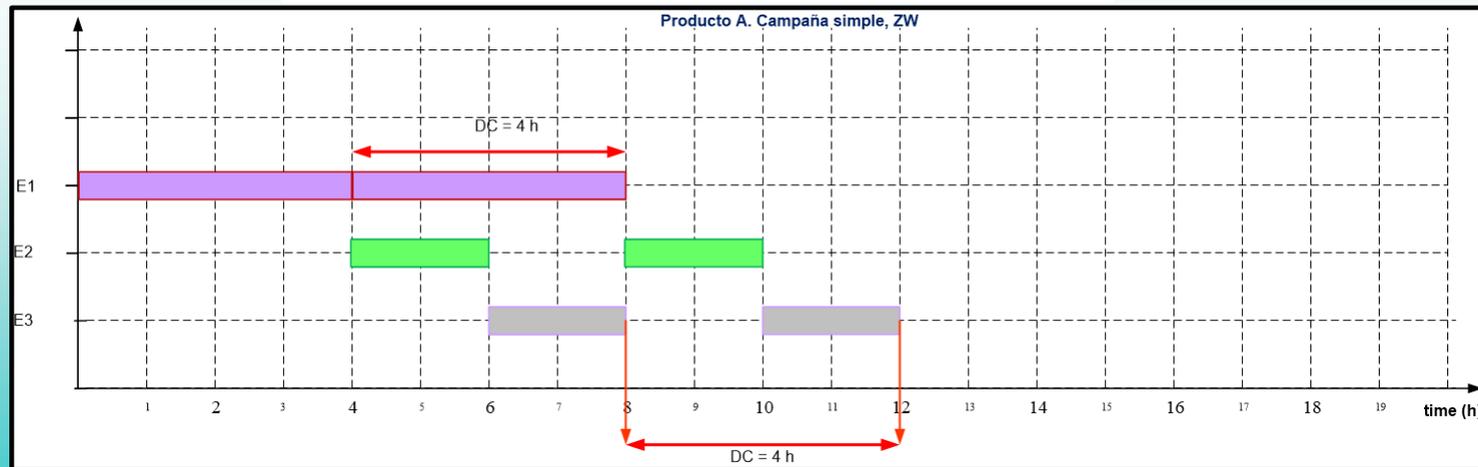
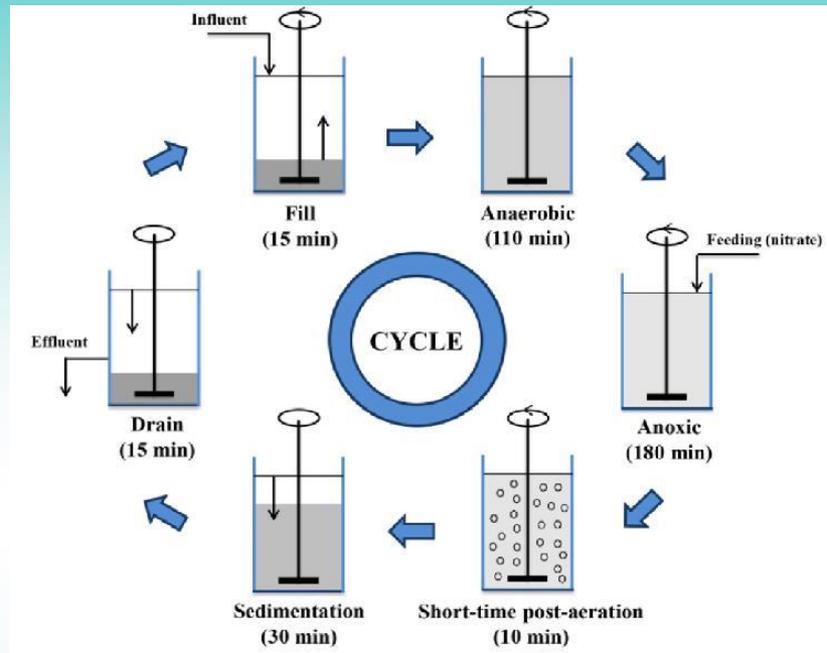


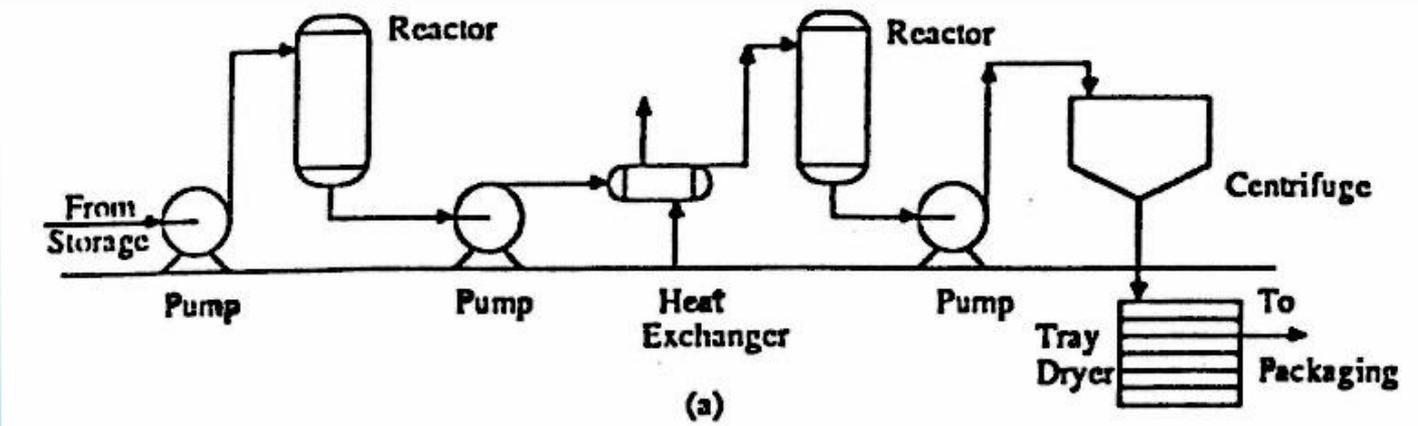
# Facultad de Ingeniería - UNJu

## Ingeniería Química



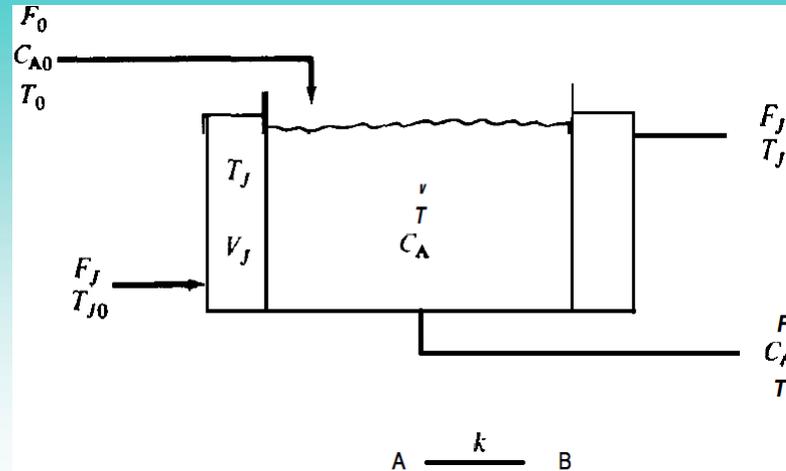
# Introducción

La evolución de cada proceso sigue un camino similar (batch a continuo). Los procesos resultantes suelen ser muy diferentes, pero la serie de pasos que se han seguido para producir los procesos finales son similares.



