

## PS3213: Ingeniería de Procesos

**Objetivo:**  
*Proporcionar al estudiante las herramientas básicas para el análisis, síntesis y diseño de sistemas de proceso químicos.*

## Definición de Proceso Químico

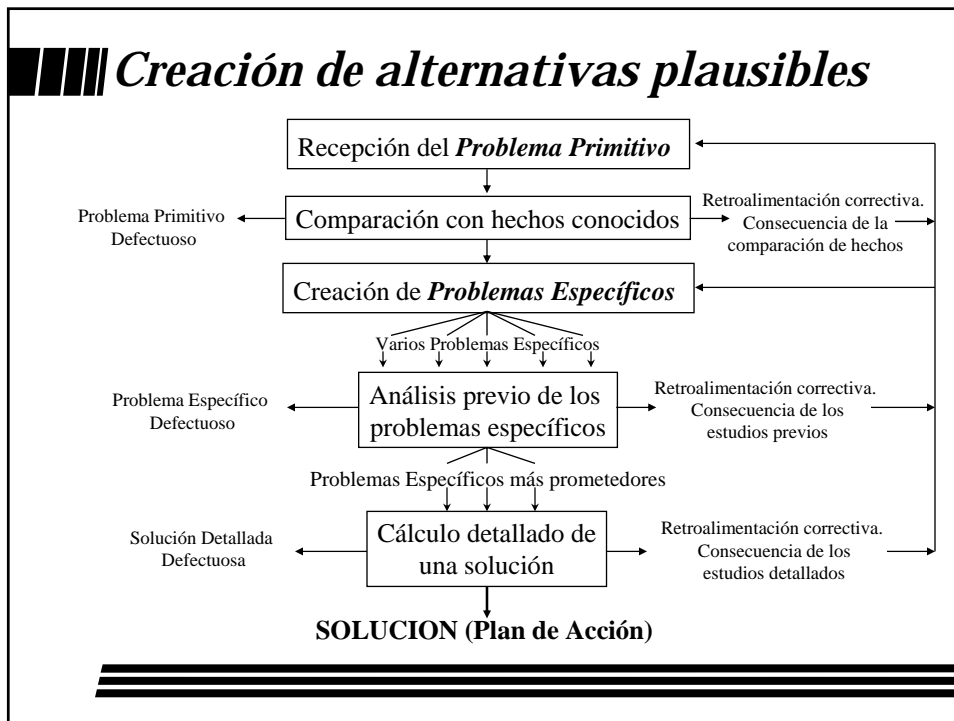
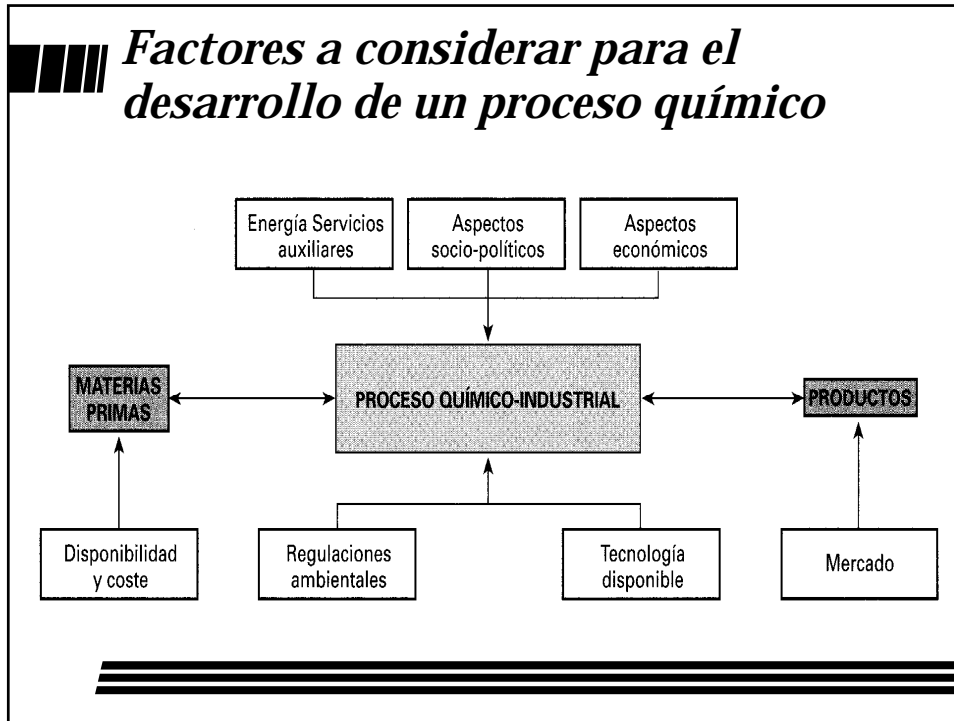
**Secuencia de cambios**  
 Reacciones Químicas  
 Fenómenos Físico-Químicos

