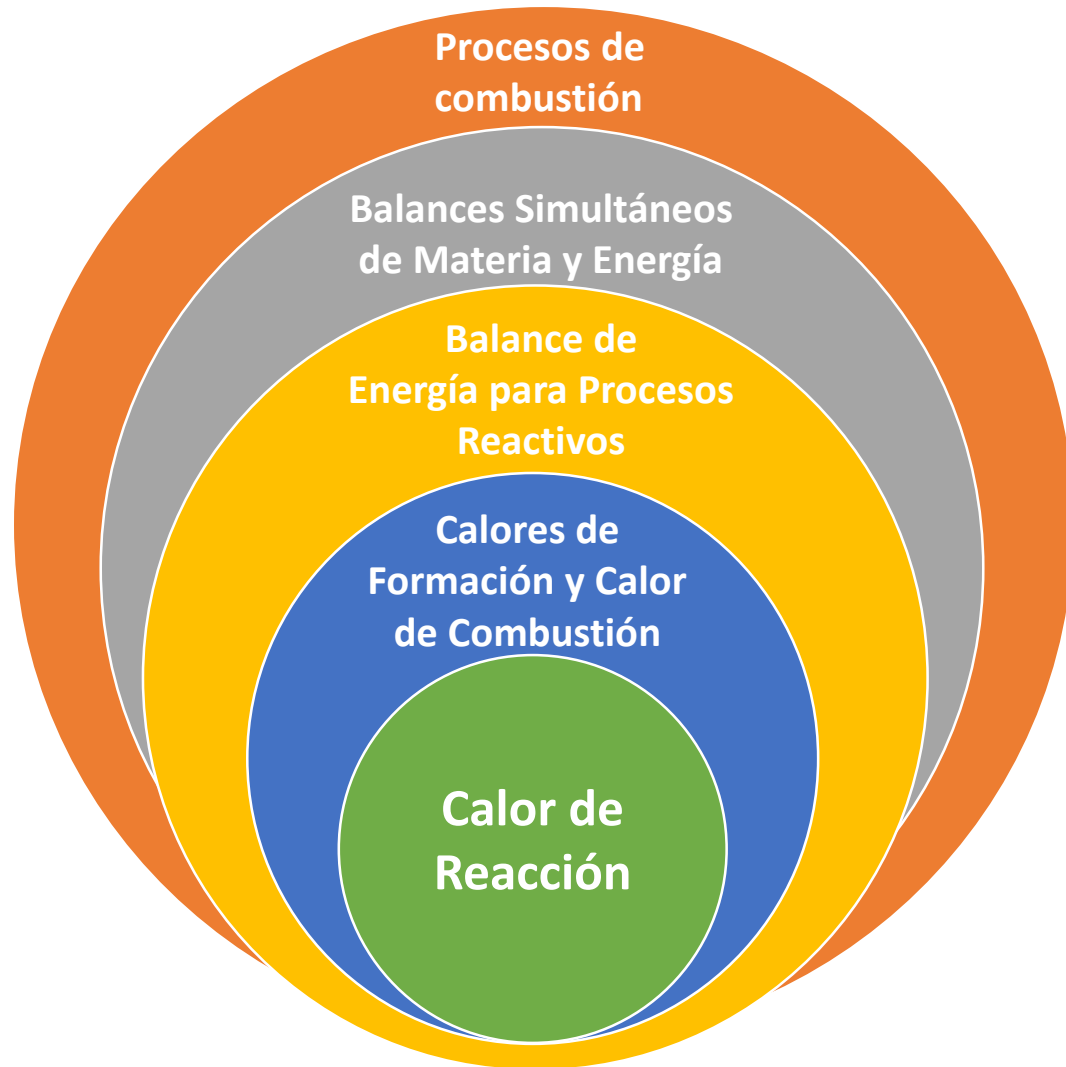


FIGURA 3.1

Cambio de entalpía para un proceso reactivo.

