



| | | |
|---|--|--------------------------------------|
|  | Facultad de Ingeniería - UNJu | DOC N° 2023-IP-00-R-TP-104 |
| | Ingeniería de procesos | Rev.: a Página 2 de 8 |
| | BALANCE DE MASA Y REQUERIMIENTOS DE ENERGIA EN UN BFD | Fecha: 26-09-2023 |

ÍNDICE

| | | |
|-----------|-------------------------------|----------|
| 1. | Objeto | 3 |
| 2. | Alcance | 3 |
| 3. | Normas aplicables..... | 3 |
| 4. | Documentos de referencia..... | 3 |
| 5. | Actividades | 4 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|---|---|
| Tabla 1: | Composición de gas natural..... | 4 |
| Tabla 2: | Composición química muestras acuosas..... | 5 |

| | | |
|---|--|--------------------------------------|
|  | Facultad de Ingeniería - UNJu | DOC N° 2023-IP-00-R-TP-104 |
| | Ingeniería de procesos | Rev.: a Página 3 de 8 |
| | BALANCE DE MASA Y REQUERIMIENTOS DE ENERGIA EN UN BFD | Fecha: 26-09-2023 |

1. Objeto

El objeto de este Trabajo Práctico es resolver casos de balance de masa y energía para plantas químicas a nivel de un Diagrama de Flujo de Bloque.

2. Alcance

El alcance de Trabajo Práctico es:

- Validar la composición química de una corriente de proceso.
- Resolver de balance de masa y energía para plantas químicas con y sin reacción química, con y sin reciclo, en un Diagrama de Flujo de Bloque.
- Construir la Tabla de corrientes.
- Determinar parámetros de performance y consumos específicos.

3. Normas aplicables

- **ISO 10628:** Diagrams for the chemical and petrochemical industry.
- **ISO 10209:** Technical product documentation.
- **ISO 14224:** Petroleum, petrochemical and natural gas industries.
- **ISO 15926:** Industrial automation system and integration.
- **ISO 17025:** Calidad en Laboratorios de Ensayos y de Calibración.

4. Documentos de referencia

Felder R. M., Rousseau R. W.; Principios elementales de los Procesos químicos, Limusa Wiley, 3° Edición, 2004.


Himmelblau, David M.; Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química, Prentice Hall, 7° Edición, 2012.

Seider, Warren, y otros. 2016. Product an Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation. 4th Edition. Wiley.

Morris Arthur E., Geiger Gordon and Fine H. Alan; Handbook on Material and energy Balance calculations in Materials processing; Wiley, Third edition, 2011.

Ghasem Nayef and Henda Redhouane. Principles of Chemical Engineering Processes Material and energy balances, Taylor & Francis Group, Second Edition, 2015.

Izquierdo J.F., Costas J. y otros. Problemas resueltos de balance de material y energía. Introducción a la Ingeniería Química. Segunda edicion. Reverte.

| | | |
|---|--|--------------------------------------|
|  | Facultad de Ingeniería - UNJu | DOC N° 2023-IP-00-R-TP-104 |
| | Ingeniería de procesos | Rev.: a Página 4 de 8 |
| | BALANCE DE MASA Y REQUERIMIENTOS DE ENERGIA EN UN BFD | Fecha: 26-09-2023 |

5. Actividades

- Una planta requiere producir 400 kg/h de vapor saturado a una presión de 8 barg en una caldera. El agua es alimentada desde un tanque de almacenamiento localizada a 10 m sobre el ojo de la bomba, a 15°C y presión atmosférica.

Gas natural, de composición indicada en la Tabla 1, ingresa a una presión de 2 bar y temperatura de 15°C. Se utiliza un exceso de aire de 5%. La caldera cuenta con economizador, por lo que la temperatura de los fases de combustión se descargan a una temperatura de 200°C. Determine:

- Consumo específico de gas natural.
- Consumo específico de energía eléctrica.
- CO₂ liberado por unidad de masa de vapor producido.
- CO₂ liberado por unidad de gas natural consumido.
- Evalúe los ítems anteriores cuando se utiliza aire enriquecido, composiciones de oxígeno 40% mol.
- Evalúe los ítems anteriores cuando se utiliza un exceso de aire del 10 %.