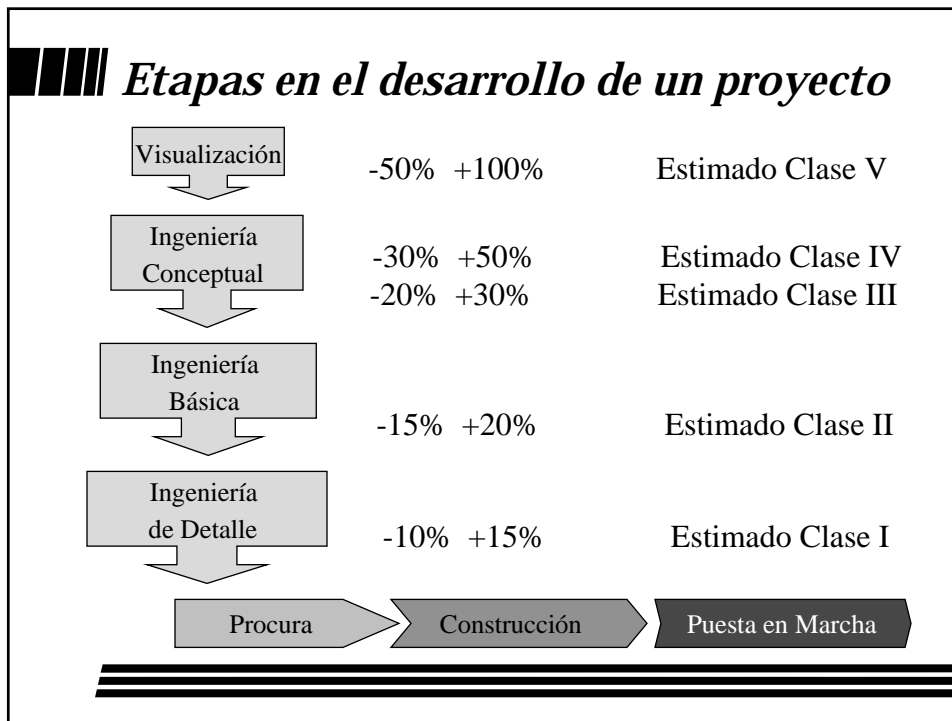
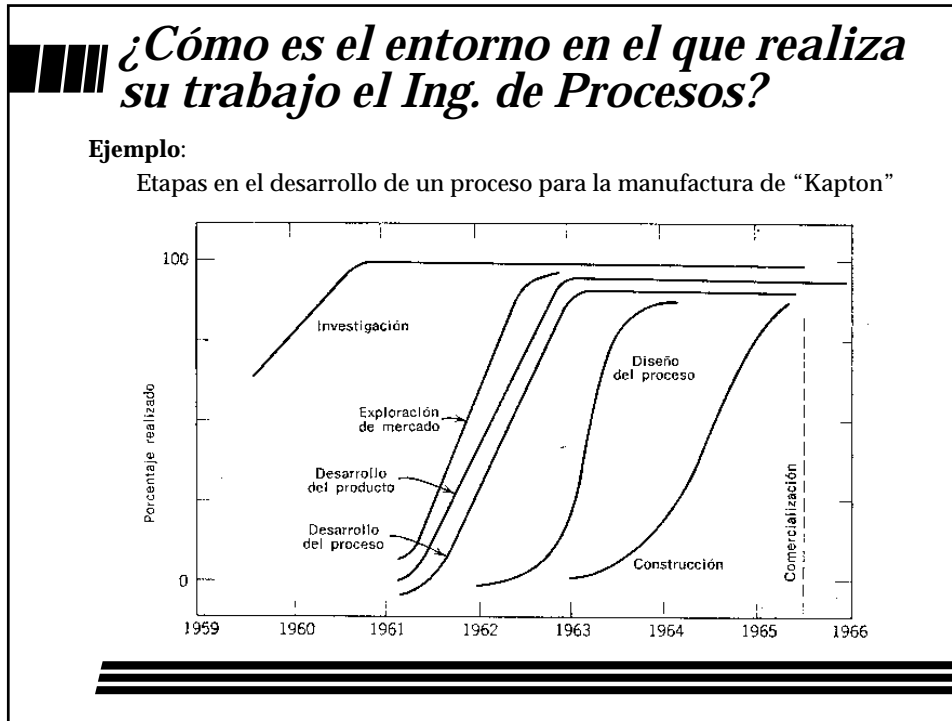
**armónicamente integrados**  
**que transforma**  
 Materias Primas  
 Energía  
 Tecnología