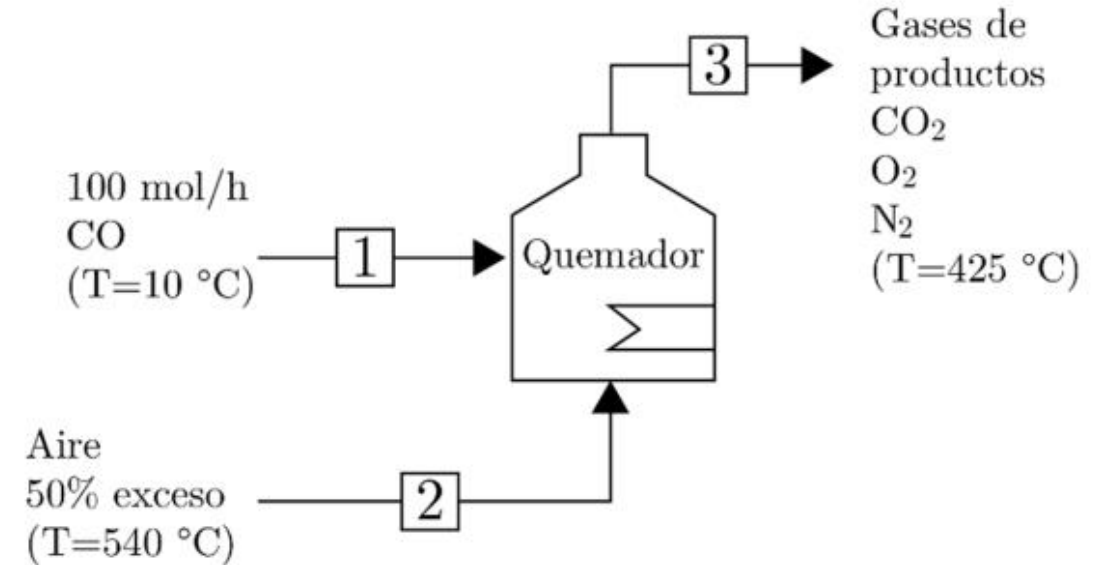
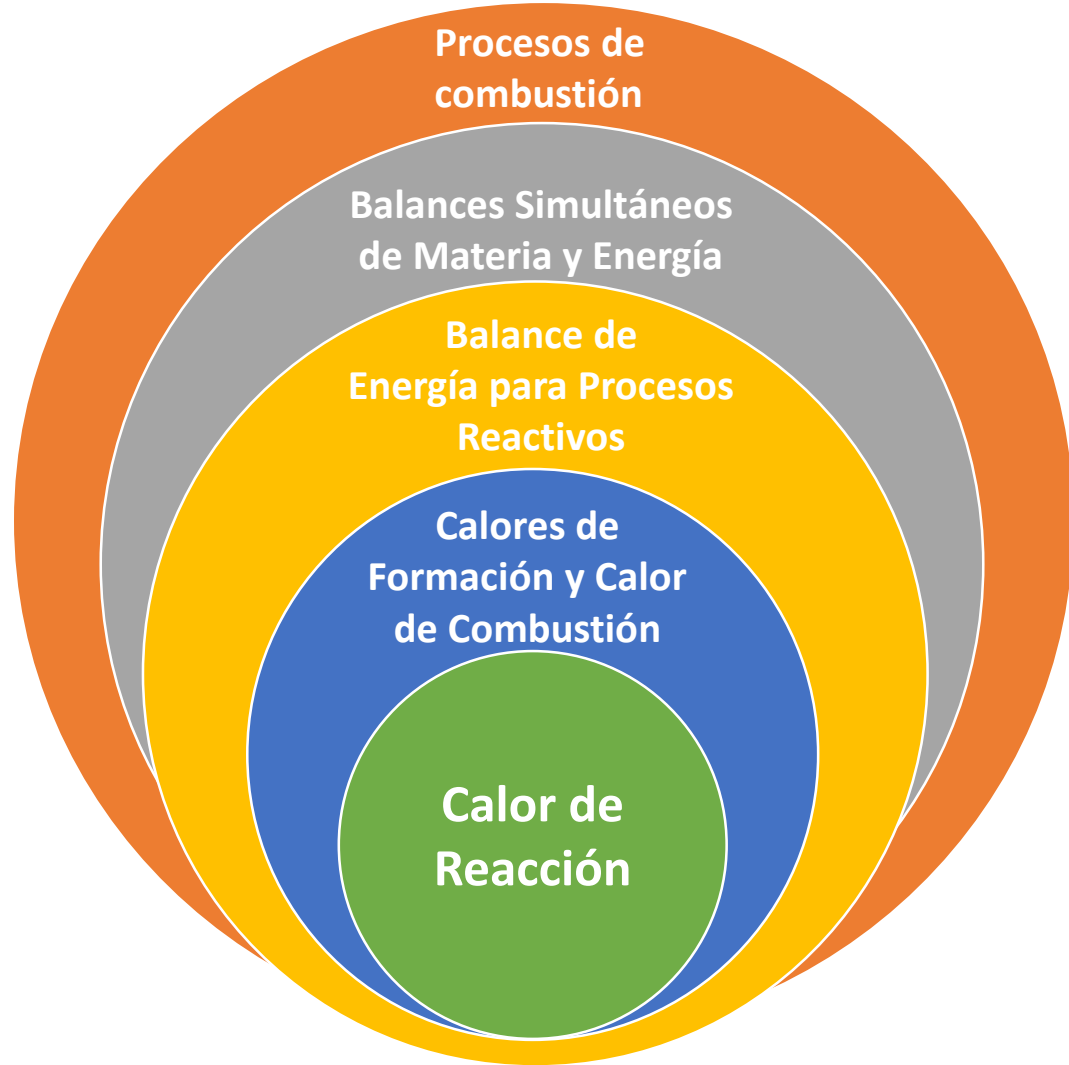
Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química



