

**TECNOLOGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES
DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MEXICO**

LICENCIATURA EN INGENIERIA AMBIENTAL

CUADERNILLO DE APUNTES

**BALANCES DE MATERIA Y
ENERGIA**

ELABORADO POR: M EN C. ESTEBAN MINOR PÉREZ

MEXICO, D.F.

JULIO,2009

INDICE

Titulo	Página
Prefacio	
Introducción	
Unidad I Generalidades	
1.1 Objetivo de aprendizaje	5
1.2 Actividades antropogénicas	5
1.3 Objetivos de los balances de materia y energía en Ingeniería ambiental	5
1.4 Importancia de los balances de materia y energía en Ingeniería Ambiental	5
1.5 Propiedades de las sustancias	6
1.6 Análisis de los procesos	11
1.7 Operaciones unitarias y procesos unitarios	12
1.8 Información de un diagrama de flujo de procesos	13
1.9 Ecuación química y estequiometría	14
1.10 Problemas propuestos	19
Unidad II Sistemas de Unidades y Dimensiones	
2.1 Objetivo de aprendizaje	23
2.2 Dimensiones y sistemas de unidades	23
2.3 Definición de masa de control y volumen de control	26
2.4 Procesos continuos en estado estacionario o transiente	27
2.5 Principio de homogeneidad dimensional	27
2.6 Análisis dimensional para generar grupos adimensionales	34
2.7 Problemas propuestos	43
Unidad III Balances de materia en procesos en estado estacionario e isotérmico	
3.1 Objetivo de aprendizaje	44
3.2 Principio de conservación de la materia	44
3.3 Balance de materia independiente y dependiente del tiempo	44
3.4 Balance de materia en base masa y mol en estado estacionario	45
3.5 Balance de materia en procesos químicos (reacción química)	57
3.6 Balances de materia en base mol en operaciones múltiples consecutivas	61
3.7 Balances de materia en base mol con recirculación y derivación	64
3.8 Problemas propuestos	78
Unidad IV Balance de materia en procesos en estado no estacionario isotérmico	
4.1 Objetivo de Aprendizaje	84

4.2 Balance de materia en estado no estacionario sin reacción química	84
4.3 Balance de materia en estado no estacionario con reacción química	85
4.4 Problemas propuestos	88

Unidad V Balance de materia y energía en estado estacionario

5.1 Objetivos de aprendizaje	88
5.2 Conceptos termodinámicos	88
5.2 Deducción del balance de energía en sistemas abiertos	97
5.3 Problemas propuestos	107
Bibliografía	107

INTRODUCCIÓN

Definimos a la Ingeniería como la actividad de traducir en realizaciones prácticas el conjunto de conocimientos científicos y tecnológicos relativos a una rama de las actividades humanas.

La evolución de la era del desarrollo sustentable, en función de una utilización racionalizada y equilibrada de los recursos naturales, demanda cambios profundos en las disciplinas profesionales, particularmente en la ingeniería. Está necesita incorporar a su saber conocimientos de ecología y contribuir a dar respuesta a seres humanos cada vez más afectados y sensibilizados por la problemática ambiental.

Es así que los Ingenieros Ambientales son los profesionales que colaboran en la tarea de evaluar y analizar los problemas ambientales presentados en los entornos aire, suelo y agua; disponen de las herramientas tecnológicas para aportar respuestas a dichos problemas teniendo en cuenta las consecuencias ambientales de las mismas soluciones propuestas; con capacitación para ejercer gestión ambiental (minimización de residuos, evaluación de impactos, y otros).

Una interesante definición de Ingeniería Ambiental es la proporcionada por Peavy *et al* (citado por G. Kiely), en la que se la considera como “la rama de la ingeniería que se ocupa de la protección del ambiente de los efectos potencialmente dañinos de la actividad humana, proteger a las poblaciones humanas de los factores ambientales adversos y mejorar la calidad ambiental para la salud y el bienestar humanos”.

El ingeniero ambiental forma parte de equipos multidisciplinarios con ecólogos, sociólogos, planificadores, ambientalistas y ciudadanos sensibilizados, juristas, químicos, economistas, en la búsqueda de respuestas adecuadas a la problemática ambiental sufrida o padecida.

En esencia, se trata de minimizar las secuelas adversas que ha dejado y puede dejar la aplicación indiscriminada y agresiva hacia el ambiente de la tecnología, en aras del desarrollo humano.

Su gestión permite optimizar la utilización de los recursos disponibles, previniendo problemas de contaminación, o minimizando su impacto a través de estrategias de reutilización e incorporación de nuevas tecnologías.

Actualmente la industria química en México esta adquiriendo un proceso de concienciación con respecto a la protección ambiental, por ende todos aquellos profesionistas que estén relacionados con la industria de la transformación química y física deberán diseñar sistemas adecuados que prevengan la

contaminación ambiental, así como supervisar y controlar la emisión de contaminantes. El diseño de nuevos procesos o equipos requiere que los profesionistas tengan una sólida formación en las leyes fisicoquímicas que gobiernan éstos procesos de transformación, así como los principios de conservación de la materia y energía que permiten cuantificar los cambios que sufre la materia.

Los sistemas productivos son aquellos medios a través de los cuales se transforman insumos mediante un proceso de transformación para tener productos o servicios. En la industria de procesos químicos, físicos y biológicos la transformación que sufren los materiales se llevan a cabo en etapas individuales denominadas operaciones unitarias y procesos unitarios de manera continua o intermitente

Generalidades

1.1 Objetivos de aprendizaje

El alumno conocerá algunas definiciones de propiedades fisicoquímicas de las sustancias y su importancia al realizar los balances de materia y energía en la industria química.

1.2 Actividades antropogénicas

El sector primario, secundario y terciario generan una gran cantidad de contaminantes que son desechados en cuerpos receptores sin ningún tratamiento, es por eso que se requiere que sus desechos sólidos, gaseosos y líquidos sean previamente tratados antes de depositarse en el suelo, aire, mares y ríos. Por consiguiente se requiere procesos de tratamiento alternos a los procesos de transformación que permita darle tratamiento a los contaminantes generados en cada uno de los sectores que elimine o reduzca su impacto ambiental

1.3 Objetivo de los balances de materia y energía

El objetivo de plantear los balances de materia y energía es caracterizar cada una de las corrientes presentes en un proceso químico al especificar variables tales como: Temperatura, presión, Flujos molar o másico, composiciones, entalpías, etc. Basados en el principio de conservación de la materia y de la energía. A partir de esta caracterización es posible establecer las dimensiones de los equipos y los posibles tratamientos físicos, químicos y/o biológicos que se deben emplear para tratar los subproductos o contaminantes generados en dicho proceso.

1.4 Importancia de los balances de materia y energía

- En el área de investigación y desarrollo se analiza el escalamiento de nuevos procesos
- En plantas nuevas o existentes y en base a la cantidad de subproductos o productos de desecho generados es posible establecer los tipos de tratamientos que se deben realizar al agua, al aire y al suelo para cumplir con la normatividad ambiental
- En plantas existentes se puede mejorar la operación de dichas plantas o prever modificaciones a condiciones de operación por cambios de carga y/o restricciones ambientales mediante simulación
- En el diseño de nuevas plantas, se requiere conocer la secuencia de transformación de insumos-transformación-productos y las condiciones de operación para diseñar el diagrama de flujo de proceso (DFP), Diagrama de tubería e instrumentación (DTI), Diagrama de localización general (DLG), el manual de operación, el llenado de las hojas de diseño de los equipos, etc.

1.5 Propiedades de las sustancias

¿Qué es una propiedad de una sustancia?

Es cualquier **característica medible** de una sustancia, tales como: temperatura, presión, presión de vapor, tensión superficial, conductividad térmica, masa, densidad, capacidad calorífica, viscosidad, toxicidad, inflamabilidad, corrosividad, volumen, temperatura y presión o **característica calculada**, tal como: Entalpía, energía interna, energía de Gibbs, entropía, potencial químico, etc.

¿Por qué es importante conocer las propiedades de las sustancias?

- En base a sus propiedades se pueden clasificar, almacenar y disponer
- En el caso de residuos sólidos, gases contaminantes y residuos de solventes es posible proponer algunos tratamientos físicos, químicos y/o biológicos para su tratamiento, almacenaje y disposición final.
- Conocer los tiempos de exposición y las dosis que son perjudiciales en los seres vivos de los contaminantes
- En caso de ingestión o exposición a dosis altas del contaminante se puede proponer algún tipo de tratamiento
- En el caso de mezclas de residuos de solventes es posible separar y/o purificar mediante el uso de solventes en el cual los contaminantes sean solubles o se absorban o se adsorban.
- En el caso de gases contaminantes es posible tratarlos mediante un tratamiento químico al neutralizarlos mediante una reacción química.
- Conocer su impacto en los seres vivos al conocer su toxicidad, inflamabilidad, corrosividad, etc.

¿Concepto de masa, peso y energía?

Materia: Es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio

Masa: Es una medida de la cantidad de materia presente

Energía: Es la capacidad de producir trabajo

Peso: Es la fuerza que se ejerce sobre un objeto debido a la atracción gravitacional

¿Qué son las propiedades intensivas y extensivas?

Las propiedades extensivas dependen de la cantidad de materia, tales como volumen, masa, avance de reacción, energía interna, entalpía, avance de reacción

Las propiedades intensivas no dependen de la cantidad de materia, tales como temperatura, presión, densidad, volumen específico, grado de conversión

¿Qué es densidad?

La densidad es la razón de la masa por unidad de volumen, designada por la letra griega ρ (rho) $\rho = \frac{m}{V}$

En el sistema gravitacional ingles las unidades son slugs/ft³ y en el sistema internacional la densidad son kg/m³. La densidad del agua es de 1.94 slugs/ft³, 1.0 gr/cm³ o 999 Kg/m³.

El volumen específico es el recíproco de la densidad

¿Qué es la densidad relativa?

La densidad relativa es la relación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra sustancia de referencia y por consiguiente es una relación sin dimensiones. La densidad relativa de los gases con frecuencia se mide tomando como referencia el aire y para líquidos la sustancia de referencia es el agua. Además se debe indicar la temperatura a la que se mide la densidad.

$$D.R = \frac{\rho_i^{20^\circ C}}{\rho_{H_2O}^{4^\circ C}}$$

La densidad de la sustancia de referencia (agua) a 4°C es de 1.000 g/cm³, 1000 Kg/m³ o de 62.4 lb/ft³

¿Qué es el peso específico?

El peso específico de un fluido, designado por la letra griega γ (gamma), se define como su peso por unidad de volumen, $\gamma = \rho g$. Se usa para caracterizar el peso de un sistema cuyas unidades son lb_f/ft^3 , N/m^3

¿Qué es Temperatura?

Es una medida del estado térmico de una sustancia

Es una propiedad termodinámica del sistema que nos sirve para saber si dos sistemas se encuentran en equilibrio térmico.

Para medir la temperatura de una solución, se emplea un termómetro de mercurio, el cual se expande cuando se calienta.

¿Cuáles son las escalas de temperatura?

2 escalas relativas denominadas grados Celsius y Fahrenheit, y
2 escalas absolutas denominadas Kelvin y grados Ranking

Relativas: Son aquellas que se fijan de forma arbitraria

Fahrenheit: Para la asignación de la escala se fundamenta en forma arbitraria en las propiedades físicas de las sustancias

Absolutas: Tiene un origen termodinámico, basado en la segunda ley de la termodinámica.

Conversión de temperaturas

$$\frac{\Delta^{\circ}C}{\Delta K} = \frac{\Delta K}{\Delta^{\circ}C} = 1; \quad \frac{\Delta^{\circ}F}{\Delta^{\circ}R} = \frac{\Delta^{\circ}R}{\Delta^{\circ}F} = 1; \quad \frac{\Delta^{\circ}C}{\Delta^{\circ}F} = 1.8 \quad ; \quad \frac{\Delta K}{\Delta^{\circ}R} = 1.8$$

$$T(^{\circ}R) = T(^{\circ}F) \frac{\Delta^{\circ}R}{\Delta^{\circ}F} + 460 = T(^{\circ}F) + 460$$

$$T(K) = T(^{\circ}C) \frac{\Delta K}{\Delta^{\circ}C} + 273 = T(^{\circ}C) + 273$$

$$T(^{\circ}F) = T(^{\circ}C) \frac{1.8\Delta^{\circ}F}{\Delta^{\circ}C} + 32 = T(^{\circ}C) * 1.8 + 32$$

¿Qué es lo que se mide cuando se cuantifica la temperatura de una solución?

Se cuantifica el cambio de energía interna (energía rotacional, vibracional y traslacional) que sufre el sistema como consecuencia de estar suministrando o eliminando calor al sistema.

¿Qué es presión?

La atmósfera se puede considerar como un gas aire (mezcla de gases de O_2 y N_2) confinado únicamente por la gravedad y disminuye su densidad al aumentar la altura. Por tanto la atmósfera es un fluido que ejerce una fuerza sobre una determinada área, debido a su masa, y esta fuerza disminuye al aumentar la altura a medida que se reduce la densidad. Esta fuerza por unidad de área se define como presión atmosférica. La presión atmosférica se determina con un barómetro y se denomina presión barométrica

La fuerza de gravedad F_g es igual a la fuerza atmosférica F_a

$$F_g = mg = \rho Vg = \rho Ahg$$

$$P_a = \frac{F_a}{A} = \frac{F_g}{A} = \rho gh$$

Por consiguiente, La presión es un término empleado para definir la fuerza que se ejerce por unidad de área de un cuerpo.

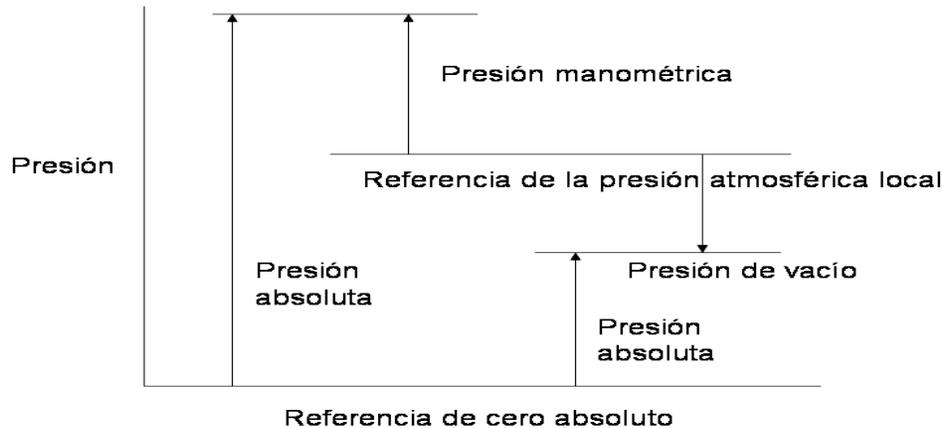
En el Sistema Internacional de unidades la unidad de presión es el Pascal, pero es común encontrar medidores bourdon cuyas escala esta reportada en kg/cm^2 (Kgf/cm^2), entonces para pasar a pascales es necesario multiplicar

Presión absoluta, manométrica y de vacío

La presión absoluta se basa en un vacío perfecto, es decir, un punto de referencia que no cambia con el lugar, la temperatura, el clima u otros factores. Es decir la presión absoluta se mide con respecto al vacío perfecto.

La presión manométrica se mide con respecto a la presión atmosférica local. Una presión manométrica de cero en un manómetro tipo Bourdon, corresponde a una presión atmosférica local. El manómetro se calibra a la presión atmosférica local para que marque cero en la lectura. La presión manométrica (relativa) se mide a partir de la presión atmosférica hacia arriba. La presión atmosférica local cambia de lugar en lugar y particularmente con la altitud. Por consiguiente es necesario calibrar nuevamente el manómetro si se cambia de altitud.

Las presiones absolutas son siempre positivas, pero las presiones manométricas pueden ser positivas o negativas, dependiendo de si la presión está por arriba de la presión atmosférica (valor positivo) o por debajo de la presión atmosférica (valor negativo o presión de vacío).



La relación entre la presión absoluta y la presión relativa está dada por la siguiente expresión:

$$presión(\text{manométrica}) + presión(\text{barométrica}) = presión(\text{absoluta})$$

- La presión absoluta se mide en relación al cero absoluto de presión
- La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mmHg absolutos o 14.7 psia y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.
- La presión relativa es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición, hay que mencionar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída, si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.
- La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones
- La presión manométrica es la diferencia entre la presión absoluta en el lugar de la instalación y la presión atmosférica.
- El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica. Viene expresado en mm de columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas de vacío.

¿Qué es estado estacionario o régimen permanente?

Un sistema fluido en estado estacionario se caracteriza por lo siguiente:

- Las propiedades dinámicas y cinemáticas son constantes, es decir no existen gradientes de ningún tipo.

- El sistema puede o no ser uniforme, es decir, las propiedades del sistema pueden o no cambiar con respecto a la posición
- Son sistemas abiertos y no aislados existiendo flujos forzados o naturales, tanto másicos como de calor.
- Los flujos másicos o de calor son constantes
- En un balance de propiedad, el termino de acumulación es nulo

1.6 Análisis de los procesos

La secuencia insumo-transformación-producto es una manera muy sencilla de conceptualizar los procesos productivos, siendo la operación unitaria o proceso unitario la unidad más pequeña que estudia los cambios que sufre la materia y que forma parte o es una etapa dentro del proceso global de transformación. Dichas operaciones unitarias o procesos unitarios se pueden combinar en diversas secuencias en un proceso.

¿Concepto de proceso?

Proceso: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman entradas en salidas

Proceso: Conjunto de cambios sucesivos de un material específico

Proceso: Es una serie de acciones, operaciones o tratamientos que producen un resultado (producto)

Proceso: el conjunto de actividades relativas a la producción, obtención, elaboración, fabricación, preparación, conservación, mezclado, acondicionamiento, envasado, manipulación, ensamblado, transporte, distribución, almacenamiento y expendio o suministro al público de productos y servicios (artículo 3 de la ley federal de normalización y certificación)

Proceso continuo: En un proceso continuo la alimentación de materias primas se realiza en forma interrumpida y de la misma manera se obtienen los productos. Por consiguiente en este tipo de procesos existen flujos de entrada y de salida

Proceso semicontinuo: es un proceso donde alguno de los componentes se alimenta de manera continua o alguno de los productos se extrae de manera continua. Por consiguiente en este tipo de procesos existen flujos continuos de entrada o de salida

Proceso intermitente (Por lotes): Son aquellos procesos en los cuales se alimenta una cantidad definida de materia prima, se procesa y se retira el producto. Se caracteriza en que no existen flujos másicos y energéticos. El ciclo de operación incluye un tiempo de llenado, tiempo de residencia, tiempo de vaciado y el tiempo de limpieza.

El análisis de los procesos químicos se puede llevar a cabo a partir de:

Enfoque macroscópico o integral (Enfoque de caja negra)

- El proceso global de transformación se lleva a cabo a través de una serie de etapas denominadas operaciones unitarias y procesos químicos, que se pueden combinar en diversas secuencias
- Al aplicar un balance de propiedad se debe cumplir el principio de conservación (masa, energía, momentum)
- Solo es de interés observar los cambios ocurridos en las entradas y las salidas del sistema. Por lo tanto el balance se aplica en forma global
- No proporciona información acerca de “Como” se llevan a cabo las transformaciones físicas o químicas dentro del sistema

Enfoque diferencial o microscópico (Enfoque diferencial)

- Se analizan los procesos de manera unificada al conocer los mecanismos por medio de los cuales se transfiere la propiedad (masa, energía y momentum). Es decir, muchas operaciones unitarias tienen los mismos principios de transferencia
- El balance de propiedad se aplica a un elemento diferencial de volumen dentro del sistema de manera tal que se cumpla el principio de conservación y la hipótesis del continuo
- Es de interés saber “como” se llevan a cabo las transformaciones físicas y químicas dentro del sistema
- Permite que los equipos de proceso sean más eficientes

1.7 Operaciones unitarias y procesos unitarios

Esquema de una transformación química



Un proceso industrial está constituido por una serie coordinada de operaciones individuales que deben ser analizadas y comprendidas en sí mismas, estas son las operaciones unitarias y los procesos unitarios.

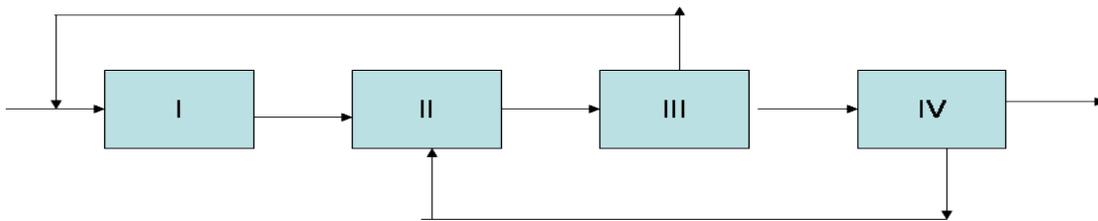
Las operaciones unitarias son procesos físicos que implican principalmente la separación de mezclas. Algunas **Operaciones unitarias son:** Trituración, destilación, secado, absorción, humidificación, cristalización, evaporación, flujo de fluidos, extracción, filtración, sedimentación, reducción de tamaño, transferencia de calor, flujo de fluidos, etc.

Los procesos unitarios son procesos químicos que implican principalmente transformaciones químicas de las sustancias debido a una reacción química. Algunos de los **Procesos químicos son**: Hidrólisis, saponificación, fermentación, combustión, isomerización, polimerización, hidrosulfuración, deshidrogenación, nitración, intercambio iónico etc.

1.8 Información de un diagrama de flujo de procesos

Los diagramas ofrecen información de un proceso siguiendo criterios de claridad, exactitud y utilidad, existen dos tipos de diagramas:

Un diagrama de bloques es una manera muy sencilla de representar la secuencia de insumo-transformación-producto de un proceso industrial usando bloques (cuadros, módulos) para representar las operaciones unitarias y flechas para mostrar las corrientes participantes.



Un diagrama de flujo o de proceso se representa el proceso y la simbología básica de la representación de cada una de los equipos empleados y su nomenclatura, se muestra las corrientes de alimentación en límites de batería y se muestran el sentido de las corrientes con líneas del transporte de los fluidos, se muestra en forma tabulada las características o especificaciones de cada una de las corrientes involucradas en cuanto a su temperatura, presión, flujos, entalpías, composiciones, etc.

Un diagrama de flujo de proceso muestra la información siguiente:

- La secuencia de insumo-transformación-producto
- Describe como las unidades están conectadas y especifica las condiciones de operación de temperatura y presión
- Se muestran figuras que representan los equipos de las operaciones unitarias y procesos químicos involucrados
- Se muestran las corrientes que unen los equipos y unión de tuberías, derivaciones o recirculaciones de corrientes para poderlas identificar
- En una tabla se muestran las corrientes y los componentes involucrados en el proceso
- Se tabulan los resultados obtenidos del balance de masa y energía, especificando los nombres de las especies químicas, flujos molares o másicos, composiciones molares o másicas, entalpías, etc.

- En una tabla se muestra el listado de los equipos en donde se especifica la clave del equipo, así como el servicio que ofrece
- Se identifica algunos instrumentos de control con símbolos distintivos y de acuerdo a la normatividad de ANSI/ISA (Instrument Society of America)

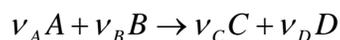
1.9 Ecuación química y estequiometria

Reacción química: Es una transformación química que se da por la afinidad a nivel molecular y por colisiones moleculares en donde se rompen enlaces químicos y se comparten electrones, donde las especies iniciales pierden su identidad química para dar paso a generar otras especies que presentan un cambio en el número de los átomos que las conforman o por un cambio en estructura o configuración de los átomos. Dicha identidad se puede perder por isomerización, descomposición y/o combinación.

Estequiometria: Trata con el balanceo de las reacciones químicas, igualando el número de átomos de cada elemento de la reacción entre los productos y los reactivos. Una vez balanceada se conoce las proporciones en que se combinan las sustancias respetando el principio de conservación de la masa. Recuerda esto último porque muchas de las veces no se alimentan los reactivos en proporciones estequiométricas y entonces la reacción procede solamente hasta que se consume el reactivo limitante, es más la cantidad de reactivo limitante alimentado se puede convertir o reaccionar totalmente o solamente una fracción de lo alimentado como consecuencia de las condiciones de operación a las que se lleva a cabo la reacción química. Existen otros factores que afectan el grado de conversión que por el momento no tomaremos en cuenta.

¿Que información se puede obtener de una ecuación química?

Una reacción química se representa mediante una ecuación química, cuando está esta balanceada se puede apreciar las especies que participan en la reacción, así como se puede identificar las especies que son reactivos y las especies que son productos y una vez balanceada se muestran las proporciones en que se combinan las especies químicas y se representa de la siguiente manera



Donde, ν_i es el coeficiente estequiométrico de la especie química "i", el signo del coeficiente estequiométrico es convencional, positivo para los productos y negativo para los reactivos y cero para cualquier componente inerte y A, B, C y D son las especies químicas.

En base a la ley de proporciones definidas, la relación en la que se combinan los reactivos y los productos es la siguiente:

$$\frac{N_A - N_A^0}{\nu_A} = \frac{N_B - N_B^0}{\nu_B} = \frac{N_C - N_C^0}{\nu_C} = \frac{N_D - N_D^0}{\nu_D} = \varepsilon$$

Una vez balanceada la ecuación química, ésta se convierte en una ecuación algebraica.

Reactivo limitante y en exceso

Reactivo limitante: Es el reactivo que está presente en la cantidad estequiométrica más pequeña y por ende la reacción finalizará cuando se consuma éste. Generalmente el grado de conversión está en función del reactivo limitante.

Para identificar el reactivo limitante es necesario plantear la reacción química de interés y balancearla estequiométricamente. Posteriormente, en base a la reacción química balanceada y la cantidad de reactivos alimentados se procede mediante una regla de tres a determinar que especie es el reactivo limitante

Reactivo en exceso: Es aquella especie que se encuentra en mayor proporción a la estequiométrica, por consiguiente al final de la reacción queda un exceso de éste que no reacciona.

$$\% \text{ de exceso} = \frac{\text{moles de reactivo en exceso}}{\text{moles requeridas para reaccionar con el reactivo limitante}} * 100$$

Como consecuencia del análisis de la identificación del reactivo limitante se determina quien es el reactivo en exceso.

En la Tabla I se muestra las características de la variable conversión y avance de reacción, que son dos variables muy empleadas para cuantificar las cantidades de las especies una vez que se ha llevado a cabo la reacción química.

Tabla I. Conversión (X_A) y avance de reacción (ε)

Es una variable intensiva para medir el progreso de una reacción	Es una variable extensiva para medir el progreso de una reacción
Como es un fracción, asume valores entre 0 y 1	Asume valores de cero en adelante, y solo cuando se alimenta en proporciones estequiométricas, asume valores entre 0 y 1
Fracción de reactivo limitante que se ha transformado en producto, para sistemas a volumen constante $X_A = \frac{\text{Moles de A reaccionadas}}{\text{Moles de A alimentadas}}$	Es una medida de cuanto se transformo la reacción química en proporciones estequiométricas y es independiente de la especie que se considere

$X_A = \frac{\text{Moles de A iniciales} - \text{Moles de A finales}}{\text{Moles de A iniciales}}$	$\varepsilon = \frac{\text{Moles finales de i} - \text{mole sin iniciales i}}{\text{entre coeficiente estequiometrico}}$
Adimensional	Puede tener unidades de mol, mol/tiempo, mol/vol*tiempo
Relación entre el grado de conversión y el avance de reacción	
$X_A = -\frac{V_A}{\text{mole sin iniciales de A}} * \varepsilon$	

En la tabla anterior se puede apreciar que conversión y avance de reacción no son lo mismo, exceptuando cuando la alimentación es estequiometrica

Un ejemplo en donde se pueda hacer uso de los términos anteriormente vistos es el siguiente. La calcinación de piedra caliza, sólo se efectúa al 70 % de conversión en cierto horno. Este proceso consiste en la descomposición de la piedra caliza que contiene principalmente CaCO_3 y produce bióxido de carbono y óxido de calcio.