**para obtener**  
 Productos

**económicamente rentables.**

Materias primas   
 Conversión química   
 Separación física   
 Producto





## ////// *A manera de ejemplo...*

### *Problema primitivo:*

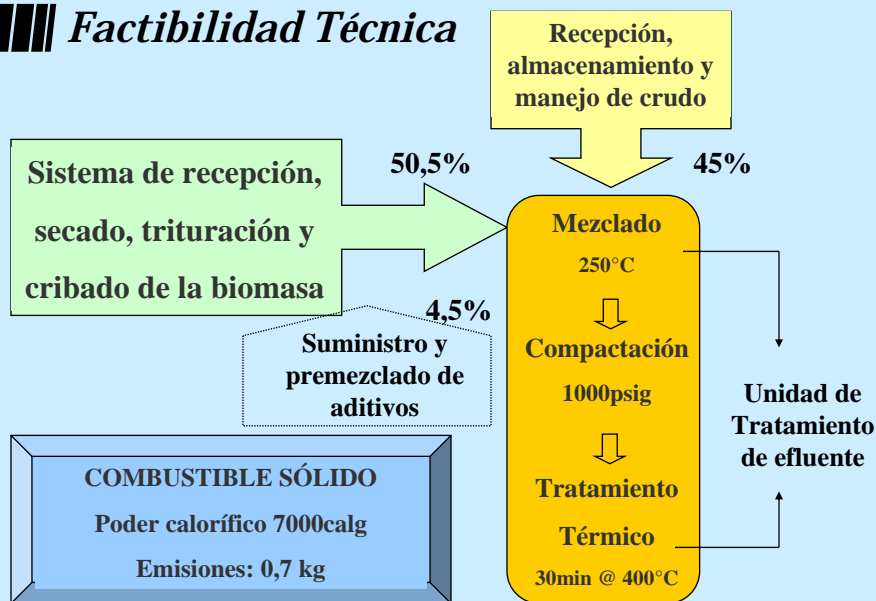
Vender crudo pesado como sustituto del carbón combustible.

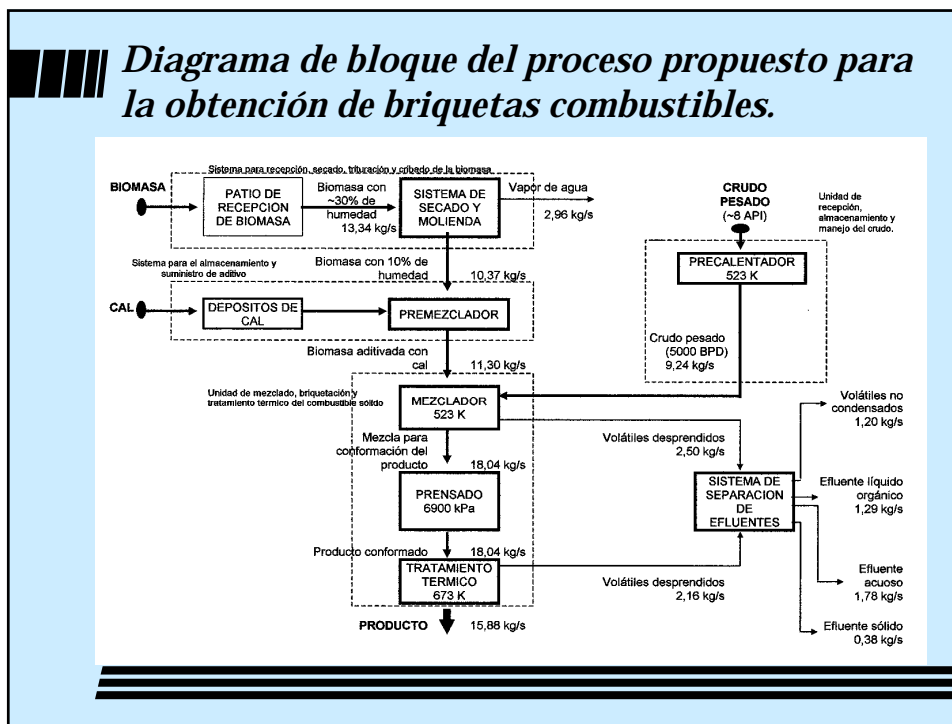
### PROYECTO

## ***FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE OBTENCIÓN DE BRIQUETAS COMBUSTIBLES A PARTIR DE CRUDOS PESADOS***

OBJETIVO : Evaluar alternativas para el aprovechamiento no convencional de crudos pesados, mediante la obtención de un combustible sólido de elevado poder calorífico

## ////// *Factibilidad Técnica*





**Factibilidad económica**

- Criterio de rentabilidad: Precio mínimo de venta del productor
- Estimación de inversión de capital y costo de operación anual
- Preciso comparativos:
  - Producto: XX \$/ton XX \$/10<sup>6</sup> Btu
  - Carbón: YY \$/ton YY \$/10<sup>6</sup> Btu
  - Coque: (máx 2% S) ZZ \$/ton ZZ \$/10<sup>6</sup> Btu

## **Conclusiones y Recomendaciones**

- Se demostró la factibilidad técnica de producir un combustible sólido de elevado poder calorífico mediante el mezclado de 45% crudo; 50,5% corteza de pino y 4,5% de CaO.
- El precio del nuevo combustible en \$/ton y en \$/10<sup>6</sup> Btu supera en 2,7 y 2,4 veces respectivamente al del carbón combustible promedio.
- Se recomienda efectuar estudios de economía de escala para evaluar la posibilidad de reducir costos de producción asociados al sistema de tratamiento de la biomasa

## **Visualización (Planificación)**

- Identificación de idea.
  - Creación de problemas específicos.
  - Delimitación de problemas específicos.
  - Posibles soluciones.
- Estudio previo de factibilidad.
  - Selección de problema específico mas prometedores.
  - Evaluación de factibilidad técnica y económica.
- Producto: Esquema de proceso viable

## ■■■■ *Capacidad de planta*

- **Capacidad de diseño:** Determinada por la capacidad integrada de las unidades.
- **Capacidad máxima:** Máximo volumen de producción que se puede alcanzar en condiciones singulares de operación.
- La **capacidad mínima económica** es una referencia para determinar la mínima capacidad que garantiza una rentabilidad en el mercado bajo las condiciones actuales.

