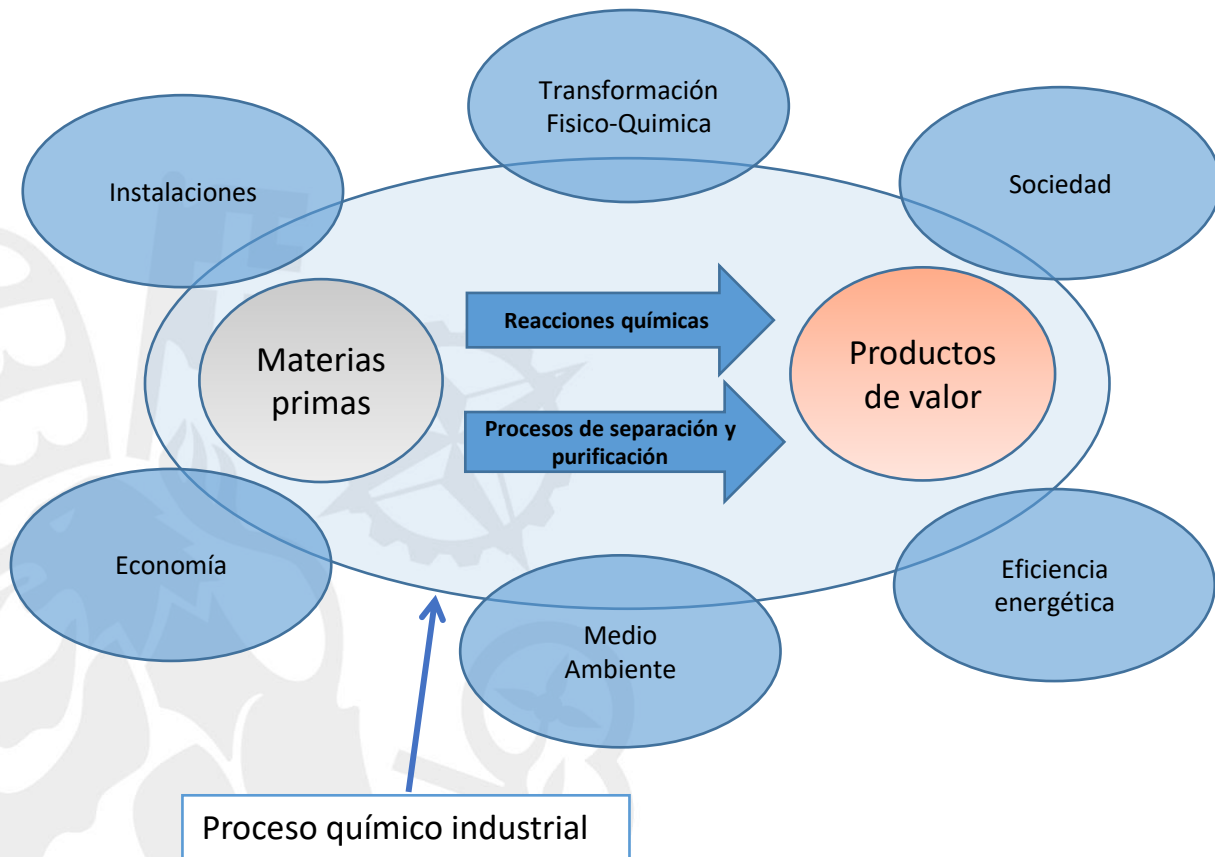


Tema 2: ÉTAPAS DE LOS PROCESOS QUÍMICOS INDUSTRIALES

Ingeniería Química

Máster en Ingeniería Industrial



Propiedades materias primas

Almacenaje

Procesos de cambio de fase, solubilización, calentamiento y enfriamiento

Energía

Factores económicos

Materias primas

Preparación de materias primas

Reacciones químicas

Productos

Separación

Productos finales

Purificación

Residuos

Tratamiento

Realimentación

Transporte y control
(Tuberías, válvulas, bombas...)

Procesos de transformación química
(Catalizadores, velocidad de reacción, rendimiento...)

Procesos de separación
(destilación, filtrado, adsorción...)

Medioambiente

2.1 Definición de operación y proceso unitario

Operaciones básicas

Proceso industrial

Conjunto de **acciones** de:

- Adecuación
- Transferencia
- Mezcla
- Separación
- Transformación
- Etc.

Adecuadamente **interconectadas** entre ellas

1. Separación de sólidos



2. Alcalización

Floculante

Licor

Licor clarificado

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

Licor

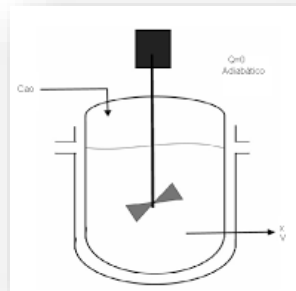
Licor

Licor

Licor

Definición de operación unitaria

- Operaciones unitarias también llamadas operaciones básicas
- En una planta química para obtener un producto final, el proceso se realiza en **varias etapas** individuales cada una con una función específica, y que **coordinadas**, permiten llevar a cabo un proceso químico-industrial.
- En estas etapas hay procesos que son sin reacción química (**operaciones unitarias**) o con reacción química (**procesos unitarios**)
 - Sin reacción química: las sustancias que intervienen no cambian, pueden cambiar de estado, pero son químicamente iguales. Se han separado un tipo de moléculas de otras o se ha eliminado el agua de un producto o se ha condensado un vapor, etc.
 - Con reacción química: se produce una reacción
- Las operaciones unitarias son las mismas para cualquier tipo de industria ya que:
 - Se basan en los **mismos principios científicos**
 - Tienen **técnicas de cálculo comunes**
 - Lo que puede **variar son los equipos** empleados



1. Hay equipos genéricos que pueden ser empleados indistintamente en cualquier tipo de industria (bombas, compresores, centrífugas, evaporadores, etc.)
2. Hay equipos específicos diseñados específicamente para un proceso en particular y para una Industria en particular (cambiadores de calor, columnas de destilación, etc.)