- ¿Qué composición en % masa tiene el sólido que se extrae del horno?
- ¿Cuántos kilogramos de CO_2 se producen por cada kilogramo de piedra caliza alimentada? Suponga que la piedra caliza es CaCO_3 puro?

Primeramente se plantea la reacción de descomposición al llevarse la calcinación a alta temperatura.



Peso molecular de CaCO_3 : 100.1 Kg/Kg-mol
 Peso molecular de CaO : 56.08 Kg/Kg-mol
 Pesomolecular de CO_2 : 44.0 Kg/Kg-mol

Se propone una base de 100 Kg de CaCO_3

Las moles iniciales de CaCO_3 son: $100 \text{Kg CaCO}_3 \frac{1 \text{Kg} - \text{mol}}{100.1 \text{Kg}} = 0.999 \text{kg} - \text{mol CaCO}_3$

De acuerdo a la ley de proporciones definidas y el concepto de conversión, se puede obtener una expresión del número de moles de cualquier especie en términos de la conversión del reactivo limitante. Dicha expresión es la siguiente:

$$N_i = N_i^o - \frac{V_i}{V_A} x_A N_A^o$$

Por consiguiente las moles y su respectiva masa a la salida del horno son:

$$\text{Moles finales de CaCO}_3 = 0.999(1 - 0.7) = 0.2997 \text{kgmol}$$

$$\text{Masa final de CaCO}_3 = 0.2997 \text{kgmol} \frac{100.1 \text{kg}}{1 \text{kgmol}} = 30 \text{kg}$$

$$\text{Moles finales de CaO} = N_{CaO}^0 + x_{CaCO_3} N_{CaCO_3}^0 = 0.0 + 0.7 * 0.999 = 0.6993 \text{kgmol}$$

$$\text{Masa final de CaO} = 0.6993 \text{kgmol} \frac{56.08 \text{kg}}{\text{kg, mol}} = 38.863 \text{kg}$$

$$\text{Moles finales de CO}_2 = N_{CO_2}^0 + x_{CaCO_3} N_{CaCO_3}^0 = 0.0 + 0.7 * 0.999 = 0.6993 \text{kgmol}$$

$$\text{Masa final de CO}_2 = 0.6993 \frac{44 \text{kg}}{\text{kgmol}} = 30.492 \text{kg}$$

$$\text{Masa total al final} = 30 + 38.863 + 30.492 = 99.355 \text{kg}$$

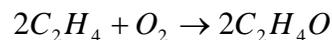
$$\text{Fracción másica de CaCO}_3 = w_{CaCO_3} = \frac{30}{68.863} * 100 = 43.565$$

$$\text{Fracción másica de CaO} = w_{CaO} = \frac{38.863}{68.863} * 100 = 56.435$$

$$\text{Kg de CO}_2 / \text{kg de CaCO}_3 \text{ alimentados} = \frac{30.492 \text{kg CO}_2}{100 \text{kg CaCO}_3} = 0.30492 \text{kg CO}_2 / \text{kg CaCO}_3$$

El siguiente ejemplo permite identificar si has entendido los conceptos de reactivo limitante, reactivo en exceso, conversión y avance de reacción.

La oxidación del etileno para producir óxido de etileno ocurre según la reacción:



La alimentación al reactor contiene 100 Kmol de C_2H_4 y 100 Kmol de O_2 . Determinar:

- ¿Cuál es el reactivo limitante?
 - ¿Cuál es el porcentaje en exceso del otro reactivo?
 - Si la reacción procede hasta completarse, ¿Cuánto quedará del reactivo en exceso, cuánto del óxido de etileno y cual sería el avance de reacción?
 - Si la reacción procede hasta un punto donde la fracción de conversión del reactivo limitante es del 50%. ¿Cuánto quedará al final de cada reactivo y producto, y cuál es el grado de avance de la reacción?
 - Si la reacción procede hasta un punto donde quedan 60 Kmol de O_2 , ¿Cuál es la fracción de conversión de C_2H_4 ?
- El reactivo limitante es el C_2H_4
 - 50% de exceso de O_2
 - queda 50 Kmol de O_2 y 100 Kmol de C_2H_4O

$$\varepsilon = \frac{100 - 50}{1} = 50 \text{ kmol}$$

d) $X_A = 0.5$

$$N_{C_2H_4} = N_{C_2H_4}^0 (1 - X_{C_2H_4}) = 100(1 - 0.5) = 50 \text{ kmol } C_2H_4$$

$$N_{O_2} = N_{O_2}^0 - \frac{v_{O_2}}{v_{C_2H_4}} N_{C_2H_4}^0 X_{C_2H_4}$$

$$N_{O_2} = 100 - \frac{-1}{-2} 100(0.5) = 75 \text{ kmol } O_2$$

$$N_{C_2H_4O} = N_{C_2H_4O}^0 - \frac{v_{C_2H_4O}}{v_{C_2H_4}} N_{C_2H_4}^0 X_{C_2H_4}$$

$$N_{C_2H_4O} = N_{C_2H_4}^0 X_{C_2H_4} = 100(0.5) = 50 \text{ kmol } C_2H_4O$$

$$\varepsilon = \frac{N_{C_2H_4} - N_{C_2H_4}^0}{v_{C_2H_4}} = \frac{50 - 100}{-2} = 25 \text{ kmol}$$

$$\varepsilon = \frac{N_{C_2H_4O} - N_{C_2H_4O}^0}{v_{C_2H_4O}} = \frac{50 - 0}{2} = 25 \text{ kmol}$$

Inciso e)

Reaccionan 40 kmol de O_2 por estequiometria se requieren 80 kmol de C_2H_4 , sobrando 20 kmol de C_2H_4 , entonces la conversión es:

$$X_{C_2H_4} = 1 - \frac{N_{C_2H_4}}{N_{C_2H_4}^0} = 1 - \frac{20}{100} = 1 - 0.2 = 0.8$$

¿Cuál es el avance de reacción?

$$\varepsilon = \frac{N_{C_2H_4} - N_{C_2H_4}^0}{v_{C_2H_4}} = \frac{20 - 100}{-2} = 40 \text{ kmol}$$

Problemas Propuestos

El medidor de presión de una torre de proceso indica un vacío de 3.35 pulg Hg. El barómetro indica 29.31 pulg Hg. ¿Cuál es la presión absoluta dentro de la torre en mm de Hg?

Juan dice que calculó con una fórmula que la presión en la cima del pico Pike es de 9.75 Psia, que corresponde a la presión medida con un barómetro debido a que no existe presión manométrica. Pedro dice que es de 504 mmHg porque es lo que encontró en una tabla ¿Quién tiene la razón?

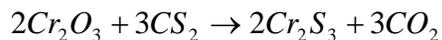
Un medidor de vacío conectado a un tanque marca 315 kPa. ¿Cuál es la presión absoluta correspondiente si el barómetro indica 98.2 kPa.

La lectura de medición de la presión manométrica de un manómetro bourdon colocado en un tanque registra un valor de 600 kPa cuando la presión atmosférica tiene un valor de 80 kPa. El tanque es reubicado de lugar, en ese lugar la presión atmosférica es de 101.3 kPa. Diga si la medición de la presión manométrica medida en el tanque aumentara o disminuirá por haber reubicado de lugar el tanque

Durante la combustión del monóxido de carbono, se forma bióxido de carbono y se libera energía. Si a un horno se alimentan 500 lbmol/hr de monóxido y 400 lbmol/hr de oxígeno. Determinar

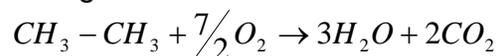
- Cual es el reactivo limitante
- El % de reactivo en exceso

El sulfuro crómico se obtiene por combinación del óxido crómico y del sulfuro de carbono. Calcular la cantidad que se forma de sulfuro crómico a partir de 0.965 gr de óxido crómico si se obtiene como subproducto dióxido de carbono.

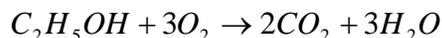


El etano reacciona con el oxígeno puro para formar H₂O, CO₂. Si se mezclan 3 lbmol de etano con 12 lbmol de oxígeno y solo el 80 % del etano reacciona. Calcular

- Las moles de etano, oxígeno, agua, bióxido de carbono en la mezcla final
- El % de exceso de oxígeno alimentado



Por accidente se derrama etanol a un río, la acción microbiana lo degrada de acuerdo con la ecuación de reacción



- ¿Cuántos Kg de O_2 se consumen en el proceso si se derramaron 500 Kg de etanol?
- ¿Cuántos Kg de CO_2 se producen?

Un análisis de piedra caliza reporta la composición siguiente: $CaCO_3$ de 92.89 %, $MgCO_3$ de 5,41 % y de insolubles de 1.7 %. Suponga que la piedra caliza se calentó lo suficiente como para que se lleven a cabo las reacciones de descomposición del $CaCO_3$ y del $MgCO_3$ con una conversión total en ambas reacciones. Determine

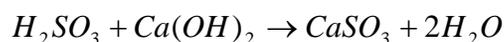
- ¿Cuántas lb de CaO se pueden fabricar con 5 toneladas de piedra caliza?
- ¿Cuántas lb de CO_2 pueden recuperarse por cada lb de piedra caliza?
- ¿Cuántas lb de piedra caliza se necesitan para producir una tonelada de cal?

Un litro de una solución acuosa contiene 100 mg/L de HCl . Su pH se va a modificar por la adición de $NaOH$ a una concentración de 1 mol/L, también en solución acuosa. Calcule:

- El pH inicial de la solución (solo HCl)
- El pH después de la adición de 1 ml de $NaOH$
- El pH después de la adición de 2 ml de $NaOH$
- El pH después de la adición de 3 ml de $NaOH$

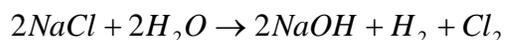
Como jefe de control ambiental de una fundidora de Zinc y Plomo usted está a cargo del control de las emisiones de lluvia ácida. Dicho control se consigue neutralizando el dióxido de azufre que se extrae de las chimeneas durante la operación de fundición.

- Con base en la siguiente reacción, ¿Cuántos litros de $Ca(OH)_2$ 2M se necesitan para neutralizar los 120 Kg de SO_2 que se producen cada día?



- Si el Hidróxido de Calcio tiene una pureza de sólo 95% en peso, ¿Cuántos kilogramos del mismo se deben diluir para preparar 100 L de la solución 2 M?

La fabricación electrolítica de cloro gaseoso a partir de una disolución de cloruro de sodio tiene lugar según la siguiente reacción



¿Cuántos kilogramos de Cl_2 podemos producir a partir de 10 m^3 de una disolución salina que contiene 5% en peso de cloruro de sodio?. El peso específico de la disolución con referencia al agua a 4°C es 1.07.

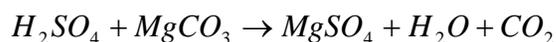
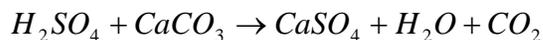
El cloro gaseoso se burbujea en una disolución acuosa de hidróxido de sodio, después de lo cual el producto deseado se separa del cloruro de sodio (el producto secundario de la reacción). Una disolución de NaOH en agua contiene 1145 lb de NaOH puro se hace reaccionar con 851 lb de cloro gaseoso. El NaOCl formado pesa 618 lb.

- ¿Cuál es el reactivo limitante?
- ¿Cuál fue el exceso del reactivo en exceso empleado?
- ¿Cuál es el grado de conversión?

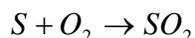
Una planta fabrica CO_2 líquido tratando piedra caliza dolomita con ácido sulfúrico comercial. El análisis de la dolomita es el siguiente: 68% CaCO_3 , 30.0% MgCO_3 y 2.0% SiO_2 ; el ácido es 94% H_2SO_4 y 6% H_2O Calcule:

- Las libras de CO_2 producidas por tonelada de dolomita tratada
- Las libras de ácido comercial requeridas por tonelada de dolomita tratada

Suponga que las reacciones son completas



El ácido sulfúrico se puede fabricar por el proceso de contacto de acuerdo con las siguientes reacciones.

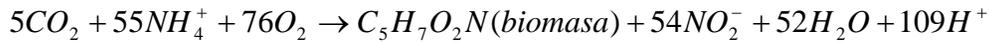


Como parte del diseño preliminar de una planta de ácido sulfúrico con una capacidad diseñada de 2000 ton/día (92.3 % peso de H_2SO_4), usted debe calcular lo siguiente:

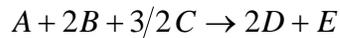
- ¿Cuántas toneladas de azufre puro se requieren al día para operar esta planta?
- ¿Cuántas toneladas de oxígeno se requieren por día?
- ¿Cuántas toneladas de agua se necesitan al día para la reacción 3?

El método de tratamiento de aguas residuales domésticas más económico es la digestión bacteriana. Como paso intermedio en la conversión de nitrógeno orgánico a nitratos, se informó que las bacterias Nitrosomonas metabolizan

compuestos de amonio para producir biomasa y expulsan nitritos como subproducto mediante la siguiente reacción global



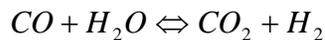
A un reactor se alimenta una mezcla equimolar de las sustancias A, B y C para producir el producto D mediante la siguiente reacción



Determinar:

- ¿Cuál es el reactivo limitante?
- ¿Cuál es el reactivo en exceso?
- Si la reacción procede hasta completarse. ¿Cuánto quedará al final de los reactivos y de los productos?
- Si la conversión en el reactor es del 50%, calcule el número de moles de D producidos por mol de alimentación al reactor.

Una reacción muy conocida para generar hidrógeno a partir de vapor de agua es la llamada reacción de desplazamiento de gas de agua:



Si la alimentación gaseosa al reactor consiste en 30 Kg-mol de CO, 12 Kg-mol de CO₂ y 35 Kg-mol de vapor de agua por hora a 800 °C, y se producen 18 Kg-mol de H₂ por hora, calcule

- El reactivo limitante
- El reactivo en exceso
- La fracción de conversión de vapor de agua a H₂
- El grado de conversión de la reacción
- Los Kg de H₂ producidos por Kg de vapor de agua alimentado
- Los Kg-mol de CO₂ producidos en la reacción por Kg-mol de CO alimentado

Unidad II Sistema de unidades y dimensiones

2.1 Objetivos de aprendizaje

El alumno identificará y conocerá los sistemas de unidades absoluto y gravitacional que le permita transformar unidades entre diferentes tipos de sistemas de unidades en base a factores de conversión

2.2 Sistema de Unidades y Dimensiones

¿Qué es un sistema de unidades?

Un sistema de unidades se agrupa en magnitudes fundamentales y un conjunto de magnitudes derivadas las cuales se definen en función de las fundamentales

¿Cómo se clasifican los sistemas de Unidades?

Los sistemas de unidades se clasifican en sistemas absolutos (Sistema internacional y CGS), cuyas magnitudes fundamentales Masa, Longitud, tiempo, temperatura y mol y la fuerza es una magnitud derivada y sistemas gravitacionales (Sistema Ingles británico y sistema ingles Estadounidense), cuyas magnitudes fundamentales son: Masa, longitud, tiempo, temperatura, mol y fuerza

¿Cuál es el sistema de unidades que rige en México de acuerdo con la Ley federal de metrología y normalización?

En los Estados Unidos Mexicanos el Sistema General de Unidades de Medida es el único legal y de uso obligatorio. El Sistema General de Unidades de Medida se integra, entre otras, con las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades: de longitud, el metro; de masa, el kilogramo; de tiempo, el segundo; de temperatura termodinámica, el kelvin; de intensidad de corriente eléctrica, el ampere; de intensidad luminosa, la candela; y de cantidad de sustancia, el mol, así como con las suplementarias, las derivadas de las unidades base y los múltiplos y submúltiplos de todas ellas, que apruebe la Conferencia General de Pesas y Medidas y se prevean en normas oficiales mexicanas. También se integra con las no comprendidas en el sistema internacional que acepte el mencionado organismo y se incluyan en dichos ordenamientos. (Artículo 5 de la Ley sobre metrología y normalización)

Dimensión: es aquella propiedad que puede medirse, por ejemplo: longitud, tiempo, masa, temperatura, mol; o calcularse multiplicando o dividiendo otras dimensiones

Unidad es una forma particular de asignar un número a la dimensión cuantitativa. Las unidades pueden tratarse como variables algebraicas al sumar, restar, multiplicar o dividir cantidades

¿Qué es un factor de conversión de unidades?

Es la equivalencia de la misma unidad expresada en diferente sistema de unidades

¿Qué es un sistema de unidades?

Es un conjunto de dimensiones básicas (Masa, Longitud, Tiempo y Temperatura) y un conjunto de dimensiones derivadas (área, Volumen, Velocidad, Aceleración, Presión, Calor, trabajo, potencia, densidad, viscosidad, calor específico, flujo volumétrico, flujo másico, etc.)

Sistema Internacional			Sistema ingles de ingeniería (británico)		
Dimensión básica	Nombre	Unidad	Dimensión básica	Nombre	Unidad
Masa	Kilogramo	Kg	Masa	Libra masa	Slug
Longitud	metro	m	Longitud	Pie	ft
Tiempo	segundo	s	Tiempo	Segundo	s
Temperatura	Kelvin	K	Temperatura	Ranking	°R
Mol	mol	gmol	Mol	mol	Lb-mol
Dimensión derivada	Nombre	Unidad	Fuerza	Libra fuerza	lb _f
Energía	Julio	J	Dimensión derivada	Nombre	Unidad
Fuerza	Newton	N	Energía		Btu, ft-lb _f
Potencia	Vatio	W	Potencia	Caballo de fuerza	hp
Presión	Pascal	Pa	Presión	Libra fuerza por pulgada cuadrada	Lb _f /in ²
Área	Metros cuadrados	m ²	Área	pies cuadrados	ft ²
Volumen	Metros cúbicos	m ³	Volumen	Pies cúbicos	ft ³
Densidad	Kilogramo por metro cúbico	Kg/m ³	Densidad	slug por pie cúbico	Slug/ft ³
Concentración	Mol por metro cúbico	Mol/m ³	Concentración		
Velocidad	Metros/segundo	m/s	Velocidad		
Aceleración	Metros/segundo cuadrado	m/s ²	Aceleración		

La unidad para la dimensión de fuerza es el Newton (N), que expresa la fuerza F como el producto de la masa por la aceleración, $F = ma$. El Newton se define como la fuerza que debe aplicarse a una masa de 1 kg para producir una aceleración de 1 m/s².

$$F = \text{Newton}, N = Kg \frac{m}{s^2} \quad F = \frac{\text{masa} * \text{aceleración}}{g_c}$$

Donde, g_c factor de conversión que relaciona kilogramos masa con los kilogramos fuerza. En el sistema internacional

$$g_c = 1.0 \frac{Kg - m}{N - s^2}$$

Sistema de unidades más comunes (Balzhiser y col., 1972)

Sistema de Unidades	Longitud (L)	Tiempo (θ)	Masa (M)	Fuerza (F)	g_c , Cte. De proporcionalidad dimensional
Ingles (USA)	<i>ft</i>	<i>s</i>	<i>lb_m</i>	<i>lb_f</i>	$32.174 \frac{lb_m - ft}{lb_f - s^2}$
Ingles (británico)	<i>ft</i>	<i>s</i>	<i>slugs</i>	<i>lb_f</i>	$1.0 \frac{slugs - ft}{lb_f - s^2}$
CGS	<i>cm</i>	<i>s</i>	<i>g</i>	<i>dina</i>	$1.0 \frac{g - cm}{dina - s^2}$
Internacional	<i>m</i>	<i>s</i>	Kg	<i>Newton, N</i>	$1.0 \frac{Kg - m}{N - s^2}$
MKS	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg_f</i>	$9.81 \frac{Kg - m}{Kg_f - s^2}$

Sistema Unidades (CGS)			Sistema ingles de ingeniería (Estadounidense)		
Dimensión básica	Nombre	Unidad	Dimensión básica	Nombre	Unidad
Masa	gramo	g	Masa	Libra masa	Lb _m
Longitud	centímetro	cm	Longitud	Pie	ft
Tiempo	segundo	s	Tiempo	Segundo	s
Temperatura	Centígrado	°C	Temperatura	Rankin	R
Mol	g-mol	g-mol	mol	mol	Lb-mol
Dimensión derivada	Nombre	Unidad	Fuerza	Libra fuerza	lb _f
Energía	Erg		Dimensión derivada	Nombre	Unidad
Fuerza	Dina		Energía	Unidad de energía británica	Btu, ft-lb _f
Potencia	Vatio		Potencia	Caballos fuerza	hp
Presión	Dina por unidad de área	DINA/cm ²	Presión	Libras fuerzas por pulgada cuadrada	Lb _f /pulg ²
Área	Centímetros cuadrados	cm ²	Área	Pies cuadrados	ft ²
Volumen	Centímetros cúbicos	cm ³	Volumen	Pies cúbicos	ft ³
Densidad	gramo por centímetro cúbico	g/cm ³	Densidad	Libra masa por pies cúbicos	Lb _m /ft ³
Concentración	Mol por	g-mol/cm ³	Concentración	Libra mol	Lb-mol/ft ³

	centímetro cúbico		molar	por pie cúbico	
Velocidad	Centímetro por segundo	cm/s	Velocidad	Pie por segundo	ft/s
Aceleración	Centímetro por segundo cuadrado	cm/s ²	Aceleración	Pie por segundo cuadrado	ft/s ²

2.3 Definición de masa de control y volumen de control

¿Qué es masa de control?

Los sistemas son cerrados o abiertos, dependiendo de si se elige una masa o un volumen en el espacio fijo para su estudio, se tiene:

Sistema cerrado o masa de control, consta de una cantidad fija de masa y ninguna masa puede cruzar su frontera, pero puede existir intercambio de energía o no.

¿Qué es un volumen de control?

Un sistema abierto o volumen de control es una región seleccionada de modo adecuado en el espacio. Existe intercambio de masa o energía

El sistema puede ser abierto (existe intercambio de masa) o cerrado (no existe intercambio de masa)

Sistema cerrado y aislado (no existe intercambio de masa, ni de energía)

Sistema cerrado y no aislado (no existe intercambio de masa, pero existe intercambio de energía en forma de calor y/o trabajo).

¿Qué es un sistema homogéneo?

Existe una sola fase presente

¿Qué es un sistema heterogéneo?

Es un sistema en donde están presentes más de dos fases

¿Qué es un sistema uniforme?

Es un sistema donde las propiedades del sistema son las mismas en cualquier posición del sistema

¿Qué es un sistema no uniforme?

Es un sistema donde las propiedades del sistema no son las mismas en cualquier posición del sistema

2.4 Procesos continuos en estado estacionario o transiente

En un proceso continuo las propiedades macroscópicas del fluido pueden cambiar con respecto a la posición o el tiempo. En el caso de que las propiedades cambien con respecto al tiempo se dice que el volumen de control se encuentra en estado transiente o en régimen no permanente y si no cambian con respecto al tiempo se dice que el volumen de control se encuentra en estado estacionario o en régimen permanente.

¿Qué es estado estacionario o régimen permanente?

Un sistema fluido en estado estacionario se caracteriza por lo siguiente:

- Las propiedades dinámicas y cinemáticas son constantes, es decir no existen gradientes de ningún tipo.
- El sistema puede o no ser uniforme, es decir, las propiedades del sistema pueden o no cambiar con respecto a la posición
- Son sistemas abiertos y no aislados existiendo flujos forzados o naturales, tanto másicos como de calor.
- Los flujos másicos o de calor son constantes
- En un balance de propiedad, el termino de acumulación es nulo

2.5 Principio de homogeneidad dimensional

Se dice que una ecuación es dimensionalmente consistente cuando al sustituir las unidades de las dimensiones de cada una de las variables que integran la ecuación, ambos términos de la ecuación son iguales. El conocimiento de dicha consistencia permite utilizar la ecuación considerada en cualquier sistema de unidades.

Sea la densidad de una sustancia expresada por la siguiente expresión

$$\rho = A + BT$$

Donde, A y B son constantes. ¿Cuáles son las dimensiones de las constantes para que la ecuación sea dimensionalmente consistente.

$$\rho [=] \frac{\text{Masa}}{\text{longitud}^3} = \frac{M}{L^3}$$

$$A [=] \frac{\text{Masa}}{\text{Longitud}^3} = \frac{M}{L^3}$$

$$B [=] \frac{\text{Masa}}{\text{Longitud}^3 \text{temperatura}} = \frac{M}{L^3 \theta}$$

La capacidad calorífica: Es la cantidad de energía necesaria para elevar un grado de temperatura una cantidad de masa o mol de sustancia.

Las unidades más comunes son:

$$C_p [=] \frac{kJ}{Kgmol - K} \quad C_p [=] \frac{BTU}{lbmol - F} \quad C_p [=] \frac{Cal}{gmol - C}$$

La capacidad calorífica del ácido sulfúrico está dada por la relación:

$$C_p = 139.1 + 1.56 \times 10^{-1} T$$

$$139.1 [=] \frac{\text{Energía}}{\text{mol} - \text{temperatura}} = \frac{\text{Joule}}{\text{g} - \text{mol} - \text{temperatura}}$$

$$1.56 \times 10^{-1} [=] \frac{\text{Energía}}{\text{gmol} - \text{temperatura}^2}$$

Con C_p expresada en $J/(g\text{-mol})(^\circ\text{C})$, con T en $^\circ\text{C}$

Convierta las unidades a $Btu/(lbmol)(^\circ\text{R})$, con T en $^\circ\text{R}$

$$C_p = 139.1 + 1.56 \times 10^{-1} \left(\frac{T(^{\circ}\text{R}) - 460 - 32}{1.8} \right)$$

$$C_p = 139.1 + \frac{1.56 \times 10^{-1}}{1.8} T - \frac{1.56 \times 10^{-1} * 460}{1.8} - \frac{1.56 \times 10^{-1} * 32}{1.8}$$

$$C_p = 139.1 - 39.866 - 2.702 + 0.0866T$$

$$C_p = 96.532 + 0.0866T$$

$$C_p = 96.532 \frac{J}{gmol - \Delta^{\circ}\text{C}} \frac{1Btu}{1055J} \frac{454gmol}{1lbmol} \frac{1\Delta^{\circ}\text{C}}{1.8\Delta^{\circ}\text{R}} + 0.0866 \frac{J}{gmol - \Delta^{\circ}\text{C}} \frac{1Btu}{1055J} \frac{454gmol}{1lbmol} \frac{1\Delta^{\circ}\text{C}}{1.8\Delta^{\circ}\text{R}} T$$

$$C_p = 23.078 + 2.07 \times 10^{-2} T$$

La ecuación de la capacidad calorífica para CO_2 gaseoso es:

$$C_p = 2.675 \times 10^4 + 42.27T - 1.425 \times 10^{-2} T^2$$

con C_p expresada en $J/(Kg - mol)\Delta K$

- Mediante un análisis dimensional, especifique las unidades de las A, B, C, para que la expresión sea dimensionalmente consistente
- Convierta las unidades de la ecuación de capacidad calorífica del CO_2 de $J/(Kg\text{-mol})(\Delta K)$ en $BTU/(lb\text{-mol})(\Delta F)$

$$2.675 \times 10^4 \frac{J}{Kg - mol \Delta K} \frac{1 Btu}{1055 J} \frac{1 \Delta K}{1.8 \Delta^0 R} \frac{1 \Delta^0 R}{1 \Delta^0 F} \frac{0.4536 Kg}{1 lb} = 6.389 \frac{BTU}{lb - mol \Delta^0 F}$$

$$42.27 \frac{J}{Kg - mol \Delta K} \frac{1 Btu}{1055 J} \left(\frac{1 \Delta K}{1.8 \Delta^0 R} \right) \left(\frac{1 \Delta^0 R}{1 \Delta^0 F} \right) \frac{0.4536 Kg}{1 lb} = 0.01009$$

$$1.425 \times 10^{-2} \frac{J}{Kg - mol \Delta K} \frac{1 Btu}{1055 J} \left(\frac{1 \Delta K}{1.8 \Delta^0 R} \right) \left(\frac{1 \Delta^0 R}{1 \Delta^0 F} \right) \frac{0.4536 Kg}{1 lb} = 3.4038 \times 10^{-6}$$

$$C_p = 6.389 + 0.01009 \left(\frac{T(F) + 460}{1.8} \right) - 3.4038 \times 10^{-6} \left(\frac{T(F) + 460}{1.8} \right)^2$$

$$C_p = 6.389 + 0.01009 \frac{T}{1.8} + 0.01009 \frac{460}{1.8} - 3.4038 \times 10^{-6} \left[\left(\frac{T}{1.8} \right)^2 + 2 \left(\frac{T}{1.8} \right) \left(\frac{460}{1.8} \right) + \left(\frac{460}{1.8} \right)^2 \right]$$

$$C_p = 6.389 + 0.01009 \frac{T}{1.8} + 0.01009 \frac{460}{1.8} - 3.4038 \times 10^{-6} [0.3086 T^2 + 283.95 T + 65308.64]$$

$$C_p = 6.389 + 5.605 \times 10^{-3} T + 2.5785 - 1.0504 \times 10^{-6} T^2 - 9.66509 \times 10^{-4} T - 0.2223$$

$$C_p = 8.7452 + 4.63849 \times 10^{-3} T - 1.0504 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_p = 8.4448 + 0.5757 \times 10^{-2} T - 0.2159 \times 10^{-5} T^2 + 0.3059 \times 10^{-9} T^3, \text{ ejercicio 1.71}$$

$$C_p = 8.702 \times 10^{-3} + 4.66 \times 10^{-6} T - 1.053 \times 10^{-9} T^2 \text{ valor reportado por Himmenblau}$$

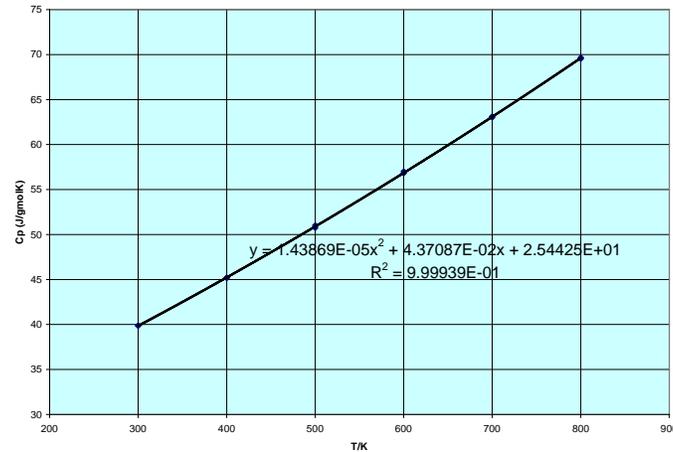
AJUSTE DE DATOS EXPERIMENTALES DE CAPACIDAD CALORÍFICA

La capacidad calorífica del dióxido de carbono (CO₂) gaseoso es función de la temperatura y en una serie de experimentos repetidos se han obtenido los siguientes valores:

T/K	300	400	500	600	700	800
C _p	39.87	45.16	50.72	56.85	63.01	69.52
J/ gmol - K	39.85	45.23	51.03	56.80	63.09	69.68
	39.90	45.17	50.90	57.02	63.14	69.63

Obtenga los valores de los coeficientes de la ecuación $C_p = a + bT + cT^2$ por mínimos cuadrados lineal que mejor ajusten a los datos experimentales.