¿Cuales de los equipos tienen funcionamiento continuo?

# Introducción



$$\frac{dV}{dt} = F_0 - F$$

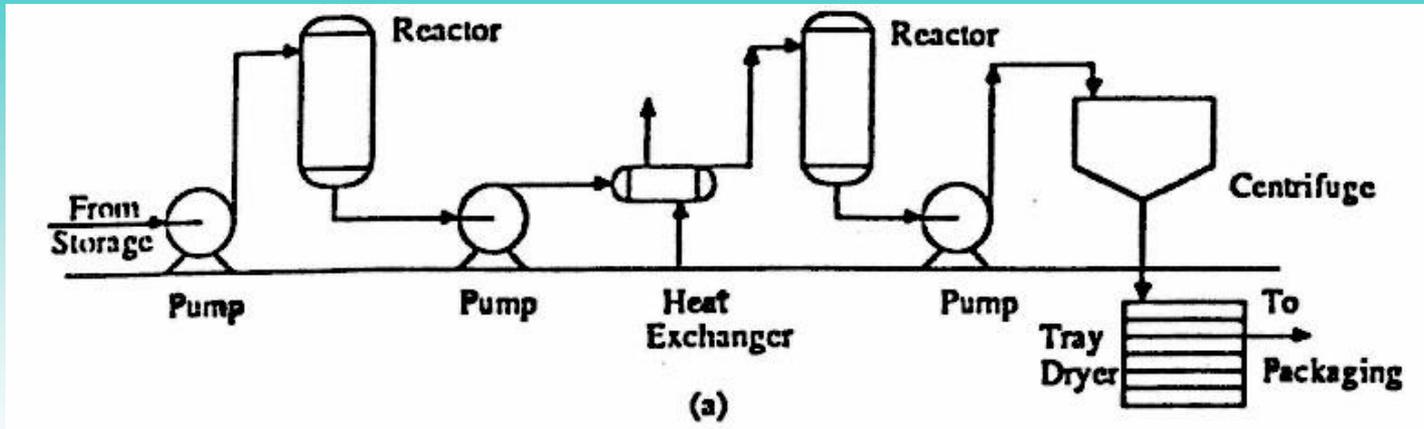
$$\frac{d(VC_A)}{dt} = F_0 C_{A0} - FC_A - V(C_A)^n \alpha e^{-E/RT}$$

$$\rho C_p \frac{d(VT)}{dt} = \rho C_p (F_0 T_0 - FT) - \lambda V(C_A)^n \alpha e^{-E/RT} - UA_H(T - T_J)$$

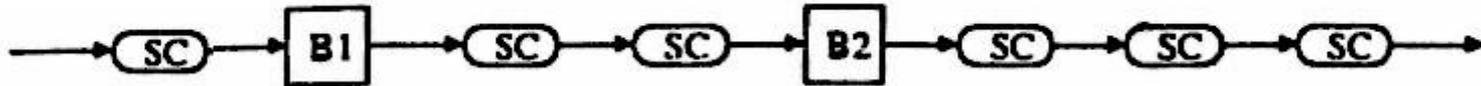
$$\rho_J V_J C_J \frac{dT_J}{dt} = F_J \rho_J C_J (T_{J0} - T_J) + UA_H(T - T_J)$$

$$F = K_V (V - V_{\min})$$

# Introducción

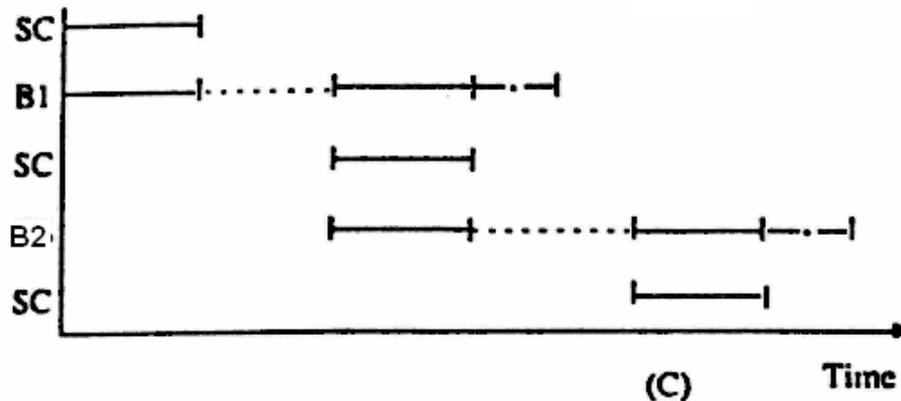


Esquema del proceso

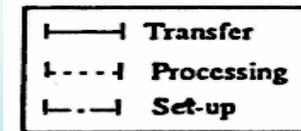


Unit

## Diagrama de Gantt



### Legend



**SC: Etapa Continua**

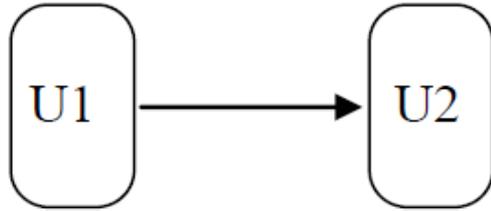
**B: Etapa Batch**

# Problemas de decisiones y objetivos

	Diseño y síntesis	Operación	Scheduling / Planificación
Decisiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración de la planta</li> <li>• Utilización de recursos</li> <li>• Número de unidades en serie</li> <li>• Asignación de mezcla y reciclaje</li> <li>• Tamaños de unidad</li> <li>• Duplicación de unidades</li> <li>• Asignación de tanques de almacenamiento intermedio</li> <li>• Área de calefacción y refrigeración.</li> <li>• Consumo de energía (vapor y electricidad)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasas de flujo de mezcla por lotes, división de lotes y reciclaje de lotes</li> <li>• Asignación de materiales y energía.</li> <li>• Concentraciones de componentes</li> <li>• Tiempos de procesamiento de la unidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de ciclo de cada proceso de producción.</li> <li>• Tiempo de ciclo de las unidades</li> <li>• Tiempo de inactividad de la unidad</li> <li>• Número y tamaño de lotes</li> <li>• Configuración de campaña mixta</li> <li>• Producción</li> </ul>
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar la inversión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar costo operativo</li> <li>• Minimizar costo de servicios auxiliares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar tiempo de procesamiento.</li> <li>• Maximizar los beneficios.</li> <li>• Minimizar los costos de inventarios.</li> </ul>