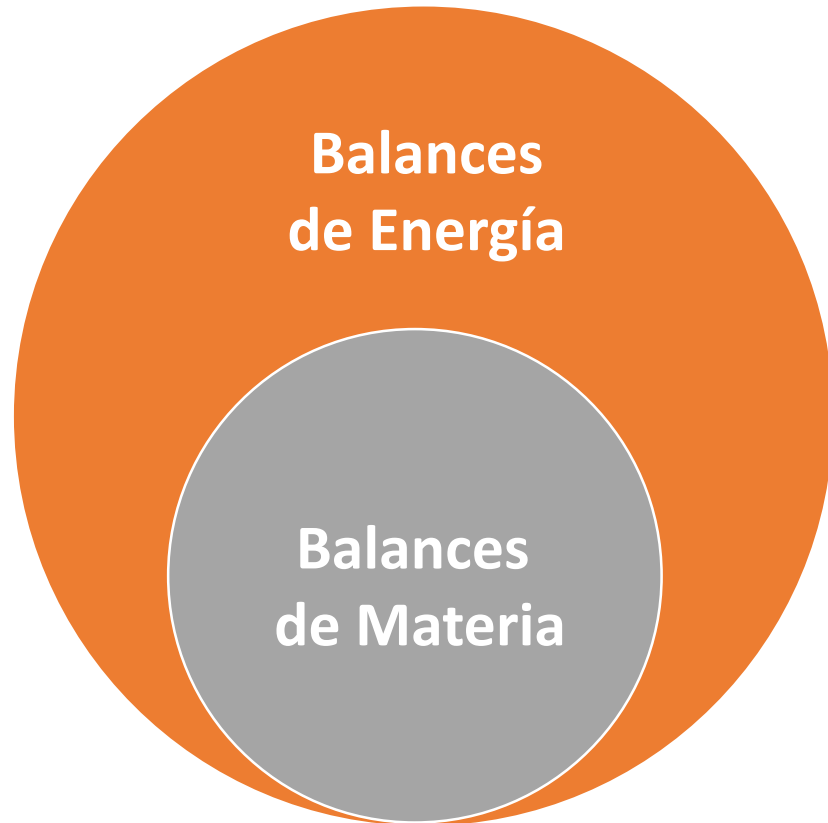
3.4 Balances Simultáneos de Materia y Energía

Los balances de materia se realizan sobre cualquier compuesto o elemento en el que se pueda determinar el avance de reacción, de igual manera se pueden escribir balances de energía para compuestos o elementos, se utiliza los resultados obtenidos del balance de materia para resolver las ecuaciones del balance de energía.