Utilizando el software de Excel se tiene lo siguiente



$$C_p = 25.442 + 4.3708E - 2 * T + 1.4386E - 5 * T^2$$

Calcular el número de Reynolds $Dv\rho/\mu$ para agua que fluye en un tubo de 2 in a 7 ft/s, usando unidades consistentes del sistema ingles estadounidense, sistema ingles británico, el sistema CGS y el sistema internacional. Los datos son: $\mu = 1$ Cp y la densidad es de 1 g/cm^3 .

El centipoise, es una medida especial de la viscosidad. No puede usarse en cálculos de grupos sin dimensiones, debido a que sus dimensiones no están establecidas.

En el sistema internacional (SI).

$$\mu = 1 \text{Cp} * \frac{0.001 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}{1 \text{Cp}} = 0.001 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\rho = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \frac{1 \text{Kg}}{1000 \text{g}} \left(\frac{100 \text{cm}}{1 \text{m}} \right)^3 = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$v = 7 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \frac{0.3048 \text{m}}{1 \text{ft}} = 2.1336 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D = 2 \text{in} \frac{1 \text{ft}}{12 \text{in}} \frac{0.3048 \text{m}}{1 \text{ft}} = 0.0508 \text{m}$$

$$N_{RE} = \frac{Dv\rho}{\mu} = \frac{m * \frac{m}{s} * \frac{Kg}{m^3}}{\frac{Kg}{m-s}} = \frac{0.0508 * 2.1336 * 1000.0}{0.001} = 108386$$

En el sistema CGS

$$\mu = 1Cp * \frac{0.001 \frac{Kg}{m-s}}{1Cp} = 0.001 \frac{Kg}{m-s} \frac{1000g}{1kg} \frac{1m}{100cm} = 0.01 \frac{g}{cm-s}$$

$$v = 7 \frac{ft}{s} \frac{0.3048m}{1ft} \frac{100cm}{1m} = 213.36 \frac{cm}{s}$$

$$D = 2in \frac{1ft}{12in} \frac{0.3048m}{1ft} \frac{100cm}{1m} = 005.08cm$$

$$N_{RE} = \frac{Dv\rho}{\mu} = \frac{cm * \frac{cm}{s} * \frac{g}{cm^3}}{\frac{g}{cm-s}} = \frac{5.08 * 213.36 * 1.0}{0.01} = 108386$$

¿Qué es una solución o disolución?

Solución es una mezcla homogénea compuesta por 2 o más sustancias, es el caso de una mezcla binaria que esta constituida por un soluto y un solvente

Soluto es la sustancia que se dispersa disolviéndose en menor cantidad con relación al solvente, puede ser sólido, líquido o gas.

Solvente: es el medio en el cual se dispersa el soluto, se encuentra en mayor cantidad y puede ser, sólido, líquido o gas

Ejemplos de soluciones: hidróxido de sodio en agua, Cloruro de sodio en agua, alcohol en agua, Acetona en agua, HCl en agua

Solución sólida: Son las aleaciones tales como: bronce-latón, cobre-oro, etc

Soluciones gaseosas: Aire, gas doméstico

¿Cómo especificar la composición de una solución?

Concentración másica
 Concentración molar
 Fracción másica (peso)
 Fracción molar
 % P/P
 %P/V
 ppm o ppb
 Molaridad
 Molalidad
 Normalidad

Concentración másica, ρ_i es la masa de la especie i por unidad de volumen de la solución. La concentración molar, $C_i = \rho_i / M_i$, que es el número de moles de la especie i por unidad de volumen de solución.

La fracción másica, $w_i = \rho_i / \rho$, que es la concentración másica de la especie i dividido por la densidad total de la solución; y la fracción molar, $x_i = C_i / C$, que es la concentración molar de la especie i dividida entre la concentración molar total de la solución. Se entiende por solución una mezcla gaseosa, líquida o sólida, que forma una sola fase.

El aire es una solución compuesta principalmente por nitrógeno, oxígeno y argón, con fracciones molares de 0.781, 0.210 y 0.009, respectivamente. Calcule las fracciones de masa de cada uno.

$$w_{N_2} = \frac{x_{N_2} M_{N_2}}{x_{N_2} M_{N_2} + x_{O_2} M_{O_2} + x_{Ar} M_{Ar}}$$

$$w_{N_2} = \frac{x_{N_2} M_{N_2}}{x_{N_2} M_{N_2} + x_{O_2} M_{O_2} + x_{Ar} M_{Ar}}$$

$$w_{N_2} = \frac{x_{N_2} M_{N_2}}{x_{N_2} M_{N_2} + x_{O_2} M_{O_2} + x_{Ar} M_{Ar}}$$

Concentración en % P/P, Masa/Masa (expresada comúnmente como Peso/Peso) o, de manera más explícita, masa de soluto sobre masa de solución. Una unidad típica es mg/Kg, que también se expresa como ppm (partes por millón). Este método no depende de la temperatura.

Por ejemplo se desea preparar una solución de sacarosa al 10 % P/P, entonces se prepara una muestra que contenga 10 g de sacarosa en 90 gr de agua.

Concentración en % P/V, Masa/Volumen (expresada comúnmente como peso/volumen) o, de manera más explícita, masa de soluto sobre volumen de solución. Una unidad típica es mg/L. Este método depende de la temperatura, pues el volumen varía con la misma. Por consiguiente, se debe informar la temperatura cuando se expresa la concentración por este método.

$$\text{Concentración(ppm)} = \text{concentración(mg / L)} = \frac{1}{\text{densidadrelativadelasolución}}$$

Molaridad (M): Se refiere al número de moles de soluto en un litro de solución. Por ejemplo se desea preparar una solución de NaCl 1M, entonces se prepara 1 mol o 58.5 g de NaCl y se afora con agua en un matraz hasta obtener 1 litro de solución.

Disoluciones ideales y reales

Las mezclas gaseosas son ejemplos de disoluciones ideales, debido a que las propiedades totales de la disolución es la suma ponderada de las propiedades de los componentes puros

En el caso de mezclas líquidas, es frecuente que al mezclarse se absorba o desprenda calor, entonces, una disolución así se denomina disolución real. El calor absorbido o desprendido se le conoce como calor de mezclado específico ΔH_{mix}^0 y se determina experimentalmente y es mejor conocido como calor de disolución

Ejemplo disolución de HCL (cloruro de hidrógeno gaseoso se disuelve en agua líquida produciéndose un calor de disolución que no es un calor de reacción en cuanto a que ocurre un cambio de energía debido a diferencias en las fuerzas de atracción entre las moléculas del disolvente y del soluto, es claro que en este ejemplo no existe ruptura o formación de enlaces químicos para que se pueda hablar de reacción química y de calor de reacción o entalpía de reacción.

Otro ejemplo es la disolución de hidróxido de sodio cristalino (NaOH) en agua líquida. Al agregar una cantidad de cristales de NaOH en agua líquida y agitar durante varios minutos los cristales se comienzan a disolver en el agua hasta formar una disolución homogénea de NaOH, durante este tiempo hubo un desprendimiento de energía en forma de calor al cual se le denomina calor de disolución. Nuevamente existe un rearrreglo a nivel molecular entre el soluto y el disolvente de manera tal que la entalpía individual del NaOH y del agua líquida no es la misma y su diferencia se le conoce como calor de disolución

2.6 Análisis dimensional y generación de grupos adimensionales

Al analizar un fenómeno y determinar el número de variables que participan, es necesario llevar a cabo una fase experimental que permita determinar la relación existente entre las variables involucradas para ello sería necesario mantener algunas de ellas constantes, variar una de ellas y observar la respuesta de la última. Esto representa un número elevado de experimentos ya que cada una de las variables que participan seguiría el mismo procedimiento, es por ello que la fase experimental sería sumamente tardada y costosa.

El análisis dimensional es una herramienta que se utiliza para obtener grupos de variables carentes de dimensión conocidos como grupos adimensionales, los cuales son menos numerosos que las variables originales con lo cual disminuye el número de experimentos con los cuales podemos obtener una relación entre estos grupos adimensionales y así disminuir el tiempo de estudio del fenómeno.

- Permite comprobar que las ecuaciones sean consistentes, es decir la consistencia dimensional
- Permite obtener una ecuación que rige el fenómeno
- Permite reducir el número de variables
- Permite establecer patrones para el escalamiento de equipos

Obtenga una expresión para la caída de presión a través de un tubo horizontal por el que se mueve un fluido incompresible a régimen turbulento, sabiendo que es función de la densidad, longitud, diámetro, viscosidad y velocidad.

Método Rayleigh

1. Con este método es posible obtener una ecuación de forma, considerando que toda ecuación dimensionalmente consistente esta formada por grupos adimensionales

$$\Delta P = f(D, L, \rho, \mu, v)$$

2. Se plantea la ecuación como una serie de potencias la cuál contiene una constante y exponentes desconocidos para cada una de las variables

$$\Delta P = A(D^a, L^b, \rho^c, \mu^d, v^e)$$

3. Se sustituyen las dimensiones de cada una de las variables, usando un sistema de dimensiones absoluto

$$ML^{-1}\theta^{-2} = A(L)^a, (L)^b, (ML^{-3})^c, (ML^{-1}\theta^{-1})^d (L\theta^{-1})^e$$

4. Para que sea dimensionalmente consistente los exponentes de cada una de las dimensiones participantes deben ser iguales en ambos lados de la ecuación

$$\begin{array}{l} M \quad 1 = c + d \\ L \quad -1 = a + b - 3c - d + e \\ \theta \quad -2 = -d - e \end{array}$$

Generándose un sistema de 3 ecuaciones con 5 incógnitas

5. Resolver el sistema de ecuaciones para un número de incógnitas igual al número de ecuaciones en términos de las restantes incógnitas, es decir, b,c,e en términos de d y a.

$$c = 1 - d$$

$$e = 2 - d$$

$$b = -1 - a + 3(1 - d) + d - (2 - d)$$

$$b = -a - d$$

6. Se sustituye en las variables los exponentes determinados en términos de las restantes

$$\Delta P = A(D^a L^{-a-d} \rho^{1-d} \mu^d v^{2-d})$$

7. Se agrupan los términos de similar exponente

$$\Delta P = A[(D^a L^{-a})(L^{-d} \rho^{-d} \mu^d v^{-d})(\rho v^2)]$$

8. Obtener la ecuación formada en términos de grupos adimensionales

$$\frac{\Delta P}{\rho v^2} = A \left[\left(\frac{D}{L} \right)^a \left(\frac{\mu}{L \rho v} \right)^d \right]$$

9. Comprobar que los grupos son adimensionales

$$\frac{ML^{-1}\theta^{-2}}{ML^{-3}(L\theta^{-1})^2} = \frac{L}{L} \frac{ML^{-1}\theta^{-1}}{LML^{-3}L\theta^{-1}}$$

Tarea: a, c, e en términos de d y b

Se desea determinar un juego completo de grupos adimensionales que correlacionen los datos experimentales sobre la transferencia de calor a través de una película entre las paredes de un conducto recto de sección circular y un fluido que fluye por el mismo.

Las variables y las constantes dimensionales involucradas para un sistema de ingeniería son:

Variable		Dimensiones
Coefficiente de película de transferencia de calor	h	$L^{-1}\theta^{-1}T^{-1}F$
Diámetro interno	D	L
Velocidad lineal	v	$L\theta^{-1}$
Densidad	ρ	ML^{-3}

Viscosidad absoluta	μ	$ML^{-1}\theta^{-1}$
Conductividad térmica	k	$F\theta^{-1}T^{-1}$
Calor específico	C_p	$LM^{-1}FT^{-1}$
Factor de conversión de fuerza a masa	g_c	$MLF^{-1}\theta^{-2}$

10. Con este método es posible obtener una ecuación de forma, considerando que toda ecuación dimensionalmente consistente esta formada por grupos adimensionales

$$h = f(D, \rho, \mu, v, C_p, k, g_c)$$

11. Se plantea la ecuación como una serie de potencias la cuál contiene una constante y exponentes desconocidos para cada una de las variables

$$\Delta P = A(D^a, v^b, \rho^c, \mu^d, k^e, C_p^f, g_c^g)$$

12. Se sustituyen las dimensiones de cada una de las variables, usando un sistema de dimensiones absoluto

$$L^{-1}T^{-1}\theta^{-1}F = A(L)^a, (L\theta^{-1})^b, (ML^{-3})^c, (ML^{-1}\theta^{-1})^d (FT^{-1}\theta^{-1})^e (LM^{-1}FT^{-1})^f (LMF^{-1}\theta^2)^g$$

13. Para que sea dimensionalmente consistente los exponentes de cada una de las dimensiones participantes deben ser iguales en ambos lados de la ecuación

$$\begin{array}{l} M \quad 0 = c + d - f + g \\ L \quad -1 = a + b - 3c - d + f + g \\ T \quad -1 = -e - f \\ \theta \quad -1 = -e - f \\ F \quad 1 = e + f - g \end{array}$$

Generándose un sistema de 5 ecuaciones con 7 incógnitas

14. Resolver el sistema de ecuaciones para un número de incógnitas igual al número de ecuaciones en términos de las restantes incógnitas, es decir, a,b,d,e,g en términos de c y f.

$$\begin{array}{l} e = 1 - f \\ g = -1 + f + e = -1 + f + 1 - f = 0 \\ b = 1 - d - e = 1 - d - 1 + f = -d + f \\ d = -c + f \\ b = c - f + f = c \\ a = -1 - b + 3c + d + f + g = -1 - c + 3c - c + f - f = -1 + c \end{array}$$

15. Se sustituye en las variables los exponentes determinados en términos de las restantes

$$h = A(D^{-1+c} v^c \rho^c \mu^{-c+f} k^{1-f} c_p^f)$$

16. Se agrupan los términos de similar exponente

$$h = A \left[\left(\frac{k}{D} \right) \left(\frac{Dv\rho}{\mu} \right)^c \left(\frac{C_p\mu}{k} \right)^f \right]$$

17. Obtener la ecuación formada en términos de grupos adimensionales

$$\frac{Dh}{k} = A \left[\left(\frac{Dv\rho}{\mu} \right)^c \left(\frac{C_p\mu}{k} \right)^f \right]$$

18. Comprobar que los grupos son adimensionales

$$\frac{LL^{-1}\theta^{-1}T^{-1}F}{F\theta^{-1}T^{-1}} = \frac{LML^{-3}L\theta^{-1}}{ML^{-1}\theta^{-1}} \frac{LM^{-1}FT^{-1}ML^{-1}\theta^{-1}}{F\theta^{-1}T^{-1}}$$

Se cree que el coeficiente de transferencia de masa k_c en un tubo circular es cierta función de las siguientes variables

Variable		Dimensiones
Coeficiente de transferencia de masa	k_c	$ML^{-2}\theta^{-1}$
Coeficiente de difusividad másico	D_{AB}	$L^2\theta^{-1}$
Viscosidad del fluido	μ	$ML^{-1}\theta^{-1}$
Velocidad promedio del fluido	v	$L\theta^{-1}$
Diámetro del tubo	D	L
Densidad	ρ	ML^{-3}
Concentración del fluido	C_f	ML^3

19. Con este método es posible obtener una ecuación de forma, considerando que toda ecuación dimensionalmente consistente esta formada por grupos adimensionales

$$k_c = f(D, \rho, \mu, v, D_{AB})$$

20. Se plantea la ecuación como una serie de potencias la cuál contiene una constante y exponentes desconocidos para cada una de las variables

$$k_c = A(D^a, v^b, \rho^c, \mu^d, D_{AB}^e)$$

21. Se sustituyen las dimensiones de cada una de las variables, usando un sistema de dimensiones absoluto

$$ML^{-2}\theta^{-1} = A(L)^a, (L\theta^{-1})^b, (ML^{-3})^c, (ML^{-1}\theta^{-1})^d (L^2\theta^{-1})^e$$

22. Para que sea dimensionalmente consistente los exponentes de cada una de las dimensiones participantes deben ser iguales en ambos lados de la ecuación

$$\begin{array}{l} M \quad 1 = c + d \\ L \quad -2 = a + b - 3c - d + 2e \\ \theta \quad -1 = -b - d - e \end{array}$$

Generándose un sistema de 3 ecuaciones con 6 incógnitas

23. Resolver el sistema de ecuaciones para un número de incógnitas igual al número de ecuaciones en términos de las restantes incógnitas, es decir, a, d, e en términos de b y c.

$$\begin{array}{l} d = 1 - c \\ e = 1 - d - b \\ e = 1 - 1 + c - b \\ e = c - b \\ a = -2 - b + 3c + d - 2e \\ a = -2 - b + 3c + 1 - c - 2c + 2b \\ a = -1 + b \end{array}$$

24. Se sustituye en las variables los exponentes determinados en términos de las restantes

$$k_c = A(D^{-1+b}, v^b, \rho^c, \mu^{1-c}, D_{AB}^{c-b})$$

25. Se agrupan los términos de similar exponente

$$k_c = A \left[\left(\frac{\mu}{D} \right) \left(\frac{Dv}{D_{AB}} \right)^b \left(\frac{\rho D_{AB}}{\mu} \right)^c \right]$$

26. Obtener la ecuación formada en términos de grupos adimensionales

$$\frac{k_c D}{\mu} = A \left[\left(\frac{Dv}{D_{AB}} \right)^b \left(\frac{\rho D_{AB}}{\mu} \right)^c \right]$$

27. Comprobar que los grupos son adimensionales

$$\frac{ML^{-2}\theta^{-1}L}{ML^{-1}\theta^{-1}} = \frac{LL\theta^{-1}}{L^2\theta^{-1}} \frac{ML^{-3}L^2\theta^{-1}}{ML^{-1}\theta^{-1}}$$

El suministro de potencia a un propulsor de hélice depende de:

Variable		Dimensiones
Potencia	P	$L\theta^{-1}F$
Densidad	ρ	ML^{-3}
Diámetro de la hélice	D	L
Velocidad del aire	V_{aire}	$L\theta^{-1}$
Viscosidad absoluta	μ	$ML^{-1}\theta^{-1}$
Velocidad de rotación de hélice	V_{helice}	θ^{-1}
Velocidad del sonido	V_{son}	$L\theta^{-1}$
Factor de conversión de fuerza a masa	g_c	$MLF^{-1}\theta^{-2}$

Demostrar que el suministro de potencia a un propulsor de hélice, puede ser correlacionado por un conjunto de grupos adimensionales

Método Π

Si una ecuación es dimensionalmente homogénea, esta puede ser reducida a una interrelación entre un juego completo de productos adimensionales. Un juego de productos adimensionales a partir de variables dadas es completo si cada producto en el juego es independiente de los otros

$\Pi_i = \text{Grupo} - a \text{ dimensional}$

$$X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} X_m^{\alpha_m} \dots X_n^{\alpha_n} = \Pi_i$$

$P =$ Cantidad de grupos adimensionales que puede ser generado $= n-m$

Donde, n es el número de variables y m , es el rango de la matriz de un conjunto de variables cuyo determinante es diferente de cero

Se desea determinar un juego completo de grupos adimensionales que correlacionen los datos experimentales sobre la transferencia de calor a través de una película, entre las paredes de un conducto recto de sección circular y un fluido que fluye por el mismo.

Las variables y la constante dimensional involucradas para un sistema de ingeniería son:

Variable		Dimensiones
----------	--	-------------

Coeficiente de película	h	$L^{-1}\theta^{-1}T^{-1}F$
Diámetro interno	D	L
Velocidad lineal	v	$L\theta^{-1}$
Densidad	ρ	ML^{-3}
Viscosidad absoluta	μ	$ML^{-1}\theta^{-1}$
Conductividad térmica	k	$F\theta^{-1}T^{-1}$
Calor específico	C_p	$LM^{-1}FT^{-1}$
Factor de conversión de fuerza a masa	g_c	$MLF^{-1}\theta^{-2}$

	h	μ	k	C_p	g_c	D	v	ρ
L	-1	-1	0	1	1	1	1	-3
M	0	1	0	-1	1	0	0	1
F	1	0	1	1	-1	0	0	0
T	-1	0	-1	-1	0	0	0	0
θ	-1	-1	-1	0	-2	0	-1	0

$$\text{Rango} = 5 = m$$

$$\text{Variables} = 8 = n$$

$$P = 8 - 5 = 3$$

$$\Pi_1 = D^a v^b \mu^c k^d g_c^e h$$

$$\Pi_2 = D^a v^b \mu^c k^d g_c^e \rho$$

$$\Pi_3 = D^a v^b \mu^c k^d g_c^e C_p$$

Para Π_1

$$L^0 M^0 F^0 T^0 \theta^0 = (L)^a (L\theta^{-1})^b (ML^{-1}\theta^{-1})^c (F\theta^{-1}T^{-1})^d (MLF^{-1}\theta^{-2})^e (L^{-1}FT^{-1}\theta^{-1})$$

$$L = 0 = a + b - c + e - 1$$

$$M = 0 = c + e$$

$$F = 0 = d - e + 1$$

$$T = 0 = -d - 1$$

$$\theta = 0 = -b - c - d - 2e - 1$$

$$d = -1$$

$$e = 0$$

$$c = 0$$

$$b = 0$$

$$a = 1$$

$$\Pi_1 = \frac{Dh}{k} = N_{Nu}$$

Para Π_2

$$L^0 M^0 F^0 T^0 \theta^0 = (L)^a (L\theta^{-1})^b (ML^{-1}\theta^{-1})^c (F\theta^{-1}T^{-1})^d (MLF^{-1}\theta^{-2})^e (ML^{-3})$$

$$L = 0 = a + b - c + e - 3$$

$$M = 0 = c + e + 1$$

$$F = 0 = d - e$$

$$T = 0 = -d$$

$$\theta = 0 = -b - c - d - 2e$$

$$d = 0$$

$$e = 0$$

$$c = -1$$

$$b = 1$$

$$a = 1$$

$$\Pi_2 = \frac{Dv\rho}{\mu} = N_{\text{Re}}$$

Para Π_3

$$L^0 M^0 F^0 T^0 \theta^0 = (L)^a (L\theta^{-1})^b (ML^{-1}\theta^{-1})^c (F\theta^{-1}T^{-1})^d (MLF^{-1}\theta^{-2})^e (LM^{-1}T^{-1}F)$$

$$L = 0 = a + b - c + e + 1$$

$$M = 0 = c + e - 1$$

$$F = 0 = d - e + 1$$

$$T = 0 = -d - 1$$

$$\theta = 0 = -b - c - d - 2e$$

$$d = -1$$

$$e = 0$$

$$c = 1$$

$$b = 0$$

$$a = 0$$

$$\Pi_3 = \frac{\mu C_p}{k} = N_{\text{Pr}}$$

Problemas propuestos

La capacidad calorífica del azufre es: $C_p = 15.2 + 2.68T$, donde C_p está en J/g-mol K y T esta en K. Convierta C_p a cal/g-mol F, con T en °F.

El número de Grashof es: $N_{Gr} = \frac{L^3 \rho^2 g \beta (\Delta T)}{\mu^2}$, si la longitud es 3ft, la densidad (ρ) es de 0.075 lb/ft³, la aceleración de la gravedad (g) es de 32.174 ft/s², el coeficiente β es de 0.00168 °R⁻¹, y la diferencia de temperatura (ΔT) es de 99 °R y finalmente la viscosidad es de 0.019 Cp. Determinar el número de Grashof en las unidades dadas.

Un líquido sale de un depósito cilíndrico abierto a través de un pequeño orificio en el fondo del depósito. La profundidad del líquido es h y disminuye con el tiempo. Obtener un conjunto apropiado de grupos adimensionales para este problema. En el supuesto que h sea función de

$$h = f(H, D, d, \gamma, \rho, t)$$

Donde:

H: Es la altura inicial del líquido en el recipiente

D: Es el diámetro del recipiente

d: Es el diámetro del orificio en el fondo del recipiente

γ : Es el peso específico del líquido

ρ : Es la densidad del líquido

t: Es el tiempo de vaciado

Unidad III Balances de materia en procesos en estado estacionario e isotérmicos

3.1 Objetivos de aprendizaje

El alumno aplicará el principio de conservación de la materia en procesos industriales que consta de una o varias operaciones consecutivas para determinar los flujos másicos y sus respectivas composiciones de cada una de las corrientes que entran y salen de cada una de las operaciones unitarias o procesos unitarios de que consta el proceso industrial.

3.2 Principio de conservación de la materia

Independientemente de la propiedad de que se trate (Masa, Energía, Cantidad de movimiento, entropía, etc), se debe satisfacer el principio de conservación a

través de un balance general de la propiedad, el cual puede ser dependiente del tiempo o independiente del tiempo.