Diferentes escalas de operaciones unitarias

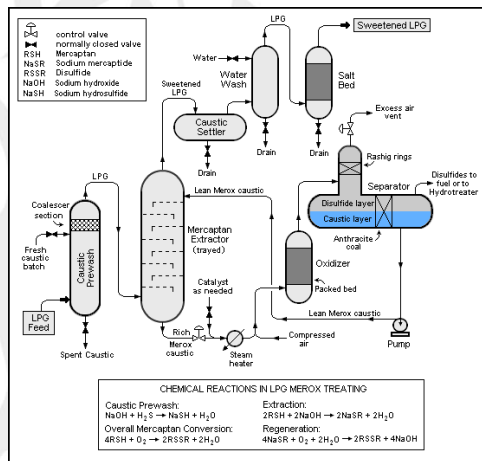
1. Escala de **laboratorio**, empleada para estudiar detalles de la operación con pequeñas cantidades de materias primas. En un laboratorio se llevan a cabo operaciones discontinuas, mientras que la mayoría de las plantas químicas operan en régimen continuo, intentando obtener el mayor rendimiento posible.
2. Escala de **Planta Piloto**, empleada para predecir el comportamiento en la planta, los datos obtenidos serán la base para el diseño de la planta Industrial.



3. Escala **Industrial**. Tamaño final de la planta comercial que ha de reproducir los resultados obtenidos a escala laboratorio y en la planta piloto.

comillas.edu

- Los procesos químicos industriales suelen ser muy complejos
- Existen varias formas de representar un proceso:
 1. Diagramas de Bloques
 2. Diagramas de Flujo de Procesos
 3. Diagramas Isométricos



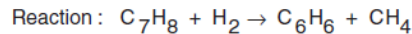
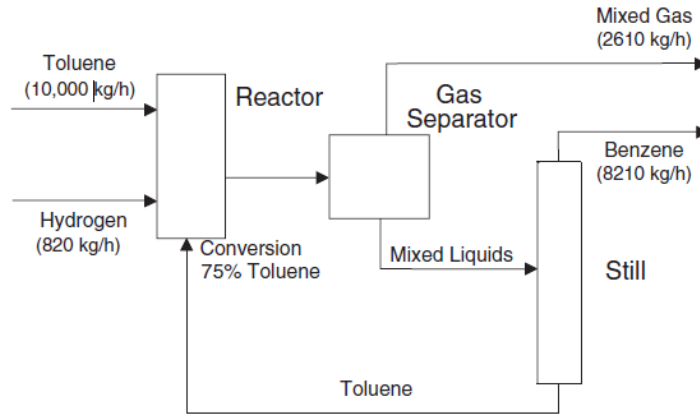
A) Diagramas de bloques

- Ayudan a convertir un problema complejo en un diagrama simple
- Objetivo: Dar una **visión general y clara** de un proceso o de una planta
- Consiste en una serie de bloques que representan los diferentes equipos o operaciones unitarias conectadas con los flujos de entrada y salida
- Si se incluye información importante: Tº, P, conversiones, composición, reacciones...
- No se incluye detalles de equipos dentro de los bloques

Recomendaciones:

- 1) Cada operación básica se muestra en un bloque
- 2) Los flujos más importantes se muestran con flechas indicando la dirección del flujo
- 3) En la medida de lo posible el flujo debe de ir de izquierda a derecha
- 4) Los flujos más ligeros (gases) han de ir por la parte de superior y los más pesados (líquidos) por la parte inferior
- 5) Solo ha de proporcionarse la información crítica
- 6) Si se cruzan dos líneas, la horizontal es continua y la vertical se corta
- 7) Si es posible se proporciona un balance de materia sencillo

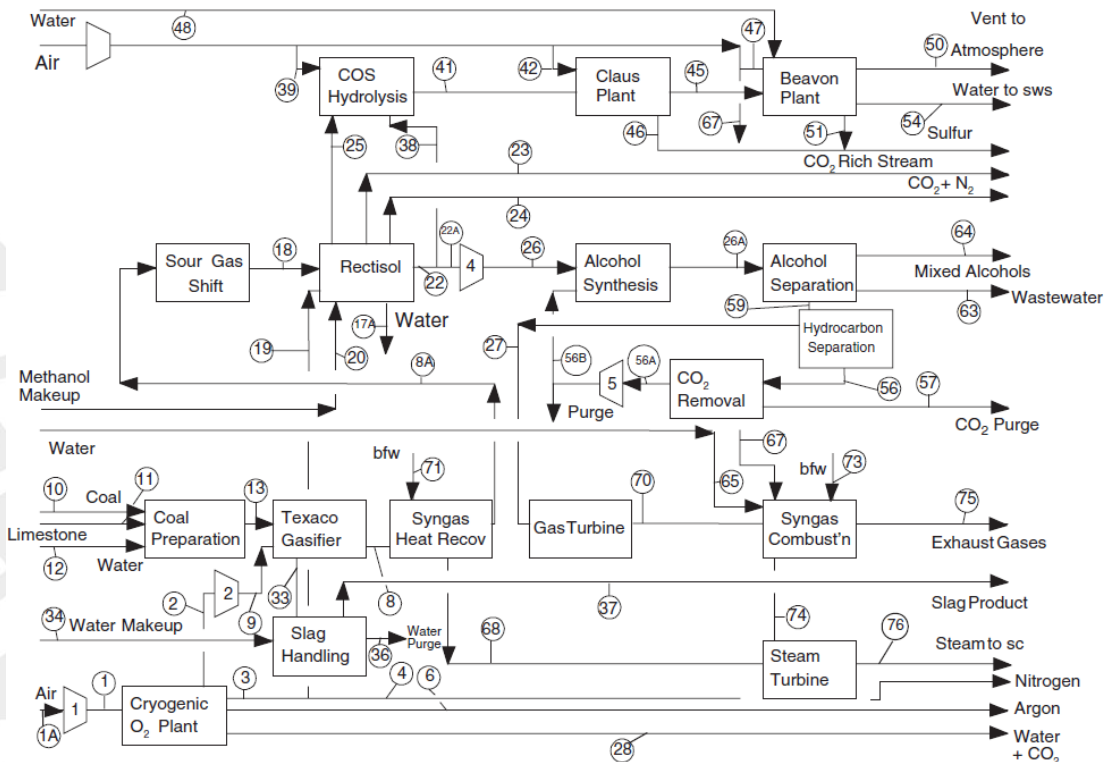
Ejemplo diagrama de bloques de un proceso