Tabla 1: Composición de gas natural

| Componente | Composición (n/n) |
|------------------|-------------------|
| Metano | 81,32% |
| Etano | 8,06% |
| Propano | 2,10% |
| i-Butano | 0,33% |
| n-Butano | 0,52% |
| i-Pentano | 0,09% |
| n-Pentano | 0,11% |
| Nitrógeno | 6,83% |
| CO ₂ | 0,50% |
| H ₂ O | 0,01% |
| n-Hexano | 0,13% |

- En un proceso de producción se enviaron muestras de soluciones acuosas a laboratorio para análisis fisicoquímicos de las mismas. La composición reportada para cada muestra se presenta en la Tabla 2. Se le solicita:
 - Validar la composición química de cada muestra.
 - Determinar la dureza de cada muestra.
 - Determinar los sólidos totales disueltos (STD) expresado en kg/kg para cada muestra.
 - Laboratorio informa valores de densidad de 1.039 kg/L, 1.051 kg/L y 1.25 kg/L. Identificar a que muestra pertenece cada uno.


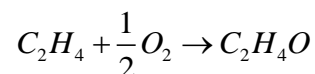
| | | |
|---|--|--------------------------------------|
|  | Facultad de Ingeniería - UNJu | DOC N° 2023-IP-00-R-TP-104 |
| | Ingeniería de procesos | Rev.: a Página 5 de 8 |
| | BALANCE DE MASA Y REQUERIMIENTOS DE ENERGIA EN UN BFD | Fecha: 26-09-2023 |

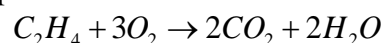
Tabla 2: Composición química muestras acuosas.

| Ítem | Unidad | Agua I | Agua II | Salmuera |
|-------------------------------|--------|--------|---------|----------|
| Li ⁺ | mg/L | 0,04 | 1 | 520 |
| Na ⁺ | mg/L | 32 | 402 | 115.000 |
| K ⁺ | mg/L | 6 | 33 | 10.000 |
| Mg ²⁺ | mg/L | 24 | 99 | 6.400 |
| Ca ²⁺ | mg/L | 56 | 110 | 350 |
| Cl ⁻ | mg/L | 50 | 741 | 188.000 |
| SO ₄ ²⁻ | mg/L | 131 | 143 | 16.100 |
| CO ₃ ²⁻ | mg/L | 0 | 0 | 0 |
| HCO ₃ ⁻ | mg/L | 140 | 492 | 920 |
| B | mg/L | 1 | 16 | 610 |

- e) Para el proceso seleccionado, definir y normalizar la composición química de la materia prima y del producto.
3. En el proceso de producción de nitrato de potasio sólido se emplea una etapa de evaporación seguido de una etapa de cristalización y posterior separación sólido-líquido para obtener el producto a partir de una solución acuosa. La alimentación fresca del proceso es una solución acuosa al 20 % m/m de KNO₃. La solución concentrada que sale del evaporador contiene un 70% m/m KNO₃ y alimenta una etapa de cristalización que opera isotérmicamente a una temperatura de 40°C. La torta húmeda del filtro consiste en cristales sólidos de nitrato de potasio (KNO₃), en una relación de 24 kg de cristal/1 kg licor madre.
- Elaborar el Diagrama de Flujo de Bloque para sin reciclo de licor madre y para el caso con reciclo de licor madre antes de la etapa de evaporación.
 - Determinar los grados de libertad y plantear las ecuaciones correspondientes para cada caso.
 - Desarrollar el Balance de masa para cada caso
 - Determinar parametros de performance para cada caso.
4. El óxido de etileno se produce por la oxidación catalítica del etileno:




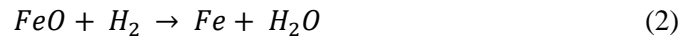
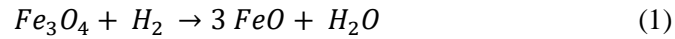
Una reacción indeseable que compite es la combustión del etileno