3.3 Balance de materia dependiente e independiente del tiempo

Balance general independiente del tiempo

$$\left. \begin{array}{l} \text{Cantidad} \\ \text{de} \\ \text{propiedad} \\ \text{que} \\ \text{entra} \\ \text{al} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} - \left. \begin{array}{l} \text{Cantidad} \\ \text{de} \\ \text{propiedad} \\ \text{que} \\ \text{sale} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} \pm \left. \begin{array}{l} \text{Cantidad} \\ \text{de} \\ \text{propiedad} \\ \text{que} \\ \text{se} \\ \text{genera} \\ \text{o - desaparece} \\ \text{en - el} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} \text{Cantidad} \\ \text{de} \\ \text{propiedad} \\ \text{que} \\ \text{se} \\ \text{acumula} \\ \text{en - el} \\ \text{sistema} \end{array} \right\}$$

Balance general dependiente del tiempo:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{entrada} \\ \text{de - la} \\ \text{propiedad} \\ \text{al sistema} \end{array} \right\} - \left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{salida} \\ \text{de - la} \\ \text{propiedad} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} \pm \left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{generación} \\ \text{desaparición} \\ \text{de - la} \\ \text{propiedad} \\ \text{dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{acumulación} \\ \text{de la} \\ \text{propiedad} \\ \text{dentro} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\}$$

3.4 Balance de materia en base masa y mol en estado estacionario

$$\text{entradas} - \text{salidas} \pm \text{generación}(\text{desaparición}) = \text{acumulación}$$

El balance de materia se puede realizar en base masa o en base mol, puede ser total o por componente, también se puede realizar un balance por átomos. Es importante resaltar que el balance de materiales es un balance de masa, no de volumen o de moles. Por consiguiente, para el caso de un balance de materia en base molar en donde se verifique una reacción química se utilizarán los principios estequiométricos para llevar a cabo el balance.

En sistemas isotérmicos, solamente se requiere resolver los balances de materia para resolver el problema. En sistemas no isotérmicos se requiere resolver los balances de materia y energía de forma simultánea.

Para un sistema abierto, el balance de masa por componente

$$F_i^0 - F_i \pm R_i V = V \frac{dC_i}{dt}$$

La estrategia para plantear los balances de materia de una operación unitaria mostrada en la siguiente figura que consta de tres componentes A, B y C.



Se plantea el balance de materia total en base masa

$$F_1 + F_2 = F_3$$

Así también se plantea el balance de materia por componente en base masa

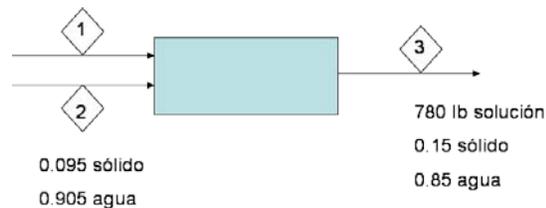
Para el componente A: $F_1 w_{A,1} + F_2 w_{A,2} = F_3 w_{A,3}$

Para el componente B: $F_1 w_{B,1} + F_2 w_{B,2} = F_3 w_{B,3}$

Para el componente C: $F_1 w_{C,1} + F_2 w_{C,2} = F_3 w_{C,3}$

Se debe cumplir que la suma de las fracciones másicas debe ser la unidad en cada una de las corrientes

Se desean obtener 780 lb de una solución que contenga 15 % en peso de sólido para ello se cuenta con un tanque el cual contiene una solución de 9.5 % en peso de sólido. Determinar las cantidades de solución en el tanque y sólido necesario a adicionar para obtener el producto deseado.



Balance de materia total : $F_1 + F_2 = 780lb$

Balance de materia para el sólido : $F_1 + F_2 * 0.095 = 780 * 0.15$

Balance de materia para el agua : $F_2 * 0.905 = 780 * 0.85$

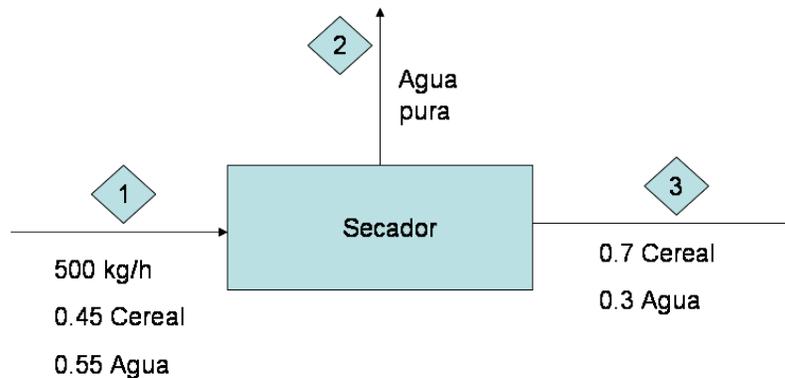
Para conocer F_2 se emplea el balance de materia del agua

$$F_2 = \frac{780 * 0.85}{0.905} = 732.6 lb$$

Entonces para conocer F_1 , se utiliza el balance total

$$F_1 = 780 - F_2 = 780.0 - 732.6 = 47.4$$

Un producto de cereales que contiene 55% de agua se fabrica a razón de 500 kg/hr. Es necesario secar el producto de modo que contenga solo 30% de agua. ¿Qué cantidad de agua es necesario evaporar por hora?



Balance de materia total en base masa

$$500 = F_2 + F_3$$

Balance de materia por componente, para el cereal se tiene

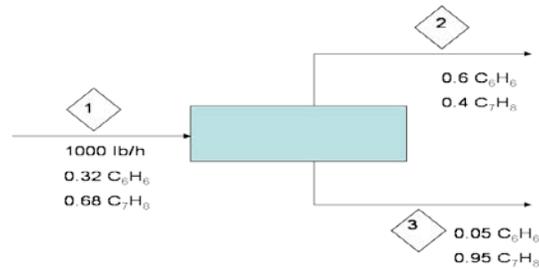
$$500 * 0.45 = F_3 * 0.7$$

$$F_3 = \frac{500 * 0.45}{0.7} = 321.14$$

$$F_2 = 500 - 321.14 = 178.57 kg / h$$

Se alimentan a una columna de destilación 1000 lb/h de una solución que contiene 32% en peso de C_6H_6 y 68% en peso de tolueno. Se desea obtener por el domo una solución con 60% en peso de C_6H_6 y en los fondos un residuo con 5 % en peso de C_6H_6 . Calcular:

- La cantidad de destilado y de residuo
- El porcentaje de benceno alimentado que sale como destilado
- El porcentaje de la alimentación total que sale por el domo



Balance de materia total en base masa

$$1000 = M_2 + M_3$$

Balance de materia por componente, se tiene

Para el C_6H_6 : $1000 * 0.32 = M_2 * 0.6 + M_3 * 0.05$

$$320 = M_2 * 0.6 + (1000 - M_2)0.05 = M_2(0.6 - 0.05) + 50$$

$$M_2 = \frac{320 - 50}{0.6 - 0.05} = 490.9$$

$$M_3 = 1000 - 490.9 = 509.1$$

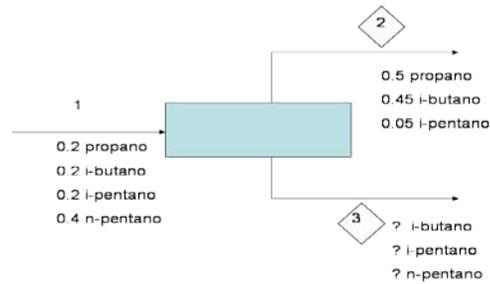
El % de benceno alimentado que sale como destilado

$$\frac{0.6 * 490.9}{320} * 100 = 92\%$$

El % de la alimentación total que sale por el domo

$$\frac{490.9}{1000} * 100 = 49.09\%$$

Una mezcla de petróleo con 4 componentes que contiene 20% en peso de propano, 20% en peso de isobutano, 20% de isopentano y 40% en peso de pentano normal se alimenta a una columna de destilación, se espera que todo el propano aparezca en el destilado y no contenga nada de pentano normal. También se espera que el destilado contenga 50% de propano, 45% de isobutano. A partir de esta información calcular la composición del residuo.



Grados de libertad

Para F_1 se tienen 4 grados de libertad

Para F_2 se tienen 3 grados de libertad

Para F_3 se tienen 3 grados de libertad

Solamente se pueden escribir 4 ecuaciones independientes

Entonces es necesario especificar 6 grados de libertad para que el sistema tenga solución o 5 composiciones y 1 flujo.

$$F_1 = F_2 + F_3$$

$$\text{Propano} : F_1 * 0.2 = F_2 * 0.5$$

$$\text{n-pentano} : F_1 * 0.4 = F_3 * w_{n-pentano,3}$$

$$\text{i-butano} : F_1 * 0.2 = F_2 * 0.45 + F_3 * w_{i-butano,3}$$

$$\text{i-pentano} : F_1 * 0.2 = F_2 * 0.05 + F_3 * w_{i-pentano,3}$$

5 ecuaciones con 6 incógnitas ($F_1, F_2, F_3, w_{n-pentano,3}, w_{i-butano,3}, w_{i-pentano,3}$) por lo tanto el sistema de ecuaciones no tiene solución, a menos que se fije una de las incógnitas, en este caso se fija F_1 con una base de 100 kg.

$$\text{Base } F_1 = 100 \text{ kg}$$

Entonces el balance total es:

$$100 = F_2 + F_3$$

$$\text{Propano: } 20 = 0.5F_2$$

$$F_2 = \frac{20}{0.5} = 40 \text{ Kg}$$

$$F_3 = 100 - 40 = 60 \text{ kg}$$

$$\text{n-pentano: } 40 = F_3 w_{n-pentano,3}$$

$$w_{n-pentano,3} = \frac{40}{60} = 0.666$$

$$\text{i-butano: } 20 = 0.45F_2 + F_3 w_{i-butano,3}$$

$$W_{i-bu \tan o,3} = \frac{20 - 0.45 * 40}{60} = 0.033$$

$$W_{i-pen \tan o,3} = 1 - 0.666 - 0.0333 = 0.301$$

Una disolución acuosa que contiene 10% de ácido acético se agrega a una disolución acuosa que contiene 30% de ácido acético y que fluye a razón de 20 Kg/min. El Producto P de la combinación sale a razón de 100 Kg/min. ¿Qué composición tiene? Para este proceso.

Para F1 se requiere 2 grados de libertad

Para F2 se requiere 2 grados de libertad

Para F3 se requiere 2 grados de libertad

Se tienen 2 ecuaciones independientes por lo tanto se tienen que especificar 4 grados de libertad

Para F1 se tiene 1 composición

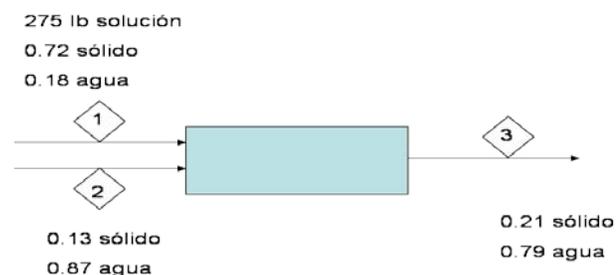
Para F2 se tiene 1 composición y un flujo

Para F3 se tiene un flujo

Por consiguiente se tienen especificados los 4 grados de libertad.

a) Se tienen dos ecuaciones independientes

Un tanque que contiene el 13 % en peso de sólido se le agregan 275 lb de una solución que contiene 72 % en peso de sólido de tal manera que a la salida del tanque se obtiene una solución que contiene 21 % de sólido. Determinar la cantidad de solución inicial en el tanque y la solución final.



Balance de material total: $275 + F_2 = F_3$

Balance de materia para el sólido: $275 * 0.72 + F_2 * 0.13 = F_3 * 0.21$

Por consiguiente, se tiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas por lo tanto el problema está totalmente definido. Entonces sustituyendo F_3 del balance total en el balance por componente, tenemos.

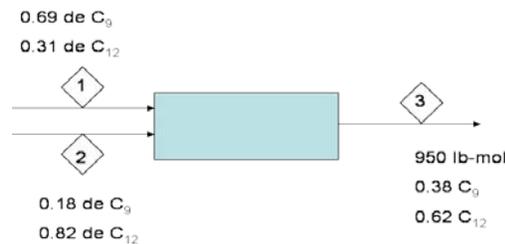
$$275 * 0.72 + F_2 * 0.13 = (275 + F_2) * 0.21 = 57.75 + F_2 * 0.21$$

$$198 - 57.75 = F_2 * 0.21 - F_2 * 0.13 = F_2 (0.21 - 0.13) = F_2 * 0.08$$

$$F_2 = \frac{140.25}{0.08} = 1753.125 \text{ lb}$$

Por consiguiente, F_3 esta dado por : $F_3 = 275 + 1753.125 = 2028.125 \text{ lb}$

Un combustible líquido debe contener hidrocarburos con la siguiente composición. 38% en mol de C_9 y el resto de C_{12} que cantidad de petróleo ligero que contiene 69 % en mol de C_9 y el resto de C_{12} debe de ser mezclado con petróleo pesado contiene 18% en mol de C_9 y el resto de C_{12} para obtener 950 lbmol del producto deseado.



Balance de materia en base mol total: $F_1 + F_2 = F_3$

Balance de materia por componente "i" : $F_1 x_{i,1} + F_2 x_{i,2} = F_3 x_{i,3}$ para $i = 1, \dots, NC$

Balance total : $F_1 + F_2 = 950 \text{ lb} - \text{mol}$

Balance para el componente C_9 : $F_1 * 0.69 + F_2 * 0.18 = 950 * 0.38$

El problema esta totalmente definido, por consiguiente el balance total se sustituye en el balance por componente, quedando de la siguiente manera:

$$F_2 = 950 - F_1$$

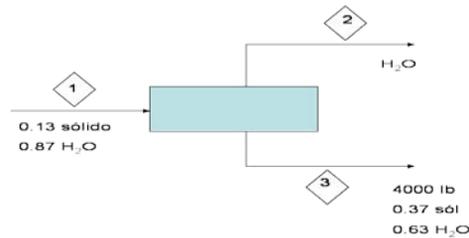
$$F_1 * 0.69 + (950 - F_1) * 0.18 = 361 = F_1 * 0.69 + 171 - F_1 * 0.18 = F_1 (0.69 - 0.18) + 171$$

$$361 - 171 = 190 = F_1 * (0.69 - 0.18) = F_1 * 0.51$$

$$F_1 = \frac{190}{0.51} = 372.549 \text{ lb} - \text{mol}$$

$$F_2 = 950 - 372.549 = 577.451 \text{ lb} - \text{mol}$$

Se desean obtener 4000 lb de una solución que contenga 37% en peso de sólidos por lo cual se alimentan a un evaporador una solución que contiene el 13% en peso de sólidos. Determinar la solución a alimentar y la cantidad de agua que es necesaria evaporar.



Balance de materia total en base masa

$$M_1 = M_2 + 4000$$

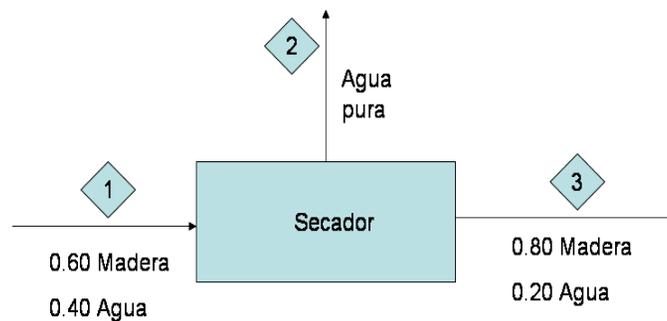
Balance de materia por componente en base masa, para el sólido

$$M_1 * 0.13 = 4000 * 0.37$$

$$M_1 = \frac{4000(0.37)}{0.13} = 11384.615$$

$$M_2 = M_1 - 4000 = 11384.615 - 4000 = 7384.615$$

Se desea secar madera que contiene 40% en peso de humedad, el proceso se realizara hasta que la humedad disminuya al 20% en peso. Calcular las libras de agua evaporada por cada libra de madera seca



Supongo una base de alimentación de 100 lb de madera humedad

$$\text{Total: } 100 = M_2 + M_3$$

$$\text{Agua : } 40 = M_2 + 0.2M_3$$

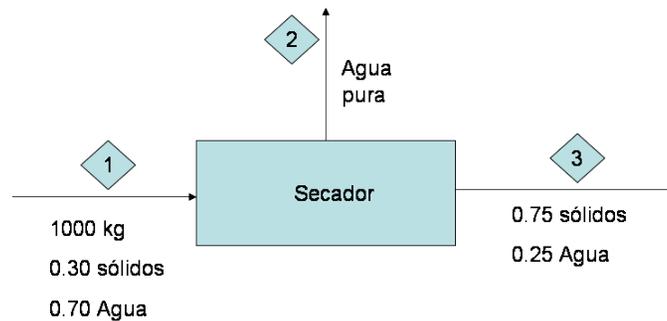
$$40 = 100 - M_3 + 0.2M_3$$

$$M_3 = \frac{100 - 40}{1.0 - 0.2} = 75$$

$$M_2 = 100 - 75 = 25$$

$$\frac{35 \text{ lb} - \text{agua} - \text{evaporada}}{75 \text{ lb} - \text{madera} - \text{seca}} = 0.466 \frac{\text{lb} - \text{agua} - \text{evaporada}}{\text{lb} - \text{madera} - \text{seca}}$$

Se llama sedimentos o lodos a los sólidos húmedos que resultan del procesamiento de las aguas residuales municipales. Los lodos deben secarse antes de convertirse en composta o de someterse a algún otro tratamiento. Si un lodo que contiene 70 % de agua y 30% de sólidos se pasa por un secador y el producto resultante contiene 25% de agua. ¿Cuánta agua se evaporará por cada tonelada de lodos que se envía al secador?



$$\text{Sólidos : } 0.3 * 1000 = 0.75 * M_3$$

$$M_3 = \frac{0.3 * 1000}{0.75} = 400$$

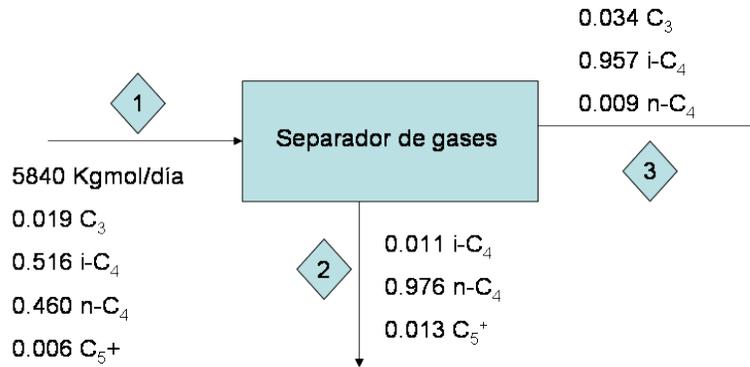
$$\text{Total: } 1000 = M_2 + M_3$$

$$M_2 = 1000 - 400 = 600$$

En una planta de separación de gases, el separador de alimentación de butano tiene los siguientes constituyentes: 1.9% mol de C_3 , 51.6% mol $i-C_4$, 46.0% mol $n-C_4$, y 0.6% mol de C_5^+

La tasa de flujo es de 5840 kgmol/día. Si los flujos superior e inferior del separador de butano tienen las siguientes composiciones, ¿Cuáles son sus tasas de flujo en kgmol/día?

Componente	Flujo superior (% mol)	Flujo inferior (% mol)
Propano (C_3)	3.4	-
Isobutano ($i-C_4$)	95.7	1.1
Butano normal ($n-C_4$)	0.9	97.6
C_5^+	-	1.3



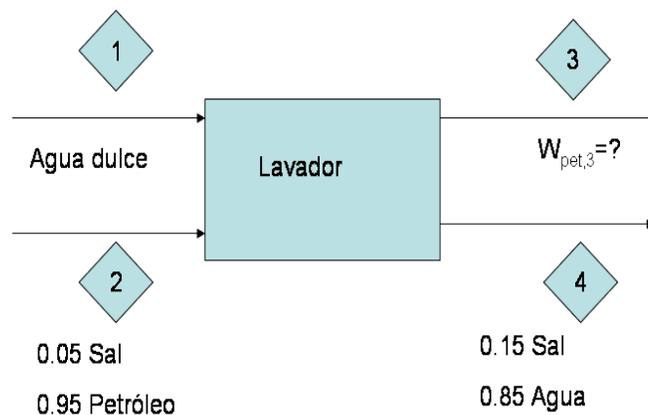
$$\text{Total: } 5840 = F_2 + F_3$$

$$\text{Propano: } 0.019 * 5840 = 0.034 * F_3$$

$$F_3 = \frac{0.019 * 5840}{0.034} = 3243.41$$

$$F_2 = 5840 - 3243.41 = 2596.59$$

La sal contenida en el petróleo crudo debe eliminarse antes de procesarlo en una refinería. El petróleo crudo se alimenta a una unidad de lavado en la que agua dulce alimentada a la unidad se mezcla con el petróleo y disuelve una porción de la sal que contiene. El petróleo (que contiene un poco de sal pero nada de agua), al ser menos denso que el agua, se puede sacar por la parte superior del lavador. Si el agua de lavado “gastada” contiene 15% de sal y el crudo contiene 5% de sal, determine la concentración de la sal en el producto de petróleo “lavado” si la razón de petróleo crudo (con sal): agua que se usa es de 4:1.



Se alimenta 1 Kg de agua dulce, entonces se alimenta 4 Kg de petróleo crudo

Balance de materia total en base masa

$$1 + 4 = F_3 + F_4$$

Balace de materia para el petróleo

$$0.95 * 4 = w_{\text{petróleo},3} F_3$$

Balace de materia para el agua

$$1 = 0.85 * F_4$$

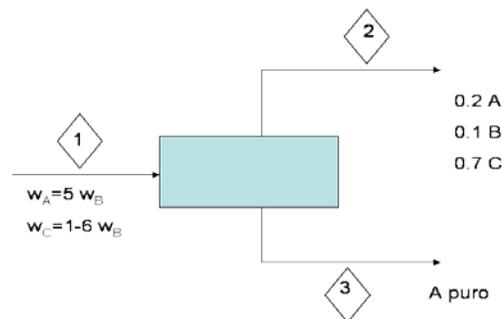
$$F_4 = 1.1764$$

$$F_3 = 5 - 1.1764 = 3.8235$$

$$w_{\text{petróleo},3} = \frac{0.95 * 4}{3.8235} = 0.994$$

Una mezcla de componentes A, B y C se alimentan a una columna de destilación de la cual se desea obtener como residuo al componente A puro. En el destilado se obtiene una mezcla de 20% en peso de A, 10 % de B y 70 % de C. En la alimentación la fracción en peso de A es igual a 5 veces la fracción en peso de B. Si las densidades son: para A es de 0.79 g/cm^3 , para B es de 0.99 g/cm^3 y para C es de 0.88 g/cm^3 . Determinar

- Los volúmenes de A, B, C alimentados para obtener 75 lt/min de A puro.
- Los volúmenes de B y C en el destilado



La masa de A puro que se desea, se obtiene de la siguiente manera

$$\text{Masa de A puro : } 75 \frac{\text{lt}}{\text{min}} * \frac{1000 \text{cm}^3}{1 \text{lt}} * \frac{0.79 \text{g}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{kg}}{1000 \text{g}} = 59.25 \text{KgA}$$

Balace de materia total en base masa

$$M_1 = M_2 + 59.25$$

Balace de materia en base masa

$$\text{Para A: } w_{A,1} M_1 = w_{A,2} M_2 + 59.25$$

$$w_{A,1} M_1 = 5 w_{B,1} M_1 = w_{A,2} M_2 + 59.25 = 0.2 * M_2 + 59.25$$

$$5 M_1 w_{B,1} = 0.2 * M_2 + 59.25$$

Para B: $w_{B,1}M_1 = w_{B,2}M_2 = 0.1 * M_2$

$$5 * 0.1 * M_2 = 0.2 * M_2 + 59.25$$

$$M_2 = \frac{59.26}{0.3} = 197.5$$

$$M_1 = 197.5 + 59.25 = 256.78$$

$$w_{B,1} = \frac{0.2 * 197.5 + 59.25}{5 * 256.78} = 0.077$$

$$w_{A,1} = 5 * w_{B,1} = 5 * 0.077 = 0.384$$

masa de A: $0.384 * 256.75 = 98.848 \text{ kg A}$

Masa de B: $0.077 * 256.75 = 19.769 \text{ kg B}$

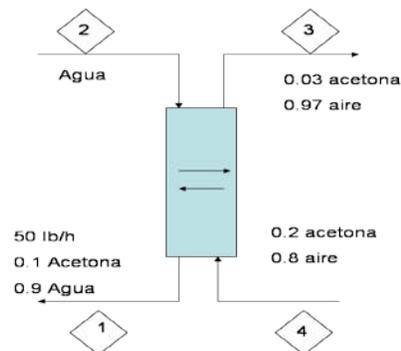
Masa de C: $0.538 * 256.75 = 138.13 \text{ kg C}$

Volumen de A alimentado: $98.848 \text{ kg A} \frac{1 \text{ cm}^3}{0.79 \text{ g}} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cm}^3} = 125.12 \text{ lt A}$

Volumen de B alimentado: $19.769 \text{ kg} \frac{1 \text{ cm}^3}{0.99 \text{ g}} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cm}^3} = 19.968 \text{ lt B}$

Volumen de C alimentado: $138.13 \text{ kg} \frac{1 \text{ cm}^3}{0.88 \text{ g}} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cm}^3} = 156.96 \text{ lt C}$

En una columna de adsorción se van a producir 50 lb/h de una solución de acetona-agua con 10 % en peso de acetona, para este fin se alimentan a la columna una mezcla aire-acetona con 20% en peso de acetona. Esta mezcla se lava con agua que se alimenta por la parte superior de la columna, la acetona no se elimina totalmente por lo que la corriente gaseosa contiene a la salida 3% en peso de éste material orgánico. Calcular la cantidad mezcla acetona-aire que se debe alimentar a la columna considerando que la concentración en el aire es despreciable.



Realizando un balance de materia en base masa

$$M_2 + M_4 = 50 + M_3$$

El balance de materia por componente en base masa

$$\text{Para Aire : } M_4 * 0.8 = M_3 * 0.97$$

$$\text{Para Agua : } M_2 = 50 * 0.9 = 45 \text{ lb/h}$$

Sustituyendo M_2 en el balance total

$$45 + M_4 = 50 + M_3$$

$$M_4 = 5 + M_3$$

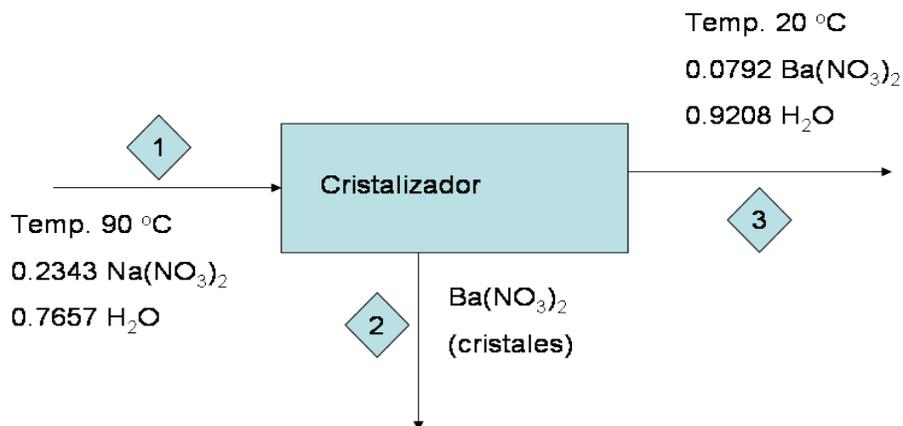
Entonces

$$(5 + M_3) * 0.8 = M_3 * 0.97$$

$$M_3 = \frac{5(0.8)}{0.97 - 0.8} = 23.529 \text{ lb/h}$$

1200 lb de $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ se disuelven en la cantidad suficiente de agua para formar una solución saturada a 90°C , temperatura a la cual la solubilidad es de 30.6 g $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2/100\text{g}$ de H_2O . Después la disolución se enfría a 20°C , temperatura a la cual la solubilidad es de 8.6g $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2/100\text{g}$ de H_2O .