Producción de benceno

- Cada bloque en realidad esta constituido por varias piezas y equipos
- Falta mucha información pero sirve para hacerse una **idea general** del proceso

Ejemplo diagrama de bloques de una planta industrial



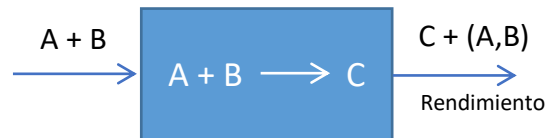
Planta de transformación de alcohol

Diagrama de bloques de algunas operaciones unitarias

Mezclador



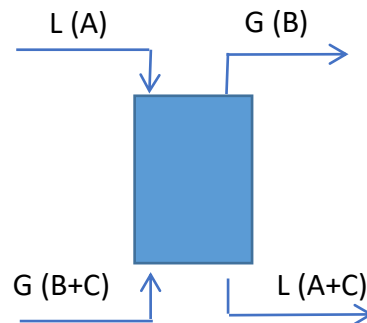
Reactor



Destilación y cristalización



Absorción

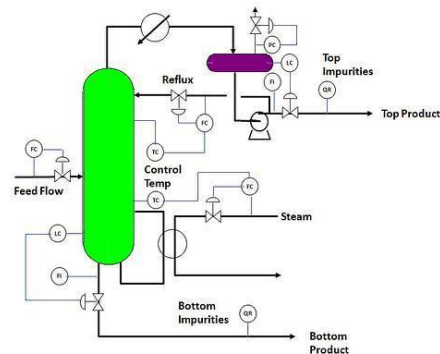


B) Diagramas de flujo de procesos

- Se detalla cada una de los equipos y componentes de cada operación unitaria y del proceso
- Existen cierto acuerdo de cómo se representan cada uno de los componentes de un proceso químico (torres de destilación, decantadores, reactores, válvulas...)..
- La información detallada varia de unos a otros, pero debería de proporcionarse la información necesaria para el diseño y entendimiento de todo el proceso químico

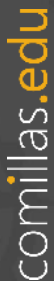
Información que puede incluir:

1. Equipos (bombas, compresores, torres de destilación, reactores, recipientes....)
2. Direcciones del flujo
3. Esquema de tuberías
4. Identificación de los flujos con números
5. Principales líneas de bypass y recirculación
6. Presiones, temperaturas, caudales y composiciones y de flujos y equipos
7. Sistemas de control (válvulas)
8. Líneas de interconexión con otros sistemas
9. Balances de materia y de energía



comillas.edu

comillas.edu



comillas.edu

Información de las líneas de flujo del proceso

Required Information

Stream Number
 Temperature (°C)
 Pressure (bar)
 Vapor Fraction
 Total Mass Flowrate (kg/h)
 Total Mole Flowrate (kmol/h)
 Individual Component Flowrates (kmol/h)

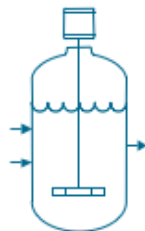
Optional Information

Component Mole Fractions
 Component Mass Fractions
 Individual Component Flowrates (kg/h)
 Volumetric Flowrates (m³/h)
 Significant Physical Properties
 Density
 Viscosity
 Other
 Thermodynamic Data
 Heat Capacity
 Stream Enthalpy
 K-values
 Stream Name

Stream Number	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperature (°C)	25	59	25	225	41	600	41	38
Pressure (bar)	1.90	25.8	25.5	25.2	25.5	25.0	25.5	23.9
Vapor Fraction	0.0	0.0	1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mass Flow (tonne/h)	10.0	13.3	0.82	20.5	6.41	20.5	0.36	9.2
Mole Flow (kmol/h)	108.7	144.2	301.0	1204.4	758.8	1204.4	42.6	1100.8
Component Flowrates (kmol/h)								
Hydrogen	0.0	0.0	286.0	735.4	449.4	735.4	25.2	651.9
Methane	0.0	0.0	15.0	317.3	302.2	317.3	16.95	438.3
Benzene	0.0	1.0	0.0	7.6	6.6	7.6	0.37	9.55
Toluene	108.7	143.2	0.0	144.0	0.7	144.0	0.04	1.05