# Problemas de decisiones y objetivos

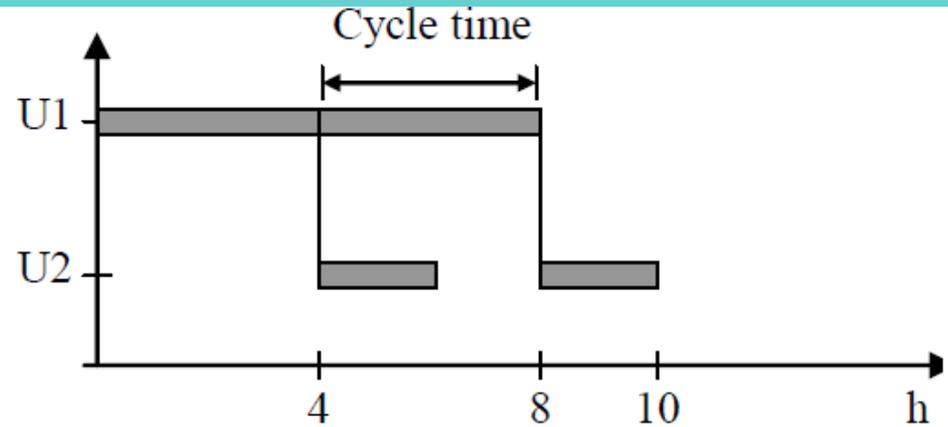
Stage 1                      Stage 2



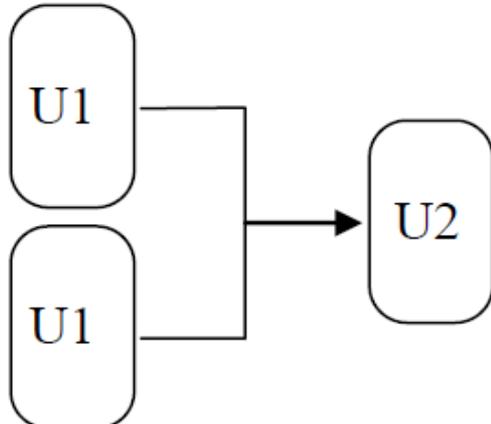
4 h

2 h

Processing  
time



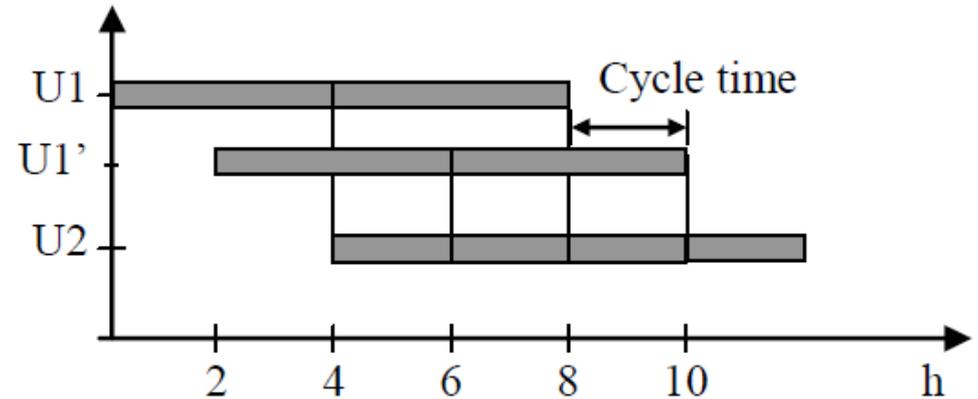
Stage 1                      Stage 2



4 h

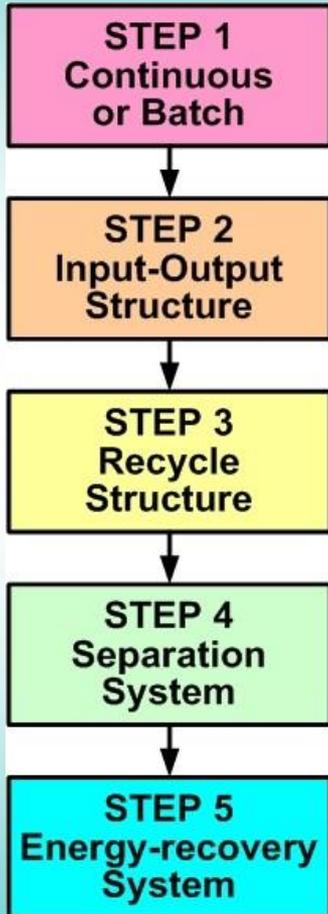
2 h

Processing  
time



# Jerarquía de diseño conceptual

*Douglas, J.M., Conceptual Design of Chemical Processes, McGraw-Hill, NY, 1988*



1. Decidir si el proceso es por **lotes** o **continuo**.
2. Identificar la estructura de **entrada-salida** del proceso.
3. Identificar y definir la **estructura de reciclaje** del proceso.
4. Identificar y diseñar la estructura general del **sistema de separación**.
5. Identificar y diseñar la **red de intercambiador de calor** o un sistema de recuperación de energía.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Tamaño	Pequeñas producciones favorecen las operaciones por lotes. A medida que aumenta su volumen de producción, el tamaño requerido de equipos de proceso aumenta, y las dificultades técnicas de mover grandes cantidades de productos químicos de equipo a equipo aumentan rápidamente.	Las economías de escala favorecen los procesos continuos (proceso Solvay).



# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Calidad del producto	Cuando la calidad de los productos de cada lote de material debe ser verificado y certificado, se prefieren las operaciones por lotes. Esto es cierto para productos farmacéuticos y alimentos. Si el reprocesamiento del producto fuera de especificación no está permitido, lotes pequeños se ven favorecidos.	Pruebas continua o periódica de calidad del producto se lleva a cabo, pero algunas cantidades de productos fuera de especificación se pueden producir. Los productos fuera de especificación pueden ser mezclado o almacenado y reelaborado cuando el programa lo permite. En este caso está favorecidos los procesos continuos.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Flexibilidad operativa	Un mismo equipo puede ser utilizado para múltiples operaciones, por ejemplo, un tanque agitado puede ser utilizado como un mezclador, un reactor, un decantador para la extracción líquido-líquido.	Flexibilidad operacional puede ser incorporado en procesos continuos, pero puede conducir a un uso ineficiente del capital. El equipo no requerido en un proceso, pero necesario para que otro estará ocioso durante meses. Los procesos continuos están diseñados para producir una cantidad fija de productos a partir de una materia prima bien definida. Si las condiciones de mercado, cambia la alimentación /disponibilidad de productos / demanda, la planta puede ser "adaptada/actualizada" para acomodarse el cambio.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Equipos estandarizados - Multiproducto.	Los procesos por lotes se puede modificar fácilmente para producir diferentes productos utilizando básicamente los mismos equipos. Hay casos de plantas de proceso por lotes que puede producir 100 productos diferentes . Para estos procesos el control óptimo y la secuencia de las operaciones son fundamentales para el éxito de estas plantas.	El conjunto de productos a partir de procesos continuos suele ser fija. Los equipos tienden a ser diseñado y optimizados para un número reducido de condiciones de operación.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Eficiencia de procesamiento	<p>La operación de procesos por lotes requiere una estricta programación y control. Debido a que diferentes productos están programados consecutivamente, los cambios en el scheduling tienen un efecto dominó y pueden causar serios problemas con la disponibilidad del producto para los clientes. Si el mismo equipo se utiliza para producir varios productos, este equipo no estará optimizado para ningún producto. La integración energética no es posible, así que el uso de servicios auxiliares tiende a ser mayor que el de procesos continuos. La separación y reutilización de materias primas es más difícil que para los procesos continuos.</p>	<p>Por lo general, a medida que aumenta la producción, los procesos continuos son más eficientes. Por ejemplo, se reducen posibles pérdidas de energía, y equipos rotativos (bombas, compresores, etc) funcionan con mayor eficiencia. El reciclaje de reactivos y la integración de energía en proceso o la planta es una práctica habitual y relativamente fácil de lograr.</p>