## ■■■■ *Factores que afectan la capacidad de la planta.*

- Capacidad financiera
- Tamaño del mercado
- Restricciones técnicas
- Disponibilidad de materias primas e insumos
- Factores institucionales o gubernamentales
- Capacidad administrativa
- Localización

## ■■■■ *Bases y alcances del proyecto*

### *Parámetros para el diseño:*

- Características y condiciones de las materias primas
  - Especificaciones de insumos y productos finales
  - Características de los servicios industriales
  - Filosofía para el manejo de efluentes
  - Requerimientos de almacén
  - Condiciones y normas aplicables
  - Entorno o localidad.
- 
- 
- 

## ■■■■ *Ingeniería Conceptual*

### ● *Propósito:*

Reducir incertidumbre y minimizar riesgos  
(Estimado preliminar de costos)

### ● *Insumos:*

Documentos generados en la visualización  
(Selección de alternativa técnica)

### ● *Debe suministrar:*

Documentos para la **Ingeniería Básica**

---

---

---



## **■■■■** *Ingeniería Conceptual.*

- Base para el trabajo de diseño.
  - PROPOSITO: Reduce incertidumbre para minimizar el riesgo.
  - Se dimensiona el proyecto.
  - Establece bases y alcances de la ingeniería básica.
  - Estimado preliminar de costos.
  - Se establece filosofía de control preliminar.
- 
- 

## **■■■■** *Selección de Tecnología*

- Desarrollo de criterios de selección
  - Identificación de tecnologías disponibles
  - Evaluación técnica preliminar
  - Visita a plantas
  - Estimado de costos
  - Análisis técnico-económico
  - Selección definitiva de la tecnología
- 
-

## **■■■■ Ingeniería Conceptual**

### ***Documentos que se generan:***

- Diagrama de bloque y descripción del proceso
  - Balances de masa y energía
  - Diagrama de flujo
  - Especificaciones para las materias primas y productos
  - Dimensionamiento preliminar de equipos mayores
  - Requerimientos preliminares de servicios
  - Estudio preliminar de seguridad e higiene ambiental
  - Ubicación de planta
  - Estimado de costos Clase III
- 
- 
- 

## **■■■■ Ingeniería Básica.**

### **● Propósito:**

Suministrar información para la Ingeniería de Detalle.  
Establecer la guía de operación con descripción del proceso.

### **● En esta etapa:**

- Establece bases y criterios de diseño.
  - Especifica equipos e instrumentos
  - Especifica insumos (aditivos, catalizadores, etc. ) y productos intermedios.
  - Determina la modalidad de control del proceso
  - Identifica fuentes de contaminación y requerimientos de seguridad.
  - Mejora estimado de costos (Clase II)
- 
- 
-

## **■■■■ Ingeniería Básica**

### ***Documentos que se generan:***

- Diagrama de flujo del proceso
  - Balance de masa y energía
  - Diagramas de instrumentación y tuberías
  - Lista de equipos e instrumentos
  - Requerimientos de servicios industriales
  - Hojas de especificaciones de equipos, instrumentos, tuberías, accesorios y servicios
  - Análisis de riesgo
  - Diagrama de ubicación
  - Estimado de costos Clase II
  - Evaluación económica del proyecto
- 
- 
- 

## **■■■■ Ingeniería de Detalle**

- Requisición de equipos y materiales
  - Actualización de documentos de la Ingeniería Básica
  - Manual de Operaciones
  - Elaboración de Isométricos y diagramas de planta
  - Diseño de fundaciones
  - Diseño de estructuras civiles
  - Estimados de costos con orden de precisión del 10%
  - Se desarrollan actividades conducentes a la procura y construcción de la planta
- 
- 
-

## ***Lenguaje del Ingeniero de Procesos.***

### **Diagramas de Procesos:**

- Diagramas de bloque (BFD)
    - » De proceso
    - » De conjunto de procesos
  - Diagramas de flujo de proceso (PFD)
    - » Simplificado o detallado de equipos
    - » Distribución de equipos e instalaciones (Lay-out)
  - Diagramas de Instrumentación y Proceso (P&ID)
  - Diagramas Isométricos.
- 
- 
- 

## ***Normas para las representaciones de los procesos.***

### **JUSTIFICACION:**

- Proyectos de carácter multidisciplinarios con participación de distintas nacionalidades.
  - Procesos complejo con potenciales riesgos para la salud y el medio ambiente.
  - Manipulan sustancias química que pueden ser explosivas, corrosivas, inflamables, etc.
  - Es necesario evitar riesgos por fallas en la comunicación entre las personas que diseñan, construyen u operan los procesos.
- 
- 
-

**Normas que deben considerarse.**

*Internacionales:*

<b>ASME</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.	Calderas. Tanques presurizados
<b>API</b>	Instituto Americano de Petróleo	Petróleo, Gas Natural y sus derivados.
<b>NFPA</b>	Asociación para la Protección Nacional del Fuego	Seguridad e Higiene Industrial.
<b>ANSI</b>	American National Standard Institute	Bombas. Tuberías y conexiones.
<b>DOT</b>	Código Federal de Regulaciones del Departamento de Transporte de Estados Unidos	Sección: Transporte de materias primas, productos químico, equipos, etc.