- ¿Cuántas libras de H_2O se requieren para la solución a 90°C y qué peso de cristales se obtiene a 20°C .
- ¿Cuántas libras de H_2O se requieren para la solución a 90°C y que peso de cristales se obtiene a 20°C , suponiendo que se utiliza un 10 % de exceso de agua con respecto a la necesaria para una solución saturada a 90°C .
- Cuántas libras de agua se requieren para la solución a 90°C y qué peso de cristales se obtienen a 20°C , suponiendo que el grado de saturación de la solución es de 90 % a 90°C .
- ¿Cuántas libras de H_2O se requieren para la solución a 90°C y qué peso de cristales se obtiene a 20°C , suponiendo que durante el enfriamiento se evapora 5% de agua y que los cristales forman una solución saturada en proporción del 5% con respecto a su peso en base seca.



En la alimentación se tiene lo siguiente:

a)

$$0.2343 * M_1 = 1200 \text{ lb Ba(NO}_3)_2$$

$$M_1 = \frac{1200 \text{ lb Ba(NO}_3)_2}{0.2343} = 5121.64 \text{ lb}$$

$$\text{lb H}_2\text{O} = 0.7657 * 5121.64 = 3921.64 \text{ lb H}_2\text{O}$$

Balance para el H₂O

$$5121.64 = 0.9208 * M_3$$

$$M_3 = \frac{3921.64}{0.9208} = 4258.94 \text{ lb}$$

Balance Total

$$5121.64 = M_2 + M_3$$

$$M_2 = 5121.64 - 4258.94 = 862.69 \text{ lb cristales Ba(NO}_3)_2$$

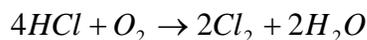
¿Cuántas libras de H₂O se requieren para la solución a 90 °C y que peso de cristales se obtiene a 20 °C, suponiendo que se utiliza un 10 % de exceso de agua con respecto a la necesaria para una solución saturada a 90 °C?.

3.5 Balances de materia en procesos químicos (con reacción química)

Los gases de chimenea (en base húmeda) o gases residuales de la combustión, son todos los gases que resultan de un proceso de combustión, incluido el vapor de agua, a veces denominado en base húmeda.

Análisis de Orsat o en base seca: Son todos los gases que resultan de un proceso de combustión pero sin incluir el vapor de agua, es decir libre de humedad

En el proceso Deacon para la fabricación de Cl₂, se hace pasar una mezcla de HCl y aire sobre un catalizador caliente que promueve la oxidación del HCl y Cl₂. El aire que se usa está en un 26 % de exceso con respecto a la cantidad cuantitativamente necesaria para la oxidación según la reacción



Calcúlese la composición del gas que se alimenta a la cámara de reacción si se alimentan 100 Kgmol de HCl.

Base 100 Kgmol de HCl

Moles de O_2 necesarias: de acuerdo con la estequiometria se requieren 25 kgmol de O_2

Moles de O_2 alimentadas: $O_{2,necesaria} + O_{2,exceso}$

Moles de O_2 alimentadas: $25.0 \text{ kgmol} + 0.26 \cdot 25 = 31.5 \text{ Kgmol de } O_2$

Moles de Aire alimentado: $31.5 \text{ Kgmol } O_2 \frac{1 \text{ Kgmol Aire}}{0.21 \text{ Kgmol } O_2} = 150 \text{ Kgmol Aire}$

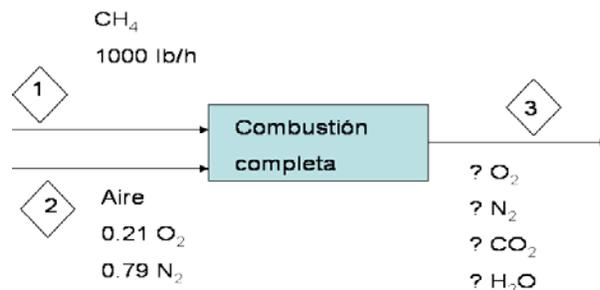
Moles de N_2 alimentado: $31.5 \text{ Kgmol } O_2 \frac{0.79 \text{ Kgmol } N_2}{0.21 \text{ Kgmol } O_2} = 118.5 \text{ Kgmol } N_2$

Moles de Cl_2 producidas: de acuerdo con la estequiometria se producen 50 Kgmol Cl_2

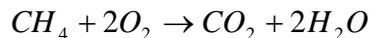
Moles de H_2O producidas: de acuerdo con la estequiometria se producen 50 Kgmol H_2O

Moles a la salida del reactor: $118.5 \text{ Kgmol } N_2 + 50 \text{ kgmol } H_2O + 50 \text{ kgmol } Cl_2 + 6.5 \text{ kgmol } O_2 = 125 \text{ kgmol}$

En un horno se queman 1000 lb/h de metano utilizando 30% de aire de exceso. Determinar la composición de los gases de salida si se considera que la combustión es completa.



Primeramente se plantea la reacción química balanceada



El balance de materia se realizará en base mol, por consiguiente las moles de CH_4 alimentadas son:

$$\text{Moles } CH_4 \text{ alimentadas} : 1000 * \frac{1 \text{ lbmol}}{16 \text{ lb}} = 62.5 \text{ lbmol} / h$$

$$O_2 \text{ requerido estequiométrico: } 62.5 \text{ lbmol} / h CH_4 * \frac{2 \text{ lbmol} / h O_2}{1 \text{ lbmol} / h CH_4} = 125 \text{ lbmol} / h O_2$$

$$O_2 \text{ a limentado} = O_2 \text{ estequiométrico} + O_2 \text{ exceso} = 125 + 125 * 0.3 = 162.5 \text{ lbmol} / h O_2$$

$$\text{Aire, a limentado} = F_2 = \frac{162.5}{0.21} = 773.8 \text{ lbmol} / h \text{ Aire}$$

Balance de materia por componente en base mol

$$\text{Para el } N_2 : 773.8 \text{ lbmol} / \text{hAire} * \frac{0.79 \text{ lbmol} / \text{h}N_2}{1 \text{ lbmol} / \text{hAire}} = 611.302 \text{ lbmol} / \text{h}N_2$$

$$\text{Para el } CO_2 : 62.5 \text{ lbmol} / \text{h}CH_4 * \frac{1 \text{ lbmol} / \text{h}CO_2}{1 \text{ lbmol} / \text{h}CH_4} = 62.5 \text{ lbmol} / \text{h}CO_2$$

$$\text{Para el } H_2O : 62.5 \text{ lbmol} / \text{h}CH_4 * \frac{2 \text{ lbmol} / \text{h}H_2O}{1 \text{ lbmol} / \text{h}CH_4} = 125 \text{ lbmol} / \text{h}H_2O$$

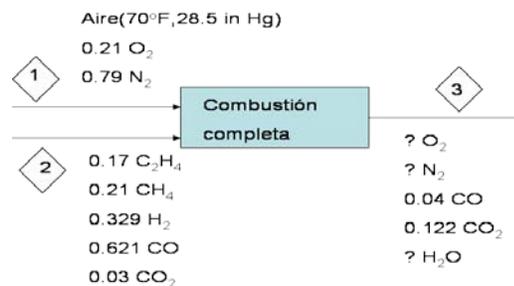
Para el O_2 : $O_{2, salida} = O_{2, alimentado} - O_{2, consumido}$

$$O_{2, salida} = 162.5 - 62.5 \text{ lbmol} / \text{h}CH_4 * \frac{2 \text{ lbmol} / \text{h}O_2}{1 \text{ lbmol} / \text{h}CH_4} = 37.5 \text{ lbmol} / \text{h}O_2$$

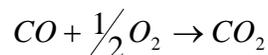
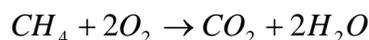
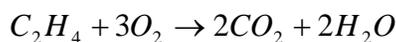
$$F_3 = 611.302 + 62.5 + 125 + 37.5 = 836.302 \text{ lbmol} / \text{h}$$

Un gas de agua se combino con carbono, tiene la siguiente composición 17% mol de etileno, 21 % mol de metano, 32.9 % mol de hidrógeno, 26.1 % mol de monóxido de carbono y 3 % mol de bióxido de carbono, éste gas se quema en un horno, tanto el gas como el aire para la combustión entran a 70 °F y 28.5 in Hg y se encuentran sustancialmente secos. Los gases de combustión contienen 12.2% mol de bióxido de carbono y 0.4% de monóxido de carbono y salen de la chimenea a 680 °F y 27.5 in Hg. Calcular

- Los ft^3 de aire suministrado por ft^3 de combustible alimentado
- El porcentaje de aire en exceso
- Los ft^3 de gases de combustión por ft^3 de combustible



Primeramente se plantean las reacciones químicas balanceada que se llevan a cabo



Se puede observar que etileno, metano e hidrógeno reaccionan completamente y el CO tiene una reacción incompleta.

Se supone una base de 100 lbmol de F_2

Realizando un balance de materia por componente en base mol

Para el CO_2 : $3 + \text{generade}CO_2 = F_3 y_{CO_2,3} = F_3 * 0.122$

$$\text{Genera}CO_2 = 17\text{mol}C_2H_4 * \frac{2\text{mol}CO_2}{1\text{mol}C_2H_4} + 21\text{mol}CH_4 \frac{1\text{mol}CO_2}{1\text{mol}CH_4} + 26.1\text{mol}CO \frac{1\text{mol}CO_2}{1\text{mol}CO} - 0.004F_3$$

$$3 + 17(2) + 21 + 26.1 - 0.004F_3 = 0.122F_3$$

$$F_3 = \frac{3 + 34 + 21 + 26.1}{0.004 + 0.122} = 667.46$$

Para el CO : $\text{entra} - \text{desaparece} = \text{sale}$

$$26.1 - \text{desaparece} = F_3 y_{CO,3} = F_3 * 0.004$$

$$\text{desaparece}CO = 26.1 - 0.004 * 667.46 = 23.43$$

Para el H_2O :

$$\text{Genera}H_2O = 17\text{mol}C_2H_4 * \frac{2\text{mol}H_2O}{1\text{mol}C_2H_4} + 21\text{mol}CH_4 \frac{2\text{mol}H_2O}{1\text{mol}CH_4} + 32.9\text{mol}H_2 \frac{1\text{mol}H_2O}{1\text{mol}H_2} = 108.9\text{mol}$$

$$y_{H_2O} = \frac{108.9}{667.46} = 0.163$$

Para el O_2 : $\text{Moles}O_2\text{entrada} - \text{desaparece}O_2\text{reacción} = \text{moles}O_2\text{salida}$

$$\text{moles}O_2\text{salida} = F_1 * 0.21 - 17\text{moles}C_2H_4 \frac{3\text{moles}O_2}{1\text{mol}C_2H_4} - 21\text{mol}CH_4 \frac{2\text{mol}O_2}{1\text{mol}CH_4} - 32.9\text{mol}H_2 \frac{0.5\text{mol}O_2}{1\text{mol}H_2}$$

$$- (26.1 - 2.67)\text{mol}CO \frac{0.5\text{mol}O_2}{1\text{mol}CO}$$

$$\text{Moles}O_2\text{salida} = F_1 * 0.21 - 17(3) - 21(2) - 32.9(0.5) - 23.43(0.5) = F_1 * 0.21 - 121.165$$

Para el N_2 : $\text{moles}N_2\text{entrada} = \text{moles}N_2\text{salida}$

$$\text{moles}N_2\text{salida} = F_1 * 0.79$$

$$F_3 = 667.46 = \text{moles}CO_2 + \text{moles}CO + \text{moles}H_2O + \text{moles}O_2 + \text{Moles}N_2$$

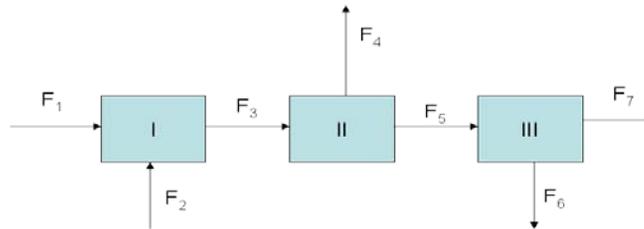
$$667.46 - 667.46 * 0.122 - 667.46 * 0.004 - 667.46 * 0.163 = F_1 * 0.21 - 121.165 + F_1 * 0.79$$

$$667.46 + 121.165 - 667.46 * (0.122 + 0.004 + 0.163) = F_1$$

$$F_1 = 788.625 - 667.46 * 0.289 = 595.73$$

3.6 Balance de materia en operaciones múltiples consecutivas

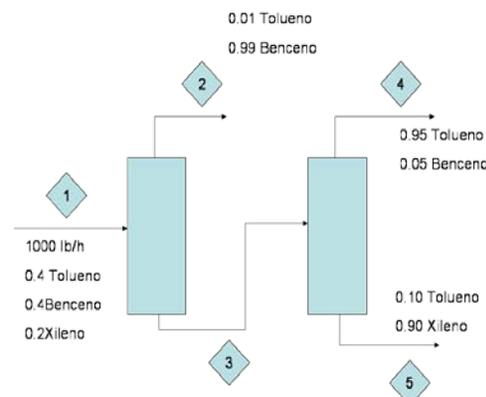
Un diagrama de flujo de proceso de una planta química de proceso o una planta de tratamiento de aguas residuales se componen de muchas unidades interconectadas consecutivamente como se muestra en la figura siguiente



La estrategia para plantear los balances de materia en este tipo de sistemas es muy similar al de una sola operación unitaria, pero ahora la mejor manera es comenzar realizando un balance global y posteriormente empezar a realizar los balances en cada uno de los subsistemas

Los subsistemas pueden estar constituidos equipos de proceso, puntos de unión de tuberías y/o combinación de subsistemas. Podemos escribir balances de materia por componente y global para cada subsistema, así como los balances de materia por componente para el sistema global y el global para el sistema total cuidando que el número de balances planteados sean independientes

Una mezcla gaseosa cuya composición es del 40 % en peso de tolueno, 40% en peso de benceno y 20 % en peso de Xileno se separa en un tren de destilación que consta de 2 torres de destilación. En la primera torre de destilación por el domo sale una mezcla compuesta por 99 % en peso de benceno y 1 % en peso de tolueno y la corriente del fondo pasa a una segunda torre de destilación en donde en el fondo sale una corriente con 10 % en peso de tolueno y 90 % de Xileno y por el domo Sale una corriente de 95 % en peso de Tolueno y 5 % en peso de Benceno. Dado un flujo de entrada de 1000 lb/h, calcule el valor de de las demás corrientes y la composición de la corriente que sale por el fondo de la primera torre de destilación



Balance de materia total en base masa

$$1000 = F_2 + F_4 + F_5$$

Balance de materia por componente en base masa

Xileno: $0.2 * 1000 = 0.9 * F_5$

$$F_5 = \frac{200}{0.9} = 222.22$$

Benceno: $0.4 * 1000 = 0.99 * F_2 + 0.05 * F_4$

$$400 = 0.99 * (1000 - 222.22 - F_4) + 0.05 * F_4$$

$$400 = 770 - 0.99 * F_4 + 0.05 * F_4$$

$$F_4(0.99 - 0.05) = 770 - 400 = 370$$

$$F_4 = \frac{370}{(0.99 - 0.05)} = 393.62$$

$$F_2 = 1000 - 393.62 - 222.22 = 384.16$$

Balance de materia en la segunda torre de destilación

$$F_3 = F_4 + F_5 = 393.62 + 222.22 = 615.84$$

Balance de materia por componente en base masa

Xileno: $w_{Xil,3} * 615.84 = 0.9 * 222.22$

$$w_{Xileno,3} = \frac{0.9 * 222.22}{615.84} = 0.3247$$

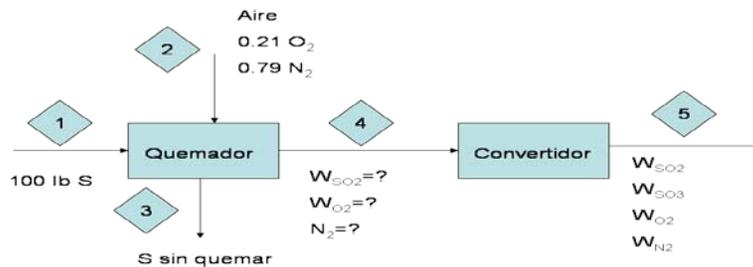
Benceno: $w_{C_6H_6} * 615.84 = 0.05 * 435.29$

$$w_{C_6H_6} = \frac{0.05 * 393.62}{615.84} = 0.0319$$

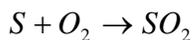
En la siguiente figura se ilustra un proceso simplificado para la producción de urea $CO(NH_2)_2$. Establecer el balance de materia en base masa para el siguiente proceso

En la siguiente figura se ilustra un proceso simplificado para la producción de SO_3 que se usará en la fabricación de ácido sulfúrico. El azufre se quema con 100% de aire en exceso en el quemador, pero sólo se logra una conversión del 90% del S a SO_2 en la reacción $S + SO_2$.

En el convertidor, la conversión de SO_2 a SO_3 tiene un grado de conversión del 95%. Calcule las libras de aire requeridas por cada 100 lb de azufre quemado, y las concentraciones en fracción molar de los componentes del gas de salida del quemador y del convertidor.



Balance de materia en el quemador, donde se lleva a cabo la siguiente reacción:



La conversión es de 90 %

El peso molecular del azufre es de 32 lb/lbmol

$$\text{Lb de azufre alimentado: } 100 \text{ lb S} \frac{1 \text{ lbmol S}}{32 \text{ lb S}} = 3.125 \text{ lbmol S}$$

Moles reaccionadas de S : $3.125 * 0.9 = 2.8125 \text{ lbmol S}$

Moles no reaccionadas de S : $3.125 * (1 - 0.9) = 0.3125 \text{ lbmol S}$

Moles de O₂ requeridas de acuerdo con la estequiometria es: 2.8125 lbmol O_2

$$\text{Moles de Aire requeridas: } 2.8125 \text{ lbmol O}_2 \frac{1 \text{ lbmol Aire}}{0.21 \text{ lbmol O}_2} = 13.39 \text{ lbmol Aire}$$

Moles de Aire alimentado: $13.39 + 13.39 = 26.786 \text{ lbmol Aire}$

$$\text{Libras de Aire alimentado } 26.786 \text{ lbmol Aire} \frac{29 \text{ lb Aire}}{1 \text{ lbmol Aire}} = 776.78 \text{ lb Aire}$$

$$\text{Libras de Aire por lb de Azufre quemado : } \frac{776.78}{2.8125 * 32} = 8.631 \frac{\text{Lb Aire}}{\text{Lb S quemado}}$$

El azufre que se alimenta supuestamente se quema con 100 % de exceso de aire. Por consiguiente:

Los moles de O₂ requeridos de acuerdo con la estequiometria es de 3.125 lbmol O_2

$$\text{Las moles de Aire requeridas son: } 3.125 \text{ lbmol O}_2 \frac{1 \text{ lbmol Aire}}{0.21 \text{ lbmol O}_2} = 14.88 \text{ lbmol Aire}$$

Moles de aire alimentadas son : $14.88 \text{ lbmol aire} + 14.88 \text{ lbmol Aire} = 29.76 \text{ lbmol Aire}$

$$\text{Moles de Nitrógeno alimentado: } 29.76 \text{ lbmol Aire} \frac{0.79 \text{ lbmol N}_2}{1 \text{ lbmol Aire}} = 23.512 \text{ lbmol N}_2$$

$$\text{Moles de Oxígeno alimentado: } 29.76 \text{ lbmol Aire} \frac{0.21 \text{ lbmol O}_2}{1 \text{ lbmol Aire}} = 6.2496 \text{ lbmol O}_2$$

$$\text{Moles de Oxígeno a la salida del quemador: } 6.2496 - 2.8125 = 3.4371 \text{ lbmol O}_2$$

Moles generadas de SO_2 a la salida del quemador: 2.8125 lbmol SO_2
 Moles de S sin quemar: 0.3125 lbmol S
 Moles totales : 29.7616

Fracción mol $SO_2 = 0.0945$
 Fracción mol $O_2 = 0.11548$
 Fracción mol $N_2 = 0.7900$

Balance en el convertidor

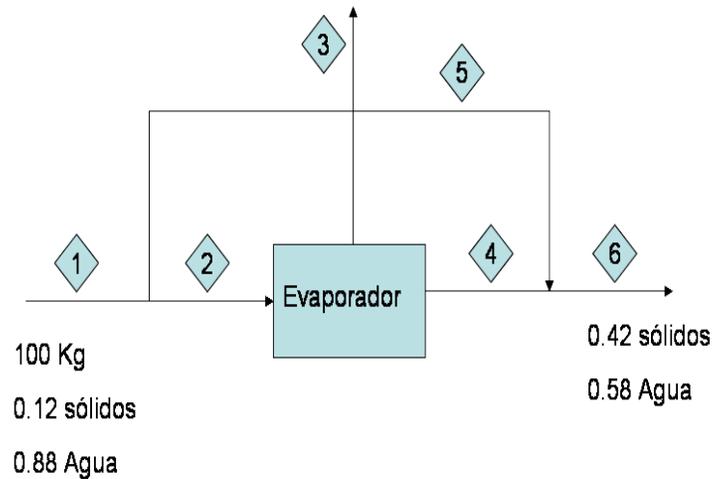


Moles reaccionadas: $2.8125 \cdot 0.95 = 2.671875$
 Moles no reaccionadas de SO_2 : 0.1406
 Moles requeridas de O_2 de acuerdo con la estequiometria: 1.33593 lbmol O_2
 Moles de O_2 no reaccionadas: 2.10116
 Moles de N_2 : 23.512
 Moles SO_3 formadas: 2.671875
 Moles totales : 28.425
 Fracción mol de $SO_3 = 0.094$
 Fracción mol de $SO_2 = 0.0049$
 Fracción Mol de $O_2 = 0.0739$
 Fracción mol de $N_2 = 0.827$

3.7 Balance de materia en operaciones con derivación o recirculación

El jugo de naranja fresco contiene 12% en peso de sólidos y el resto es agua, mientras que el jugo de naranja concentrado contiene 42% en peso de sólidos. Inicialmente se empleaba un solo proceso de evaporación para la concentración, pero los componentes volátiles del jugo escapaban con el agua, afectando el sabor final del concentrado. El proceso actual supera este problema mediante la derivación de una fracción del jugo fresco, de manera que no pase por el evaporador; el jugo que entra al evaporador se concentra hasta alcanzar un 58% de sólidos, mezclándose el producto con la corriente derivada de jugo fresco, a fin de lograr la concentración final de sólidos deseados.

Calcular la cantidad de jugo concentrado producido por cada 100 Kg de jugo fresco alimentado al proceso, así como la fracción de la alimentación que se deriva antes de llegar al evaporador.



Balance de materia total en base masa en todo el proceso

$$F_1 = 100 = F_3 + F_6$$

Balance de materia por componente en base masa para todo el proceso

$$\text{Sólido: } 0.12 * 100 = 0.42 * F_6$$

$$F_6 = \frac{0.12 * 100}{0.42} = 28.571$$

$$F_3 = F_1 - F_6 = 100 - 28.571 = 71.428$$

Balance en el mezclador de corrientes

$$F_4 + F_5 = F_6 = 28.571 \text{ lb}$$

Balance de materia por componente en el mezclador

$$\text{Sólidos: } 0.58 * F_4 + 0.12 * F_5 = 0.42 * 28.571 = 12$$

$$F_5 = 28.57 - F_4$$

$$0.58 * F_4 + 0.12 * (28.57 - F_4) = 12$$

$$F_4(0.58 - 0.12) = 12 - 0.12 * 28.57$$

$$F_4 = \frac{12 - 0.12 * 28.57}{0.58 - 0.12} = 18.634$$

$$F_5 = 28.57 - 18.634 = 9.936$$

Balance de materia total en el separador de corrientes

$$F_1 = F_5 + F_2$$

$$F_2 = F_1 - F_5 = 100 - 9.936 = 90.064$$

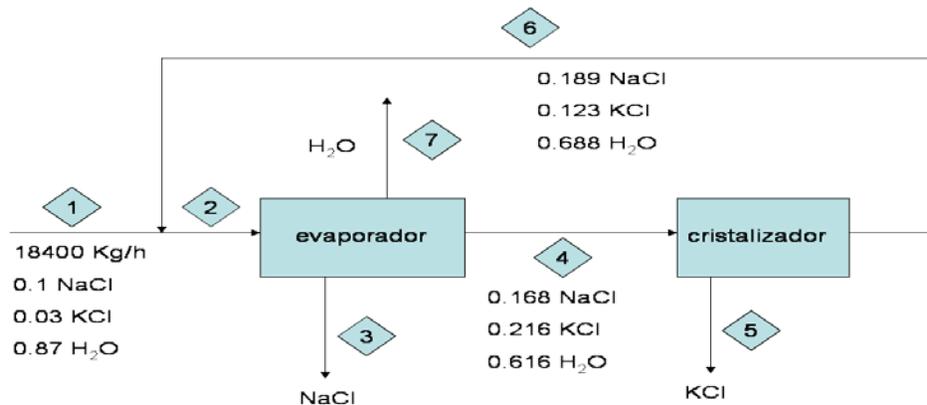
Se piensa desalinizar agua de mar por osmosis inversa usando el proceso que se muestra en la figura. Usar los datos de la figura para determinar:

- La velocidad de extracción de la salmuera de desperdicio
- La velocidad de producción de agua desalinizada (considerada como agua potable)

- c) La fracción de salmuera que sale de la celda de osmosis (que actúa esencialmente como un separador) para ser recirculada.