Ejemplos de representaciones gráficas

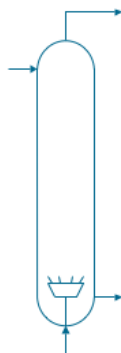
Mezclador



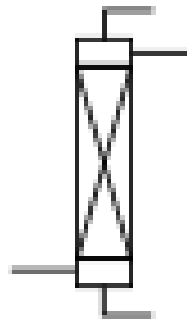
Reactor



Destilación



Absorción





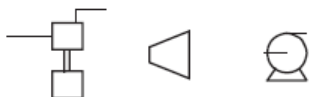
HEAT EXCHANGERS



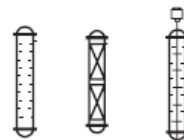
FIRED HEATER



STORAGE TANKS



PUMPS, TURBINES,
COMPRESSORS



TOWERS

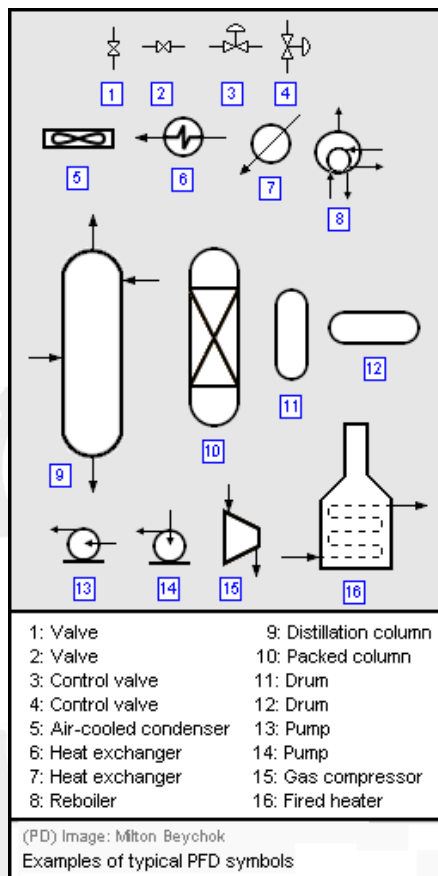


VESSELS

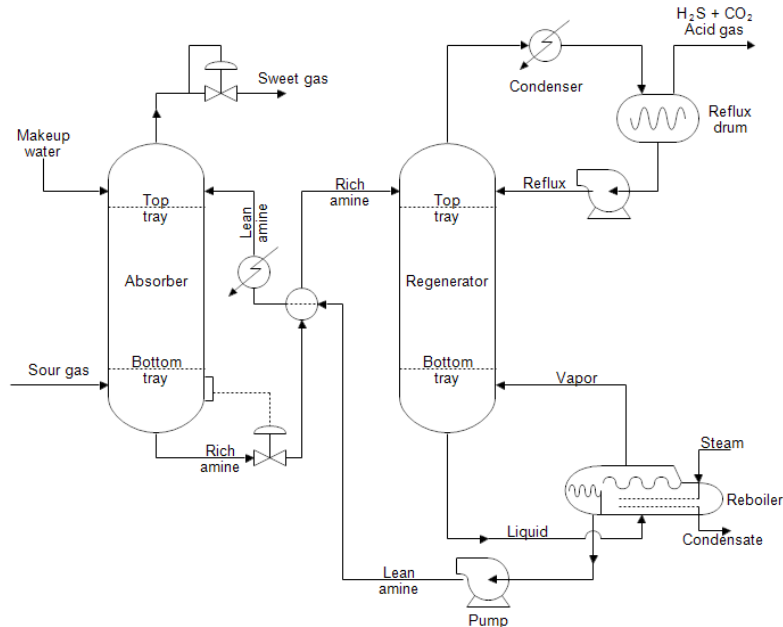


REACTORS

	PROCESS INPUT		VALVE
	PROCESS OUTPUT		STREAM NUMBER
	CONTROL VALVE		INSTRUMENT FLAG
	GLOBE VALVE (MANUAL CONTROL)		

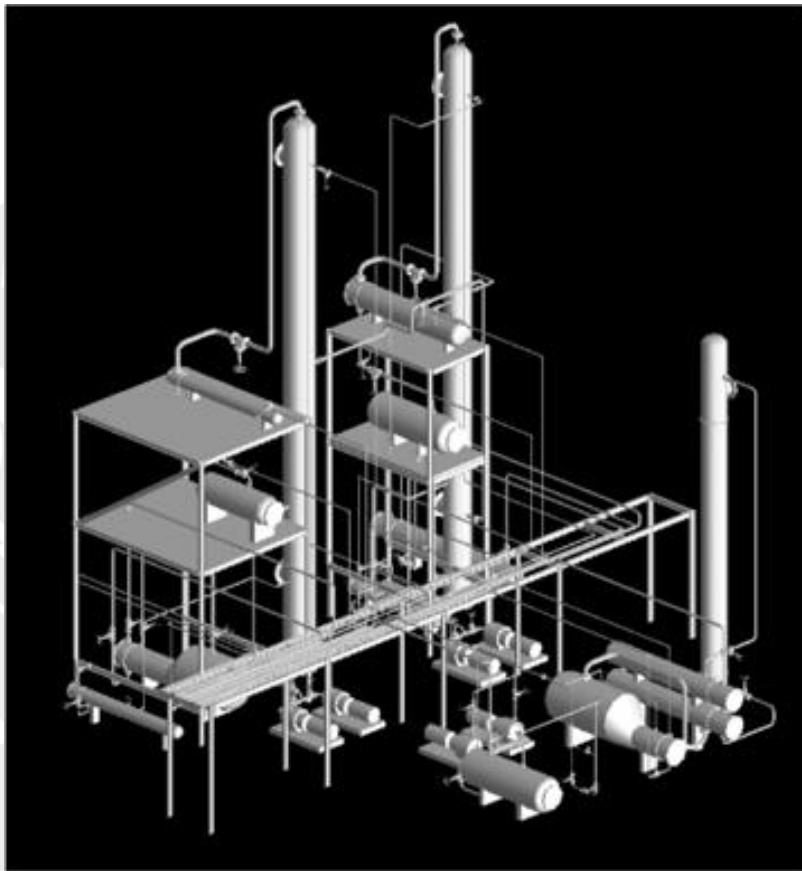


Process Flow Diagram Amine Treatment



- Propiedades de cada corriente de flujo
- Flujos de entrada y salida (balances de materia)
- Flujos energéticos (balance de energía)
- Diseño de los equipos
- Válvulas y equipos de control
- Reacciones (catalizadores, condiciones, etc...)
- Reflujos, recirculaciones
- Tratamiento de residuos
- Etc...