Balances de Energía en Procesos sin Reacción Química



Balances Simultáneos de Material y Energía

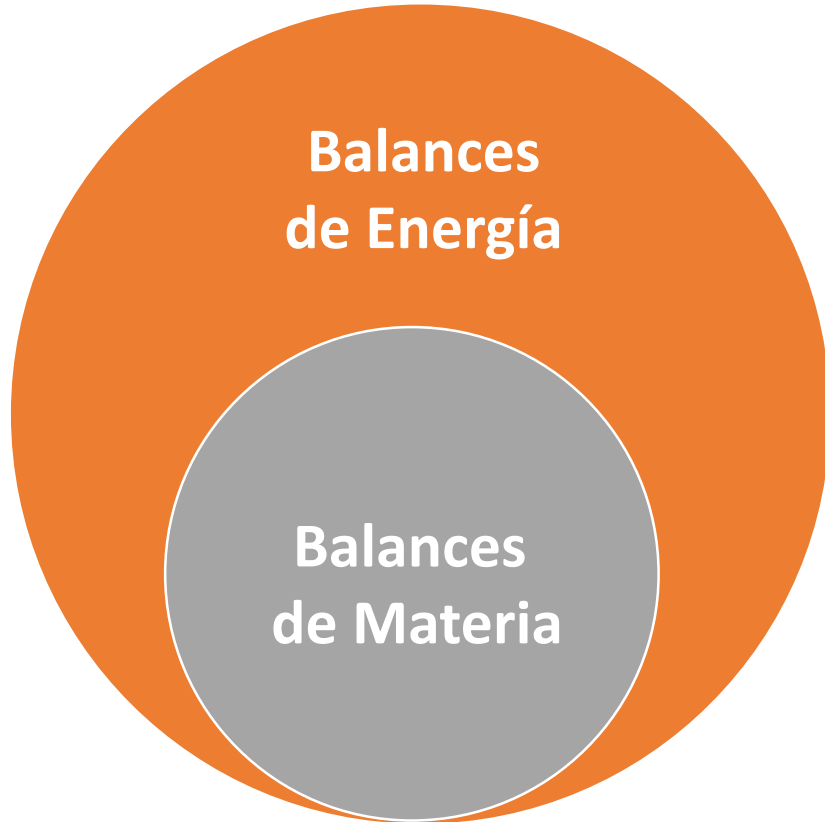


$$\text{Acumulación} = (\text{Entrada} - \text{Salida}) + (\text{Generación} - \text{Consumo})$$

$$\text{Selectividad} = \frac{\text{moles producidos del producto deseado}}{\text{moles producidos de productos no deseado}}$$