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

<b>Factor</b>	<b>Batch</b>	<b>Continuos</b>
Mantenimiento y mano de obra.	Hay mayores costos de mano de obra en plantas por lotes debido a la limpieza de equipos y tiempo de preparación.	Para el mismo proceso, los costos laborales son menor para procesos continuos.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Disponibilidad de materia prima.	Las operaciones por lotes se ven favorecidas cuando la disponibilidad de materia prima es limitada, por ejemplo, a una temporada. Fábricas de conservas y bodegas son ejemplos de instalaciones de procesamiento por lotes que operan sólo una parte del año.	Las plantas continua tienden a ser grandes y necesitan operar todo el año para ser rentable. La única manera de acomodar las variaciones estacionales en la alimentación es a través del uso de las instalaciones de almacenamiento que tienen costos altos.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Demanda	La demanda estacional de productos tales como fertilizantes, anticongelante, material para deshielo de carreteras y pavimento, y otros, pueden ser fácilmente acomodados. Debido a que las plantas de proceso por lotes son flexibles, otros productos se pueden hacer durante la "temporada baja".	Difícil para fabricar otros productos durante la "temporada baja". Sin embargo, se pueden producir productos similares, por ejemplo, una familia de disolventes, se pueden producir utilizando los mismos procesos a través de una serie de "campanas" en diferentes momentos durante el año. Cada campaña puede durar varios meses.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Velocidad de reacción para la producción de productos.	Las operaciones por lotes favorecen los procesos que tienen <b>velocidad de reacción lenta</b> y, por lo tanto requieren largos tiempos de residencia. Por ejemplo, fermentación, tratamiento de aguas residuales aerobios y anaerobios, y muchas reacciones biológicas.	Reacciones lentas requieren un equipo muy grande. El flujo a través de este equipo será lento y la dispersión puede ser un problema si una conversión alta es deseada y se requiere un flujo de pistón.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Suciedad de equipos	Cuando hay ensuciamiento significativo del equipo, se favorecen las operaciones por lotes porque la limpieza del equipo es siempre un procedimiento operativo estándar por lotes y se pueden acomodar fácilmente en la programación del proceso.	En operaciones continuas el ensuciamiento significativo es un problema grave y difícil de manejar. Operar unidades idénticas en paralelo, una en línea y el otro de <i>backup</i> para la limpieza, puede resolver este problema. Sin embargo, la inversión de capital es más alto, se requiere mano de obra adicional y problemas de seguridad son más probables.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Seguridad	En general, la exposición del trabajador a productos químicos y errores del operador son mayores (por cantidad de unidad de producto) que en los procesos continuos. El entrenamiento de operarios a la exposición de sustancias químicas y operación de equipos es crítica.	Las grandes plantas químicas que operan continuamente tienen excelentes registros de seguridad, y los procedimientos de seguridad están bien establecidos. La capacitación del operador sigue siendo de gran importancia, pero se eliminan muchos de los riesgos asociados con operación de equipos conteniendo sustancias químicas.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 1: Batch vs. Continuos*

Factor	Batch	Continuos
Controlabilidad	<p>Este problema se debe a que los procesos por lotes a menudo utilizan el mismo equipo para diferentes operaciones y, a veces para producir diferentes productos. La programación eficiente de los equipos es muy importante. El control utilizado para esta programación es complicada.</p>	<p>En general, los procesos continuos son más fáciles de controlar. Además, se ha realizado mas trabajo / investigación para estos procesos. Para plantas altamente integradas (energía o materia) y complejas, el control se vuelve complejo, y la flexibilidad operativa se reduce considerablemente.</p>

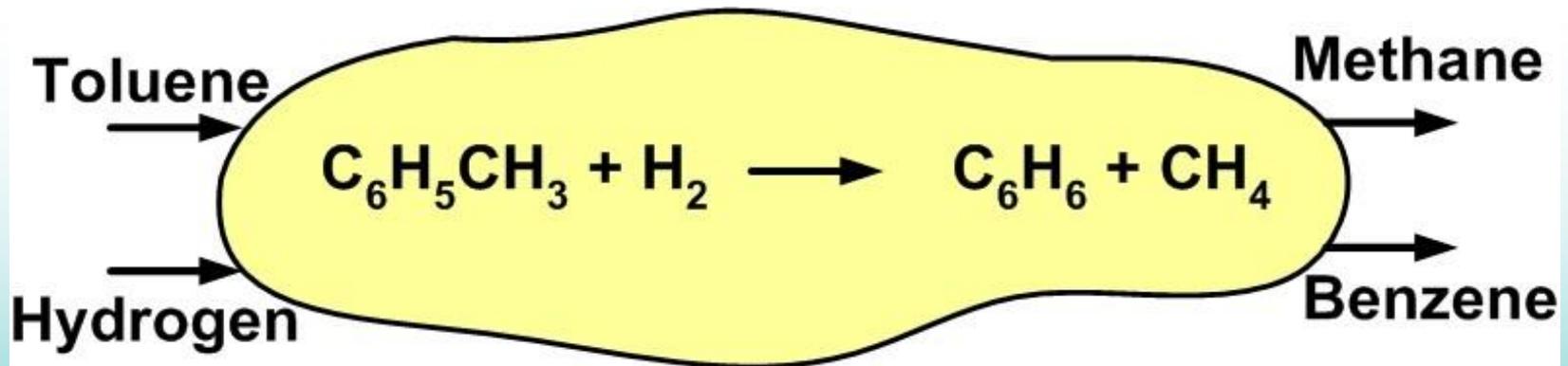
# Jerarquía de diseño conceptual

*Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

## Diagrama conceptual

El diagrama utiliza la estequiometría de la reacción principal para identificar la entrada y salida

Proceso de hidrodealquilación del tolueno.