La alimentación al reactor contiene 2 moles de C₂H₄ y 1 mol O₂. La conversión y el rendimiento en el reactor son, respectivamente, 25 % y 0.70 mol de C₂H₄O producido /mol C₂H₄ consumido. Luego del reactor separan el C₂H₄ y O₂ que se recirculan al reactor, el C₂H₄O, y una mezcla de CO₂ y H₂O. La corriente de entrada y salida del reactor están a 450 °C. La alimentación fresca y las corrientes que salen del separador están a 25 °C. La alimentación fresca y la corriente de reciclo se precalientan a 450 °C.

- Determinar los flujos y las composiciones de todas las corrientes.
 - Determinar los requerimientos de calor para el reactor y el proceso completo.
 - Determinar la velocidad de flujo y la composición de la alimentación fresca y los requerimientos de calor para el reactor y el proceso completo para una velocidad de producción de 1500 kg de C₂H₄O/día.
5. En la Figura 1 se presenta un diagrama de flujo correspondiente a un proceso de reducción gaseosa de magnetita, Fe₃O₄, a Fe. Industrialmente el proceso se lleva a cabo en dos etapas a contracorriente, en las cuales las reacciones que ocurren son las siguientes:

| | | |
|---|--|--------------------------------------|
|  | Facultad de Ingeniería - UNJu | DOC N° 2023-IP-00-R-TP-104 |
| | Ingeniería de procesos | Rev.: a Página 6 de 8 |
| | BALANCE DE MASA Y REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA EN UN BFD | Fecha: 26-09-2023 |



En la primera etapa de reacción (R-101) ocurren ambas reacciones, en tanto que en la segunda etapa (R-102) ocurre únicamente la reacción (2). Estudios de planta piloto demuestran que si al reactor R-102 ingresan 10 moles de gas reductor por cada mol de producto Fe que sale de dicha etapa, entonces se obtiene un producto con una calidad de 98% molar de Fe. Cuando la corriente gaseosa resultante de R-102 ingresa a la primera etapa de reacción (R-101), se obtiene una corriente intermedia parcialmente reducida, con 2% de Fe. El gas reductor (F11) está formado por 33% molar de H_2 , 66% molar de N_2 y 1% molar de agua.

Asumiendo que estos datos son aplicables al proceso a gran escala con recirculación, calcule todas las composiciones de las corrientes si se purga el 10% del gas que sale de R-101, y si se opera el separador de manera que la corriente de recirculación contenga una fracción mol de agua de 0.005%.

