

Facultad de Ingeniería - UNJu
Ingeniería Química

Ingeniería de Procesos



ADS: Romina Gisela Huaranca
Prof. Adj: Demetrio Humana

Diagramas para el estudio de los procesos químicos

“La manera mas efectiva de comunicar información de los procesos es por medio de Diagramas de Flujo.”

“La presentación esta basada en Turton et al.”

Introducción

En un proceso químico, la transformación de reactivos en productos no se logra en un única etapa. La **conversión global** tiene lugar a través de un número etapas como las siguientes: reacción, separación, mezcla, cambios de presión y temperatura, etc.

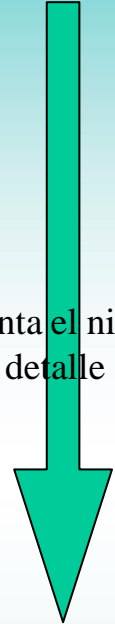
El diseño de proceso es un proceso evolutivo que puede ser representado por una secuencia de *diagramas de procesos*.

Los Diagramas de Flujo de procesos son:

La manera más conveniente para representar un proceso es mediante diagramas de flujo.

- Diagrama de Flujo de Bloque de Entrada/Salida.
- Diagrama de Flujo en Bloque (BFD).
 - Proceso
 - Planta
- **Diagrama de Flujo de Proceso (PFD).**
 - Diagrama de flujo de servicios (UFD)
- **Diagrama de Flujo de Proceso con Instrumentación y cañerías (P&ID).**

Aumenta el nivel de
detalle



Otro diagrama importante es

- Diagrama de Bloque Genérico.

¿Por qué utilizar diagramas de flujo de procesos?

La manera más conveniente para representar un proceso es mediante diagramas de flujo.

- Ayudan a conceptualizar una idea.
- Ayudan a desarrollar una idea y diseñar el proceso.
- Ayudan en la comunicación de información.
- Mejoran la toma de decisión durante el diseño de procesos.
- Ayudan a planificar la puesta en marcha y operación y parada
- Se utilizan para realizar estudios de riesgo (checklist, What if, Hazop, etc)

Diagramas para el estudio de los procesos químicos

Estequiometría

Diagrama entrada - Salida

Balance preliminar de materia

Diagrama de flujo de bloques (**BFD**)

Condiciones Preliminares de Procesos

Balance de materia y energía +
Especificación de Equipos

Diagrama de flujo de procesos (**PFD**)

Diagrama de flujo de bloque genérico

Información de instrumentos
y Mecánica

Diagrama de instrumentación y cañerías (**P&ID**)

Algunas Consideraciones sobre BD, PFD, P&ID

- El **diagrama de flujo de Bloques (BFD)** es el mas útil para explicar problemas y tecnologías de procesos en la forma mas sencilla posible. Es el que más van a usar para comunicaciones comerciales y ejecutivas. Muestra las operaciones unitarias.
- El **Diagrama de Flujo de Proceso (PFD)** se usa para ilustrar como funciona proceso que ocurre en un sistema. Se usa principalmente para explorar caudales y composiciones y su impacto, así como para seguir los elementos de recicló, mezclas, generación y consumo de vapor, y otros servicios en cada equipo. Muestra los equipos.
- El **Diagrama P&ID** muestra aspectos de piping e instrumentación. Cuales son los materiales de construcción y las características físicas de los equipo, así como en que forma operan los “lazos” de control de la operación teniendo en cuenta los niveles de seguridad.
- Conforme se comparte información del nivel operativo al estratégico, los diagramas se simplifican y se centran en la mínima información requerida para comunicar el objetivo deseado.

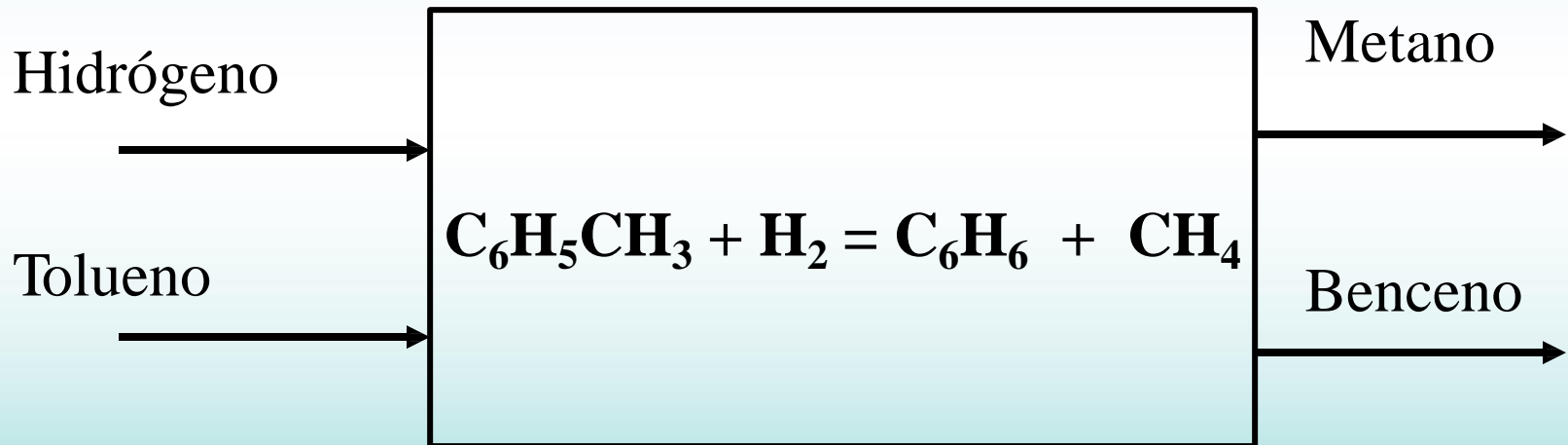
Análisis de un caso base

(Turton et al)

El tolueno y el hidrógeno reaccionan para producir benceno y metano. La reacción no es completa, se requiere un exceso de tolueno. Los gases no condensables son separados y descargados al medio. El benceno y el tolueno que no reaccionan son luego separados por destilación, y el tolueno recuperado es reciclado al reactor y el benceno sale en una corriente de salida (producto).

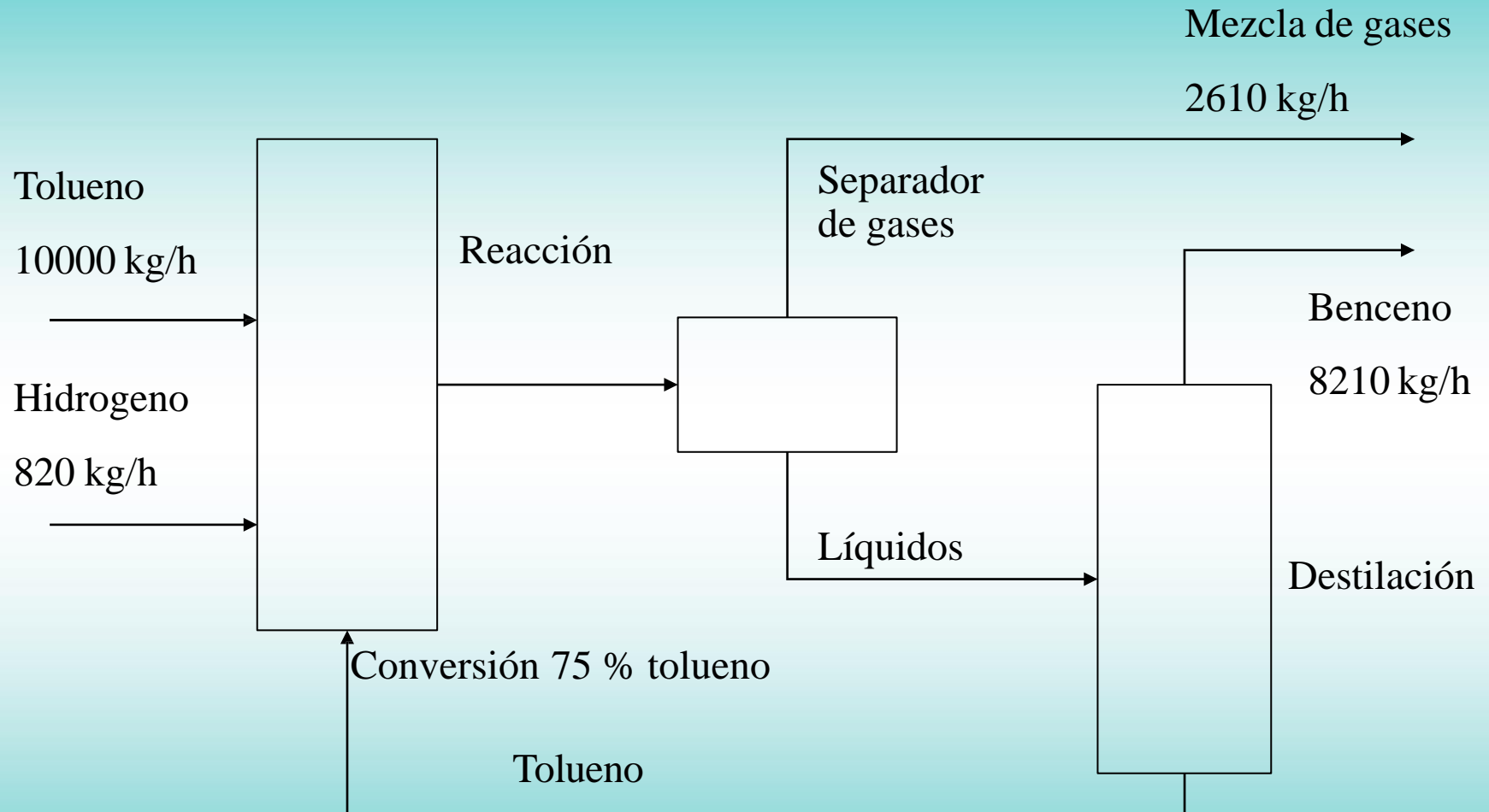
Diagrama entrada – salida (in-out)