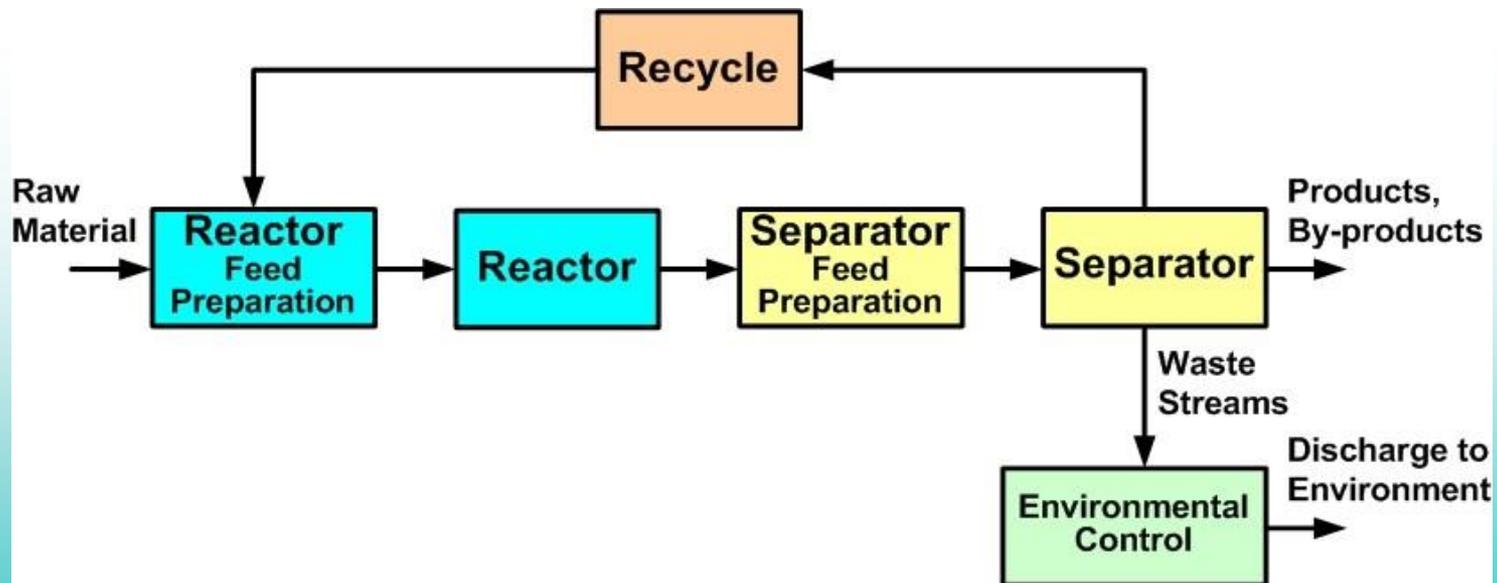
# Jerarquía de diseño conceptual

*Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

## Diagrama en Bloque Genérico

Un proceso químico divide en seis áreas básicas o bloques . Cada bloque dispone de una función necesaria para el funcionamiento del proceso.

DFBG Proceso de hidrodealquilacion del tolueno.

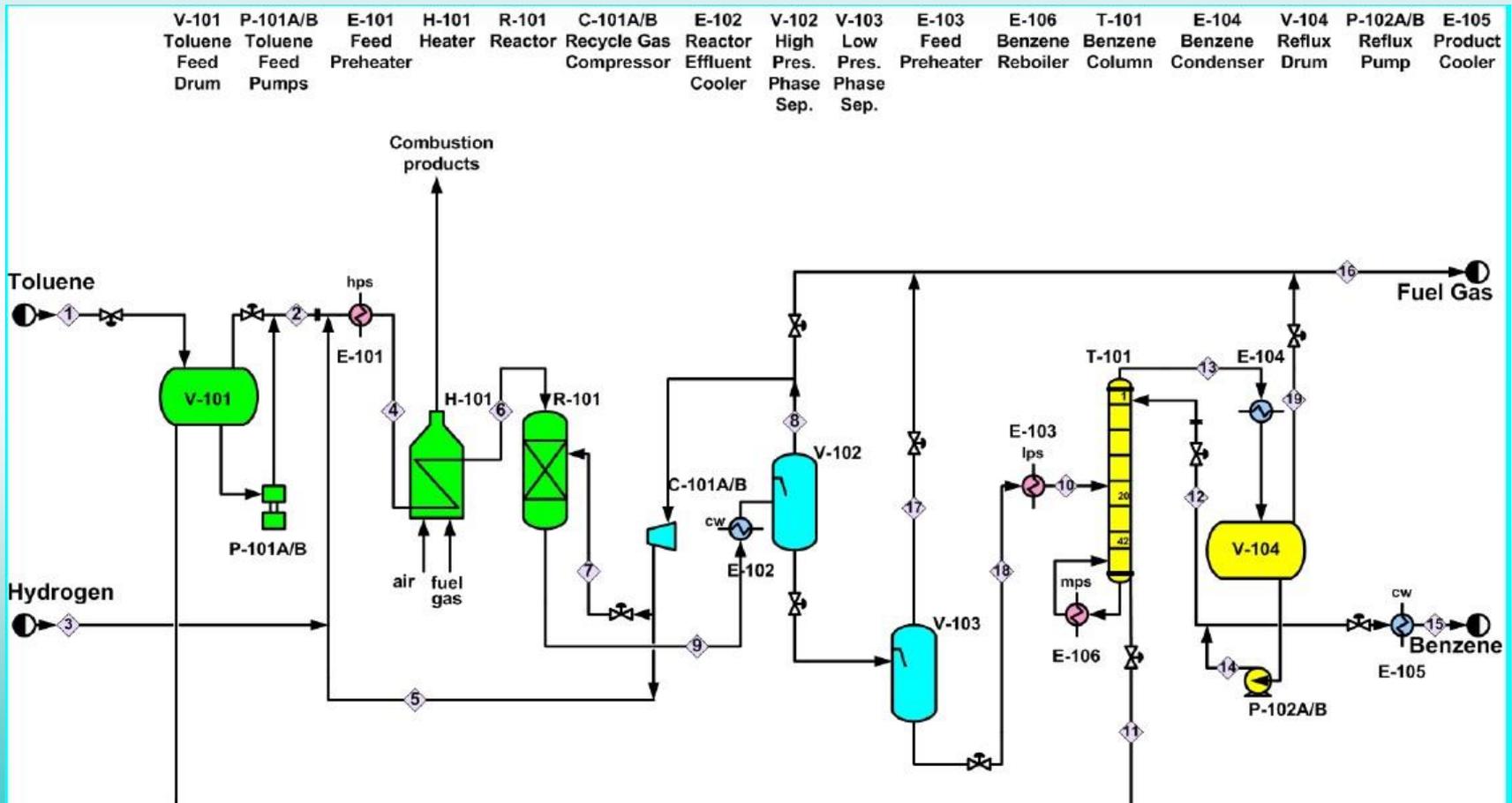


# Jerarquía de diseño conceptual

*Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

## Diagrama de flujo de proceso

El PFD, por convención, muestra las corrientes de entrada al proceso a la izquierda y las corrientes de salida del proceso a la derecha.



# Jerarquía de diseño conceptual

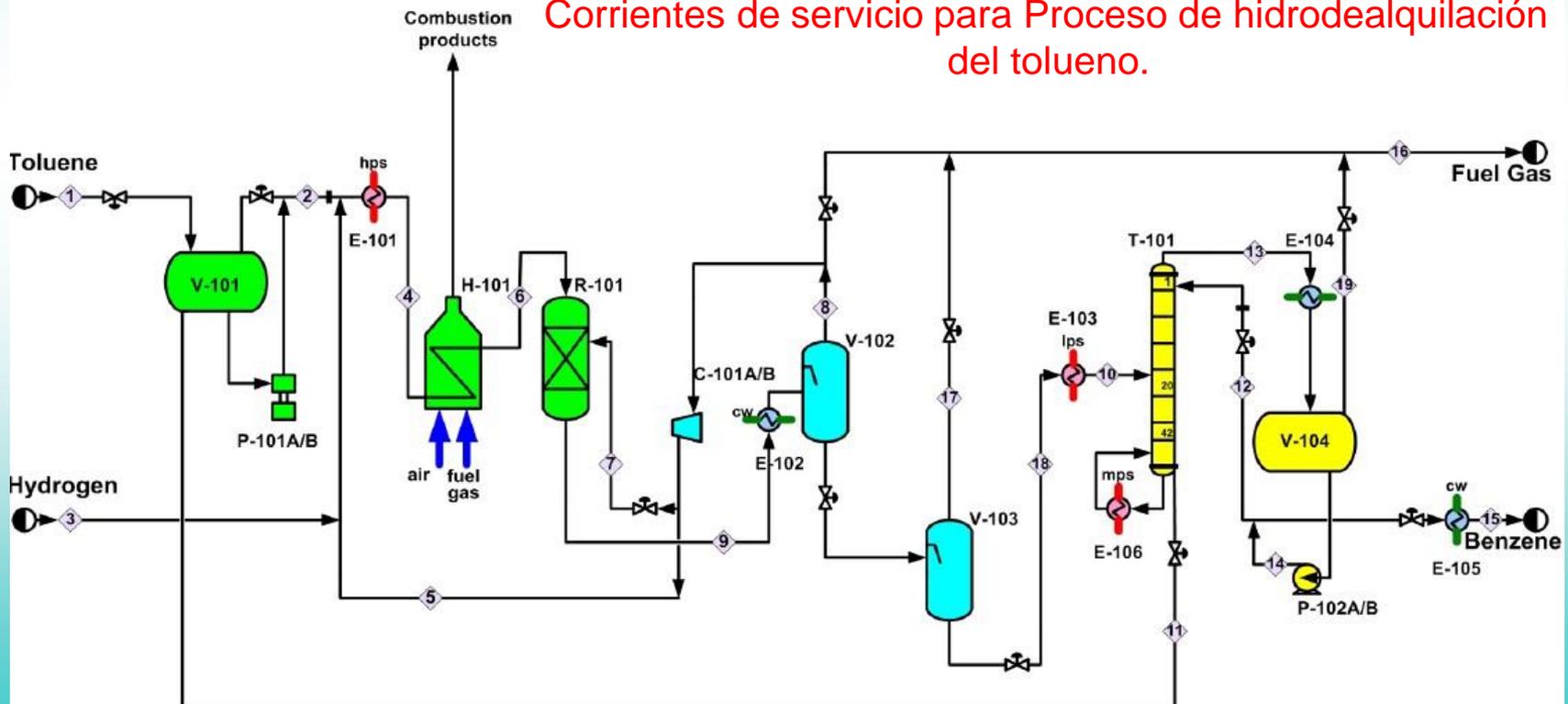
*Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