$$n_i = n_{i0} + \sum_j \gamma_{ij} \xi_j$$

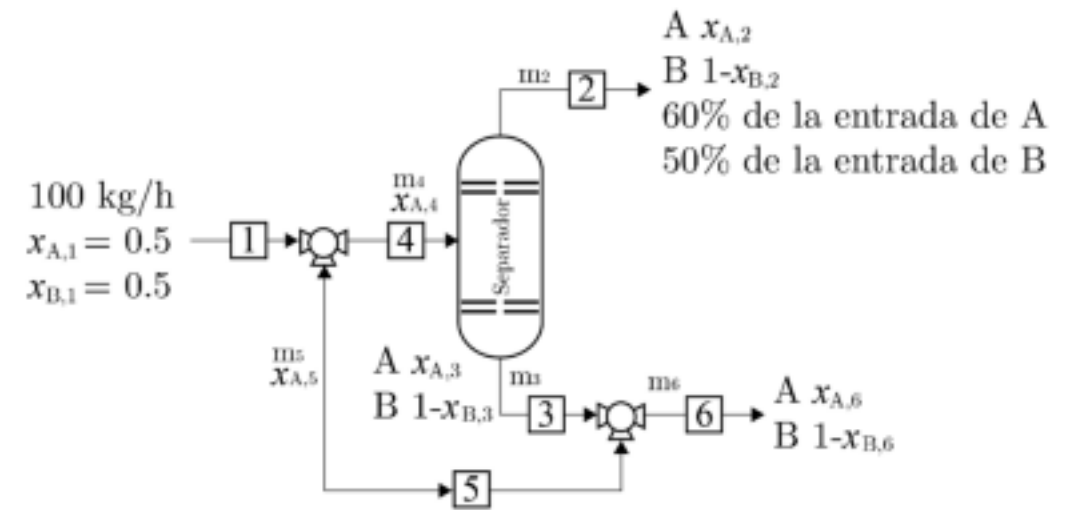
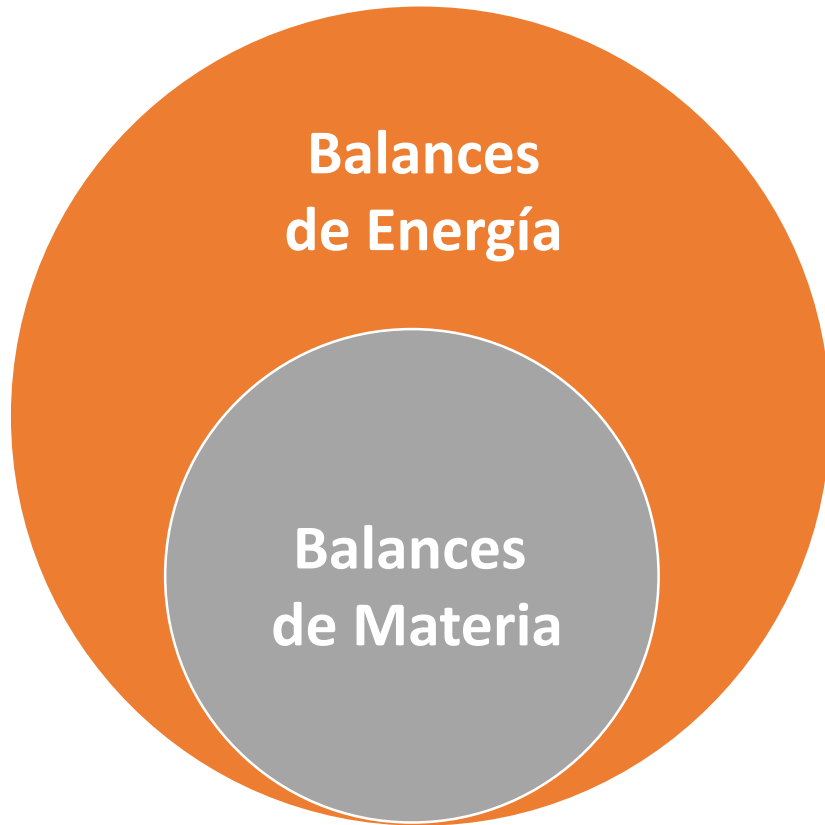
Balances Simultáneos de Material y Energía