Se trata de la primera etapa de diseño de un proceso, donde el ingeniero de procesos representa diagrama de bloques con la alimentación y los productos.



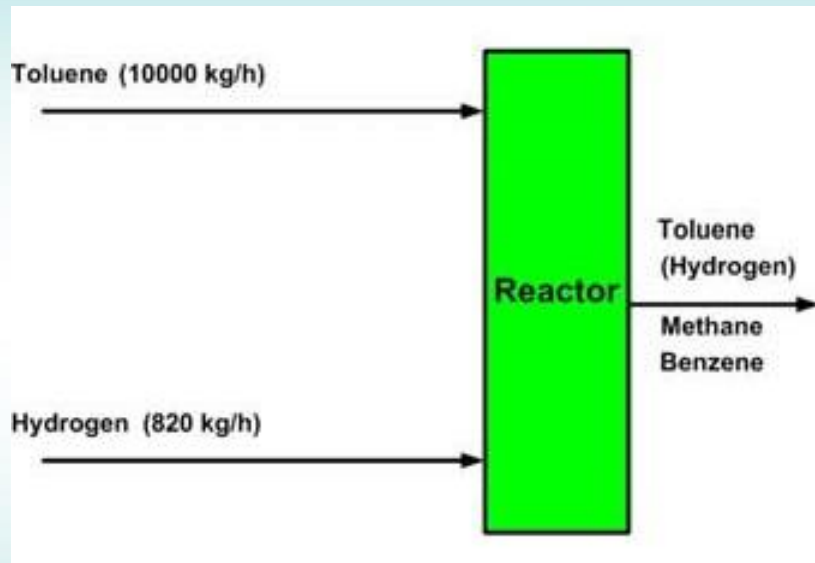
- Información:
- Materia prima
 - Relación estequiométrica
 - Producto, subproducto, residuos

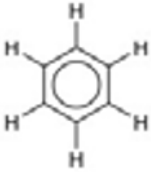
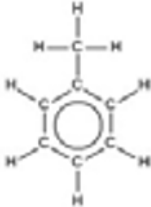
Diagrama de flujo de bloques (BFD)



Cada bloque representa una función y puede contener varios equipos de proceso

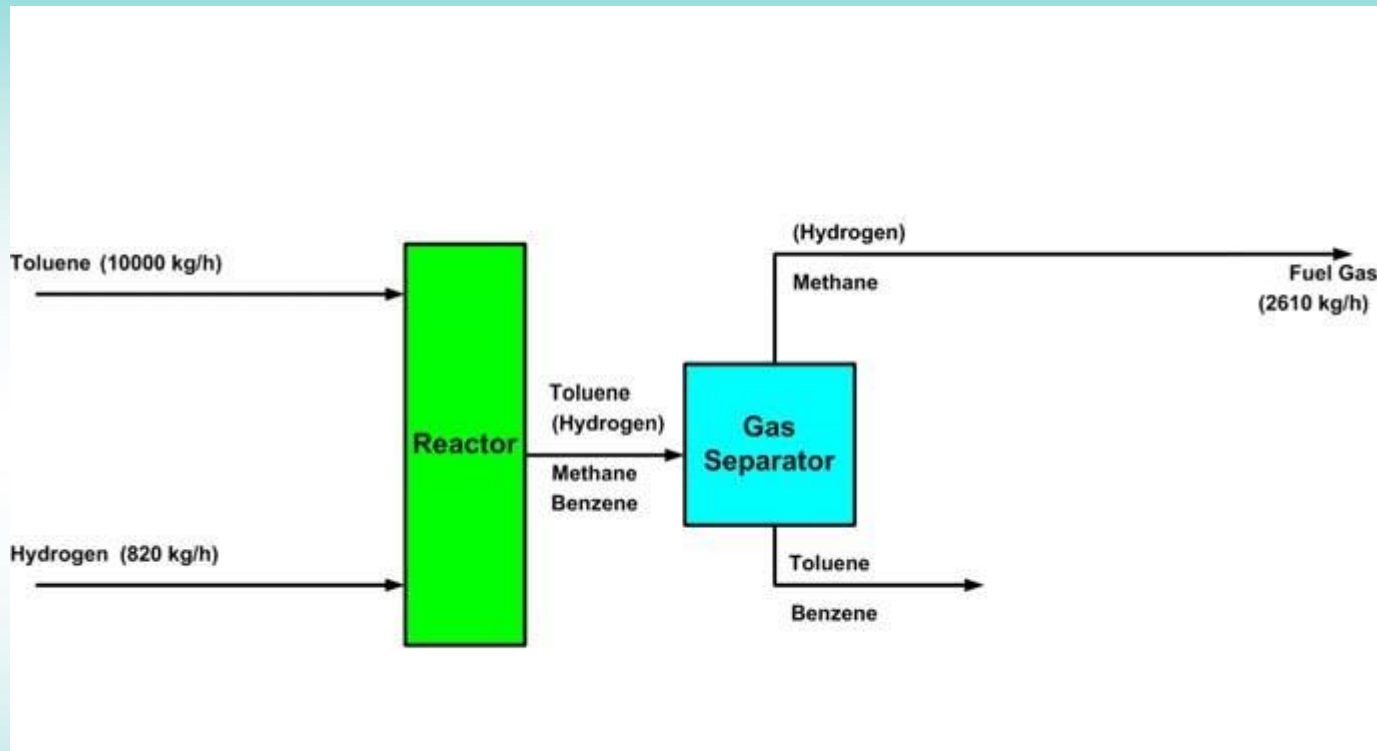
Diagrama de flujo de bloques (BFD)



Compound		BP (°C)
Hydrogen	H_2	-253
Methane	CH_4	-164
Benzene		80.1
Toluene		110.6