C) Diagramas isométricos



Ejemplo práctico: Refinería de petróleo

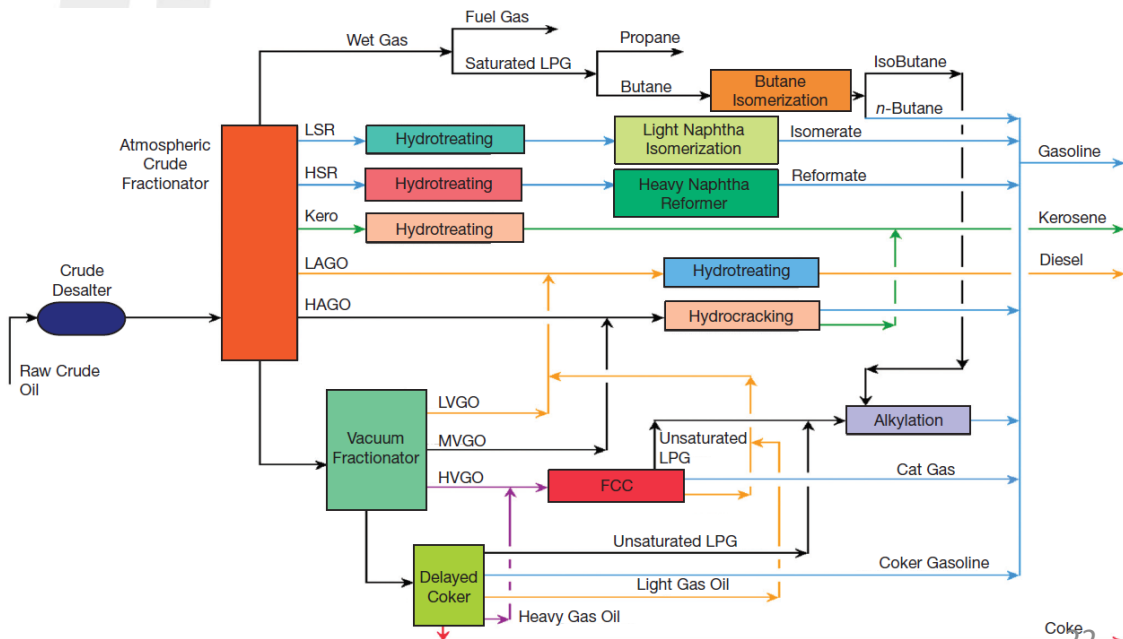


¿Cómo se obtienen todos los productos derivados del petróleo?

Proceso industrial muy complejo



Diagrama de bloques de una refinería

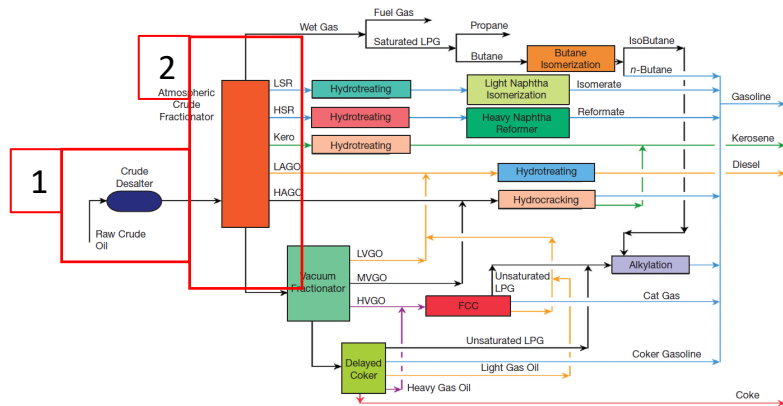


Crudo del petróleo

- El petróleo crudo es una mezcla de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos
- Los hidrocarburos son compuestos que contienen en su estructura molecular carbono e hidrógeno principalmente.
- El número de átomos de carbono y la forma en que están colocados dentro de las moléculas de los diferentes compuestos proporciona al petróleo diferentes propiedades físicas y químicas.
 - De uno a cuatro átomos de carbono son gaseosos
 - De 5 a 20 son líquidos
 - De más de 20 son sólidos a la temperatura ambiente.



Fracción	Límite de tamaño de moléculas	Límite de punto de ebullición (°C)	Usos
Gas	C ₁ a C ₅	- 160 a 50	Combustible gaseoso, producción de H ₂
Gasolina	C ₅ a C ₁₂	30 a 200	Combustible para motores
Kerosén, aceite combustible	C ₁₂ a C ₁₈	180 a 400	Combustibles diesel, para hornos; pirolisis
Lubricantes	C ₁₆ y más	550 y más	Lubricación
Parafinas	C ₂₀ y más	Sólidos de baja fusión	Velas, cerillas
Asfalto	C ₃₆	Residuos gomosos	Superficie de carreteras, combustible