## Corrientes de servicio

Las corrientes de servicio, tales como agua de enfriamiento, vapor, combustible, y electricidad, con poca frecuencia se ponen en contacto directamente con las corrientes de proceso. Por lo general proveen o extraen energía térmica o trabajo.

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	Toluene	Feed	Heater	Reactor	Recycle Gas	Reactor	High	Low	Feed	Benzene	Benzene	Benzene	Reflux	Reflux	Product
Drum	Pumps	Preheater			Compressor	Effluent	Phase	Phase	Preheater	Reboiler	Column	Condenser	Drum	Pump	Cooler
						Cooler	Sep.	Sep.							

Corrientes de servicio para Proceso de hidrodealquilación del tolueno.



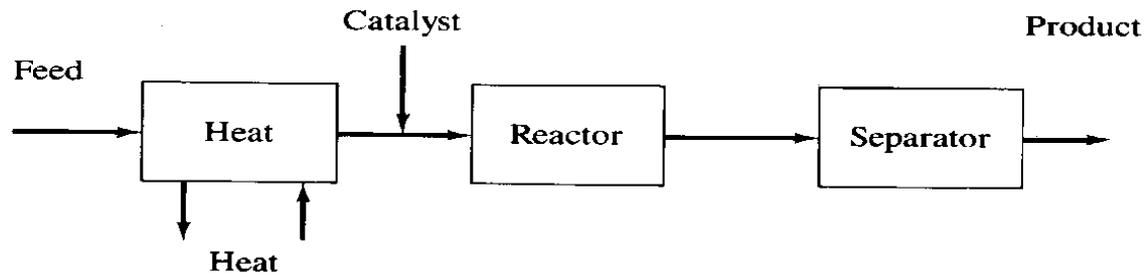
# Batch vs. Continuos

Variables a considerar:

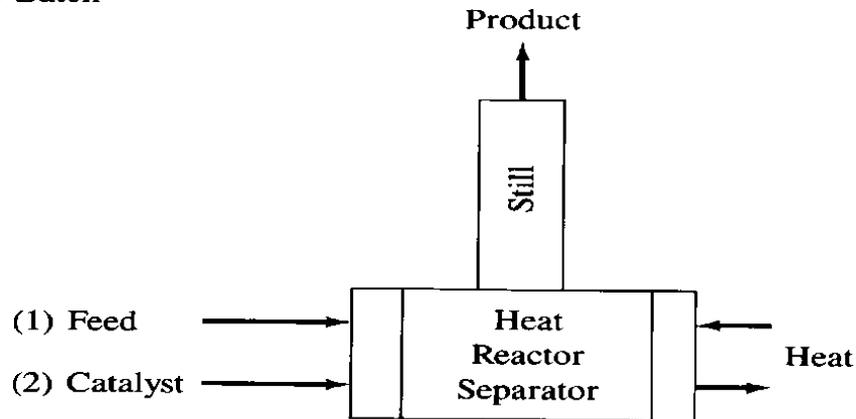
- Tamaño
  - Batch < 500 tn/año ~ 1,5 tn/día  
(< 2 m<sup>3</sup> de liquido o solido por día)
  - Continuo > 5.000 tn/año
- Flexibilidad
  - Batch puede manejar diferentes alimentaciones y productos.
  - Continuos es mejor para pocos productos y pocas alimentaciones.

# Batch vs. Continuous

(a) Continuous

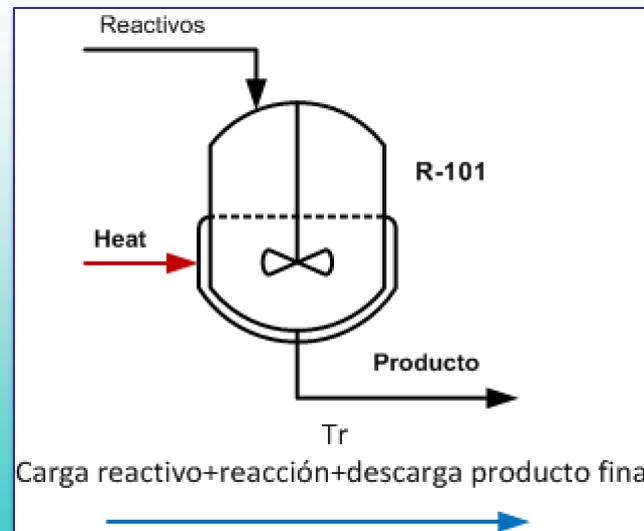
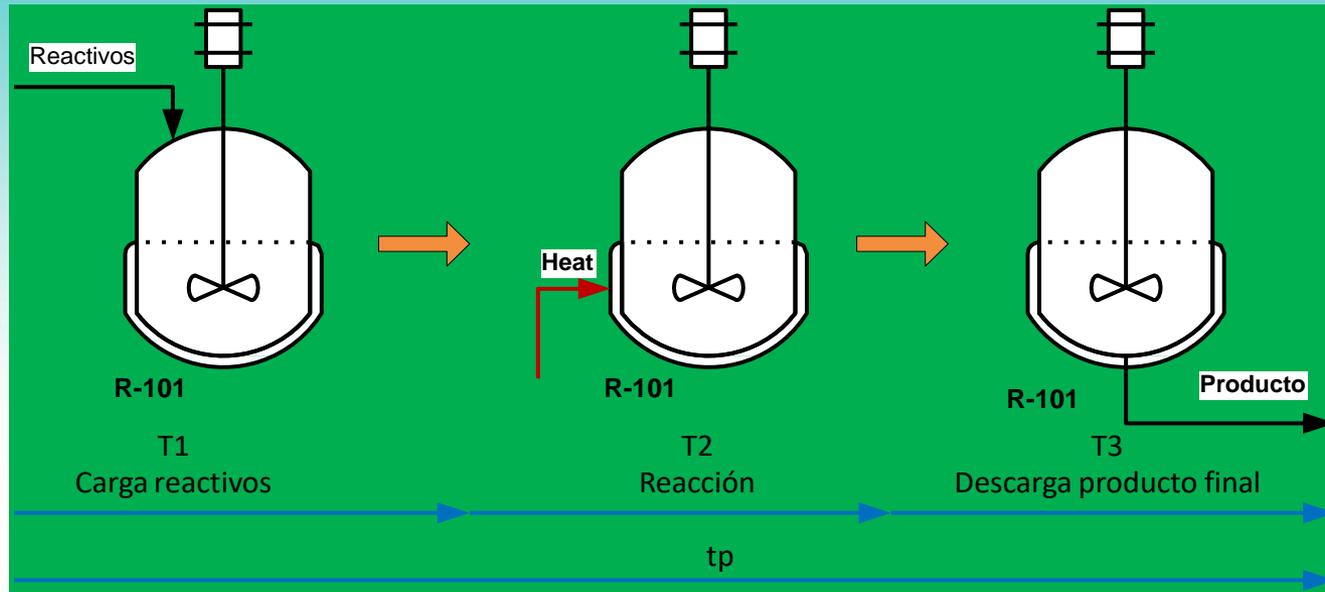