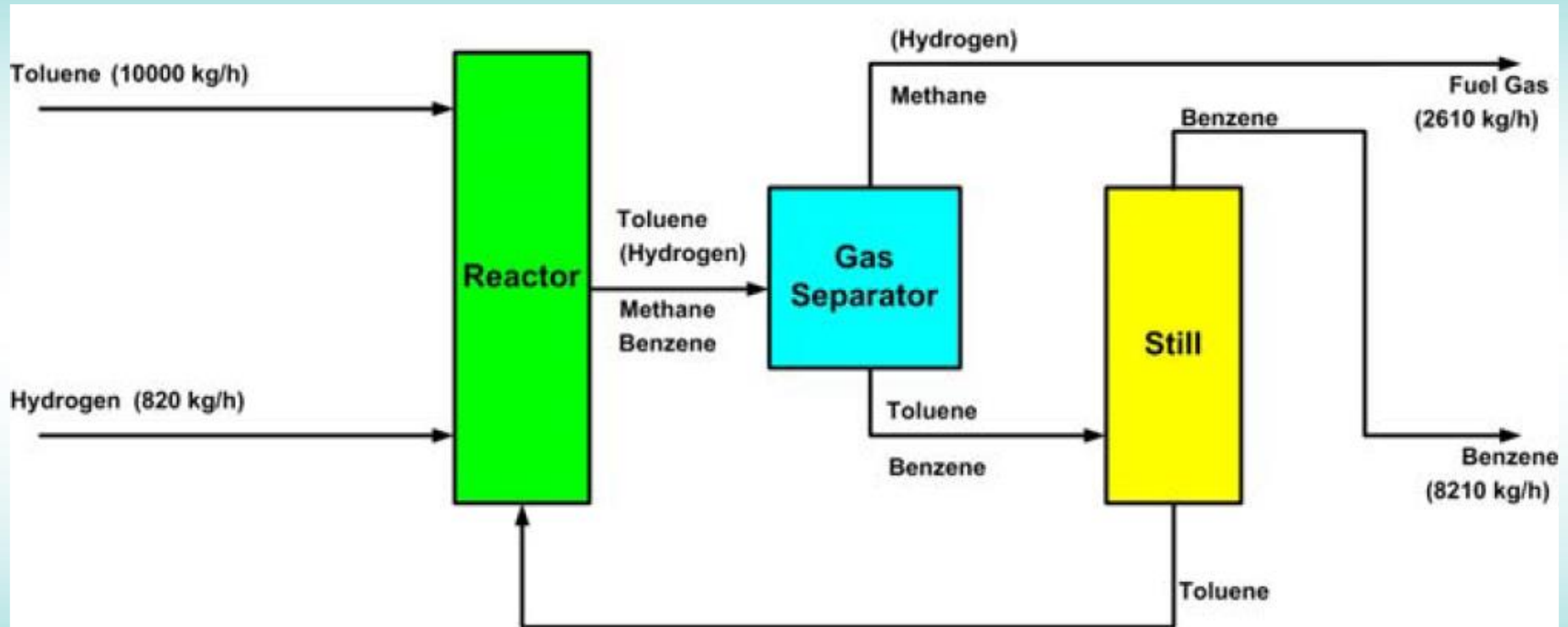
Cada bloque representa una función y puede contener varios equipos de proceso

Diagrama de flujo de bloques (BFD)



Cada bloque representa una función y puede contener varios equipos de proceso

Diagrama de flujo de bloques (BFD)



Cada bloque representa una función y puede contener varios equipos de proceso

Diagrama de flujo de bloques (BFD)

Se trata de una serie de bloques conectados por corrientes de entrada y salida.

- 1. Las operaciones se representan por bloques.**
- 2. Líneas de flujo (entradas y salidas) principales con flechas que indican la dirección del flujo.**
- 3. Los flujos desde la izquierda a derecha a menos que no sea posible (reciclo).**
- 4. Las corrientes livianas de salida de cada bloque se representan arriba y las pesadas abajo.**
- 5. Información crítica (conversión, kd) para comprender el proceso.**
- 6. Si las líneas se cortan, la horizontal es continua y la vertical es línea cortada.**
- 7. Provee un balance simple de materia y requerimientos energéticos.**

Diagrama de flujo de bloques de una planta

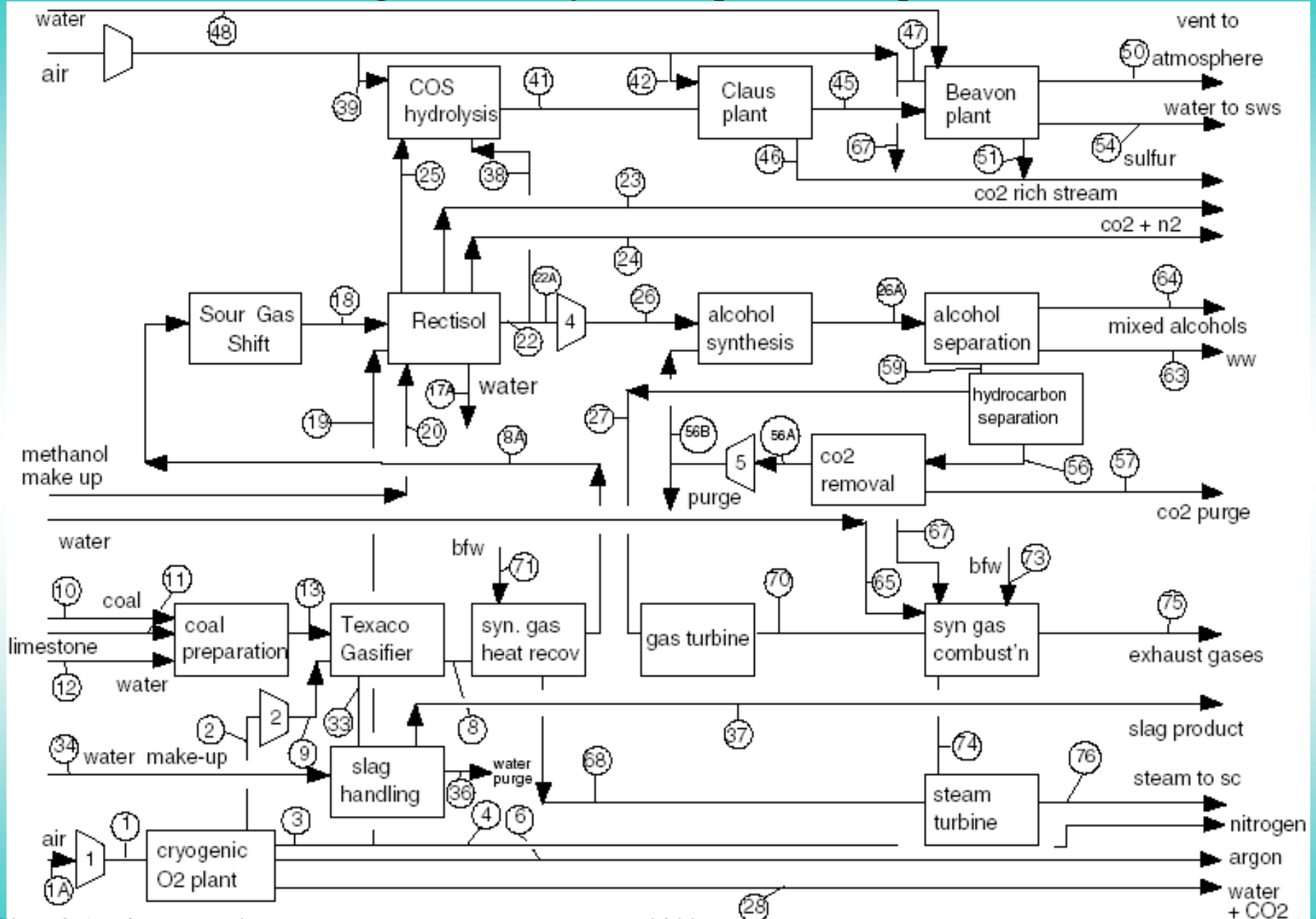
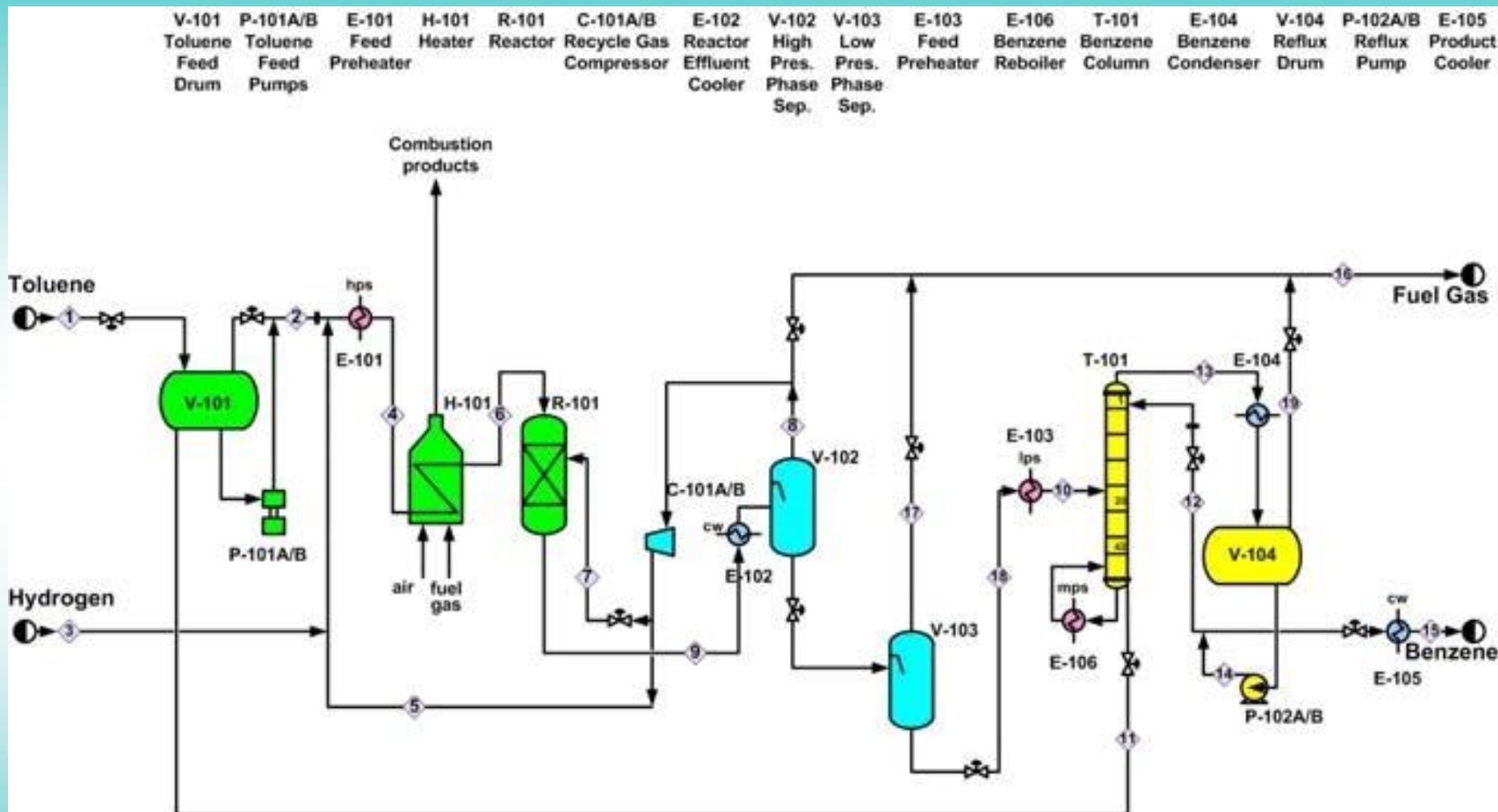