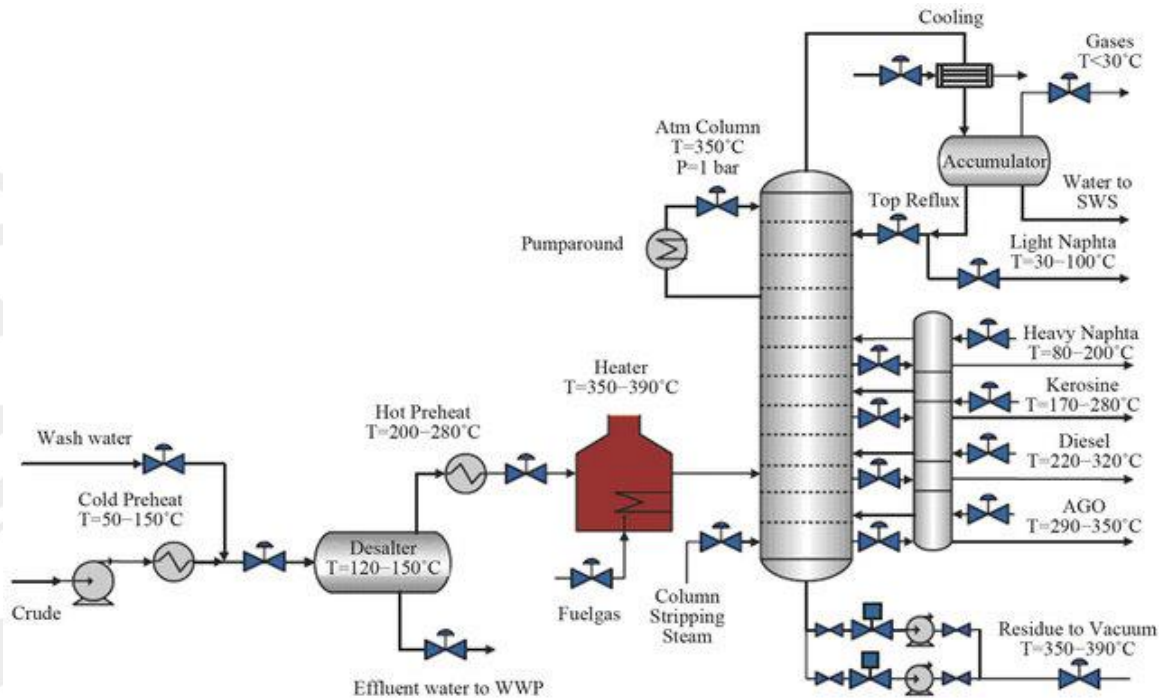
1. Desaladora de crudo

Se introduce el crudo en un tanque con agua para eliminar las sales y los sedimentos que contiene el crudo, de esta forma se intenta mitigar el efecto corrosivo y posibles daños que estos pueden tener sobre los diferentes equipos del proceso

2. Unidad de destilación atmosférica

- El objetivo principal es separar el crudo en diferentes fracciones en función de temperatura de ebullición
- Las fracciones ligeras (bajos puntos de ebullición) saldrán por la parte superior de la columna y las mas pesadas (altos puntos de ebullición) por la parte inferior de la columna
- Es necesario precalentar el crudo antes de introducirlo a la columna a temperaturas cercanas a los 400°C

Diagrama de flujo de la unidad de destilación atmosférica



2. Unidad de destilación atmosférica o destilación de crudo (CDU)



Imagen: <https://es.peiyangchem.com/modular-refinery/processing-units-of-oil-refinery/cdu.html>

4. Unidad de vacío



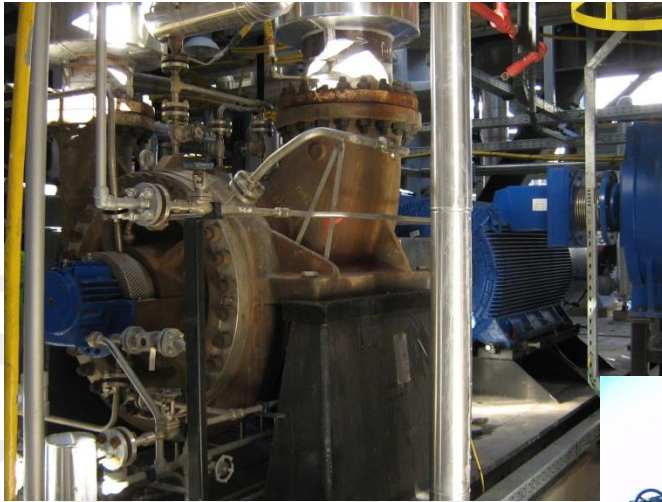
4. Unidad de vacío



Falda de cemento de la columna



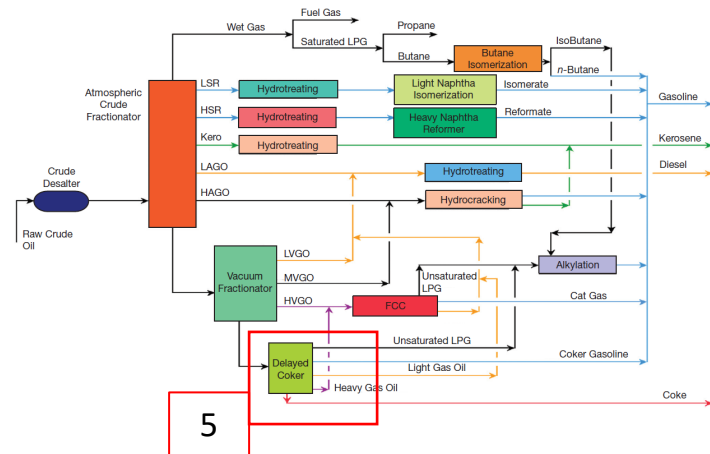
4. Unidad de vacío



Bomba HVGO

Condensadores de cabeza





5. Unidad de coquización retardada

- Tratamiento térmico de las fracciones de crudo más pesadas para producir una mezcla de petróleos más livianos y coque (o carbón residual de petróleo).
- Proceso de craqueo sin catalizador.
- La corriente alimento pasa por un horno, donde se aporta calor, y se envía a dos tambores para que la coquización tenga lugar.
- El coque puede utilizarse como combustible o en otras aplicaciones como la fabricación de acero o aluminio.