*Nacionales:*

<b>COVENIN</b>	Comisión Venezolana de Normas Industriales	
<b>PDVSA</b>	Normas de Ingeniería de PDVSA	Industria petrolera y petroquímica.

**Tipos de diagramas de flujo**

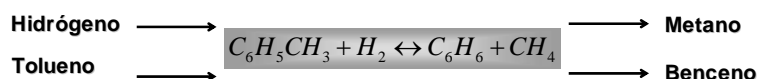
Tipos de Diagramas	Información que suministra
Entradas-Salidas	Materias primas. Reacciones estequiométricas. Productos.
Bloques	Lo anterior más: .- Balance de materia. .- Principales unidades del proceso. .- Especificaciones de desempeño de las unidades de proceso.
Flujo de Proceso (PFD)	Todo lo anterior más: .- Especificaciones de principales equipos de proceso. .- Balance de energía. .- Condiciones de proceso.

## Diagramas Entradas-Salidas

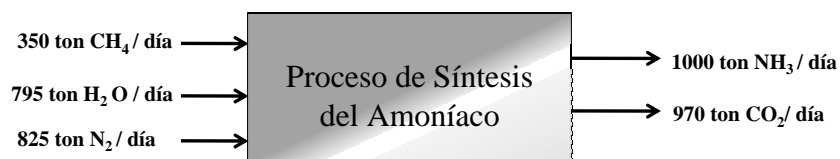
- Todas las operaciones físicas y químicas involucradas en el proceso se representan con un único bloque.
- Se utilizan flechas para representar las entradas y salidas de materiales. Materias primas entran por la izquierda y los productos salen por la derecha.
- Pueden mostrarse velocidades de flujo o cantidad de las materias primas y productos.

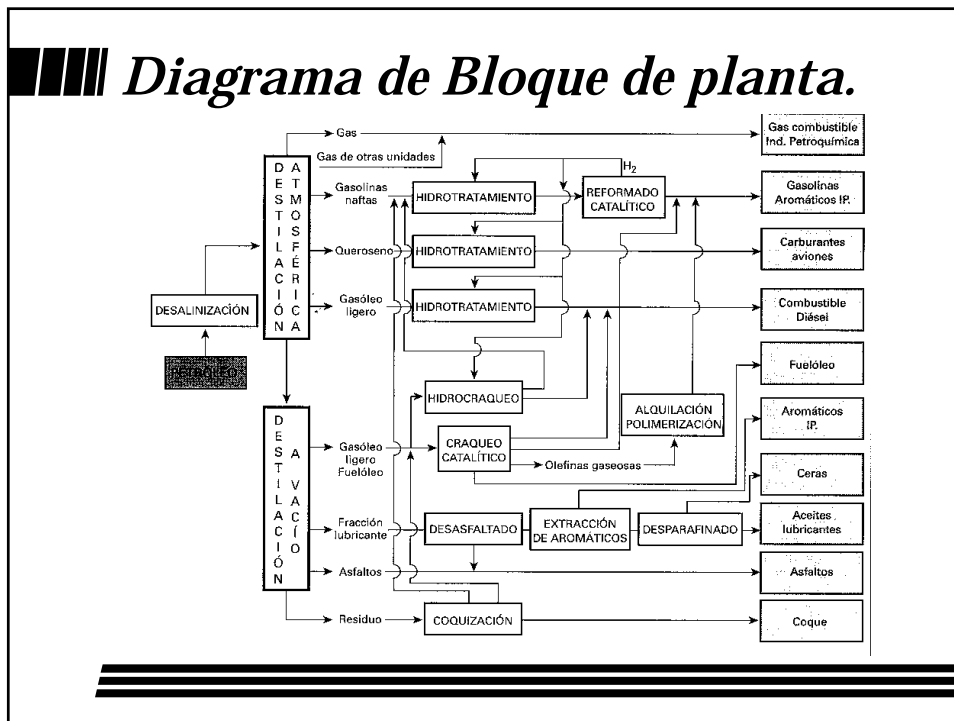
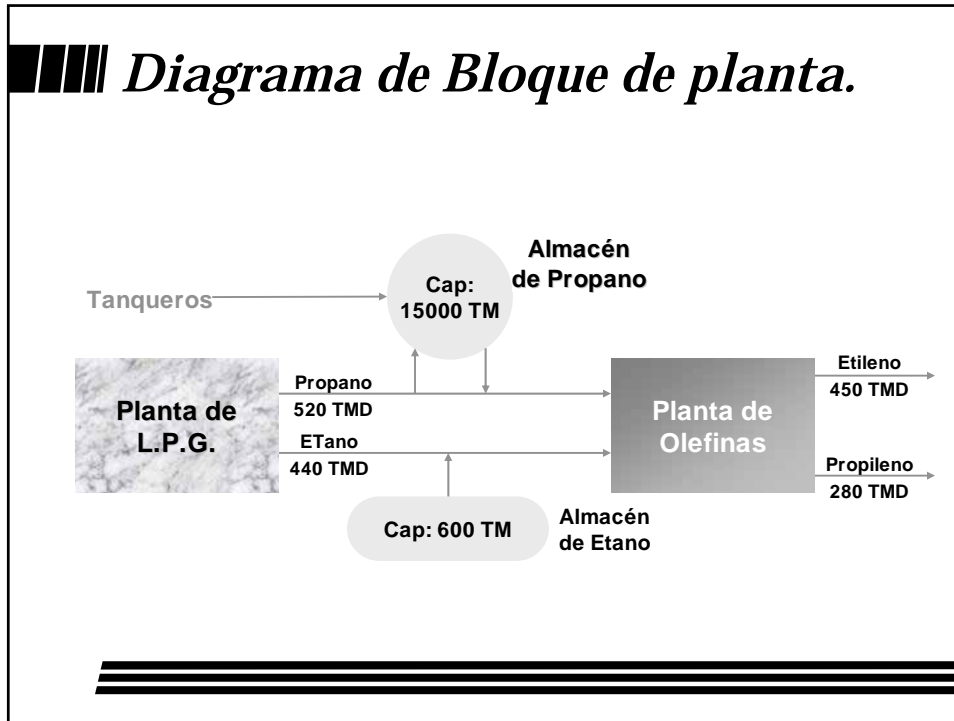
## Ejemplos de diagramas Entradas-Salidas.