Diagrama de flujo de procesos (PFD)

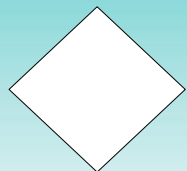
Este diagrama representa una etapa superior en cuanto a la información que aporta con respecto al diagrama de bloques (BFD). El PFD contienen datos esenciales que el ingeniero necesita para diseñar el proceso. En general puede contener la siguiente información:

- La mayoría de los **equipos de proceso**. Cada equipo tiene asignado un número y un nombre que los describe y los distingue. **TAG**
- Todas las corrientes de proceso identificadas por un **número**. Una descripción de las **condiciones de proceso y composición química** de cada corriente. Se adjuntan al diagrama de flujo de proceso hojas de datos con los balances de materia y energía. También se adjunta una hoja con las características de los equipos.
- Principales corrientes auxiliares y de servicio. Estas son aquellas que intervienen en el proceso pero no forman parte de este. Ej. Agua de refrigeración, fluidos térmicos de calentamiento, aire comprimido para instrumentos, nitrógeno, etc.
- Principales lazos de control (representación funcional).

PFD. Producción de benceno



Símbolos para identificación de las corrientes



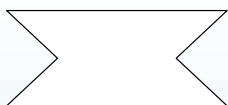
I. D. corriente



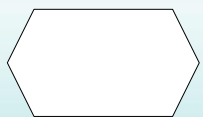
Temperatura



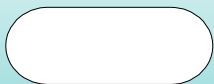
Presión



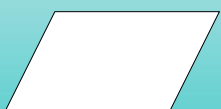
Flujo de líquido



Flujo de gas



Flujo molar



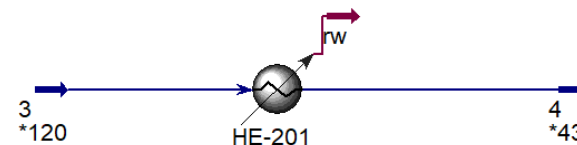
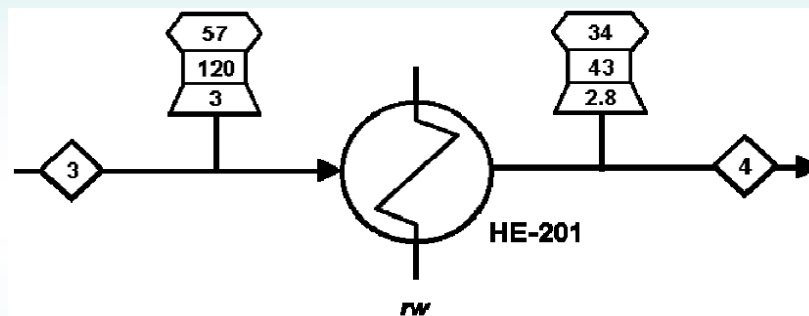
Flujo másico

$$\frac{P_{3S} Fg_{3S}}{T_{3S}} = \frac{P_3 Fg_3}{T_3} \quad \frac{P_{4S} Fg_{4S}}{T_{4S}} = \frac{P_4 Fg_4}{T_4}$$

$$Fg_{3S} = \frac{P_3 Fg_3 T_{3S}}{T_3 P_{3S}} \quad Fg_{4S} = \frac{P_4 Fg_4 T_{4S}}{T_4 P_{4S}}$$

$$\frac{P_{3N} Fg_{3N}}{T_{3N}} = \frac{P_3 Fg_3}{T_3} \quad \frac{P_{4N} Fg_{4N}}{T_{4N}} = \frac{P_4 Fg_4}{T_4}$$

$$Fg_{3N} = \frac{P_3 Fg_3 T_{3N}}{T_3 P_{3N}} \quad Fg_{4N} = \frac{P_4 Fg_4 T_{4N}}{T_4 P_{4N}}$$



3		
Temperature	120,0	C
Pressure	3,000	bar_g
Molar Flow	6,996	kgmole/h
Actual Volume Flow	57,00	m3/h
Std Gas Flow	165,4	STD_m3/h
Mass Density	3,541	kg/m3
Viscosity	2,306e-002	cP
Z Factor	1,000	

4		
Temperature	43,00	C
Pressure	2,800	bar_g
Molar Flow	6,996	kgmole/h
Actual Volume Flow	48,16	m3/h
Std Gas Flow	165,4	STD_m3/h
Mass Density	4,191	kg/m3
Viscosity	1,972e-002	cP
Z Factor	0,9986	

Diagrama de flujo de procesos (PFD)

La información básica suministrada por un diagrama de flujo de procesos puede dividirse en:

▪ **Topología del Proceso**

- Se refleja la topología del proceso en sentido físico por la localización de los principales equipos y de las conexiones entre ellos mediante las corrientes.

▪ **Información de corrientes**

- La información de las corrientes que se da normalmente en un resumen que contiene:

- Información esencial.

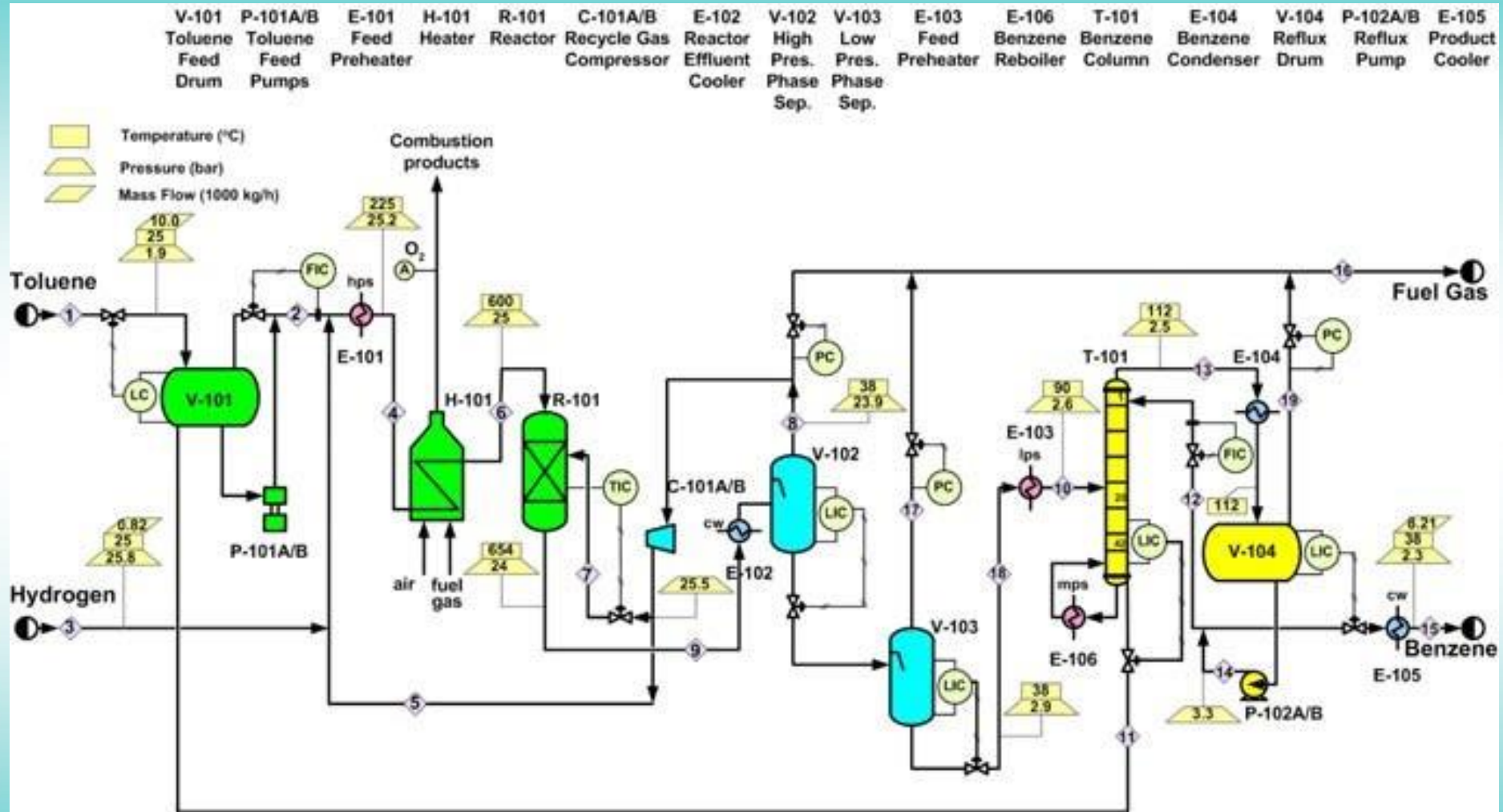
- Información opcional.