5. Unidad de coquización retardada



Unidad con cuatro tambores de coquización



Capacidad de carga de las grúas



Descarga de los tambores de coquización al foso inferior

5. Unidad de coquización retardada

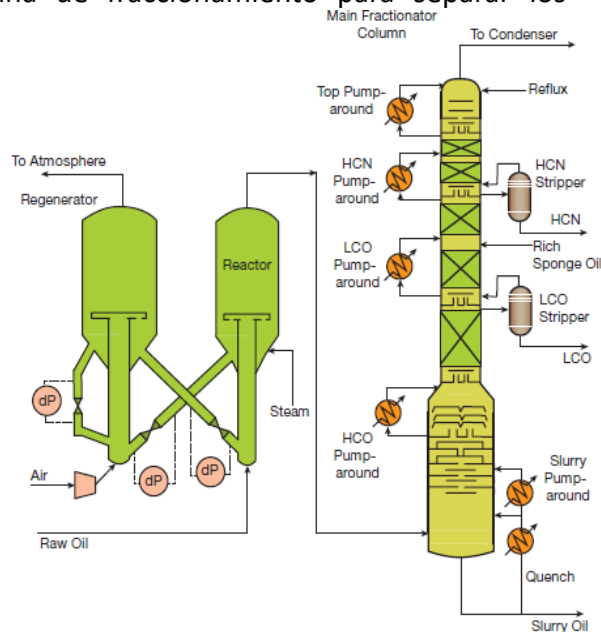
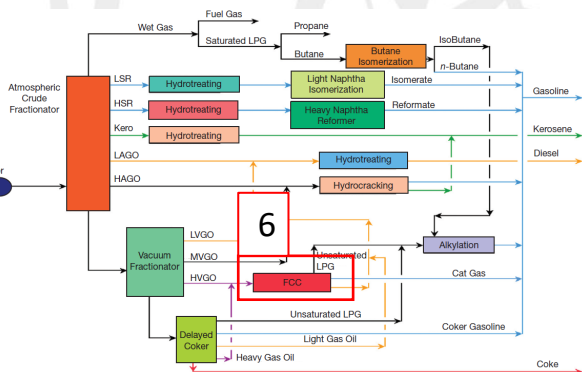


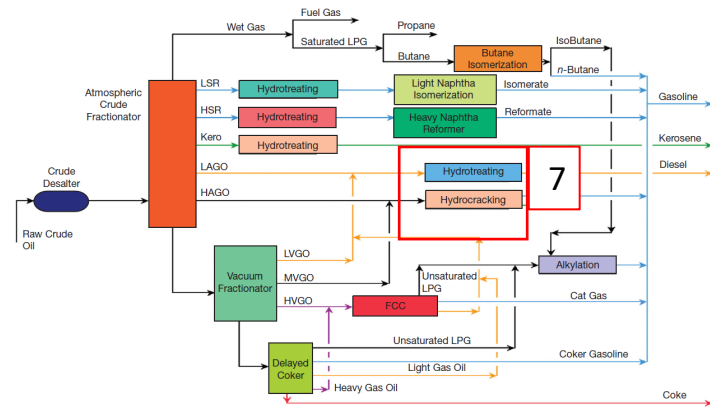
Sistema de transporte del coque al puerto



6. Unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC)

- Ruptura de las cadenas de hidrocarburos más grandes (alrededor de 45 átomos de C), mediante la acción de un catalizador que favorece que las reacciones se produzcan a una temperatura mas baja que la necesaria para el craqueo térmico.
- El catalizador se pone en contacto intimo con la carga y cuando se satura se regenera mediante la combustión del carbón que se produce y se vuelve a utilizar (consta de un reactor y un regenerador)
- Se denomina fluidizado debido a que el catalizador es tan fino que el producto fluye cómo un liquido
- A continuación del reactor hay una columna de fraccionamiento para separar los hidrocarburos tras el craqueo



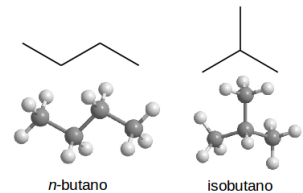
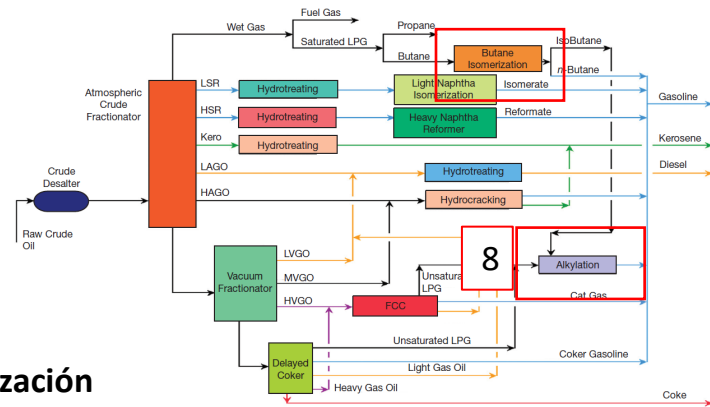


7. Unidad de hidrocrqueo

- Es una variante del proceso de craqueo catalítico en el que incorpora además del catalizador, hidrógeno.
- Combina el craqueo catalítico y la hidrogenación, y por medio del cual las fracciones de destilado se descomponen en presencia de hidrógeno y catalizadores especiales dando lugar a productos de más valor.