Al proceso que se muestra en la figura siguiente se alimentan 18400 kg/hr de una solución que contiene 10% de NaCl, 3% de KCl y 87 % de agua. Las composiciones de las corrientes son como sigue:

Componente	NaCl	KCl	H ₂ O
Producto evaporado (P)	16.8	21.6	61.6
Recirculación (R)	18.9	12.3	68.8



Balance de materia en todo el proceso en base masa

$$F_1 = 18400 = F_3 + F_5 + F_7$$

Balance de materia por componente en base masa

$$\text{H}_2\text{O} : 0.87 * 18400 = F_7 = 16008 \text{ lb H}_2\text{O}$$

$$\text{NaCl} : 0.1 * 18400 = F_3 = 1840 \text{ lb NaCl}$$

$$\text{KCl} : 0.03 * 18400 = F_5 = 552 \text{ lb KCl}$$

Balance de materia total en base masa en el mezclador

$$18400 + F_6 = F_2$$

Balance de materia por componente en base masa en el mezclador

$$\text{NaCl} : 1840 + 0.189 * F_6 = w_{\text{NaCl}} F_2 \text{ (no es recomendable este balance)}$$

Balance de materia total en base masa en el cristalizador

$$F_4 = 552 + F_6$$

Balance de materia por componente en base masa en el cristalizador

$$\text{KCl} : 0.216 * F_4 = 552 + 0.123 * F_6$$

$$0.216 * (552 + F_6) = 552 + 0.123 * F_6$$

$$0.216 * 552 + 0.216 * F_6 = 552 + 0.123 * F_6$$

$$F_6 = \frac{552 - 0.216 * 552}{0.216 - 0.123} = 4653.419$$

$$F_4 = 552 + 4653.419 = 5205.419$$

Balance materia total en base masa en el evaporador

$$F_2 = F_3 + F_4 + F_7 = 1840 + 5205.419 + 16008 = 23053.419$$

Balance de materia por componente en base masa en el evaporador

$$\text{H}_2\text{O}: w_{\text{H}_2\text{O},2}(23053.419) = 16008 + 0.616 * 5205.419$$

$$w_{\text{H}_2\text{O},2} = \frac{16008 + 0.616 * 5205.419}{23053.419} = 0.833$$

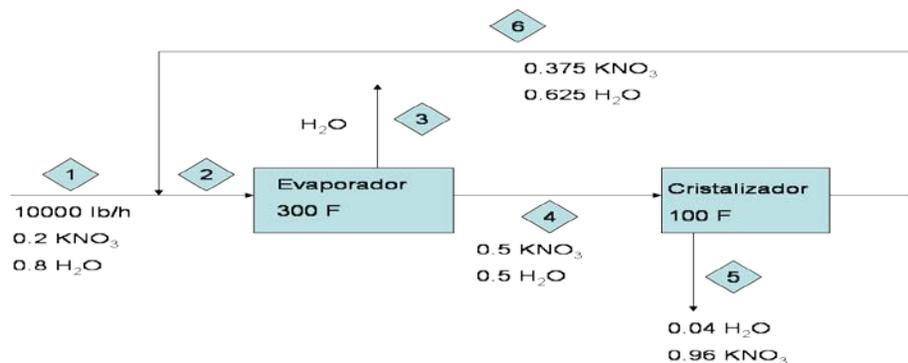
$$\text{NaCl}: w_{\text{NaCl},2}(23053.419) = 1840 + 0.168 * 5205.419$$

$$w_{\text{NaCl},2} = \frac{1840 + 0.168 * 5205.419}{23053.419} = 0.1177$$

$$\text{KCl}: w_{\text{KCl},2}(23053.419) = 0.216 * 5205.419$$

$$w_{\text{KCl},2} = \frac{0.216 * 5205.419}{23053.419} = 0.0488$$

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7
Componentes							
Flujo total Kg/h	18400	23053.42	1840	5205.42	552	4653.42	16008
w_{NaCl}	0.1	0.1177	1.000		-		-
w_{KCl}	0.03	0.0488	-		1.000		-
$w_{\text{H}_2\text{O}}$	0.87	0.8334	-		-		1.000



Balance de materia total en base masa en todo el proceso

$$10000 = F_3 + F_5$$

Balance de materia por componente en base masa para todo el proceso

$$\text{KNO}_3 : 0.2 * 10000 = 0.96 * F_5$$

$$F_5 = \frac{2000}{0.96} = 2083.33$$

$$F_3 = 10000 - 2083.33 = 7916.66$$

Balance de materia total en base masa en el cristalizador

$$F_4 = F_5 + F_6 = 2083.33 + F_6$$

Balance de materia por componente en base masa para el cristalizador

$$\text{KNO}_3: 0.5 * F_4 = 0.96 * 2083.33 + 0.375 F_6$$

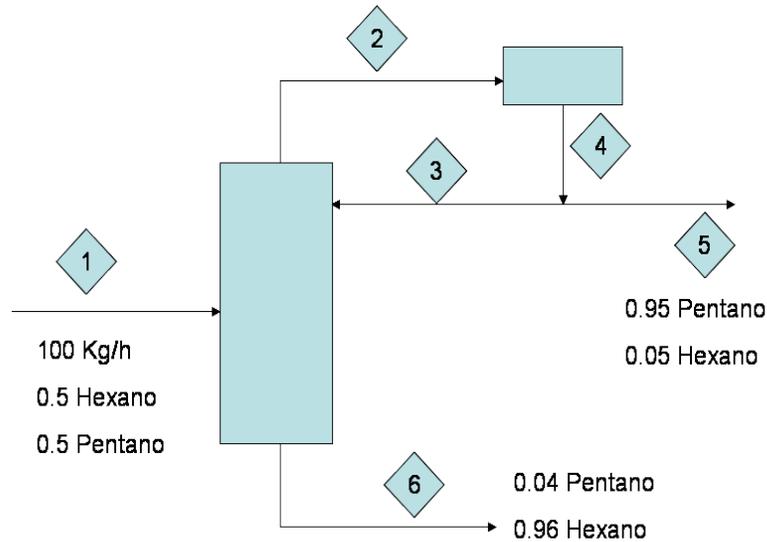
$$0.5(2083.33 + F_6) = 0.96 * 2083.33 + 0.375 * F_6$$

$$F_6(0.5 - 0.375) = 0.96 * 2083.33 - 0.5 * 2083.33$$

$$F_6 = \frac{0.96 * 2083.33 - 0.5 * 2083.33}{0.5 - 0.375} = 7666.65 \text{ lb}$$

Corriente Componente	1	2	3	4	5	6
Flujo Total lb/h	10000	17666.65	7916.66	9749.98	2083.33	7666.65
w_{KNO_3}	0.200	0.270	----	0.500	0.960	0.375
$w_{\text{H}_2\text{O}}$	0.800	0.730	1.000	0.500	0.040	0.625

Debe diseñarse una columna de destilación a fin de separar una mezcla que contiene 50% en peso de hexano y 50% en peso de pentano. La corriente superior de producto debe contener 95% en peso de pentano, mientras que los fondos deben contener 96% en peso de hexano. La corriente que abandona el domo de la columna se condensa; una porción de la corriente condensada se retorna a la columna como reflujo, eliminándose el resto como producto. La relación de reflujo es de 0.6



Balance de materia total en base masa

$$100 = F_5 + F_6$$

Balance de materia por componente en base masa

Hexano: $0.5 * 100 = 0.05 * F_5 + 0.96 * F_6$

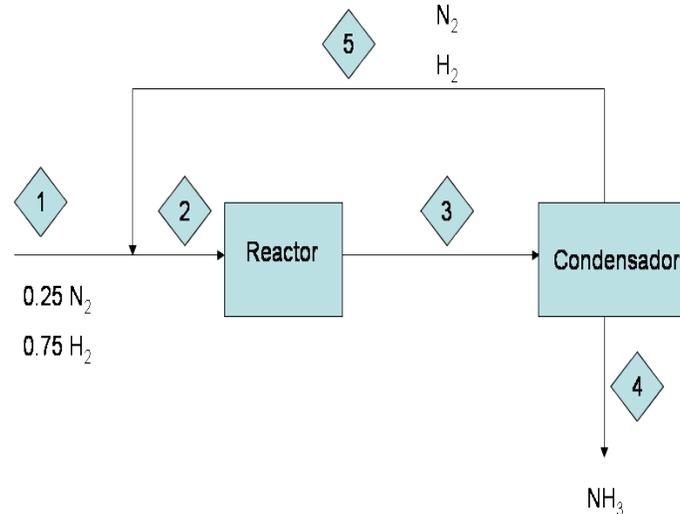
$$50 = 0.05 * F_5 + 0.96 * (100 - F_5)$$

$$50 = 0.05 * F_5 + 96 - 0.96F_5$$

$$F_5 = \frac{96 - 50}{0.96 - 0.05} = 50.55$$

$$F_6 = 100 - 50.55 = 49.45$$

En la producción de NH_3 la relación molar entre el N_2 y el H_2 en la alimentación a todo el proceso es de 1 de N_2 a 3 de H_2 . De la carga que se alimenta al reactor, el 25% se transforma en NH_3 . El NH_3 que se forma se condensa al estado líquido y se extrae completamente del reactor, mientras que N_2 y H_2 que no reaccionaron se reciclan de nuevo para mezclarse con la carga de alimentación al proceso. ¿Cuál es la relación entre la recirculación y la carga de alimentación expresada en libras de recirculación por libras de carga de alimentación. La carga de alimentación se encuentra a 100°F y 10 atm, mientras que el producto se encuentra a 40°F y 8 atm.



Base: 100 lbmol de NH_3

Balance de materia en base mol en el reactor

$$\text{moles } N_2 \text{ salida reactor} = \Phi(1 - 0.25) = 0.75 * \Phi$$

$$\text{moles } NH_3 \text{ salida} = 2 * 0.25 * \Phi$$

$$\text{moles de } H_2, \text{ salida} = \text{moles } H_2 \text{ entrada} - \frac{-3}{-1} * 0.25 * \Phi$$

$$\text{Moles de } H_2 \text{ alimentadas} = \frac{\text{Moles } H_2 \text{ generadas}}{\text{conversión}} = \frac{150}{0.25} = 600$$

$$H_2 \text{ salida} = H_2 \text{ entrada} - 3 * 0.25 * \frac{100}{2 * 0.25} = 600 - 150 = 450 \text{ lbmol } H_2$$

Balance de materia en base mol en el condensador

$$NH_3: 2 * 0.25 * \Phi = 100$$

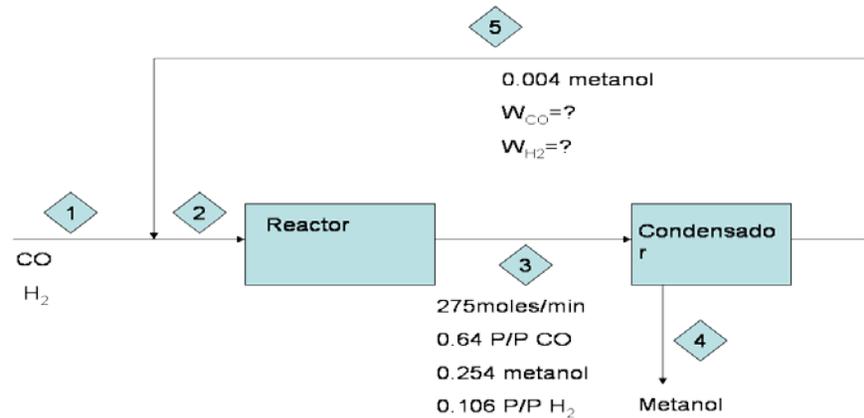
$$\text{Moles de } N_2 \text{ alimentadas al reactor: } \Phi = \frac{100}{2 * 0.25} = 200 \text{ lbmol } N_2$$

$$\text{Moles de } N_2 \text{ a la salida del reactor: } 0.75 * \frac{100}{2 * 0.25} = 150 \text{ lbmol } N_2$$

Moles alimentada N_2 en la corriente 1 : 50 lbmol de N_2

Moles totales de la corriente 1: $50/0.25 = 200$ lbmol

Se produce metanol haciendo reaccionar monóxido de carbono con hidrógeno. Una porción del metanol abandona el reactor se condensa, recirculándose al reactor el monóxido de carbono y el hidrógeno sin consumir, así como el metanol sin condensar. La corriente de salida del reactor fluye con un flujo de 275 moles/min, y contiene 10.6 % en peso de H_2 , 64% en peso de CO y 25.4% en peso de metanol. La fracción mol de metanol en la corriente de recirculación es de 0.004. Calcular los flujos molares de CO y H_2 en la alimentación fresca y la velocidad de producción de metanol.



Es necesario pasar las fracciones peso a fracciones g-mol

$$0.106 \text{ g H}_2 \frac{1 \text{ gmol H}_2}{2 \text{ g H}_2} = 0.053 \text{ gmol H}_2$$

$$0.64 \text{ g CO} \frac{1 \text{ gmol CO}}{28 \text{ g CO}} = 0.022857 \text{ gmol CO}$$

$$0.254 \text{ g CH}_3\text{OH} \frac{1 \text{ gmol CH}_3\text{OH}}{32 \text{ g CH}_3\text{OH}} = 0.00793 \text{ gmol CH}_3\text{OH}$$

$$y_{\text{H}_2} = \frac{0.053}{0.083787} = 0.632$$

$$y_{\text{CO}} = \frac{0.022857}{0.083787} = 0.272$$

$$y_{\text{CH}_3\text{OH}} = \frac{0.00793}{0.083787} = 0.0946$$

Balance de materia en base mol total en el condensador

$$F_3 = 275 \text{ gmol} / \text{min} = F_4 + F_5$$

Balance de materia en base mol por componente en el condensador

$$0.004 \text{ g CH}_3\text{OH} \frac{1 \text{ gmol CH}_3\text{OH}}{32 \text{ g CH}_3\text{OH}} = 0.000125$$

$$\text{CH}_3\text{OH: } 0.0946 * 275 = 0.004 * F_5 + F_4$$

$$0.0946 * 275 = 0.004 * F_5 + 275 - F_5$$

$$F_5(1 - 0.004) = 275 - 0.0946 * 275$$

$$F_5 = \frac{275(1 - 0.0946)}{1 - 0.004} = 249.984 \text{ gmol} / \text{min}$$

$$F_4 = 275 - 249.984 = 25.015 \text{ gmol} / \text{min}$$

$$\text{H}_2 : 0.6326 * 275 = 249.984 * y_{\text{H}_2,5}$$

$$y_{\text{H}_2,5} = \frac{0.6326 * 275}{249.984} = 0.6959$$

$$\text{CO}_2: 0.273 * 275 = 249.984 * y_{\text{CO},5}$$

$$y_{\text{CO},5} = \frac{0.273 * 275}{249.984} = 0.3003$$

$$y_{\text{CH}_3\text{OH}} = 0.004$$

Balance de materia en base mol por componente en el reactor

La reacción es la siguiente $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$

Las moles de CO a la salida del reactor es de 74.8 mol/min

Las moles de H₂ a la salida del reactor es de 173.8 moles /min

Las moles de CH₃OH a la salida del reactor es de 26. 015 moles/min

Las moles de CH₃OH alimentadas al reactor es de 0.999936 moles/min

Las moles de CH₃OH generadas en el reactor son 26.015 – 0.999936 igual a 25.015064

Las moles requeridas por la reacción de CO es 25.015064 moles/min

Las moles requeridas por la reacción de H₂ es de 50.030128 moles / min

Las moles alimentadas al reactor de CO es la suma de las moles reaccionadas 25.015064 moles/min más las moles no reaccionadas que son 74.8 mole/min, siendo igual a 99.815064 moles/min

Las moles alimentadas al reactor de H₂ es la suma de las moles reaccionadas es 50.030128 moles/min mas las moles no reaccionadas que son 173.8 moles/min, siendo igual a 223.830128 moles/min

El flujo total de la corriente de alimentación al reactor es de 324.645128 moles/min

Realizando un balance de moles en la mezcla de corrientes, se tiene

$$F_1 + F_5 = F_2$$

$$F_1 = F_2 - F_5 = 324.645 - 249.984 = 75.1 \text{ mol / min}$$

Realizando un balance por componente

$$\text{H}_2: y_{\text{H}_2,1} * 75.1 + 249.984 * 0.6959 = 324.645 * 0.689$$

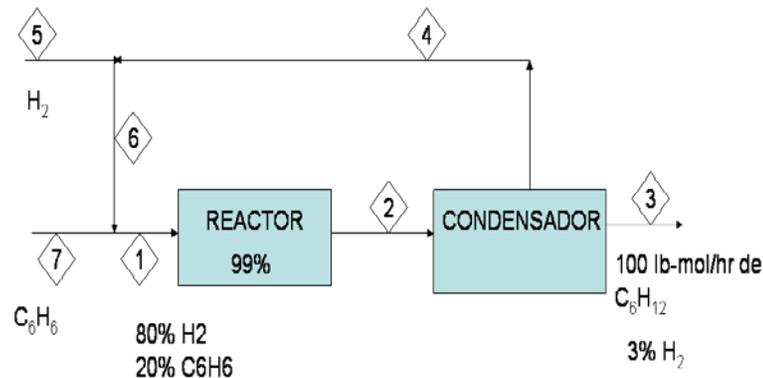
$$y_{\text{H}_2,1} = \frac{324.645 * 0.689 - 249.984 * 0.6959}{75.1} = 0.662$$

$$\text{CO: } y_{\text{CO},1} * 75.1 + 249.984 * 0.3003 = 324.645 * 0.307$$

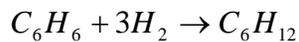
$$y_{\text{CO},1} = \frac{324.645128 * 0.307 - 249.984 * 0.3003}{75.1} = 0.328$$

Reacciona benceno con hidrógeno para formar ciclohexano. La planta produce 100 lb-mol de ciclohexano por hora y en ella el 99% del benceno reacciona para formar ciclohexano. La corriente de entrada al reactor esta formada por 80 % mol de H_2 y 20 % mol de benceno. Si la corriente de producto contiene 3% mol de H_2 . Determinar

- La composición de la corriente de producto
- Los flujos de alimentación de benceno y hidrógeno
- La relación de recirculación del hidrógeno que sale del reactor



La reacción química balanceada es la siguiente:



La relación de alimentación de hidrógeno/benceno es de 4, por lo tanto sea Φ las lb-mol de C_6H_6 alimentadas al reactor, entonces se puede tabular las corrientes con respecto a los componentes presentes. Para construir es conveniente expresar todos los valores en términos de una incognita (Φ , lbmol de C_6H_6), la cual es común que sea uno de los reactivos.

Debido a que el reactivo limitante es el C_6H_6 , entonces el grado de conversión de éste es de 99 %. Por consiguiente, las lb-mol de C_6H_6 a la salida del reactor se determinan a partir de la definición de grado de conversión, donde

$$x_{\text{C}_6\text{H}_6} = 1 - \frac{\text{moles finales } \text{C}_6\text{H}_6}{\text{mole sin iciales } \text{C}_6\text{H}_6}$$

$$\text{moles finales } C_6H_6 = \text{mole siniciales } C_6H_6 (1 - x_{C_6H_6}) = \Phi * (1 - 0.99) = 0.01\Phi$$

La expresión de cambio del número de moles de la especie "i" en términos de grado de conversión a temperatura, presión y volumen constante, esta dada por:

$$n_i = n_i^0 - \frac{V_i}{V_A} x_A n_A^0$$

Entonces, las moles de las demás especies son:

$$\text{moles finales } H_2 = 4\Phi - \frac{-3}{-1} x_{C_6H_6} \Phi = 4\Phi - 3 * 0.99 * \Phi = 1.03\Phi$$

$$\text{moles finales } C_6H_{12} = 0 - \frac{1}{-1} x_{C_6H_6} \Phi = x_{C_6H_6} \Phi = 0.99\Phi$$

Por otra parte, para el condensador se tiene 3 % mol es H_2 y el 97 % mol corresponde a las moles de benceno y ciclohexano.

Realizando un balance de masa en base mol en el condensador para el componente de ciclohexano

$$0.99\Phi = 100 \text{ lbmol } C_6H_{12} / \text{hr}$$

$$\Phi = \frac{100}{0.99} = 101.01 \text{ lbmol } C_6H_6$$

Para el benceno el balance de masa en base mol es el siguiente:

$$\text{moles producto } C_6H_6 = 0.01\Phi$$

Las moles de benceno y ciclohexano corresponden al 97 % de la corriente producto. Por consiguiente las moles de H_2 en la corriente producto y que corresponden al 3 %, esta dado por:

$$\text{moles } H_2 \text{ producto} = \frac{0.99\Phi + 0.01\Phi}{0.97} * 0.03 = 0.0309\Phi$$

Para conocer las moles de H_2 que recirculan se realiza un balance masa en base molar en el condensador

$$\text{moles } H_2 \text{ recirculado} = \text{moles } H_2 \text{ a la salida del reactor} - \text{moles } H_2 \text{ producto}$$

$$\text{moles } H_2 \text{ recirculado} = 1.03\Phi - 0.0309\Phi = 0.9991\Phi$$

Para el mezclador de las corrientes 4, 5 y 6 permite determinar las moles de H_2 alimentadas.

$$\text{moles } H_2 \text{ a limentadas} + \text{moles } H_2 \text{ recirculadas} = \text{moles } H_2 \text{ al reactor}$$

$$\text{moles } H_2 \text{ alimentadas} = 4\Phi - 0.9991\Phi = 3.0009\Phi$$

$$\text{moles totales de producto} = \frac{0.99\Phi + 0.01\Phi}{0.97} = \frac{101.01 + 1.0101}{0.97} = 105.175 \text{ lbmol}$$

En la siguiente tabla se muestra el balance de materia en base mol para cada una de las corrientes y productos que participan en el proceso químico en función de las moles de benceno que entran al reactor.

Las moles de hidrógeno en la corriente de producto

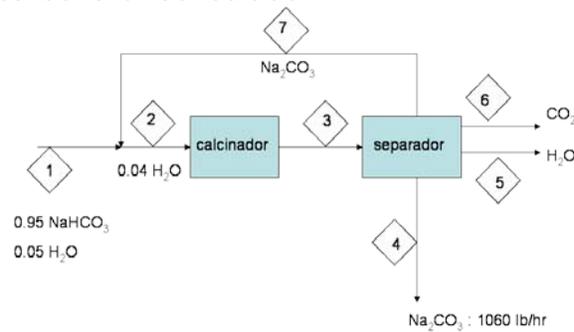
$$\text{moles } H_2 \text{ producto} = 0.03 * 105.175 = 3.155 \text{ lbmol } H_2$$

Para la producción de carbonato de sodio, el bicarbonato de sodio húmedo es calcinado de acuerdo con la siguiente reacción.



El bicarbonato húmedo alimentado es introducido después de ser mezclado con el carbonato de sodio recirculado. Todo el CO_2 y el agua salen como gas. El bicarbonato húmedo alimentado contiene 5% mol de H_2O . La alimentación combinada al calcinador no debe tener más de 4% mol de H_2O . Si se desean producir 1060 lb/hr de carbonato de sodio seco. Determine

- Cada una de las corrientes
- La fracción de carbonato recirculado



Se propone a x como el número de lb-mol de $NaHCO_3$ alimentado, por consiguiente las lb-mol totales alimentadas son:

$$\text{El flujo de alimentación es: } \text{lbmola lim entadas} = \frac{x}{0.95} = 1.0526x$$

El flujo de alimentación de H_2O : $lbmolH_2O = 0.05 * 1.0526x = 0.0526x$

Realizando un balance de materiales base mol en el mezclador, tenemos

$$F_1 + F_7 = F_2$$

Realizando un balance por componente para el H_2O

Para el componente de H_2O : $0.0526x = F_2 * 0.04$

$$F_2 = \frac{0.0526x}{0.04} = 1.315x$$

Por lo tanto F_7 es igual a :

$$F_7 = F_3 - F_1 = 1.315x - 1.0526x = 0.2624x$$

Para el componente $NaHCO_3$: $1.0526x * 0.95 = 1.0x = F_2 * x_{NaHCO_3}$

$$x_{NaHCO_3} = \frac{1.0526x * 0.95}{1.315x} = 0.7604$$

$$x_{Na_2CO_3} = 1 - x_{NaHCO_3} - x_{H_2O} = 0.1996$$

$$\text{moles } NaHCO_3 \text{ en } F_2 = 1.315x * 0.7604 = x$$

$$\text{moles } H_2O \text{ en } F_2 = 1.315x * 0.04 = 0.0526x$$

$$\text{moles } Na_2CO_3 \text{ en } F_2 = 1.315x * 0.1996 = 0.26247x$$

Realizando el balance de materia en base mol en el calcinador

Moles de H_2O en la corriente F_3

$$n_i = n_i^0 - \frac{V_i}{V_A} x_A n_A^0$$

$$\text{moles } H_2O \text{ en } F_3 = 0.0526x - \frac{1}{-2}x = 0.0526x + 0.5x = 0.5526x$$

Moles $NaHCO_3$ en F_3 es cero debido a que la reacción es completa

$$\text{Moles } Na_2CO_3 \text{ en } F_3 : 0.26247x - \frac{1}{-2}x = 0.26247x + 0.5x = 0.76247x$$

$$\text{Moles } CO_2 \text{ en } F_3 = 0.0 - \frac{1}{-2}x = 0.5x$$

$$\text{Moles totales en } F_3 = 0.5526x + 0.76247x + 0.5x = 1.815x$$

Realizando el balance de materia en base mol en el separador

Para el componente CO_2 : $0.5x = F_6$

Para el componente H_2O $0.5526x = F_5$

Para el componente Na_2CO_3 : $0.76247x = 1060 \text{ lb/hr} * \frac{1 \text{ lb} - \text{mol}}{106 \text{ lb}} + 0.2624x$

$$0.76247x - 0.2624x = 10 = 0.5x$$

$$x = 20$$

Problemas propuestos

Una disolución de celulosa contiene 5.2% en peso de celulosa en agua. ¿Cuántos Kilogramos de una disolución al 1.2% se requiere para diluir 100 Kg de la disolución 5.2% a 4.2%?

Una corriente formada por una mezcla de ácidos contiene 65% en peso H_2SO_4 , 20% en peso HNO_3 , 15% en peso de H_2O , esta corriente proviene de mezclar los siguientes líquidos un ácido residual que contiene 10% en peso de HNO_3 , 60% en peso de H_2SO_4 y 30% de H_2O , ácido nítrico concentrado con 90% de ácido nítrico y 10% en peso de H_2O , y una tercer corriente de ácido sulfúrico concentrado con 95% en peso de sulfúrico y 5 % en peso de H_2O . Calcular la cantidad de cada una de estas corrientes para obtener un flujo de 1000lb/hr de la mezcla ácida.

Una disolución acuosa que contiene 10% de ácido acético se agrega a una disolución acuosa que contiene 30% de ácido acético y que fluye a razón de 20 kg/min. El producto de la combinación sale a razón de 100 kg/min. Realice un balance para conocer las incógnitas.

Una mezcla de petróleo con 4 componentes que contiene 20% en peso de propano, 20% en peso de isobutano, 20% de isopentano y 40% en peso de pentano normal se alimenta a una columna de destilación, se espera que todo el propano aparezca en el destilado y no contenga nada de pentano normal. También se espera que el destilado contenga 50% de propano, 45% de isobutano. A partir de esta información calcular la composición del residuo.

Se desean obtener 780 lb de una solución que contenga 15 % en peso de sólido para ello se cuenta con un tanque el cual contiene una solución de 9.5 % en peso de sólido. Determinar las cantidades de solución en el tanque y sólido necesario a adicionar para obtener el producto deseado

Una ciudad situada en las riberas de un río grande descarga sus residuos tratados al río de manera continua. El caudal mínimo del río es de $210 \text{ m}^3/\text{s}$, y la planta de tratamiento descarga $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Si el límite máximo aceptable para un cierto contaminante es de 1 ppm (1 mg/L), Cual es la concentración máxima del contaminante, en mg/L, que se puede descargar sin peligro de la planta de la contaminación del agua

Se alimento a un mezclador tres soluciones, la primera contiene 35% del componente A, 40% del componente B y el resto de C; la segunda contiene 90% de A y el resto de C y la tercera, 85% de B y el resto de C de tal forma que a la salida del mezclador se obtienen 10000 Kg de una solución que contiene 50% de A y 30% de B y el resto de C. Determinar la magnitud de cada una de las corrientes que se alimentan al mezclador

Se desean obtener 4000 lb de una solución que contenga 37% en peso de sólidos por lo cual se alimentan a un evaporador una solución que contiene el 13% en peso de sólidos. Determinar la solución a alimentar y la cantidad de agua que es necesaria evaporar.

Se alimentan 150 Kg de azúcar húmeda a un secador. En el cual se elimina el 75 % de agua. Si la azúcar alimentada contiene el 20 % en peso de agua. Determinar

- La composición de la corriente que sale del secador
- La cantidad de agua eliminada por Kg de azúcar húmeda que abandona el secador

Una planta de laca debe entregar 1000 lb de una disolución de nitrocelulosa al 8%. Tienen en existencia una disolución al 5.5%. ¿Cuánta nitrocelulosa seca deben disolver en la disolución para surtir el pedido?

Con objeto de preparar una disolución de ácido sulfúrico al 50 %, un ácido diluido de desecho que contiene 28% de ácido sulfúrico se mezcla con un ácido comprado que contiene 96% de ácido sulfúrico. ¿Cuántos kilogramos del ácido concentrado será necesario adquirir por cada 100 kg de ácido diluido?

Una solución de sosa cáustica al 10 % en peso se concentra en un evaporador donde se vaporizan y remueven 1000 lb de agua. La temperatura de ebullición es de 140 °F y la solución final del cáustico es 26.8 % en peso. Calcule la masa de la alimentación.

Un gas que contiene 80% de CH_4 y 20% de He se hace pasar por un tubo de difusión de cuarzo con objeto de recuperar el helio. Se recupera el 20% de He en peso del gas original, y su composición es de 50% de He. Calcule la composición del gas de desecho si cada minuto se procesan 100 Kgmol de gas. La presión inicial del gas es de 120 kPa, y la final es de 115 kPa. El barómetro indica 740 mmHg. La temperatura del proceso es de 22 °C.

La alimentación a una torre de destilación contiene 60% en peso de un componente A y el resto de un componente B. Se desea obtener 3620 Kg de un destilado que contenga 87% en peso de A y un residuo con 6.5 % en peso de A. Determinar la alimentación y el residuo a esas condiciones.

Se tiene una mezcla de componentes w y z en proporción 52 y 48 % en peso respectivamente, se introduce a una columna de destilación de la cual se desea obtener un destilado que contenga el 22% de w y un residuo con 10% de w. Determinar que cantidad de destilado y residuo se obtienen por cada Kg de alimentación.