▪ **Información de equipos**

- Se especifica mediante abreviaturas, el área donde se encuentra, la abreviatura (función) del equipo y el número de serie.

▪ **Lazos de control**

PFD. Producción de benceno



Información de las corrientes

Información esencial

- Número de corriente
- Temperatura (°C)
- Presión (barg)
- Fracción de Vapor
- Caudal Másico Total (kg/h)
- Caudal Molar Total (kmol/h)
- Caudal Individual de cada Componente (kmol/h)

Información opcional

- Fracción molar de los Componentes
- Fracción másica de los Componentes
- Caudal Individual de cada Componente (kg/h)
- Caudal Volumétrico (m³/h)**
- Propiedades Físicas Importantes
 - Densidad
 - Viscosidad
 - Otras
- Datos Termodinámicos
 - Capacidad calorífica
 - Entalpía de la corriente
 - Valores de K
- Nombre de la corriente

Material Stream: NG

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Stream Name	NG	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	1,0000	1,0000
Properties	Temperature [C]	25,00	25,00
Composition	Pressure [bar_g]	1,000	1,000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	1,165	1,165
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	22,46	22,46
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	6,537e-002	6,537e-002
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-7,358e+004	-7,358e+004
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	181,3	181,3
Cost Parameters	Heat Flow [kcal/h]	-2,049e+004	-2,049e+004
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	27,46	27,46
Emissions	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Material Stream: NG

Worksheet Attachments Dynamics

Worksheet	Mole Fractions	Vapour Phase	
Conditions	Methane	0,8132	0,8132
Properties	Ethane	0,0806	0,0806
Composition	Propane	0,0210	0,0210
Oil & Gas Feed	i-Butane	0,0033	0,0033
Petroleum Assay	n-Butane	0,0052	0,0052
K Value	i-Pentane	0,0009	0,0009
User Variables	n-Pentane	0,0011	0,0011
Notes	Nitrogen	0,0683	0,0683
Cost Parameters	CO2	0,0050	0,0050
Normalized Yields	H2O	0,0001	0,0001
Emissions	n-Hexane	0,0013	0,0013
	CO	0,0000	0,0000
	Oxygen	0,0000	0,0000

Total

Edit... View Properties... Basis...

Información de las corrientes

Información esencial

Nombre de corriente

Número de corriente

Temperatura (°C)

Presión (barg)

Fracción de Vapor

Caudal Másico Total (kg h)

Caudal Volumétrico (m³/h)

Caudal volumétrico (Sm³/h)

Información opcional

Fracción molar de los Componentes

Fracción másica de los Componentes

Caudal Molar Total (kmol / h)

Caudal Individual de cada Componente (kmol / h)

Caudal Individual de cada Componente (kg/h)

Propiedades Físicas Importante

Densidad (actual)

Viscosidad

Otras

Datos Termodinámicos

Capacidad calorífica

Entalpía de la corriente

Valores de K

NG		
Temperature	25,00	C
Pressure	1,000	bar_g
Molar Flow	1,165	kgmole/h
Vapour Fraction	1,0000	
Mass Flow	22,46	kg/h
Actual Volume Flow	14,27	m ³ /h
Std Gas Flow	27,55	STD_m ³ /h

Material Stream: NG

Worksheet	Stream Name	NG	Vapour Phase
Conditions	Molecular Weight	19,28	19,28
Properties	Molar Density [kgmole/m ³]	8,166e-002	8,166e-002
Composition	Mass Density [kg/m ³]	1,575	1,575
Oil & Gas Feed	Act. Volume Flow [m ³ /h]	14,27	14,27
Petroleum Assay	Mass Enthalpy [kJ/kg]	-3816	-3816
K Value	Mass Entropy [kJ/kg-C]	9,405	9,405
User Variables	Heat Capacity [kJ/kgmole-C]	38,75	38,75
Notes	Mass Heat Capacity [kJ/kg-C]	2,010	2,010
Cost Parameters	LHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	8,450e+005	8,450e+005
Normalized Yields	HHV Molar Basis (Std) [kJ/kgmole]	9,277e+005	9,277e+005
Emissions	HHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	4,811e+004	4,811e+004
	CO ₂ Loading	<empty>	<empty>
	CO ₂ Apparent Mole Conc. [kgmole/m ³]	<empty>	<empty>
	CO ₂ Apparent Wt. Conc. [kgmol/kg]	<empty>	<empty>
	LHV Mass Basis (Std) [kJ/kg]	4,383e+004	4,383e+004
	Phase Fraction [Vol. Basis]	1,000	1,000
	Phase Fraction [Mass Basis]	1,000	1,000
	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1,000	1,000
	Mass Exergy [kJ/kg]	87,92	<empty>
	Partial Pressure of CO ₂ [bar_g]	-1,003	<empty>
	Cost Based on Flow [Cost/s]	0,0000	0,0000

Property Correlation Controls

Preference Option: Active

Convenciones para Identificar corrientes de Proceso y de Servicios

Corrientes de Proceso

Mediante un rombo localizado en la línea de flujo. Identificación numérica (única para cada corriente) dentro del rombo. La dirección del flujo se muestra mediante una flecha en la línea de flujo.

Corrientes de servicio

Lps Vapor de baja presión: 3-5 barg (sat).

mps Vapor de media presión: 10-15 barg (sat)

hps Vapor de alta presión: 40-50 barg (sat)

htm Medio de transferencia de calor (Organico): a 400 °C, retornar a 300 °C (Downtherm)

cw Agua de enfriamiento: Desde torre de enfriamiento a 30°C, retorna a menos de 45°C.

wr Agua de río: Desde río a 25°C, retorna a menos de 35 °C.

rw Agua de refrigeración: Ingresa a 5°C, retorna a menos de 15°C

rb Salmuera refrigerada: Ingresa a -45°C, retorna a menos de 0°C

cs Agua residual química con alto COD

ss Agua residual sanitaria con alta BOD, etc.

el Calefacción eléctrica (especificar servicio de 220, 440, 660 V) y 50 Hz

bfw Boiler feed water.