(b) Batch



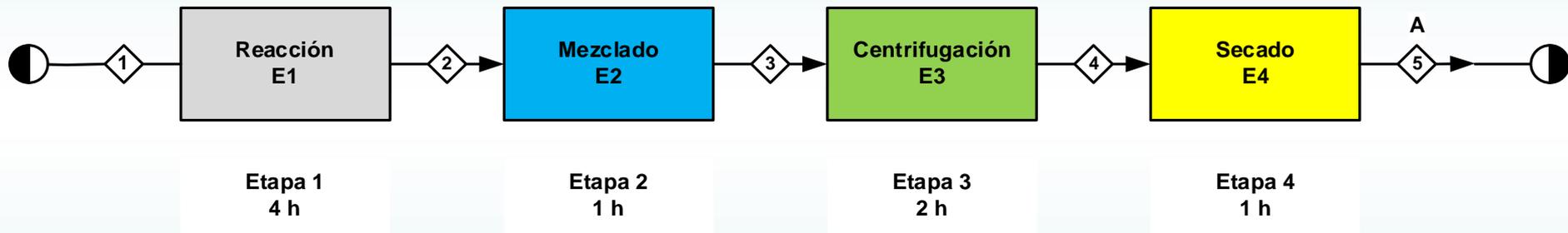
**FIGURE 4.2-1**  
Continuous versus batch.

# Batch vs. Continuo



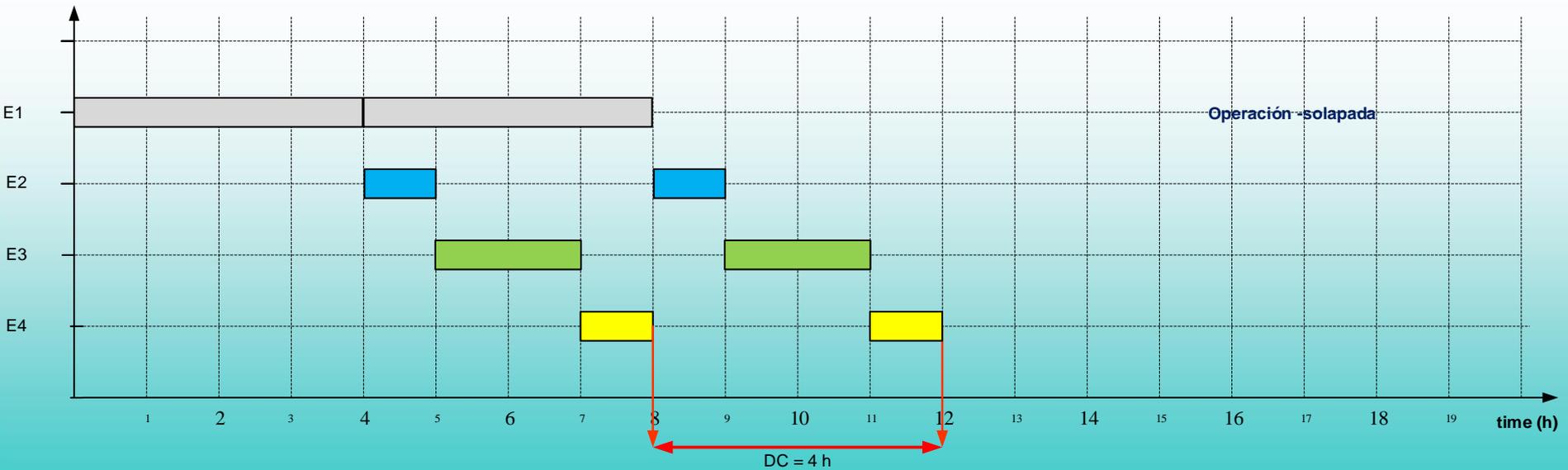
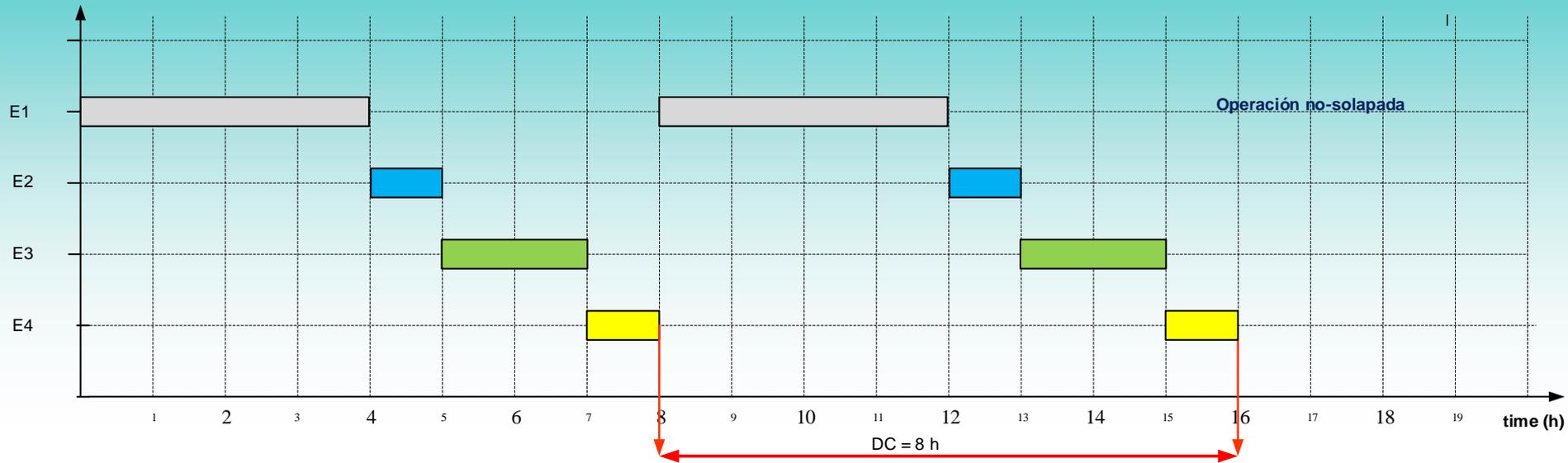
# Producción de un solo producto (monoproducto)

Normalmente, la fabricación de un producto implica varias etapas que se llevan a cabo secuencialmente en varios equipos de acuerdo a una receta de fabricación.