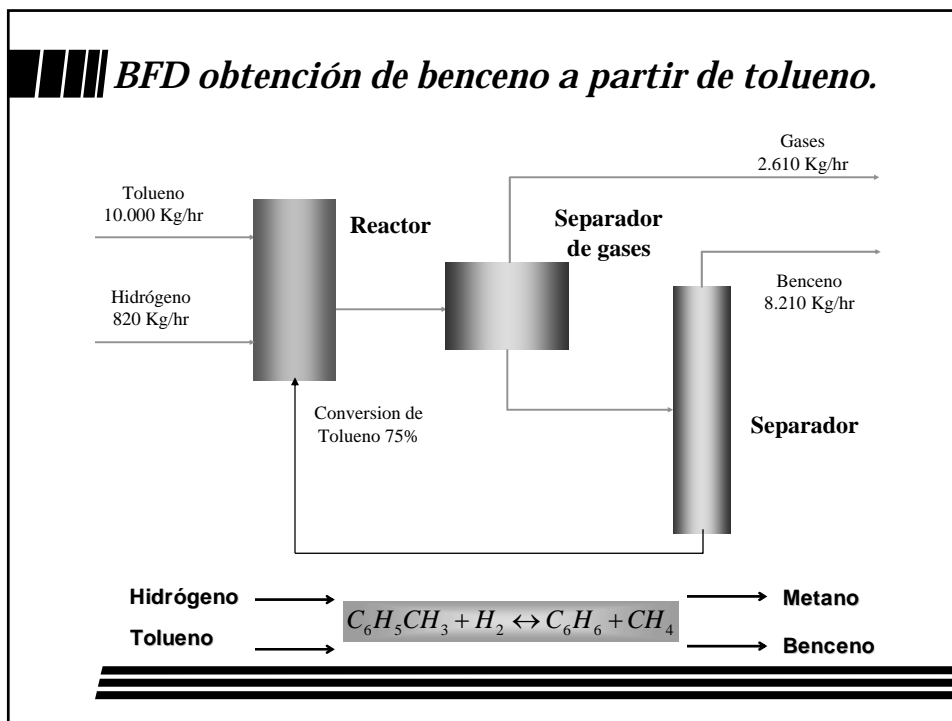
- Obtención de benceno por hidrogenación del tolueno:



- Síntesis de amoníaco:



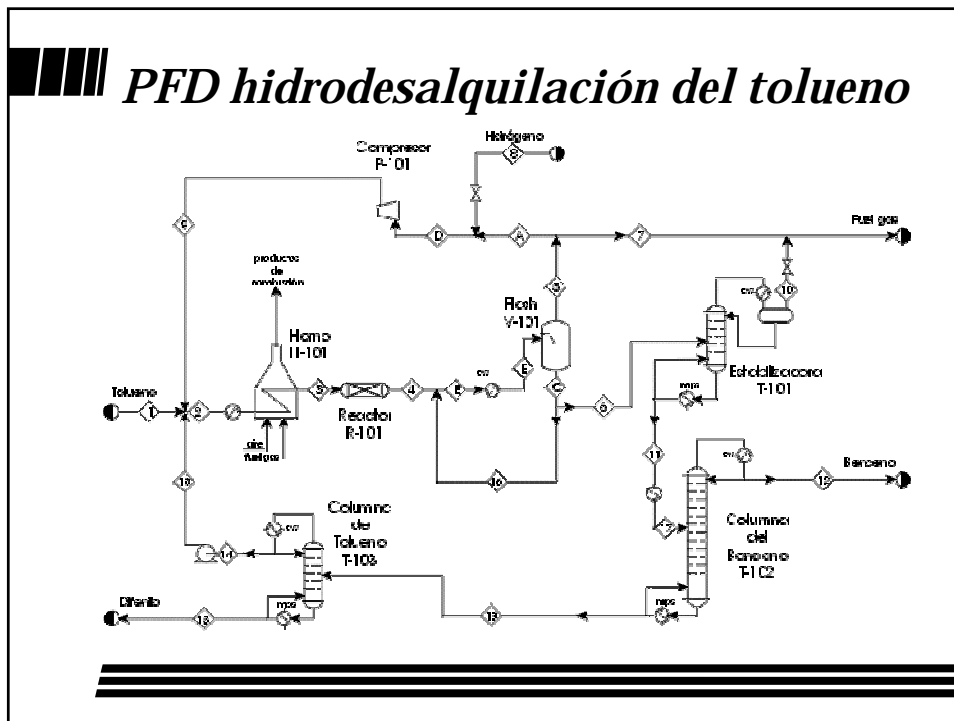
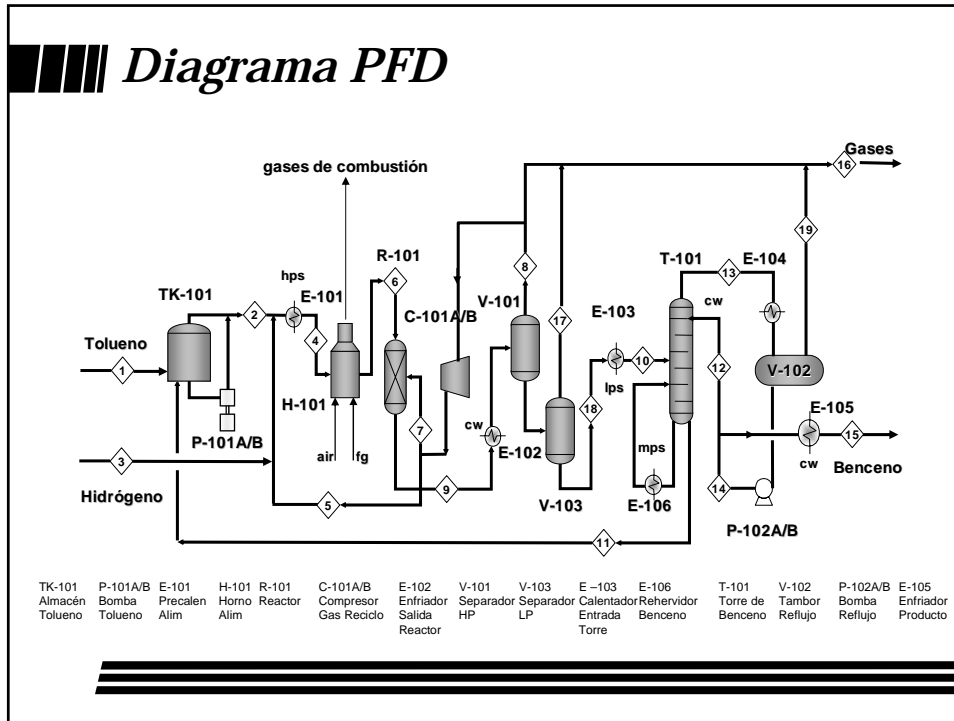




**/// Convenciones para los Diagramas de bloques.**

- Cada operación se representa por un bloque.
- Las corrientes de flujo principal se representan por líneas flechadas en la dirección del flujo.
- Los flujos van de izquierda a derecha en el diagrama.
- Las corrientes gaseosas se incluyen en la parte superior del diagrama, y los líquidos y sólidos hacia la parte inferior, separados por densidades.
- Si las líneas se cruzan las horizontales se mantienen y las verticales se cortan.
- Se incluye la información crítica para entender el proceso.
- Se incluye un balance de masa y energía simplificado en forma de tabla.





### Convenciones para los Diagramas de Flujo de Procesos.

- Se representan TODOS los equipos de proceso identificados por su número respectivo.
- Se numeran TODAS las corrientes de proceso incluyendo una descripción de sus condiciones (temperatura, presión), flujos y composición química mediante una TABLA adjunta.
- Se representan TODAS las corrientes de servicios (vapor, aire, refrigerantes, aceites de calefacción, etc) utilizados en cada equipo de proceso.
- Se deben señalar los lazos de control básicos para asegurar la estabilidad de las condiciones de proceso.

### Convenciones para identificación de equipos

Según Normas ASME

<b>C</b>	Compresores (Compressor or turbine)	
<b>E</b>	Intercambiadores de calor (Heat Exchange)	
<b>H</b>	Calentadores a llama (Fired Heater)	
<b>P</b>	Bombas (Pump)	
<b>R</b>	Reactores (Reactor)	
<b>T</b>	Columnas (Tower)	
<b>TK</b>	Tanques de almacenamiento (Storage tank)	
<b>V</b>	Recipientes de proceso (Vessel)	

## Identificación de los equipos

**XX-YYY A/B**

Indicador de unidades paralelas

Número asignado al equipo

Área asignada en la planta

Identificador del tipo de equipo

**Ejemplo:**

- ▶ **P-101 A/B**  
Identifica **una bomba**
- » **P-101 A/B**  
Indica que la bomba está ubicada en el **área 1** de la planta.
- »» **P-101 A/B**  
Indica que la bomba es la número **01** de las "n" existentes en la planta
- \* **P-101 A/B**  
Existencia de dos bombas idénticas, **una de reemplazo (backup)**

## Información para descripción de equipos.

Tipo de Equipo	Suministre la siguiente información.
Intercambiadores de Calor	Tipo (gas-gas; gas-líquido; condensador; evaporador). Área. Temperatura y presión de las corrientes. Número de carcazas y pasos de tubo. Materiales de construcción (tubos y carcazas)
Recipientes y Estanques	Altura y Diámetro. Orientación. Temperatura y presión. Materiales de construcción
Columnas	Tipo. Tamaño (altura, diámetro). Presión y temperatura. Número y tipo de platos o empaque. Materiales de construcción.
Bombas	Flujo. Presión de descarga. Temperatura. Diferencia de presión. Potencia en el eje. Tipo de impulsores. Material de construcción.
Calderas	Tipo. Presión en los tubos. Combustible. Material de construcción. Potencia nominal.
Compresores	Flujo a la entrada. Temperatura y presión. Tipo. Potencia en el eje. Materiales de construcción.
Otros	Toda la información crítica.