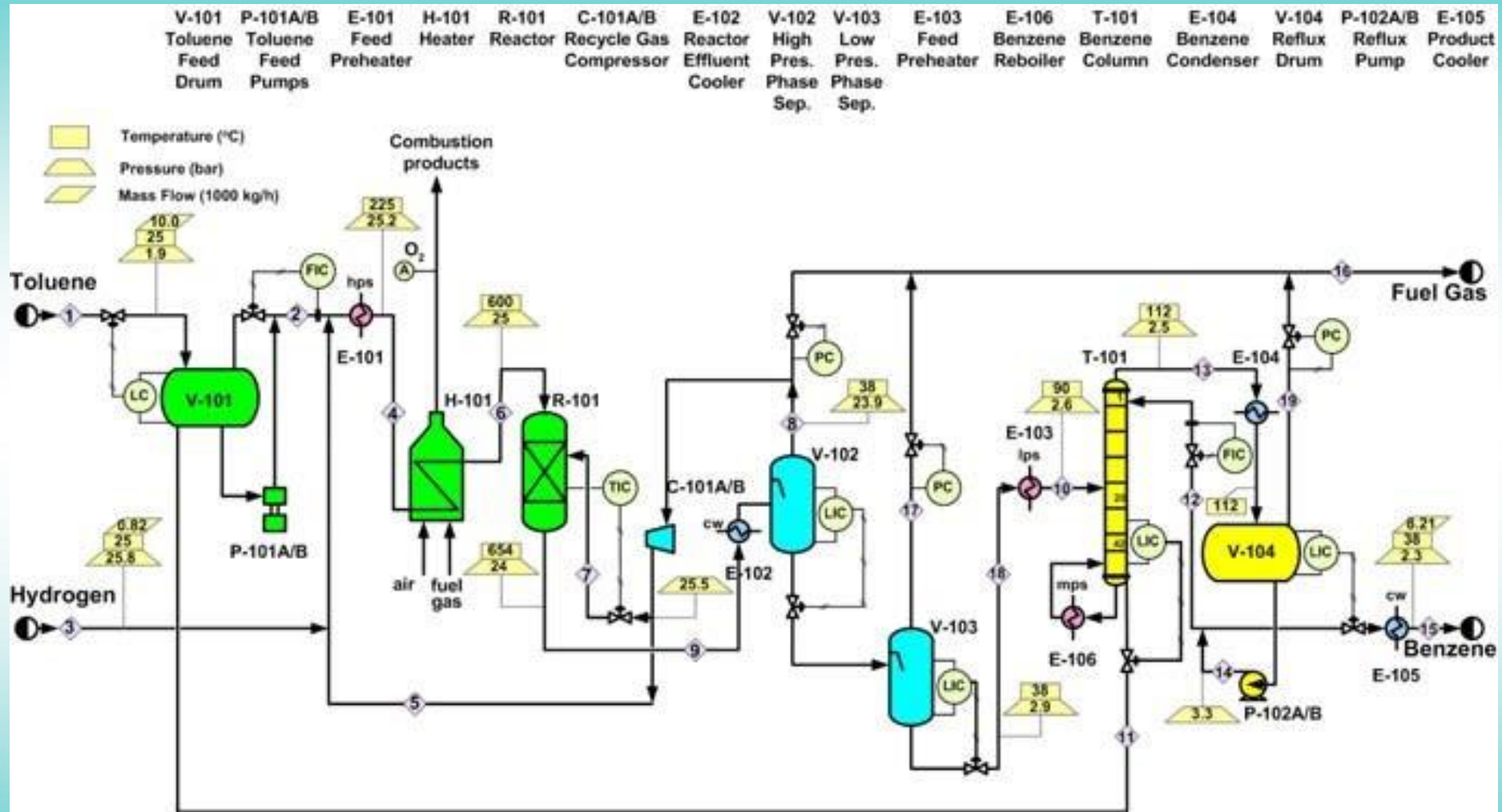
ng Gas natural

fg Gas combustible

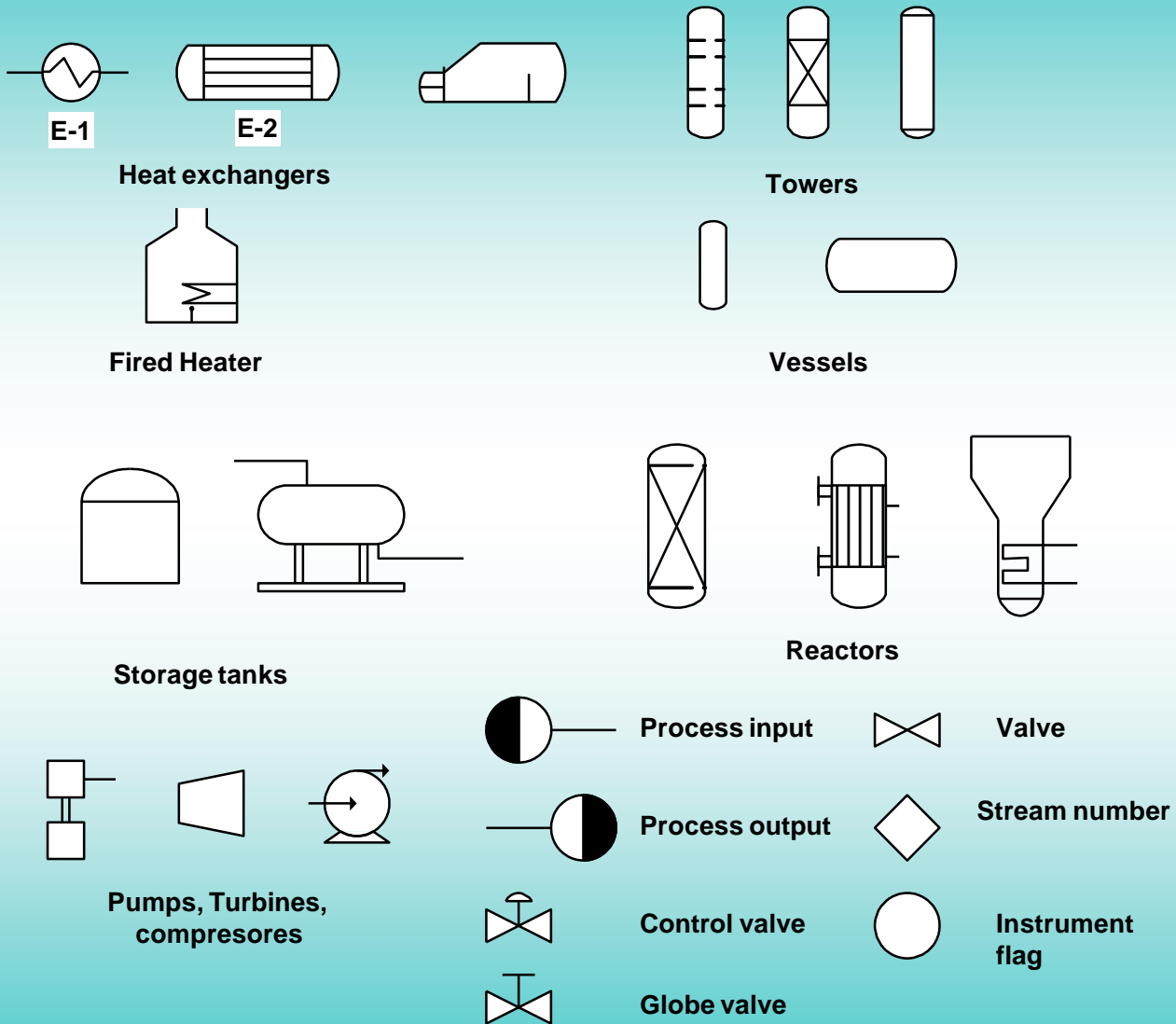
Fo Aceite combustible

fw Agua contra incendios

PFD. Producción de benceno



Símbolos para construir un PFD



Convenciones usadas para identificar (TAG) equipos de proceso

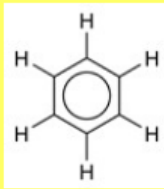
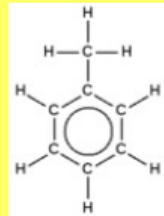
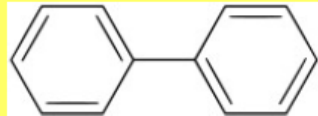
Process Equipment	General Format XX-YZZ A/B
	XX are the identification letters for the equipment classification
	C - Compressor or Turbine
	E - Heat Exchanger
	H - Fired Heater
	P - Pump
	R - Reactor
	T - Tower
	TK - Storage Tank
	V - Vessel
	Y designates an area within the plant
ZZ is the number designation for each item in an equipment class	
A/B identifies parallel units or backup units not shown on a PFD	
Supplemental Information	Additional description of equipment given on top of PFD

Numeración de los equipos

- P** – 101 A/B identifica una bomba
- P – **101** A/B identifica que la bomba está ubicada en el área N°100 de la planta
- P – 1**01** A/B identifica que la bomba es la número 01 de las n existentes en la planta
- P – 101 **A/B** identifica que hay 2 bombas idénticas una de respaldo (backup)
existentes en la planta
- P – 101 **A/B** identifica que hay 2 bombas idénticas una de respaldo (backup)