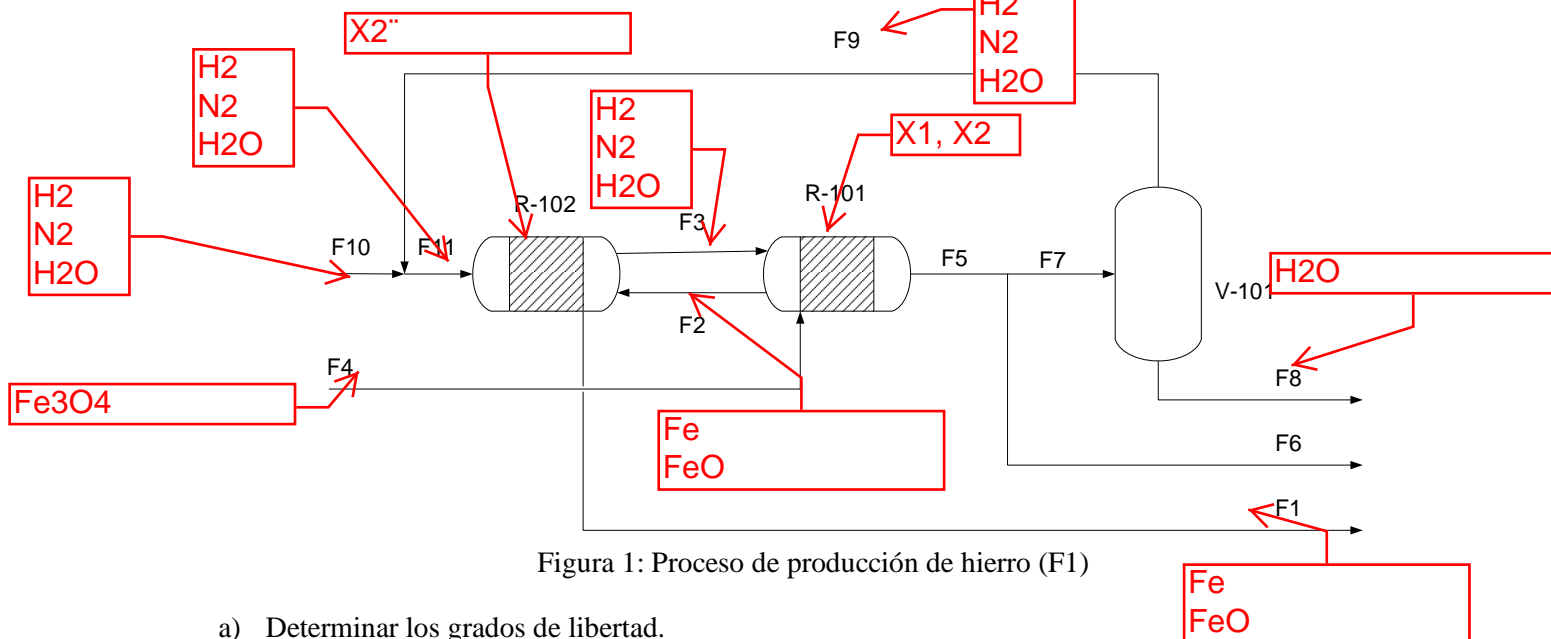


Figura 1: Proceso de producción de hierro (F1)

- Determinar los grados de libertad.
- Plantear las ecuaciones para resolver el balance de masa.
- Determinar los caudales y composiciones de todas las corrientes.