### Convenciones para identificación de corrientes

Symbol	Definition	Symbol	Definition
<i>Process Streams</i>		<i>Utility Streams</i>	
	Raw material influx (Identify stream by name)		Compressed air [A-12, e.g., would denote 12 barg]
			Cooling water (tower)
	Finished product effluent (Identify stream by name)		Cooling water return (tower)
			Cooling water (natural source)
	Designates a skip or break in a process line on the sheet. "B" is a match let- ter to identify the stream at another place on the same or an adjoining sheet		Cooling water discharge (natural receiver)
			Electricity [E-220, e.g., would denote 220 volts]
	Stream designation for material balance point		Hot oil [HO-300, e.g., would denote 300°C]
	Temperature (°C)		Hot water [HW-150, e.g., would denote 150°C]
	Pressure [barg (0.1 MPa gage)]		Hot water return
	Pressure (kPa gage)		Refrigerant [R-10, e.g., would denote -10°C]
	Pressure (kPa absolute)		Steam [S-15, e.g., would denote 15 bara pressure]
	Gas flow (std m <sup>3</sup> /s; ideal gas at 273 K, 1 atm)		Steam condensate
	Liquid flow (liter/s)		Deminerlized water
	Mass flow (kg/s)		Municipal water
	Molar flow (kgmol/s)		Process water

(Assembled from information provided by R. D. Beattie and from reference (1))

### Convenciones para identificación de servicios

• lps	Vapor de baja presión	3 - 5 barg (sat) [145°C]
• mps	Vapor de media presión	10 - 15 barg (sat) [190°C]
• hps	Vapor de alta presión	40 - 50 barg (sat) [260°C]
• htm	Medio de transferencia de calor	hasta 400°C
• cw	Agua de enfriamiento	30°C retorna 45°C
• wr	Agua de río	25°C retorna <35°C
• rw	Agua refrigerada	5°C retorna >15°C
• rb	Refrigerante	-45°C retorna 0°C
• cs	Agua de desechos químicos con alto DQO	
• ss	Agua de desechos sanitarios con alto DBO	
• el	Energía eléctrica	220, 440 o 660 V
• ng	Gas natural	
• fg	Gas combustible	
• fo	Aceite combustible	
• fw	Agua para sistemas contra incendios	

### Información para las corrientes de flujo.

**Como mínimo:**

- Número de la corriente.
- Temperatura.
- Presión.
- Fracción de vapor.
- Flujo total másico.
- Flujo molar total.
- Flujo molar por componente.

**En algunos casos, también ...**

- Fracciones molares de los componente.
- Fracciones másicas de los componentes.
- Flujo volumétrico.
- Propiedades físicas (densidad, viscosidad, etc)
- Datos termodinámicos (calor específico, entalpía, etc.)
- Nombre de la corriente

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	25	59	25	225	41	600	41	38	654
Presión (bar)	1.90	25.8	25.5	25.2	25.5	25.0	25.2	23.9	24.0
Fracción de vapor	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Flujo Másico (ton/hr)	10.0	13.3	0.82	20.5	6.41	20.5	0.36	9.2	20.9
Flujo Molar (kmol/hr)	108.7	144.2	301.0	1204.4	758.8	1204.4	42.6	1100.8	1247.0
Composición molar (kmol/hr)									
Hidrogeno	0.0	0.0	286.0	735.4	449.4	735.4	25.2	651.9	652.4
Metano	0.0	0.0	15.0	317.3	302.2	317.3	16.95	438.3	442.3
Benceno	0.0	1.0	0.0	7.6	6.6	7.6	0.37	9.55	116.0
Tolueno	108.7	143.2	0.0	144.0	0.7	144.0	0.04	1.05	36.0

### Información para las corrientes de flujo. Continuación

Corriente	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Temperatura (°C)	90	147	112	112	112	38	38	38	38	112
Presión (bar)	2.6	2.8	3.3	2.5	3.3	2.3	2.50	2.80	2.90	2.50
Fracción de vapor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0
Flujo Másico (ton/hr)	11.6	3.27	14.0	22.7	22.7	8.21	2.61	0.07	11.5	0.01
Flujo Molar (kmol/hr)	142.2	35.7	185.2	290.7	290.7	105.6	304.6	4.06	142.2	0.90
Composición molar (kmol/hr)										
Hidrogeno	0.02	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	178.0	0.67	0.02	0.02
Metano	0.88	0.0	0.0	0.88	0.0	0.0	123.2	3.1	0.88	0.88
Benceno	106.3	1.1	184.3	289.5	289.5	105.2	2.85	0.3	106.3	0.0
Tolueno	35.0	34.6	0.88	1.22	1.22	0.4	0.31	0.0	35.0	0.0