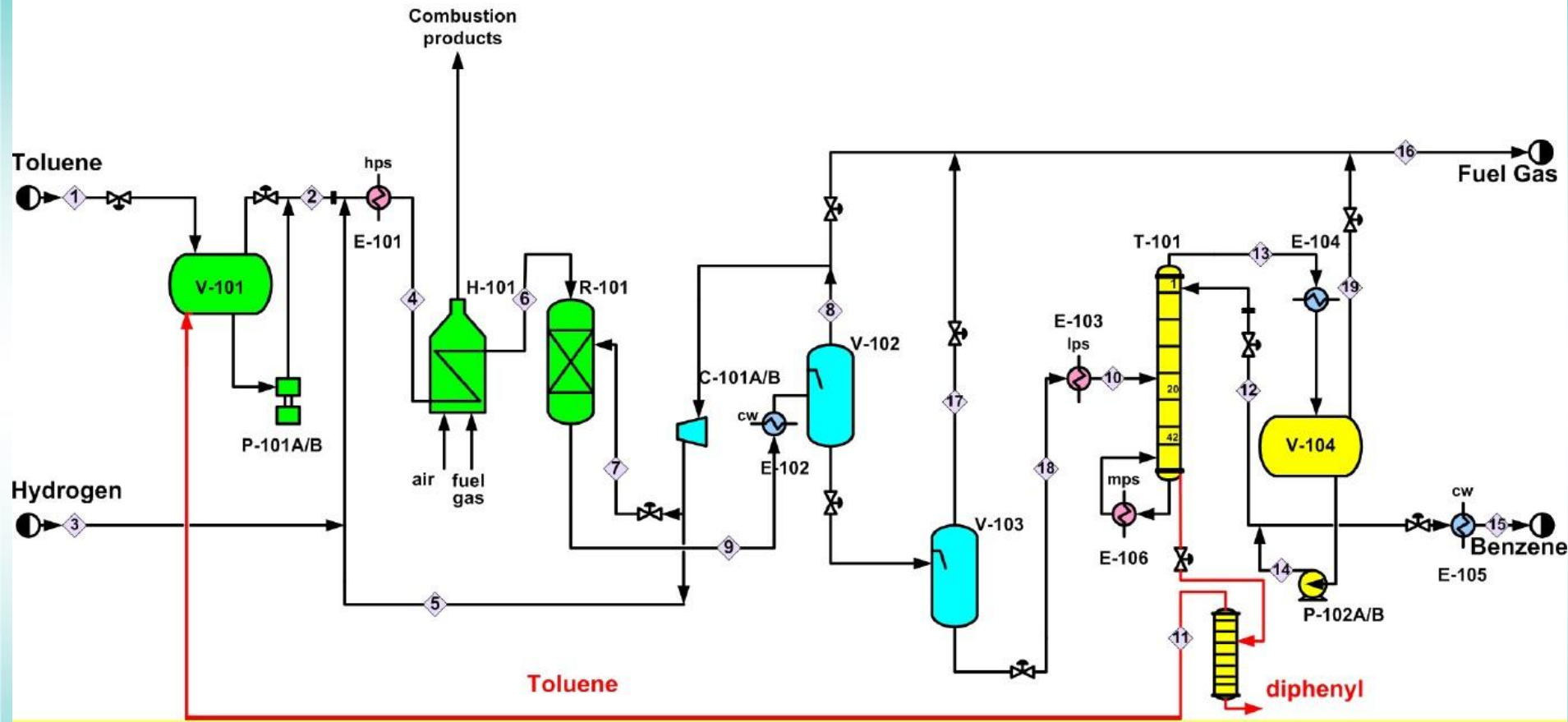
Diagrama de flujo de bloques (BFD)

$$C_7H_8 + H_2 \rightarrow C_6H_6 + CH_4$$
$$2C_6H_6 \rightleftharpoons C_{12}H_{10} + H_2$$

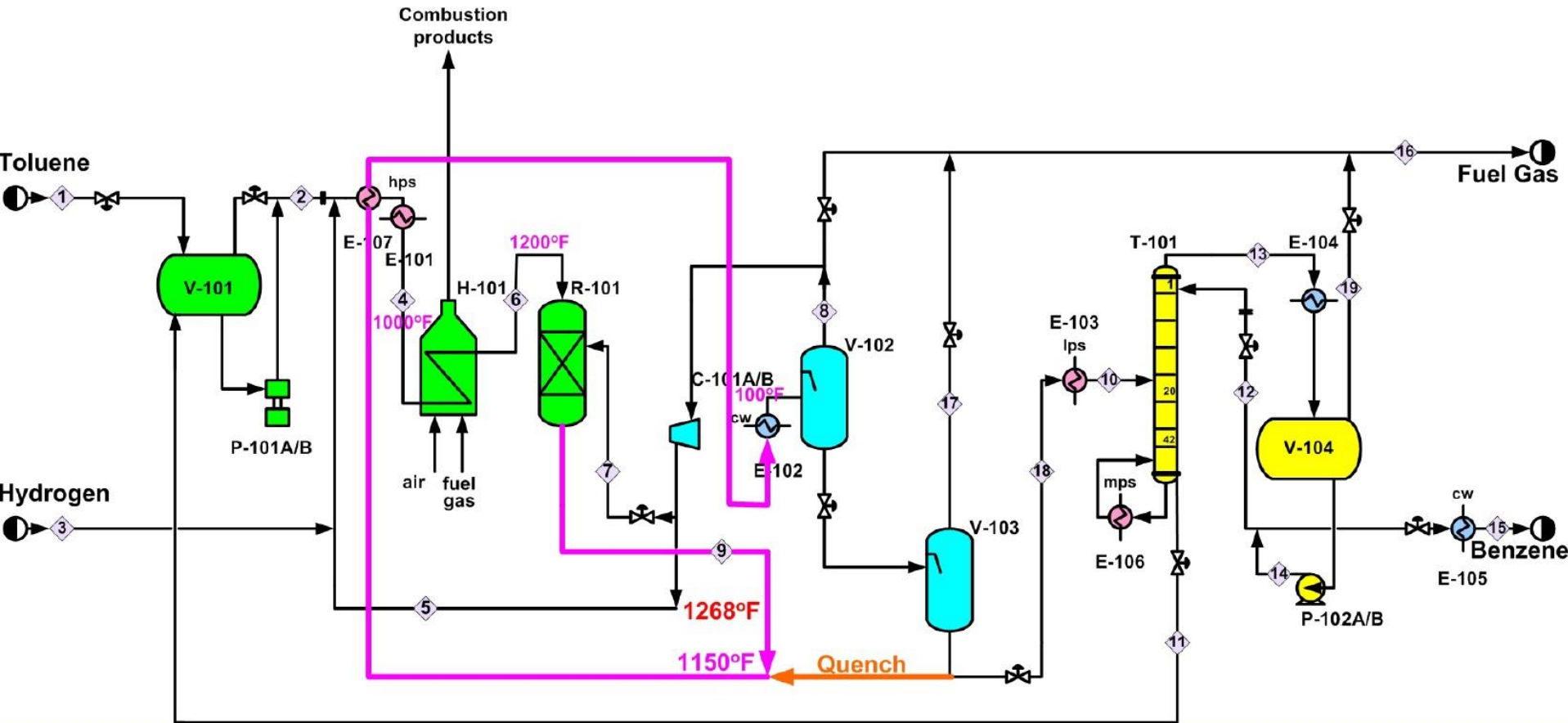
Compound		BP (°C)
Hydrogen	H_2	-253
Methane	CH_4	-164
Benzene		80.1
Toluene		110.6
Diphenyl		256.0