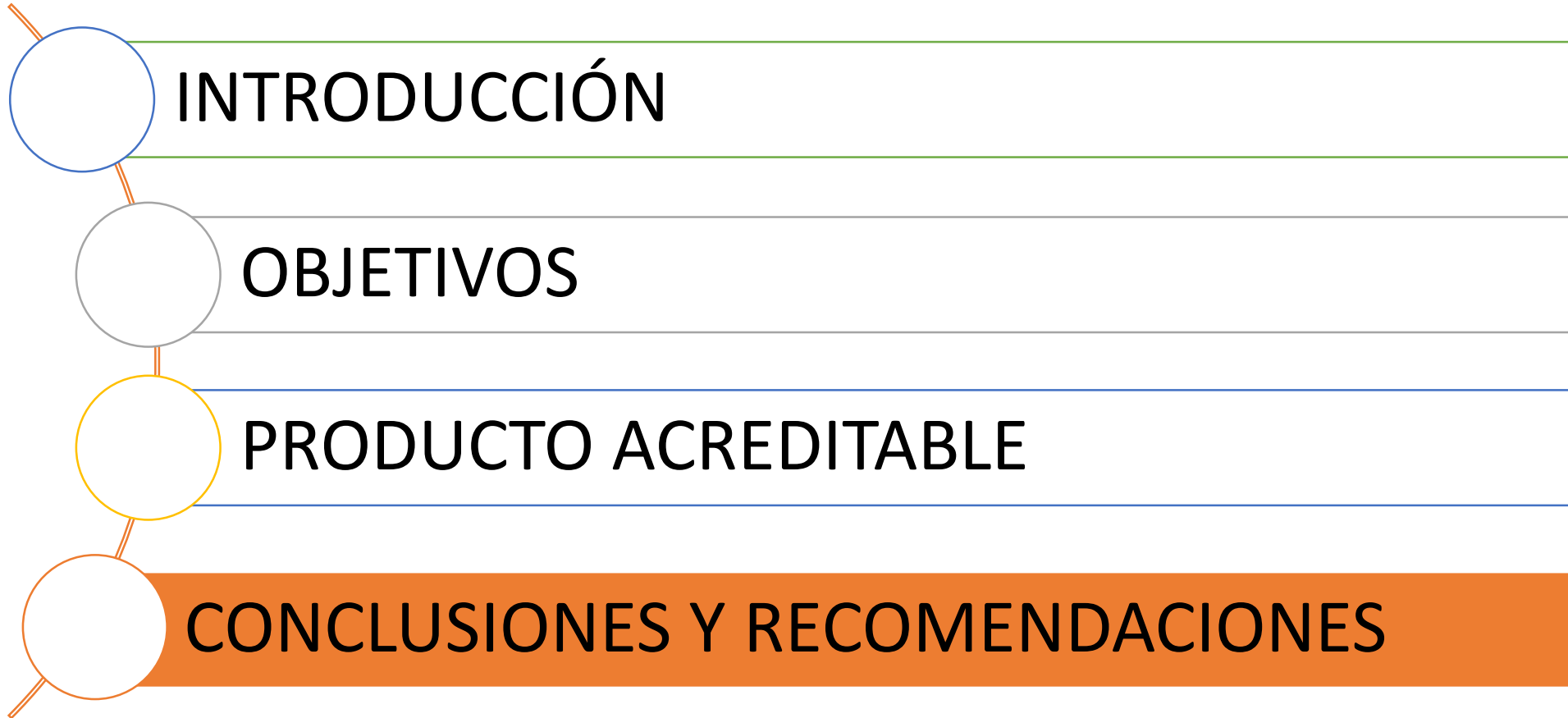


$$\dot{Q} - \dot{W}_s = \Delta\dot{H} + \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$\Delta\dot{H} = \sum_{\text{salida}} \dot{n}_i \hat{H}_i - \sum_{\text{entrada}} \dot{n}_i \hat{H}_i$$

Balances Simultáneos de Material y Energía





CONCLUSIONES

- El desarrollo de buenas estrategias de resolución de problemas basado en la compilación de información científica, es importante para que el estudiante genere un enfoque sistemático adecuado, que le permita derivar ecuaciones especificando los procesos y tenga noción referente a la aplicación de procesos en ingeniería.
- Los balances simultáneos de materia y energía son empleados en el desarrollo de procesos de la industria química y petroquímica permitiendo controlar y mejorar el rendimiento de los productos cuando el sistema no permite realizar balances de materia y energía por separado.
- La petroquímica involucra varios sistemas que requiere cantidades considerables de energía para que se puedan llevar a cabo, por lo tanto es importante determinar cómo fluye la energía desde o hacia las unidades involucradas y de esta manera mejorar los procesos y obtener mejores rendimientos de productos.
- La compilación de información bibliográfica que se llevó a cabo permitió recolectar datos suficientes para poder presentar al lector un material de estudio que le ayude a resolver problemas balances de energía aplicados a la petroquímica y afines.

RECOMENDACIONES

- Utilizar balances de materia y energía para realizar análisis económico, mejoramiento del rendimiento de productos deseados y búsqueda de nuevas alternativas de procesos.
- Utilizar programas de computadora que permitan simular procesos químicos que se presentan en el material bibliográfico para complementar el aprendizaje en balances de materia y energía.
- Para la generación de diagramas psicrométricos a condiciones específicas de operación se recomienda el uso de programas de computadora como Greenheck, Psicro entre otros.
- Se recomienda que en el desarrollo de nuevos materiales bibliográficos de balances de materia y energía se incluya información referente a procesos de refinería y biorrefinería.