En un horno se queman 16 Kg/min de metano con 300 Kg/min de aire. Determinar la composición de los gases de salida si se considera que la combustión es completa.

Un combustible líquido residual va ser quemado con un 40% de exceso de aire. Su composición expresada en % peso es la siguiente: Carbón es de 86.5 %, H₂ es de 9.63%, S es de 3.5%, H₂O es de 0.05% y de cenizas es de 0.32 %.

Calcule:

- Los m³ de aire para la combustión, si los componentes susceptibles de ser oxidados son el carbón, hidrógeno y azufre a 25 °C y 1 atm..
- El total de los gases producidos
- La concentración de cada uno de los óxidos si el 97% del azufre es oxidado a dióxido y el 3% a trióxido

Un gas industrial tiene la siguiente composición 35% mol CO, 45% mol H₂, 10% mol de N₂, 5% mol de O₂ y 5% mol CO₂, en vez de tirar este gas resulta más económico quemarlo con la suficiente cantidad de aire de tal manera que el oxígeno total disponible para la combustión es el requerido para la combustión completa. Los gases de salida que están lo suficientemente calientes para mantener toda el agua formada en fase de vapor conteniendo 61.4 % mol de N₂ y 19.4 % mol de H₂O. Calcular el % de avance de la combustión del hidrógeno.

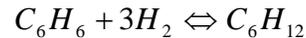
El formaldehído se produce por la oxidación catalítica del metanol con aire, cuando el proceso opera en forma adecuada, la relación del volumen de aire a volumen de metanol en la alimentación es de 6:1 y la conversión del metanol a formaldehído es del 30%. Esta conversión a disminuido repentinamente y un análisis de los gases de salida del reactor indica los siguientes porcentajes 63.1 % mol de N₂, 13.4% mol de O₂, 5.9% mol de H₂O, 4.1% mol formaldehído, 12.3 % mol CH₃OH y 1.3% mol de ácido fórmico. Calcular

- la conversión de metanol a formaldehído bajo estas condiciones.
- En base al balance de materiales detectar las posibles causas de la disminución

El C₆H₆ se convierte en C₆H₁₂ mediante reacción directa con H₂. La alimentación nueva al proceso es de 260 L/min de C₆H₆ más 950 L/min de H₂ a 100°C y 150 kPa. La conversión del H₂ en una sola pasada por el reactor es del 48%, en tanto que la conversión global de H₂ en el proceso es del 75%. La corriente de reciclaje contiene 80% de H₂ y el resto es C₆H₆ (nada de ciclohexano).

- Determine el flujo molar de H₂, C₆H₆ y ciclohexano en el producto que sale
- Determine el flujo volumétrico de la corriente producto si sale a 100 kPa y 200°C
- Determine el flujo molar de la corriente de reciclaje y el flujo volumétrico si la corriente de reciclaje está a 100°C y 100 kPa

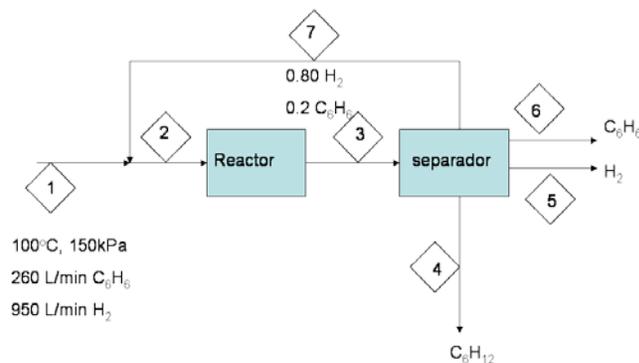
La reacción de hidrogenación de benceno es la siguiente:



Primeramente se determina el flujo molar en la alimentación usando la ecuación del gas ideal

$$\text{Flujo molar de } C_6H_6 = \frac{PQ}{RT} = \frac{150kPa * 260l / \text{min} * 1000cm^3 / l}{8314cm^3 kPa mol^{-1} K^{-1} * 373K} = 12.576 mol C_6H_6 / \text{min}$$

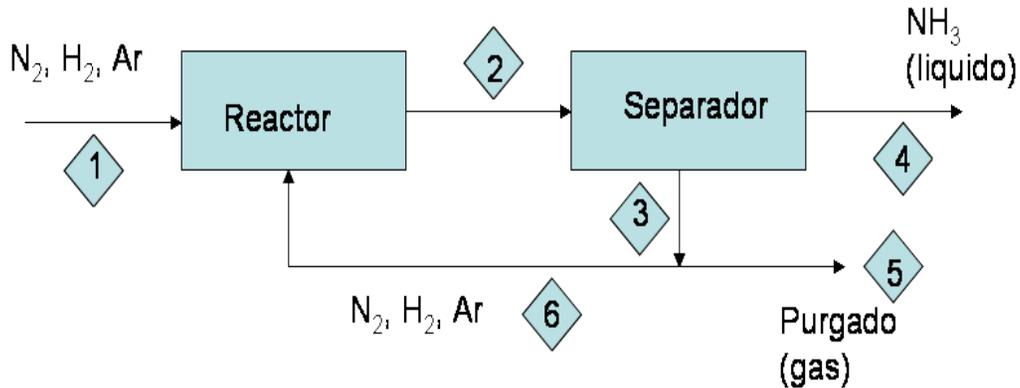
$$\text{Flujo molar de } H_2 = \frac{PQ}{RT} = \frac{150kPa * 950l / \text{min} * 1000cm^3 / l}{8314cm^3 kPa mol^{-1} K^{-1} * 373K} = 45.95 mol H_2 / \text{min}$$



En el famoso proceso Haber para fabricar amoníaco, la reacción se lleva a cabo a presiones de 800 a 1000 atm y a 500- 600 °C empleando un catalizador apropiado. Sólo una pequeña fracción del material que ingresa en el reactor reacciona en una pasada, por lo que se requiere reciclaje. Además, como el nitrógeno se obtiene del aire, contiene casi 1% de gases raros (principalmente Argon) que no reaccionan. Los gases raros se irían acumulando en el reciclaje hasta tener un efecto adverso sobre el equilibrio de la reacción, así que se utiliza un pequeño flujo de purgado.

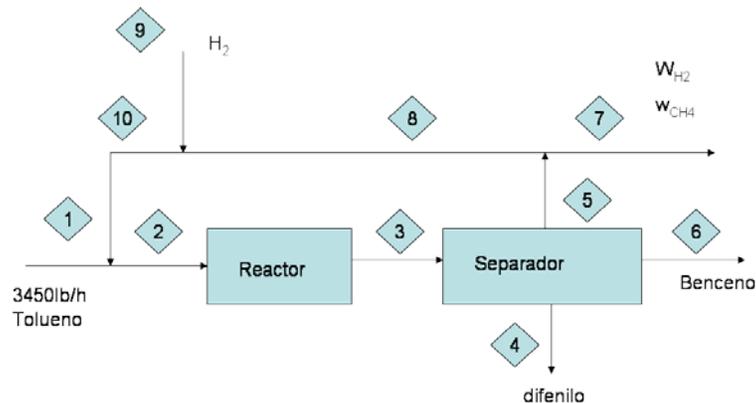
Como se muestra en la figura, la alimentación nueva de gas que contiene 75.16% de H_2 , 24.57 % de N_2 y 0.27% de Ar se mezcla con el gas reciclado e ingresa en el reactor con una composición de 79.52 % de H_2 . El flujo de gas que sale del separador de amoníaco contiene 80.01% de H_2 y nada de amoníaco. El amoníaco producido no contiene gases disueltos. Por cada 100 moles de alimentación nueva:

- ¿Cuántos moles se reciclan y purgan?
- ¿Cuál es el porcentaje de conversión del hidrógeno por pasada?



El tolueno reacciona con H_2 para formar benceno, pero ocurre una reacción secundaria en la que se forma un subproducto el difenilo:

El proceso se muestra en la figura. Se agrega H_2 al flujo de reciclado del gas para hacer que la razón de $H_2:CH_4$ sea de 1:1 antes de que el gas ingrese en el mezclador. La razón entre el H_2 y el tolueno en la entrada del reactor G es de 4:1. La conversión de tolueno a benceno en una pasada por el reactor es del 80%, y la conversión de tolueno en el subproducto difenilo es del 8% en la misma pasada.

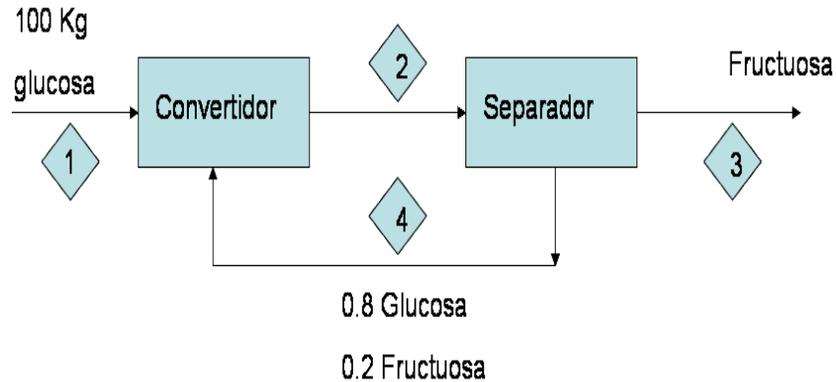


Una mezcla de acetileno(C_2H_2), etileno(C_2H_4) y agua se alimenta en una corriente gaseosa a un reactor en el que, durante una pasada, 60% del etileno y parte del acetileno reaccionan para formar etanol (C_2H_5OH) y ácido acético ($C_2H_4O_2$). La razón molar de C_2H_2 a C_2H_4 en la alimentación bruta al reactor es de 1.0105 a 1, y también 0.4 Kg de agua por cada Kg de etileno que se alimenta al reactor.

Los productos que salen del reactor se separan en dos flujos: 1) etanol líquido (70%), agua y ácido acético y 2) un flujo de reciclaje que contiene sólo etileno y acetileno gaseosos que se combinan con la alimentación nueva, la cual se compone de 52.5% de acetileno y el resto de etileno. La combinación de reciclaje, alimentación nueva y agua es el flujo que se introduce en el reactor.

Calcule la razón molar entre el flujo de reciclaje y el flujo de alimentación nueva, y las fracciones molares de C_2H_4 y C_2H_2 en el flujo de reciclaje.

La glucosa y la fructuosa tienen la misma fórmula química ($C_6H_{12}O_6$) pero diferentes propiedades. La glucosa se convierte en fructuosa como se muestra en la figura, pero sólo se convierte el 60% en una pasada por el convertidor, de modo que el material no convertido se recicla. Calcule el flujo de reciclaje por kg de glucosa al 100% alimentada al convertidor. Ignore el agua que se usa como disolvente para transportar la glucosa y la fructuosa.



Unidad IV Balances de materia en estado no estacionario isotermico

4.1 Objetivo de aprendizaje

El alumno aplicara los balances de materia en estado no estacionario, generando ecuaciones diferenciales que describan el comportamiento de sistemas fisicos en funcion del tiempo

4.2 Balance de materia en estado no estacionario sin reacción química

Un tanque cilíndrico con tapas planas esta lleno de agua hasta una altura de 1.5 m. El diámetro del tanque es de 0.75 m. Determine el tiempo en que tardará en vaciarse a través de una tubería ubicada en el fondo con un área de 5 cm².

$$-F = \frac{d(V\rho)}{dt} = -\rho v A_{tubo} = \rho A_{Tanque} \frac{dh}{dt}$$

$$F = \rho v A_t$$

$$V_T = A_T h$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{v * A_{tubo}}{A_{Tanque}}$$

La rapidez de vaciado a través de la tubería no es constante, ya que ésta depende de la altura del tanque, por ende existen una variable independiente que es el tiempo y dos variables dependientes que son la altura y la rapidez. Por consiguiente, es necesario encontrar una funcionalidad de la rapidez en función de la altura del tanque. Dicha funcionalidad la obtendremos al utilizar un balance de energía mecánica (Bernoulli) en estado estacionario para un instante de tiempo.

$$-W = \Delta h \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta v^2}{2g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + H_f$$

Asumimos que no existe trabajo de eje, que el fluido desciende por gravedad y que las perdidas por fricción por efecto de orificio de la tubería son despreciables, entonces

$$0 = \frac{(h_2 - h_1)g}{g_c} + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g_c}$$

Siendo, $h_2 = 0$ y $v_1^2 = 0$, entonces

$$v = K \sqrt{2 * h * g}$$

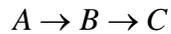
$$\frac{dh}{dt} = \frac{K\sqrt{2* h * g} * A_{tubo}}{A_{Tanque}} = \frac{K * \sqrt{2 * g} * \sqrt{h} * A_{tubo}}{A_{Tanque}}$$

4.3 Balance de materia en estado no estacionario con reacción química

Para un reactor intermitente, no existen los flujos de entrada ni de salida por lo tanto el balance de masa por componente en base molar queda de la siguiente manera:

$$R_i = \frac{dC_i}{dt}$$

La expresión anterior comprende el término de generación o desaparición por reacción química y el término de acumulación. Para un sistema reaccionante en serie tal como se muestra, con cinética de primer orden.



$$\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A$$

$$\frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B$$

$$\frac{dC_C}{dt} = k_2 C_B$$

Si la relación de las constantes de velocidad es $\frac{k_1}{k_2} = 3$ y el valor de $k_2 = 2 \text{ hr}^{-1}$. Si la concentración inicial de A es de 1 mol/hr. Calcular.

- Calcular el tiempo máximo en que se alcanza la máxima concentración de B y el valor máximo de esta concentración
- Calcular la conversión del reactivo al tiempo máximo
- Calcular los rendimientos de B y C al tiempo máximo
- Diga si es posible calcular la selectividad

Observando que la ecuación diferencial de C_A no esta presente B y C, entonces se integra la ecuación y se obtiene la concentración de B.

$$C_A = C_A^0 e^{-k_1 t}$$

La expresión anterior se sustituye en la ecuación diferencial de C_B y se utiliza un factor integrante para darle solución a la ecuación siguiente.

$$\frac{dC_B}{dt} + k_2 C_B = k_1 C_A^0 e^{-k_1 t}$$

Se propone como factor integrante $e^{-k_2 t}$

Entonces, el perfil de concentración de C_B es:

$$C_B = C_A^0 k_1 * \left\{ \frac{e^{-k_1 t}}{k_2 - k_1} + \frac{e^{-k_2 t}}{k_1 - k_2} \right\}$$

Teniendo en cuenta que no hay variación en el número total de moles, la estequiometría de la reacción relaciona las concentraciones de los reactantes por

$$C_A^0 = C_A + C_B + C_C$$

Sustituyendo el perfil de concentración de A y de B, tenemos el perfil de C

$$C_C = C_A^0 \left\{ 1 + \frac{k_2}{k_1 - k_2} e^{-k_1 t} + \frac{k_1}{k_2 - k_1} e^{-k_2 t} \right\}$$

Para el inciso a) $\frac{dC_B}{dt} = 0$ para que la concentración de B sea máxima

$$k_2 C_{B,\max} = k_1 C_A^0 e^{-k_1 t_{\max}}$$

$$\frac{C_{B,\max}}{C_A^0} = \frac{k_1}{k_2} e^{-k_1 t_{\max}}$$

Diferenciando el perfil de C_B con respecto al tiempo

$$\frac{dC_B}{dt} = \frac{C_A^0 k_1 (-k_1 e^{-k_1 t})}{k_2 - k_1} + \frac{C_A^0 k_1 (-k_2 e^{-k_2 t})}{k_1 - k_2} = 0$$

$$\frac{k_1 e^{-k_1 t_{\max}}}{k_2 - k_1} = \frac{k_2 e^{-k_2 t_{\max}}}{k_2 - k_1}$$

$$\frac{e^{-k_1 t_{\max}}}{e^{-k_2 t_{\max}}} = \frac{k_2}{k_1}$$

$$e^{(k_2 - k_1)t_{\max}} = \frac{k_2}{k_1}$$

$$t_{\max} = \frac{\ln \frac{k_2}{k_1}}{k_2 - k_1}$$

Unidad V Balance de materia y energía en estado estacionario

5.1 Objetivo de aprendizaje

El alumno aplicara los balances de materia y energía de manera simultánea en el comportamiento de los sistemas físicos

5.2 Conceptos termodinámicos

¿Qué es la ley cero de la termodinámica?

Dicha ley establece que para varios fluidos en equilibrio térmico, existe la variable temperatura que tiene el mismo valor para todos los fluidos

¿Qué es la primera ley de la termodinámica?

Esta ley trata con el principio de conservación de la energía el cual establece que aunque la energía adopte numerosas formas, la cantidad total de energía es constante y cuando esta desaparece en una forma, aparece simultáneamente en otra

Existen 6 tipos de energía: Calor, trabajo, Energía cinética, Energía potencial, Energía interna, Entalpía. ¿Donde esta la energía eléctrica?

¿Cuáles son las energías que dependen de la trayectoria?

El calor y el trabajo son energías en transito que dependen de la trayectoria, por consiguiente no son propiedades de estado o puntuales. Estas energías se manifiestan en la frontera del sistema.

El trabajo es positivo (+) el sistema efectúa trabajo sobre los alrededores (Sale)
El trabajo es negativo (-) el ambiente efectúa trabajo sobre el sistema (entra)

El trabajo se define como el producto punto del vector fuerza y el vector desplazamiento

O simplemente el producto de la fuerza por la distancia.

$$W = \int_{\text{estado1}}^{\text{estado2}} F \cdot dS$$

$$dW = F * dS$$

Si la presión es fuerza por unidad de área, entonces la fuerza es la presión por el área

$$P = \frac{F}{A}$$

$$dW = PAdS = PdV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

Se conocen dos clases de trabajo: El trabajo de flecha, el cual es un trabajo netamente mecánico y el trabajo de flujo o de presión, este último es el realizado al mover un fluido a través de una tubería.

¿Qué es el calor?

Es energía en tránsito que se manifiesta en la frontera del sistema a través de un gradiente de temperatura

El calor es positivo (+) cuando se transfiere calor al sistema (entra)
El calor es negativo (-) cuando se transfiere calor al alrededor (sale)

El calor fluye de una temperatura superior a una temperatura inferior

¿El calor es una propiedad termodinámica de las sustancias?

Respuesta: No

¿Qué es la energía de entalpía?

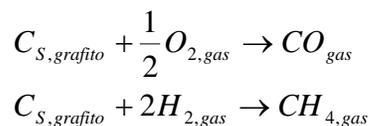
Es una propiedad termodinámica de las sustancias
Es una propiedad que no depende de la trayectoria
Es una función de estado o función de punto

¿Qué es la entalpía latente o calor latente?

Dicha energía está asociada a los cambios de fase tales como: entalpía de fusión (calor de fusión), entalpía de vaporización (calor de vaporización), entalpía de sublimación y entalpía de condensación

¿Qué es la entalpía de formación estándar?

Es la energía asociada a la formación de un mol de un compuesto a partir de sus elementos constituyentes en el estado estándar (25°C y 1 ata) (No necesariamente es una reacción real que ocurriría a temperatura constante)



¿Qué es la entalpía sensible o calor sensible?

¿Cómo se pueden cuantificar los cambios de entalpía sensible?

Haciendo uso de la capacidad calorífica de la sustancia pura o en mezcla, la cuál se puede definir como la energía necesaria para elevar la temperatura de un grado de un Sol (gramo) de sustancia.

La capacidad calorífica es función de la temperatura y diferente para sólidos, líquidos y gases. Es una función continua

Un gas tiene la siguiente composición (en base seca): 9.2 % Sol de CO₂, 1.5 % Sol de CO, 7.3 % Sol de O₂ y 82 % Sol de N₂.

¿Cuál es el cambio de entalpía sensible para este gas por lbmol entre la parte inferior y la superior de una chimenea, si la temperatura en la parte inferior es de 550 °F y en la parte superior es de 200 °F. Desprecie el calor de mezclado de los componentes gaseosos.

Las ecuaciones de Cp para las sustancias involucradas son:

$$\text{N}_2: 6.895 + 0.762 \times 10^{-3} T - 0.7009 \times 10^{-7} T^2$$

$$\text{O}_2: 7.104 + 0.7851 \times 10^{-3} T - 0.5528 \times 10^{-7} T^2$$

$$\text{CO}_2: 8.448 + 5.757 \times 10^{-3} T - 21.59 \times 10^{-7} T^2 + 3.059 \times 10^{-10} T^3$$

$$\text{CO}: 6.865 + 0.8024 \times 10^{-3} T - 0.7367 \times 10^{-7} T^2$$

Donde: Cp = BTU / lbmol °F con T en °F

La capacidad calorífica de la mezcla se puede obtener a partir de:

$$C_{p_M} = \sum_{i=1}^{NC} y_i C_{p_i}$$

$$\text{N}_2: 0.82(6.895 + 0.762 \times 10^{-3} T - 0.7009 \times 10^{-7} T^2)$$

$$\text{O}_2: 0.073(7.104 + 0.7851 \times 10^{-3} T - 0.5528 \times 10^{-7} T^2)$$

$$\text{CO}_2: 0.092(8.448 + 5.757 \times 10^{-3} T - 21.59 \times 10^{-7} T^2 + 3.059 \times 10^{-10} T^3)$$

$$\text{CO}: 0.015(6.865 + 0.8024 \times 10^{-3} T - 0.7367 \times 10^{-7} T^2)$$

$$C_{p_M} = 7.053 + 1.2242 \times 10^{-3} T - 2.6124 \times 10^{-7} T^2 + 0.2814 \times 10^{-10} T^3$$

Para determinar el cambio de entalpía sensible se emplea la siguiente expresión:

$$\Delta \hat{H} = \int_{T_i}^{T_f} C_{p_M} dT$$

$$\Delta\hat{H} = \int_{T_i}^{T_f} (7.053 + 1.2242 \times 10^{-3} T - 2.6124 \times 10^{-7} T^2 + 0.2814 \times 10^{-10} T^3) dT$$

$$\Delta\hat{H} = \left(7.053T + \frac{1.2242 \times 10^{-3}}{2} T^2 - \frac{2.6124 \times 10^{-7}}{3} T^3 + \frac{0.2814 \times 10^{-10}}{4} T^4 \right) \Bigg|_{550F}^{200F}$$

$$\Delta\hat{H} = (7.053T + 0.6121 \times 10^{-3} T^2 - 0.8708 \times 10^{-7} T^3 + 0.07035 \times 10^{-10} T^4) \Bigg|_{550F}^{200F}$$

$$\Delta\hat{H} = 7.053(200 - 550) + 0.6121 \times 10^{-3} (200^2 - 550^2) - 0.8708 \times 10^{-7} (200^3 - 550^3) + 0.07035 \times 10^{-10} (200^4 - 550^4)$$

$$\Delta\hat{H} = -2468.55 - 160.676 + 13.791 - 0.6325 = -2616.067 \frac{BTU}{lbmol}$$

Gas y vapor

Vapor: es una sustancia que esta por debajo de su temperatura crítica y por consiguiente, puede condensarse

Gas: es una sustancia que esta por encima de su temperatura crítica y por consiguiente, no puede condensarse

Punto de rocío: A presión constante, si la temperatura disminuye hasta que el vapor se condense para formar el líquido, la temperatura a la cual el vapor se forma las primeras gotas de líquido se denomina punto de rocío.

Punto de burbuja: A presión constante, si se aumenta la temperatura hasta que el líquido se evapora para formar el vapor, la temperatura a la cual el líquido se evapora formándose las primeras burbujas de vapor se denomina punto de burbuja

Vapor saturado: es otra forma de decir que el vapor y el líquido están en equilibrio uno con otro. Donde una gota de vapor está a punto de condensarse

Líquido saturado: donde un líquido está a punto de vaporizarse

Calidad:

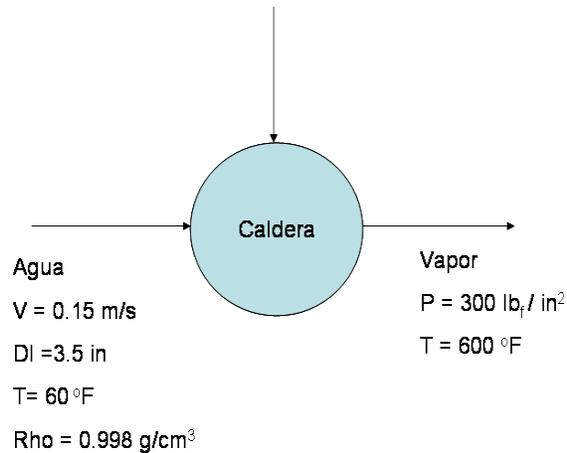
Vapor sobrecalentado: Es un vapor con una temperatura por encima de la temperatura de saturación a presión constante

Líquido subenfriado: Es un líquido con una temperatura por debajo de la temperatura de saturación a presión constante

Ejemplo: Se tiene vapor de agua a 500 °F y 100 psia (la temperatura de saturación para 100 psia es de 327.8 °F). Determine de sobrecalentamiento.

Grados de sobrecalentamiento: $(500.0 - 327.8) = 172.2$ °F.

Determinar la cantidad de calor necesaria para obtener de una caldera vapor a 600 °F y 300 lb_f/in². A dicha caldera se alimenta agua a una velocidad de 0.15 m/s por una tubería de 3.5 in de diámetro interno a una temperatura de 60 °F con una densidad de 0.998 g/cm³.



Determinación del gasto másico

$$G_M = v\rho A = 0.15 \frac{m}{s} 998 \frac{Kg}{m^3} \frac{\Pi}{4} 3.5^2 in^2 \left(\frac{1ft}{12in} \right)^2 \left(\frac{0.3048m}{1ft} \right)^2 = 0.9292 \frac{Kg}{s} \frac{2.2046lb}{1Kg} = 2.0485 \frac{lb}{s}$$

Como nada más se da la temperatura del agua de 60 °F, entonces se supone agua saturada ya que de acuerdo con la regla de las fases de gibbs los grados de libertad para un sistema que tiene dos fases y un solo componente se obtiene con la siguiente expresión:

$$F = 2 - \pi + N$$

Donde:

π : Número de fases

N : Número de especies químicas

Entonces para agua saturada

$$F = 1$$

Por consiguiente, y de acuerdo con la tabla de vapor del agua, tenemos que la entalpía del líquido es de 28.06 BTU/lb. Y la entalpía a 300 psia y 600 °F es de 1315.2 BTU/lb

Aplicando la ecuación de continuidad (sin reacción química)

$$\delta M_{ent} - \delta M_{sal} = dM_{sist}$$

El sistema esta en régimen permanente (estado estacionario)

$$\delta M_{ent} = \delta M_{sal}$$

Integrando esta ecuación diferencial inexacta, se tiene:

$$M_{ent} = M_{sal}$$

Aplicando la ecuación de energía en régimen permanente

La energía potencial y energía cinética es despreciable en la caldera y se supone que no existe trabajo de eje.

$$\hat{H}_{ent} \delta M - \hat{H}_{sal} \delta M + \delta Q = 0$$

$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) \delta M = -\delta Q$, integrando esta ecuación diferencial inexacta, tenemos

$$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) M = -Q$$

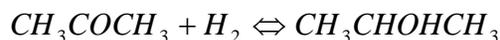
$$2.0485 \frac{lb}{s} (28.06 - 1315.2) \frac{BTU}{lb} = -2636.7 \frac{BTU}{lb} = -Q$$

$$Q = 2636.7 BTU / lb$$

¿Qué es la entalpía de reacción estándar o calor de reacción estándar (25°C, 1 atm)?

Es la entalpía o calor que se genera o requiere para que unos reactivos reaccionen en cantidades estequiométricas para producir productos

In the presence of an appropriate catalyst, acetone reacts with hydrogen to give isopropanol.



Standard enthalpies and Gibbs free energies of formation at 25 °C and 101.3 KPa are as follows.