Cada bloque representa una función y puede contener varios equipos de proceso

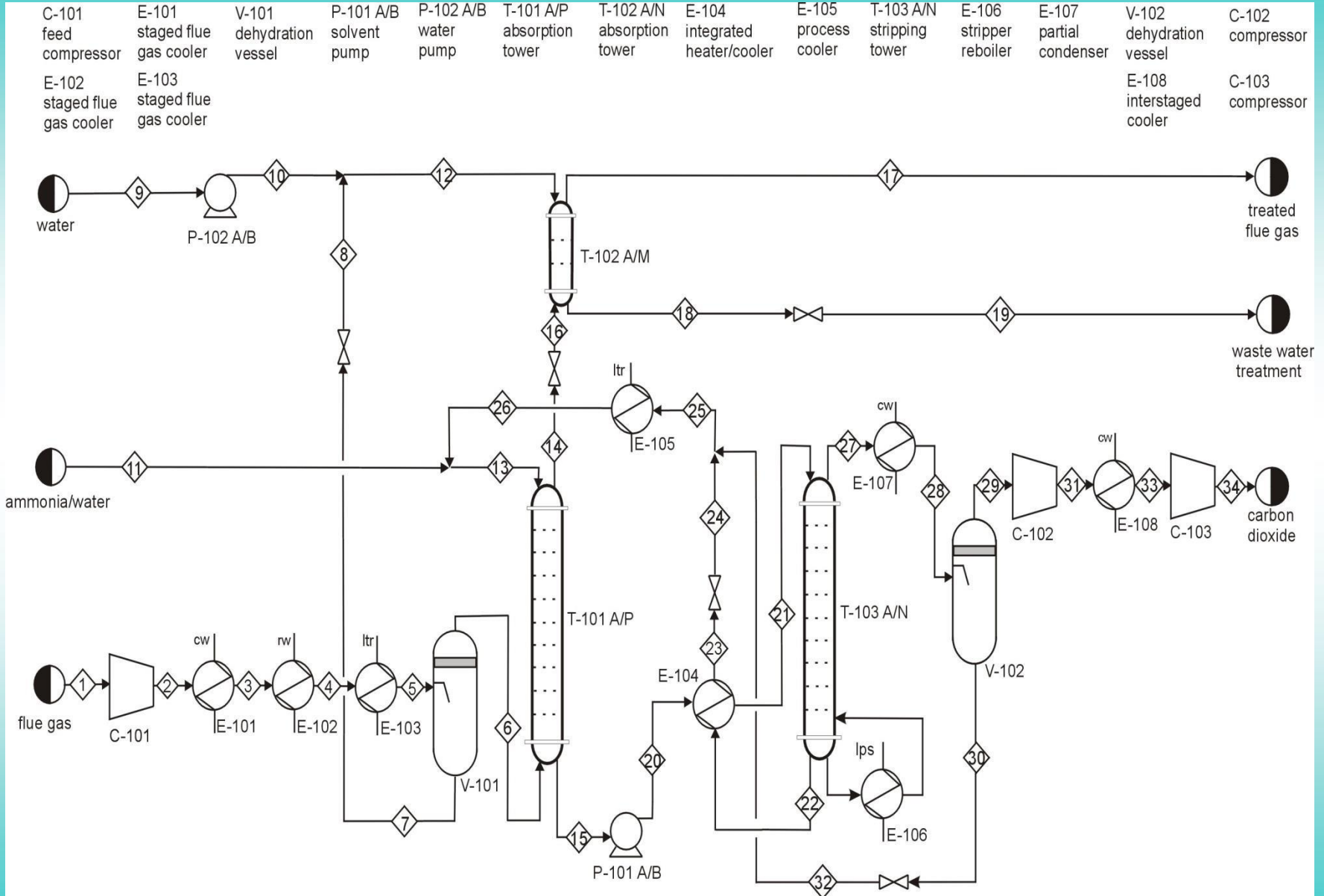
V-101	P-101A/B	E-101	H-101	R-101	C-101A/B	E-102	V-102	V-103	E-103	E-106	T-101	E-104	V-104	P-102A/B	E-105
Toluene Feed Drum	Toluene Feed Pumps	Feed Preheater	Heater	Reactor	Recycle Gas Compressor	Reactor Effluent Cooler	High Pres. Phase Sep.	Low Pres. Phase Sep.	Feed Preheater	Benzene Reboiler	Benzene Column	Benzene Condenser	Reflux Drum	Reflux Pump	Product Cooler



V-101	P-101A/B	E-101	H-101	R-101	C-101A/B	E-102	V-102	V-103	E-103	E-106	T-101	E-104	V-104	P-102A/B	E-105
Toluene Feed Drum	Toluene Feed Pumps	Feed Preheater	Heater	Reactor	Recycle Gas Compressor	Reactor Effluent Cooler	High Pres. Phase Sep.	Low Pres. Phase Sep.	Feed Preheater	Benzene Reboiler	Benzene Column	Benzene Condenser	Reflux Drum	Reflux Pump	Product Cooler



PFD producción de CO₂



Normas y códigos para diseño

Normas de Diseño

- Código ASME VIII – Diseño de recipientes a presión
- ASME B.36.1 Instalación de cañerías
- NFPA: Protección contra incendio
- API 520/521: Diseño de sistemas de alivio de presión
- API 500 Clasificación eléctrica de áreas
- API 2000 Venteo de tanques atmosféricos
- TEMA.
- API 2510: Instalaciones para almacenaje de gas licuado
- CIRSOC
- **IEC 65511** Sistemas Instrumentados de Seguridad
- ISA 88: Diseño de sistemas de control de Procesos batch.
- **ISO 50001**: Gestión de energía.
- ISO 10628: Diagramas de flujo para plantas de proceso.
- ISO 15926: Sistemas de automatización industrial e integración.
- ISO 14051: Contabilidad de costos del flujo de materiales (Material flow cost accounting).

Tabla de corrientes

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 Mole Flow (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

Descripciones de equipos para PFDy PIDs

Equipment Type
Description of Equipment
Towers
Size (height and diameter), Pressure, Temperature Number and Type of Trays Height and Type of Packing Materials of Construction
Heat Exchangers
Type: Gas-Gas, Gas-Liquid, Liquid-Liquid, Condenser, Vaporizer Process: Duty, Area, Temperature, and Pressure for both streams No. of Shell and Tube Passes Materials of Construction: Tubes and Shell

Descripciones de equipos para PFDy PIDs

Tanks
See vessels
Vessels
Height, Diameter, Orientation, Pressure, Temperature, Materials of Construction
Pumps
Flow, Discharge Pressure, Temperature, ΔP , Driver Type, Shaft Power, Materials of Construction
Compressors
Actual Inlet Flow Rate, Temperature, Pressure, Driver Type, Shaft Power, Materials of Construction
Heaters (Fired)
Type, Tube Pressure, Tube Temperature, Duty, Fuel, Material of Construction
Others
Provide Critical Information

Resumen de equipos para el proceso de hidrodealquilación del tolueno

Heat Exchangers	E-101	E-102	E-103	E-104	E-105	E-106
Type	Fl.H.	Fl.H.	MDP	Fl.H.	MDP	Fl.H.
Area (m ²)	36	763	11	35	12	80
Duty (MJ/h)	15,190	46,660	1055	8335	1085	9045
Shell						
Temp. (°C)	225	654	160	112	112	185
Pres. (bar)	26	24	6	3	3	11
Phase	Vap.	Par. Cond.	Cond.	Cond.	l	Cond.
MOC	316SS	316SS	CS	CS	CS	CS
Tube						
Temp. (°C)	258	40	90	40	40	147
Pres. (bar)	42	3	3	3	3	3
Phase	Cond.	l	l	l	l	Vap.
MOC	316SS	316SS	CS	CS	CS	CS

Resumen de equipos para el proceso de hidrodealquilación del tolueno

Vessels/Tower/ Reactors	V-101	V-102	V-103	V-104	T-101	R-101
Temperature (°C)	55	38	38	112	147	660
Pressure (bar)	2.0	24	3.0	2.5	3.0	25
Orientation	Horizn'l	Vertical	Vertical	Horizn'l	Vertical	Vertical
MOC	CS	CS	CS	CS	CS	316SS
Size						
Height/Length (m)	5.9	3.5	3.5	3.9	29	14.2
Diameter (m)	1.9	1.1	1.1	1.3	1.5	2.3
Internals		s.p.	s.p.		42 sieve trays 316SS	catalyst packed bed-10m
Pumps/Compressors	P-101 (A/B)	P-102 (A/B)	C-101 (A/B)	Heater		H-101
Flow (kg/h)	13,000	22,700	6770	Type		Fired
Fluid Density (kg/m ³)	870	880	8.02	MOC		316SS
Power (shaft) (kW)	14.2	3.2	49.1	Duty (MJ/h)		27,040

Resumen de equipos para el proceso de hidrodealquilación del tolueno

Pumps/Compressors	P-101 (A/B)	P-102 (A/B)	C-101 (A/B)	Heater	H-101
Type/Drive	Recip./ Electric	Centrf./ Electric	Centrf./ Electric	Radiant Area (m ²)	106.8
Efficiency (Fluid Power / Shaft Power)	0.75	0.50	0.75	Convective Area (m ²)	320.2
MOC	CS	CS	CS	Tube P (bar)	26.0
Temp. (in) (°C)	55	112	38		
Pres. (in) (bar)	1.2	2.2	23.9		
Pres. (out) (bar)	27.0	4.4	25.5		
Key:					
MOC	Materials of construction	Par	Partial		
316SS	Stainless steel type 316	F.H.	Fixed head		
CS	Carbon steel	Fl.H.	Floating head		
Vap	Stream being vaporized	Rbl	Reboiler		
Cond	Stream being condensed	s.p.	Splash plate		
Recipr.	Reciprocating	l	Liquid		
Centrf.	Centrifugal	MDP	Multiple double pipe		

PFD producción de cal viva y cal hidratada