6. Utilizando la Figura 2 realizar las siguientes actividades:

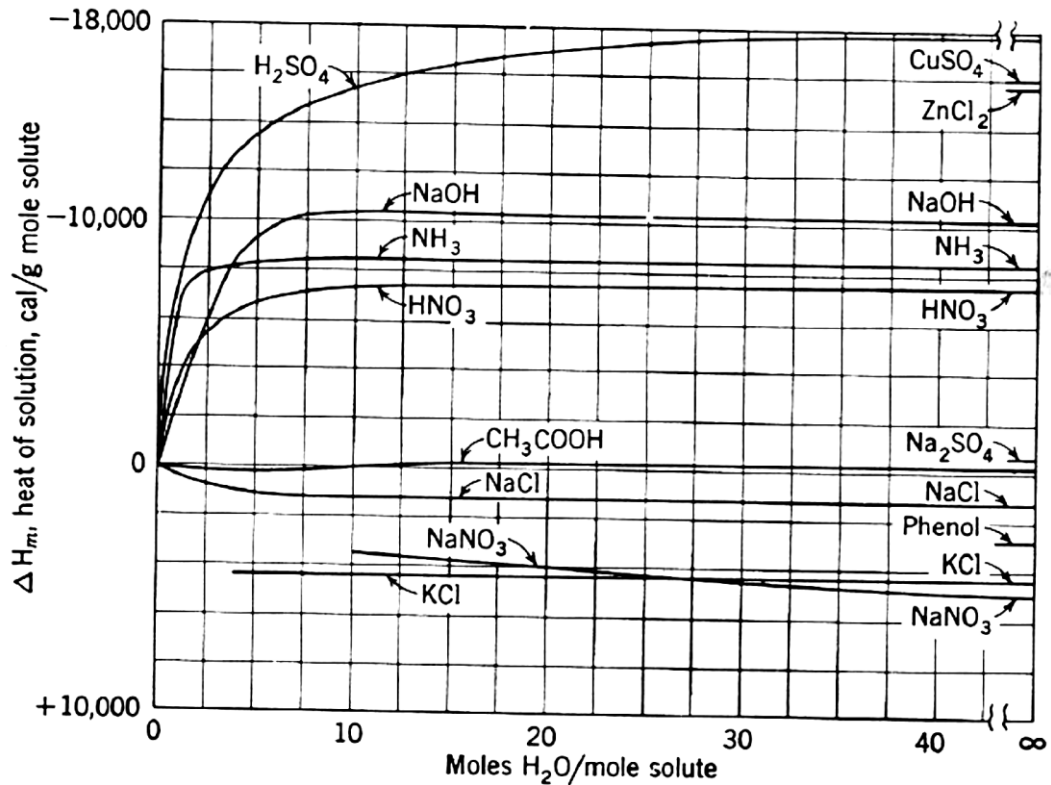



Figura 2: Calor integral de solución

- El calor liberado cuando se mezclan 100 lb de H_2SO_4 con 100 lb de agua a $70^\circ C$ y 1 atm.
 - Para el ítem a), si todo el calor liberado es absorbido por la solución, ¿Cuál es la temperatura final?
 - Calcular la temperatura final de una mezcla de ácido resultante de la dilución de 200 lb de H_2SO_4 al 70 % a $76^\circ F$ con 100 lb de agua a $70^\circ F$ sin pérdida de calor.
7. El monóxido de carbono (CO) se quema en presencia de 100% de exceso de oxígeno puro. Las corrientes de entrada están a $25^\circ C$. El calor estándar de formación (a $25^\circ C$) de CO y CO_2 son -110 kJ/mol y -390 kJ/mol respectivamente. El calor específico (en J/mol K) de los componentes son:
- $$C_{p_{O_2}}(T) = 25 + 14 \cdot 10^{-3}T$$
- $$C_{p_{CO_2}}(T) = 25 + 42 \cdot 10^{-3}T$$
- Dibujar diagrama entrada salida.
 - Determinar los grados de libertad del sistema.
 - Calcular la temperatura adiabática de llama
 - Estimar temperatura de llama consideran que ingresa una corriente de aire en composiciones estándares.
 - Evaluar temperatura de llama cuando el aire ingresa enriquecido en oxígeno, composición 0.4.
8. Una mezcla binaria de agua y 1-propanol, es separada en un separador flash adiabático. La presión de flash es de 1 atm a la temperatura de $88^\circ C$. Para la mezcla de componentes presentado se identifica que la

| | | |
|---|--|--------------------------------------|
|  | Facultad de Ingeniería - UNJu | DOC N° 2023-IP-00-R-TP-104 |
| | Ingeniería de procesos | Rev.: a Página 8 de 8 |
| | BALANCE DE MASA Y REQUERIMIENTOS DE ENERGIA EN UN BFD | Fecha: 26-09-2023 |

fase de vapor tiene comportamiento ideal y la fase líquida tiene comportamiento no ideal. La corriente de alimentación ingresa a razón de 1 mol/s. Determine:

- a) Porcentaje de vapor de la mezcla.
 - b) Composición del líquido en el punto de rocío a la temperatura de 80 °C.
 - c) Temperatura del punto de rocío a la presión de 1 atm.
9. Para el Diagrama de Flujo de Bloque de su proceso propuesto en el trabajo 2023-IP-00-R-TP-103:
- a) Determinar los grados de libertad y plantear las ecuaciones correspondientes.
 - b) Desarrollar el documento Criterios de diseño, conforme 2023-IP-00-R-CD-101_A.xlsx
 - c) Desarrollar el Balance de masa y energía
10. De acuerdo a los resultados obtenidos en el item anterior:
- a) Determinar parametros de performance.
 - b) Determinar consumos especificos

Presentar los documentos necesarios en forma independiente al documento del Trabajo Practico. Los mismos deben ser codificado conforme lo expuesto en el documento 2023-IP-00-G-LD-101_A.xlsx

11. En base a los resultados obtenidos en el item :
- a) Actualizar el BFD y in-out.
 - b) Actualizar el documento Descripción de proceso.