Component	ΔH_f^0 (KJ/mole)	ΔG_f^0 (KJ/mole)
Acetone (g)	-216.83	-152.61
Isopropanol (g)	-261.30	-159.94

a) What is the standard Gibbs free energy change at 25 °C for the reaction as written?

$$\Delta G_R^0 = \sum \nu_P \Delta G_{f,P}^0 - \sum \nu_R \Delta G_R^0$$

$$\Delta G_R^0 = \Delta G_{f,iso}^0 - \Delta G_{f,acet}^0 - \Delta G_{f,H_2}^0$$

$$\Delta G_R^0 = -159.94 - (-152.61) = -7.33 \text{ kJ/mol}$$

Es una reacción espontánea.

b) What is the standard enthalpy change at 25 °C for the reaction as written?

$$\Delta H_R^0 = \sum \nu_P \Delta H_{f,P}^0 - \sum \nu_R \Delta H_R^0$$

$$\Delta H_R^0 = \Delta H_{f,iso}^0 - \Delta H_{f,acet}^0 - \Delta H_{f,H_2}^0$$

$$\Delta H_R^0 = -261.30 - (-216.83) = -44.77 \text{ kJ/mol}$$

A new process for the manufacture of acetylene has been proposed. The process will involve the dehydrogenation of ethane over a suitable catalyst (yet to be found). Pure ethane will be fed to a reactor and a mixture of acetylene, hydrogen, and unreacted ethane will be withdrawn. The reactor will operate at 101.3 kPa total pressure and at some as yet unspecified temperature T.

The reaction



may be assumed to be the only reaction occurring in the proposed reactor. The following data on the heats of formation of ethane and acetylene are available.

The standard states of these materials are taken as the pure components at 298 K and a pressure of 101.3 kPa. The following data on the absolute entropies of the hydrocarbons at 298 K are available.

Componente	$\Delta G_{f,298}^0$ (KJ/mole)	$\Delta H_{f,298}^0$ (KJ/mole)	Entropy (J/mole-K)
Ethane	-32.908	-84.724	229.65
Acetylene	209.340	226.899	200.95

a) What is the standard Gibbs free energy change at 25 °C for the reaction as written?

$$\Delta G_{R,298}^0 = \nu_{C_2H_2} \Delta G_{f,C_2H_2}^0 + \nu_{H_2} \Delta G_{f,H_2}^0 + \nu_{C_2H_6} \Delta G_{f,C_2H_6}^0$$

$$\Delta G_{R,198}^0 = (1) * 209.34 + (1) * (0) - (1)(-32.908) = 242.248 \text{ kJ/mol}$$

Es una reacción no espontánea

b) What is the standard enthalpy change at 25 °C for the reaction as written?

$$\Delta H_{R,298}^0 = \nu_{C_2H_2} \Delta H_{f,C_2H_2}^0 + \nu_{H_2} \Delta H_{f,H_2}^0 + \nu_{C_2H_6} \Delta H_{f,C_2H_6}^0$$

$$\Delta H_{R,298}^0 = (1)(226.899) + (2)(0) - (1)(-84.724) = 311.623 \text{ KJ / mol}$$

Es una reacción endotérmica

- c) What is the absolute entropy of gaseous hydrogen at 25 °C and a pressure of 101.3 kPa? Use only the above data in evaluating this quantity

$$\frac{\Delta G_R^0}{T} = \frac{\Delta H_R^0}{T} - \Delta S_R^0$$

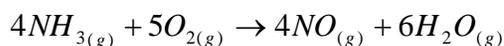
$$\Delta S_R^0 = \frac{\Delta H_R^0}{T} - \frac{\Delta G_R^0}{T}$$

$$\Delta S = \frac{311.623}{298.15} - \frac{242.248}{298.15} = 0.2327 \text{ KJ / mol - K}$$

$$\Delta S = S(\text{productos}) - S(\text{reactivos}) = S_{C_2H_2} + 2S_{H_2} - S_{C_2H_6}$$

$$S_{H_2} = \frac{\Delta S - S_{C_2H_2} + S_{C_2H_6}}{2} = 130.7 \text{ J / mol - K}$$

Calcule la entalpía de reacción estándar para la siguiente reacción



Componente	$\Delta \hat{H}_f^0$ (KJ / gmol) (25°C, 1atm)
$NH_{3(g)}$	-46.191
$O_{2(g)}$	0.0
$NO_{(g)}$	90.374
$H_2O_{(g)}$	-241.826

$$\Delta \hat{H}_R^0 = \sum_{i=1}^{NC} \nu_i \Delta \hat{H}_{f,i}^0$$

$$\Delta \hat{H}_R^0 = \nu_{NO} \Delta \hat{H}_{f,NO}^0 + \nu_{H_2O} \Delta \hat{H}_{f,H_2O}^0 + \nu_{NH_3} \Delta \hat{H}_{f,NH_3}^0 + \nu_{O_2} \Delta \hat{H}_{f,O_2}^0$$

$$\Delta \hat{H}_R^0 = 4\Delta \hat{H}_{f,NO}^0 + 6\Delta \hat{H}_{f,H_2O}^0 - 4\Delta \hat{H}_{f,NH_3}^0 - 5\Delta \hat{H}_{f,O_2}^0$$

$$\Delta \hat{H}_R^0 = 4(90.374) + 6(-241.826) - 4(-46.191) - 5(0.0)$$

$$\Delta \hat{H}_R^0 = 361.496 - 1450.956 + 184.764$$

$$\Delta \hat{H}_R^0 = -904.696 \text{ kJ / gmol}$$

Entalpía de reacción estándar con respecto al amoníaco

Formas de energía de un sistema

La masa de un sistema puede poseer energía debido a tres propiedades: Temperatura, velocidad y posición

Las energías correspondientes son:

Para temperatura es la energía interna (U), si es por unidad de masa (\hat{U})

Para velocidad es la energía cinética (E_c), si es por unidad de masa (\hat{E}_c)

Para la posición es la energía potencial (E_p), si es por unidad de masa (\hat{E}_p)

¿Qué es energía interna (U)?

La energía interna es una propiedad de estado (puntual) termodinámica de las sustancias (No depende de la trayectoria, sino solamente de los estados inicial y final). La energía interna, es energía que esta asociada con la materia debida a los movimientos, interacciones y enlaces a nivel molecular de las moléculas constituyentes (energía de traslación, rotación y vibración). No está relacionada con la posición o la velocidad.

¿Cómo cálculo la energía interna (U)?

Generalmente se calcula los cambios diferenciales dU o los cambios finitos ΔU entre dos estados, usando un estado de referencia arbitrario, generalmente al estado de referencia se le asigna un valor de 0 a 0°C y 1 atm.

¿Qué es entalpía (H)?

La energía entalpía es una propiedad de estado (puntual) termodinámica de las sustancias (No depende de la trayectoria, sino solamente de los estados inicial y final). La energía entalpía, es energía que esta relacionada con la energía interna mediante la siguiente expresión

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$$

¿El calor es una propiedad termodinámica de una solución?

No, el calor es una propiedad de trayectoria y solamente se manifiesta en la frontera del sistema

Energía cinética: Energía que tiene un cuerpo en movimiento relativo a un sistema de referencia

$$\hat{E}_c = \frac{u^2}{2g_c}$$

Energía potencial: es la energía que tiene un cuerpo en función de su posición relativa a un plano de referencia

$$\hat{E}_p = \frac{gZ}{g_c}$$

5.2 Deducción del balance de energía en sistemas abiertos

$$\left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{entrada} \\ \text{energía} \\ \text{al} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} - \left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{salida} \\ \text{energía} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} \pm \left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{entrada} \\ \text{o - salida} \\ \text{de} \\ \text{calor} \\ \text{al} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} \pm \left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{entrada} \\ \text{o.salida} \\ \text{trabajo} \\ \text{al} \\ \text{sistema} \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} \text{Rapidez} \\ \text{de} \\ \text{acumulación} \\ \text{energía} \\ \text{dentro} \\ \text{del} \\ \text{sistema} \end{array} \right\}$$

El balance de energía global para un sistema abierto es: Cuando entra una cantidad de calor al sistema y el sistema produce una cantidad de trabajo, el balance queda de la siguiente manera:

$$(\underline{E} \delta M)_{ent} - (\underline{E} \delta M)_{sal} + \delta Q - \delta W' = d(\underline{E} M)_{sist}$$

donde:

\underline{E} : Es la energía total del sistema por unidad de masa (mol)

δM : es una cantidad diferencial de masa

δQ : Es una cantidad diferencial de calor

$\delta W'$: Es una cantidad diferencial de trabajo

$d(\underline{E} M)$: Es la energía total acumulada dentro del sistema, denota el cambio de una propiedad de estado.

La integración de δ es simplemente la cantidad total de lo que esta entrando o saliendo del sistema.

La integración de d es simplemente el cambio total de la propiedad del sistema y es representada por el operador de diferencia Δ

La energía total del sistema, \hat{E} , esta dividida en tres partes tales como: Energía interna, energía potencial y energía cinética.

$$\hat{E} = \hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}$$

El trabajo total transferido del sistema al ambiente, $\delta W'$, se divide en dos términos tales como: trabajo de eje y trabajo de flujo (trabajo de presión).

$$\delta W' = \text{trabajo}(\text{ejeoflecha}) + \text{trabajo}(\text{flujo})$$

$$\delta W' = \delta W + (PV \delta M)_{sal} - (PV \delta M)_{ent}$$

Sustituyendo en el balance de energía

$$(\hat{E} \delta M)_{ent} - (\hat{E} \delta M)_{sal} + \delta Q - \delta W' = d(\hat{E} M)_{sist}$$

$$(\hat{E} \delta M)_{ent} - (\hat{E} \delta M)_{sal} + \delta Q - (\delta W + (P\hat{V} \delta M)_{sal} - (P\hat{V} \delta M)_{ent}) = d(\hat{E} M)_{sist}$$

$$(\hat{E} + P\hat{V})_{ent} \delta M_{ent} - (\hat{E} + P\hat{V})_{sal} \delta M_{sal} + \delta Q - \delta W = d(\hat{E} M)_{sist}$$

$$\left(\hat{U} + P\hat{V} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{ent} \delta M_{ent} - \left(\hat{U} + P\hat{V} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sal} \delta M_{sal} + \delta Q - \delta W = d\left(M\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)\right)_{sist}$$

Sabiendo que $\hat{H} = \hat{U} + P\hat{V}$

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{ent} \delta M_{ent} - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sal} \delta M_{sal} + \delta Q - \delta W = d\left(M\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)\right)_{sist}$$

En un proceso sin reacción química, el balance de masa puede ser expresado como:

$$\delta M_{ent} - \delta M_{sal} = dM_{sist}$$

PROCESO EN ESTADO ESTACIONARIO O REGIMEN PERMANENTE

En un proceso en estado estacionario o en régimen permanente (las propiedades con cambian con el tiempo)

El balance de masa de la ecuación de la continuidad queda de la siguiente manera:

$$\delta M_{ent} = \delta M_{sal}$$

y el balance de energía se reduce a:

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{ent} \delta M - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sal} \delta M + \delta Q - \delta W = 0$$

Dividiendo por δM

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{ent} - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sal} + \frac{\delta Q}{\delta M} - \frac{\delta W}{\delta M} = 0$$

PARA SISTEMAS CERRADOS (No existe intercambio de masa, pero si de energía)

No existen corrientes de entrada ni de salida, por consiguiente la ecuación de continuidad queda de la siguiente manera

$$\delta M_{ent} - \delta M_{sal} = dM_{sist} = 0$$

El balance de energía Total, los términos de entrada y salida se nulifican y la ec. De energía queda de la siguiente manera:

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{ent} \delta M_{ent} - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sal} \delta M_{sal} + \delta Q - \delta W = d\left(M\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)\right)_{sist}$$

$$\delta Q - \delta W = d\left(M\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)\right)_{sist} = M_{sis} d\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sist} + \left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sist} dM_{sist}$$

El segundo término después del signo de igualdad es nulo, por consiguiente la ecuación de energía queda de la siguiente manera:

$$\delta Q - \delta W = d\left(M\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)\right)_{sist} = M_{sis} d\left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sist}$$

Si el sistema no se acelera mucho y la altura es despreciable, entonces podemos despreciar el término de energía cinética y potencial.

$$\delta Q - \delta W = M_{sis} d\hat{U}_{sist} = dU$$

$$\int_{U_1}^{U_2} dU = U_2 - U_1 = \Delta U$$

$$\int \delta Q = Q \quad \int \delta W = W$$

La integración de una ecuación diferencial inexacta no da una diferencia entre dos valores, sino una cantidad total.

Cuando se realizan cambios de estado a presión constante, tenemos

$$\int_{u_1}^{u_2} dU = \int_1^2 \delta Q - \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

COMPRESORES Y EXPANSORES (REGIMEN PERMANENTE)

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{ent} - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c}\right)_{sal} + \frac{\delta Q}{\delta M} - \frac{\delta W}{\delta M} = 0$$

En estos dispositivos generalmente los términos de energía cinética y potencial son usualmente muy pequeños en comparación con el término de entalpía. Por consiguiente se desprecian y el balance queda de la siguiente manera:

$$\left(\underline{H}\right)_{ent} - \left(\underline{H}\right)_{sal} + \frac{\delta Q}{\delta M} - \frac{\delta W}{\delta M} = 0$$

Se comprime gas de CO₂ de una presión absoluta inicial de 15 lb_f/in² y una temperatura de 50 °F en un proceso de flujo uniforme, hasta una presión final de 520 lb_f/in² y temperatura final de 200 °F. El trabajo de eje suministrado al compresor es de 5320 BTU/lbmol de CO₂ comprimido. El CO₂ fluye al compresor a través de una tubería cuyo diámetro interno es de 6 pulgadas, con una velocidad de 10 ft/s.

$\hat{H}_1 = 307.0 \frac{BTU}{lb}$	$V_1 = 9.25 \frac{ft^3}{lb}$
$\hat{H}_2 = 330.0 \frac{BTU}{lb}$	$V_2 = 0.280 \frac{ft^3}{lb}$

Para obtener estas condiciones finales, ¿Se deberá suministrar o absorber calor al CO₂? Calcule la velocidad de transferencia térmica en BTU/h. Los cambios de energía cinética esencial en el CO₂ durante este proceso pueden desdeñarse.

Suposiciones

De la ecuación de continuidad (sin reacción química)

$$\delta M_{ent} - \delta M_{sal} = dM_{sist}$$

El sistema esta en régimen permanente (estado estacionario)

$$\delta M_{ent} = \delta M_{sal}$$

Integrando esta ecuación diferencial inexacta, se tiene:

$$M_{ent} = M_{sal}$$

$$M_{ent} = \frac{v_{ent} A_{ent}}{V_{ent}} = \frac{v_{ent} \pi D_{ent}^2}{4V_{ent}} = \frac{10 \text{ ft/s} (\pi) (6 \text{ in})^2 \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right)^2}{(4) 9.25 \text{ ft}^3 / \text{lb}} = 0.03537 \frac{\text{lb}}{\text{s}} = 764.17 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

El balance de energía es:

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c} \right)_{ent} \delta M_{ent} - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c} \right)_{sal} \delta M_{sal} + \delta Q - \delta W = d \left(M \left(\hat{U} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c} \right) \right)_{sist}$$

Suposiciones

- Régimen permanente
- Se desprecia los cambios de energía cinética
- Se desprecia los cambios de energía potencial
- Existe el término de calor
- Existe suministro de trabajo de eje

$$\hat{H}_{ent} \delta M - \hat{H}_{sal} \delta M - \delta W = -\delta Q$$

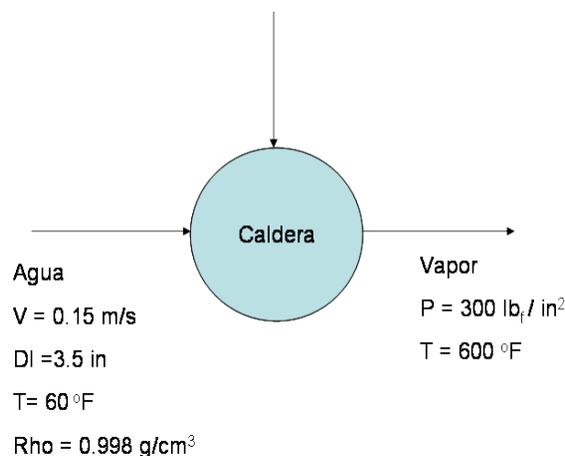
$$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) \delta M - \delta W = -\delta Q$$

$$\left(307 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} - 330 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \right) 764.18 \frac{\text{lb}}{\text{h}} - \left(-5360 \frac{\text{BTU}}{\text{lbmol}} \frac{1 \text{ lbmol}}{44 \text{ lb}} * 764.18 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \right) = -Q$$

$$-17576.14 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 93091.017 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} = 75514.878 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} = -Q$$

$$Q = -75514.878 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Determinar la cantidad de calor necesaria para obtener de una caldera vapor a 600 °F y 300 lb_f/in². A dicha caldera se alimenta agua a una velocidad de 0.15 m/s por una tubería de 3.5 in de diámetro interno a una temperatura de 60 °F con una densidad de 0.998 g/cm³.



Determinación del gasto másico

$$G_M = v\rho A = 0.15 \frac{m}{s} 998 \frac{Kg}{m^3} \frac{\Pi}{4} 3.5^2 in^2 \left(\frac{1ft}{12in} \right)^2 \left(\frac{0.3048m}{1ft} \right)^2 = 0.9292 \frac{Kg}{s} \frac{2.2046lb}{1Kg} = 2.0485 \frac{lb}{s}$$

Como nada más se da la temperatura del agua de 60 °F, entonces se supone agua saturada ya que de acuerdo con la regla de las fases de gibbs los grados de libertad para un sistema que tiene dos fases y un solo componente se obtiene con la siguiente expresión:

$$F = 2 - \pi + N$$

Donde:

π : Número de fases

N : Número de especies químicas

Entonces para agua saturada

$$F = 1$$

Por consiguiente, y de acuerdo con la tabla de vapor del agua, tenemos que la entalpía del líquido es de 28.06 BTU/lb. Y la entalpía a 300 psia y 600 °F es de 1315.2 BTU/lb

Aplicando la ecuación de continuidad (sin reacción química)

$$\delta M_{ent} - \delta M_{sal} = dM_{sist}$$

El sistema esta en régimen permanente (estado estacionario)

$$\delta M_{ent} = \delta M_{sal}$$

Integrando esta ecuación diferencial inexacta, se tiene:

$$M_{ent} = M_{sal}$$

Aplicando la ecuación de energía en régimen permanente

La energía potencial y energía cinética es despreciable en la caldera y se supone que no existe trabajo de eje.

$$\hat{H}_{ent} \delta M - \hat{H}_{sal} \delta M + \delta Q = 0$$

$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) \delta M = -\delta Q$, integrando esta ecuación diferencial inexacta, tenemos

$$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) M = -Q$$

$$2.0485 \frac{lb}{s} (28.06 - 1315.2) \frac{BTU}{lb} = -2636.7 \frac{BTU}{s} = -Q$$

$$Q = 2636.7 \frac{BTU}{s}$$

El signo de Q es positivo por lo tanto **entra** al sistema

Determinar la cantidad de calor que hay que suministrar a una caldera para obtener vapor a 700 °F y 250 psia a partir de agua líquida la cual se encuentra a 80 °F.

Aplicando la ecuación de continuidad (sin reacción química)

$$\delta M_{ent} - \delta M_{sal} = dM_{sist}$$

El sistema esta en régimen permanente (estado estacionario)

$$\delta M_{ent} = \delta M_{sal}$$

Integrando esta ecuación diferencial inexacta, se tiene:

$$M_{ent} = M_{sal}$$

Aplicando la ecuación de energía en régimen permanente

La energía potencial y energía cinética es despreciable en la caldera y se supone que no existe trabajo de eje.

$$\hat{H}_{ent} \delta M - \hat{H}_{sal} \delta M + \delta Q = 0$$

$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) \delta M = -\delta Q$, integrando esta ecuación diferencial inexacta, tenemos

$$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) M = -Q$$

$$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) = -\frac{Q}{M} = -\hat{Q}$$

La entalpía de líquido saturado: 48.037 BTU/lb

La entalpía del vapor sobrecalentado: 1371.6 BTU/lb

$$(48.037 - 1371.6) = -\hat{Q}$$

$$\hat{Q} = 1323.56 \text{ BTU/lb}$$

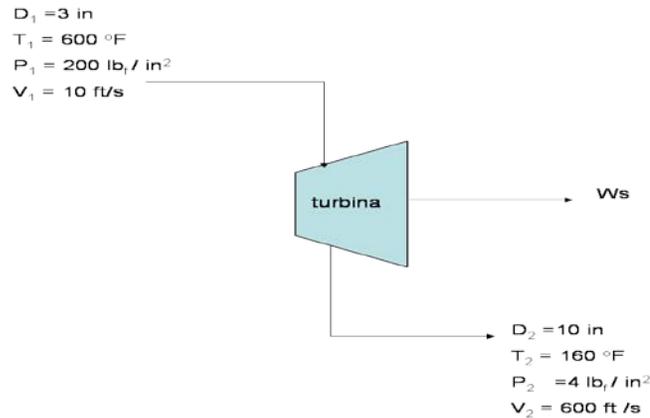
El valor de \hat{Q} es positivo, por consiguiente entra al sistema

Se tiene vapor a 200 lb/in² de presión absoluta y 600 °F (estado 1) que penetra en una turbina pasando por una tubería estándar de 3", a una velocidad de 10ft/s. La salida de la turbina se hace a través de una tubería estándar de 10" y a 4 lb/in² absoluta y 160 °F (estado 2).

Datos:

$\hat{H}_1 = 1321.4 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$	$V_1 = 3.059 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$
$\hat{H}_2 = 1129.3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$	$V_2 = 92.15 \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}}$

¿Cuál es la salida de potencia de la turbina en caballos de fuerza, suponiendo que no se pierde calor?



De la ecuación de continuidad (sin reacción química)

$$\delta M_{ent} - \delta M_{sal} = dM_{sist}$$

El sistema esta en régimen permanente (estado estacionario)

$$\delta M_{ent} = \delta M_{sal}$$

Integrando esta ecuación diferencial inexacta, se tiene:

$$M_{ent} = M_{sal}$$

$$M_{ent} = \frac{v_{ent} A_{ent}}{V_{ent}} = \frac{v_{ent} \pi D_{ent}^2}{4V_{ent}} = \frac{10 \text{ ft/s} (\pi) (3 \text{ in})^2 \left(\frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right)^2}{(4) 3.059 \text{ ft}^3 / \text{lb}} = 0.16047 \frac{\text{lb}}{\text{s}}$$

$$v_{sal} = \frac{4M_{sal} V_{sal}}{\pi D_{sal}^2} = \frac{4v_{ent} \pi D_{ent}^2 V_{sal}}{\pi D_{sal}^2 4V_{ent}} = \frac{v_{ent} V_{sal}}{V_{ent}} \left(\frac{D_{ent}}{D_{sal}} \right)^2 = 10 \text{ ft/s} \frac{92.15 \text{ ft}^3 / \text{lb}}{3.059 \text{ ft}^3 / \text{lb}} \left(\frac{3 \text{ in}}{10 \text{ in}} \right)^2 = 27.11 \text{ ft/s}$$

La energía potencial y energía cinética es despreciable en el expansor de turbina y se supone que no existe perdidas de calor.

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c} \right)_{ent} \delta M - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c} \right)_{sal} \delta M + \delta Q - \delta W = 0$$

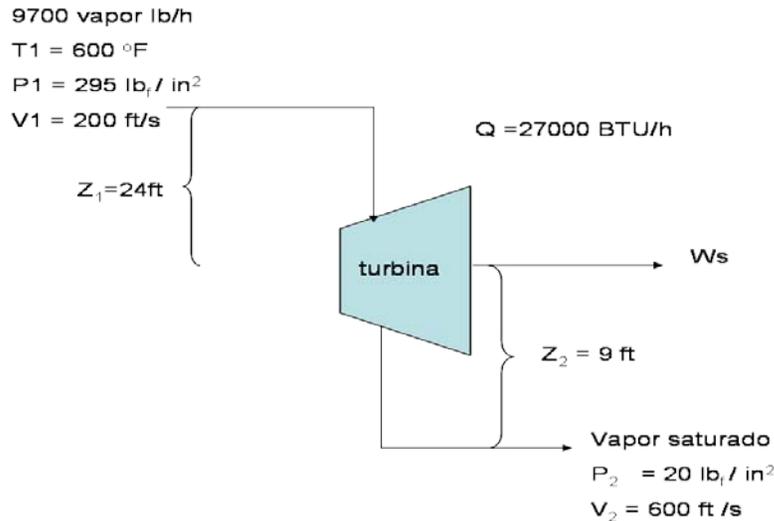
$$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) \delta M - \delta W = 0$$

$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) \delta M = \delta W$ integrando esta ecuación diferencial inexacta

$$(\hat{H}_{ent} - \hat{H}_{sal}) M = W = 0.16047 \frac{\text{lb}}{\text{s}} (1321.4 \text{ BTU} / \text{lb} - 1129.3 \text{ BTU} / \text{lb}) = 30.826 \frac{\text{BTU}}{\text{s}} \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$W = 1849.577 \frac{\text{BTU}}{\text{min}} \frac{1.34102 \text{ HP}}{56.8699 \text{ BTU} / \text{min}} = 43.614 \text{ HP}$$

Se alimenta a una turbina 9700 lb/h de vapor a una temperatura de 600 °F y una presión de 295 lb_f/in² y una velocidad de 200 ft/s a una altura de 24 ft. La turbina transmite calor por 27000 BTU/h. A la salida de la turbina se obtiene un vapor saturado a una presión de 20 lb_f/in² y una velocidad de 600 ft/s y a una altura de 9 ft. Determinar la potencia de la turbina.



La entalpía del vapor sobrecalentado de entrada:

Presión/lb _f /in ²	Entalpía BTU/lb (600 °F)
290	1316.0
300	1315.2

La entalpía del vapor saturado de entrada: 1156.3 BTU/lb

$$Q = -27000 \text{ BTU} / h$$

$$\left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c} \right)_{ent} \delta M - \left(\hat{H} + \frac{u^2}{2g_c} + \frac{gZ}{g_c} \right)_{sal} \delta M + \delta Q - \delta W = 0$$

Una turbina es impulsada por 4536 kg/h de vapor de agua que entra a la turbina a 45.7X10⁴ kg_f/m² y 454 °C, con una velocidad de 60.96 m/s. El vapor abandona el escape de la turbina, situado a 3.05 m bajo la entrada de la turbina, con una velocidad de 366 m/s. El trabajo útil (en el eje) producido por la turbina es medido como 950 CV y la pérdida de calor de la turbina ha sido calculada como 0.252X10⁵ kcal/h.

Una pequeña parte del vapor de escape de la turbina es hecha pasar a través de una válvula de estrangulación y es descargada a la presión atmosférica. Se pueden despreciar los cambios de velocidad a través de la válvula.

$$-\Delta \underline{H} + \underline{Q} - \underline{W} = 0$$

Si no existe trabajo de eje

$$\Delta \hat{H} = \hat{Q}$$

Donde el cambio de entalpía debe comprender los cambios de fase, calores latentes de reacción y los calores sensibles.

Problemas propuestos

Determinar la cantidad de calor necesaria para obtener de una caldera vapor a 600 °F y 300 lb_f/in². A dicha caldera se alimenta agua a una velocidad de 0.15 m/s por una tubería de 3.5 in de diámetro interno a una temperatura de 60 °F con una densidad de 0.998 g/cm³.

Determinar la cantidad de calor que hay que suministrar a una caldera para obtener vapor a 750 °F y 250 psia a partir de agua líquida la cual se encuentra a 80 °F.

BIBLIOGRAFÍA

Geankoplis, C. J. Procesos de transporte y operaciones unitarias, Ed. CECSA, 3^a edición, México, 1999.

Recklaitis, G. V. Introduction to material and energy balances, John Wiley and Sons, USA, 1983.

Hill, C. G. An introduction to chemical engineering kinetic & reactor design, Ed. John Wiley, USA, 1977

Himmelblau, D. M. Principios básicos y cálculos en ingeniería química, Ed. Prentice Hall, 6^a edición, México, 2002

Felder, M. R.; Rousseau, W. R. Principios elementales de los procesos químicos, Ed. Limusa-Wiley, 3^a edición, México, 2006