8. Unidad de alquilación y de isomerización del butano

- Mediante la combinación de n- butanos e isobutanos y olefinas (hidrocarburos con al menos un doble enlace) se producen unas moléculas denominadas alquilatos.
- Estos alquilatos son muy preciados para mezclarlos con las gasolinas y conseguir aumentar su octanaje
- Como el isobutano da lugar a alquilatos de mayor calidad que el n-butano, se cuenta con una unidad de isomerización que transforma el n-butano en isobutano



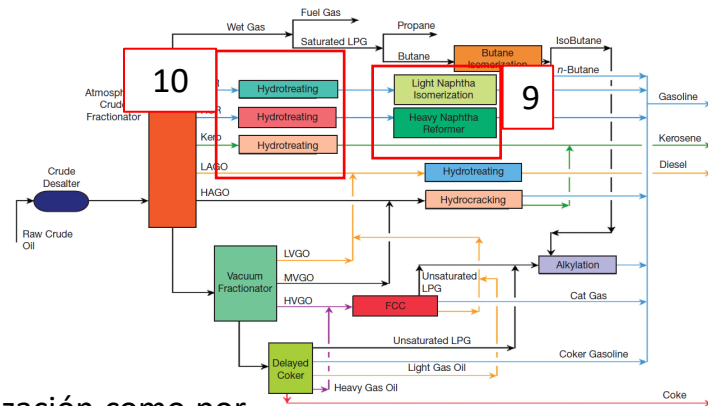
Octanaje: mide la capacidad antidetonante del carburante. Cuanto mayor es el índice, mayor puede ser la compresión dentro del motor y mayor es su rendimiento

9. Otras unidades de isomerización

- Existen otras unidades de isomerización como por ejemplo la de la nafta que mediante procesos complejos en los que intervienen reactores y catalizadores produce isómeros de mayor valor y calidad.

10. Unidad de hidrotratamiento

- Se trata de un tratamiento con hidrógeno.
- Normalmente son reacciones de hidrogenación utilizando hidrogeno gaseoso y normalmente catalizadores, altas temperaturas o combinación de ambos.
- Mediante estas reacciones de hidrogenación se pueden transformar las diferentes fracciones del petróleo para dar lugar a productos de mayor valor
- Ejemplos: se convierten las olefinas (doble enlace) en parafinas (enlaces simples), se elimina el oxígeno y el nitrógeno de las cadenas hidrocarbonadas, los compuestos aromáticos se transforman en cicloalcanos, etc.

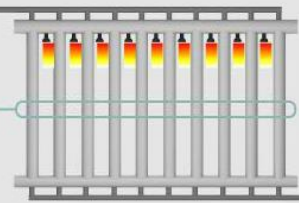


11. Unidad de producción de hidrógeno



BUTANE
PLATFORMER
GAS
STEAM

CATALYST
FILLED TUBES



97 vol % pure
Hydrogen + CO₂

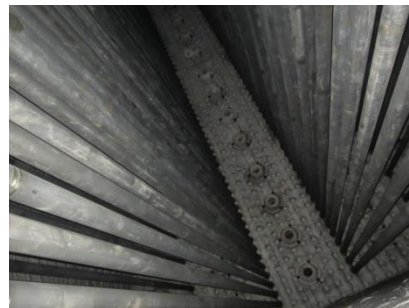
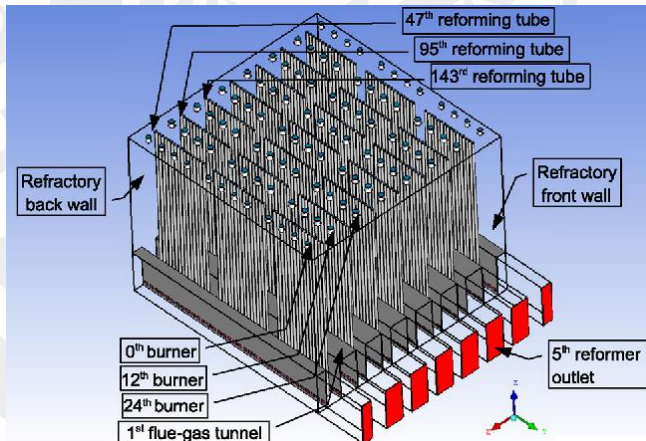
11. Unidad de producción de hidrógeno



Acceso al interior. Recubrimiento refractario



Tubos con catalizador



Quemadores

12. Unidades de servicio

Subestaciones eléctricas



Nivel 1 – paneles de control

Nivel 0 – paneles eléctricos



Transformador exterior de alta potencia



Nivel -1

12. Unidades de servicio

Antorcha



Estación de bombeo contra incendios

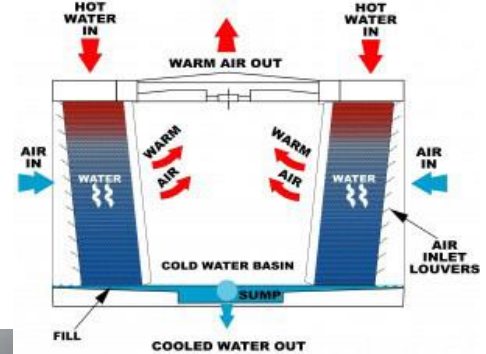


12. Unidades de servicio

Torre de enfriamiento de agua



Aeroventilador



Bombas de salida



Bombas de entrada

12. Unidades de servicio

Sistema de almacenamiento: tanques y esferas



13. Construcción



Liebherr LTM 11200

13. Construcción



- Altura máx. 196 m.
- 50 m de altura >>> 1.200 toneladas de peso.
- 120 m de altura >>> 160 toneladas de peso.
- Contrapeso: 202 toneladas con 4 brazos de 14 m. longitud.
- Circulación por carretera: de 26 a 45m.
- Base con motor turbodiésel de 680 CV.
- Pluma con motor turbodiésel de 367 CV.
- 10.000.000 €

Bibliografía

- Ingeniería química básica. Francisco Jarabo Friedich, Francisco J. García Álvarez
- Ingeniería química. Mario Grau Rios, Eugenio Muñoz Camacho. UNED
- Calleja, G. y otros; “Introducción a la Ingeniería Química”, Ed. Síntesis, Madrid (1999)
- Analysis , synthesis and design of chemical processes. Fourth edition. Richard turton y otros. Ed Prentice hall
- An Oil refinery walk-through. Tim Olsen. Chemical Engineering Progress (CEP). Mayo 2014