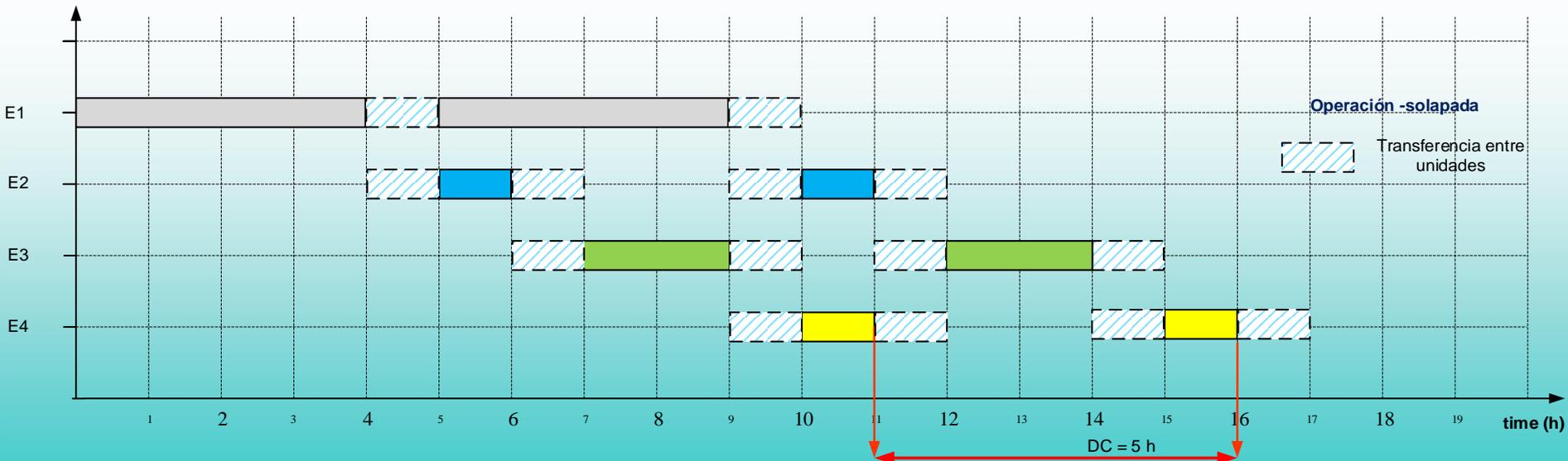
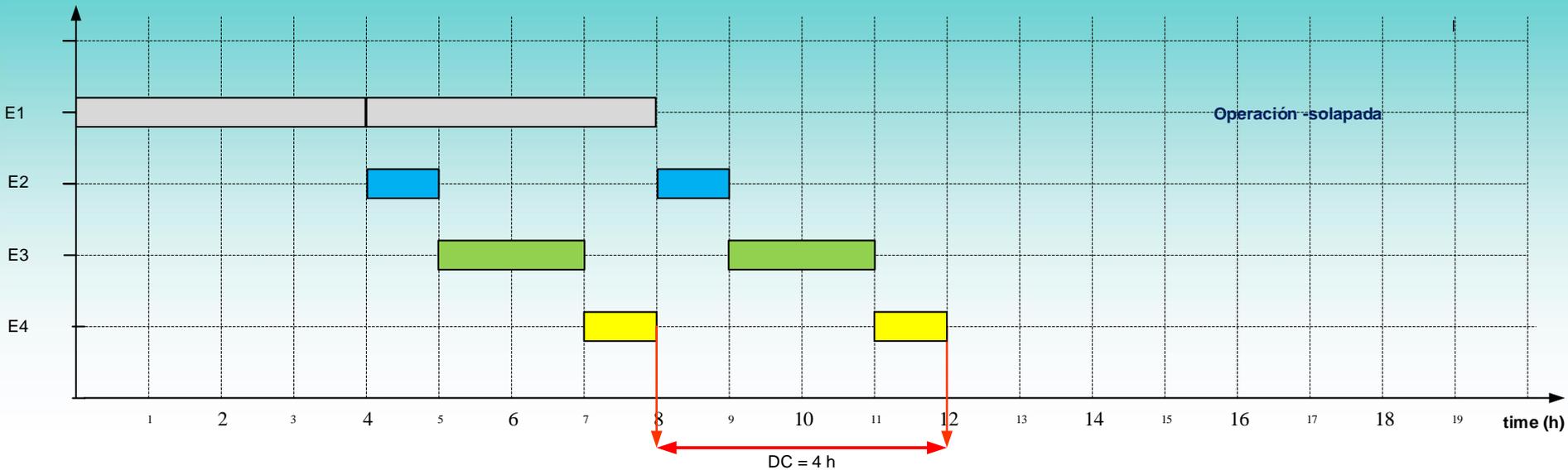


En el ejemplo, la fabricación del producto A implica cuatro etapas (una unidad de proceso por cada etapa) sucesivas empleando en cada una los tiempos indicados.

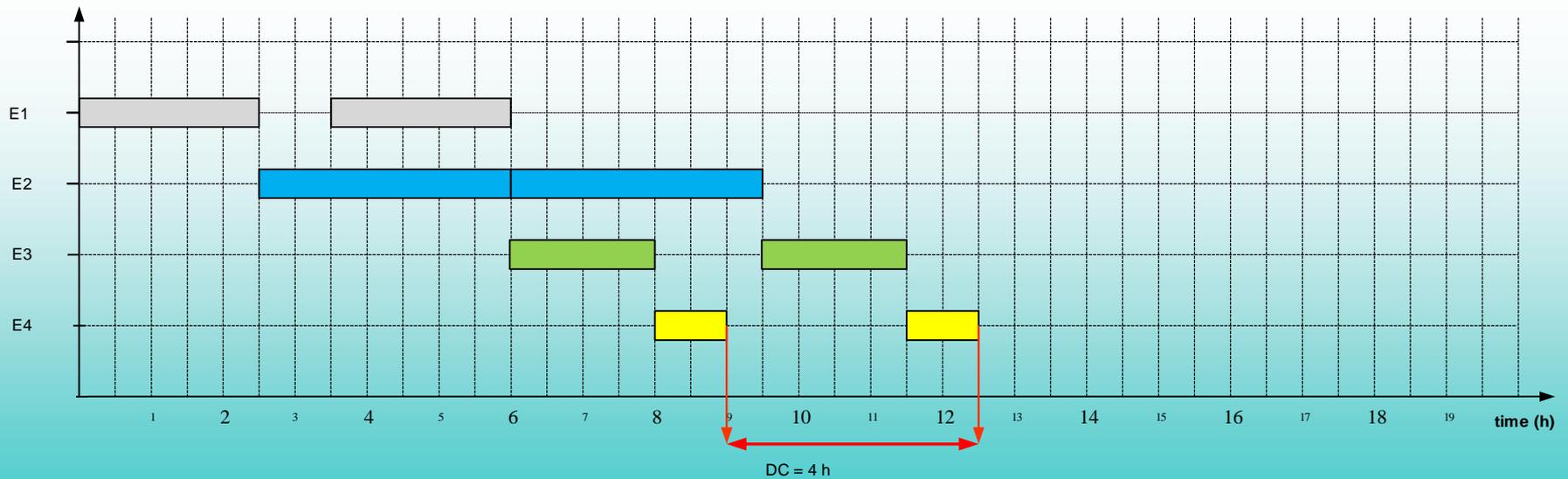
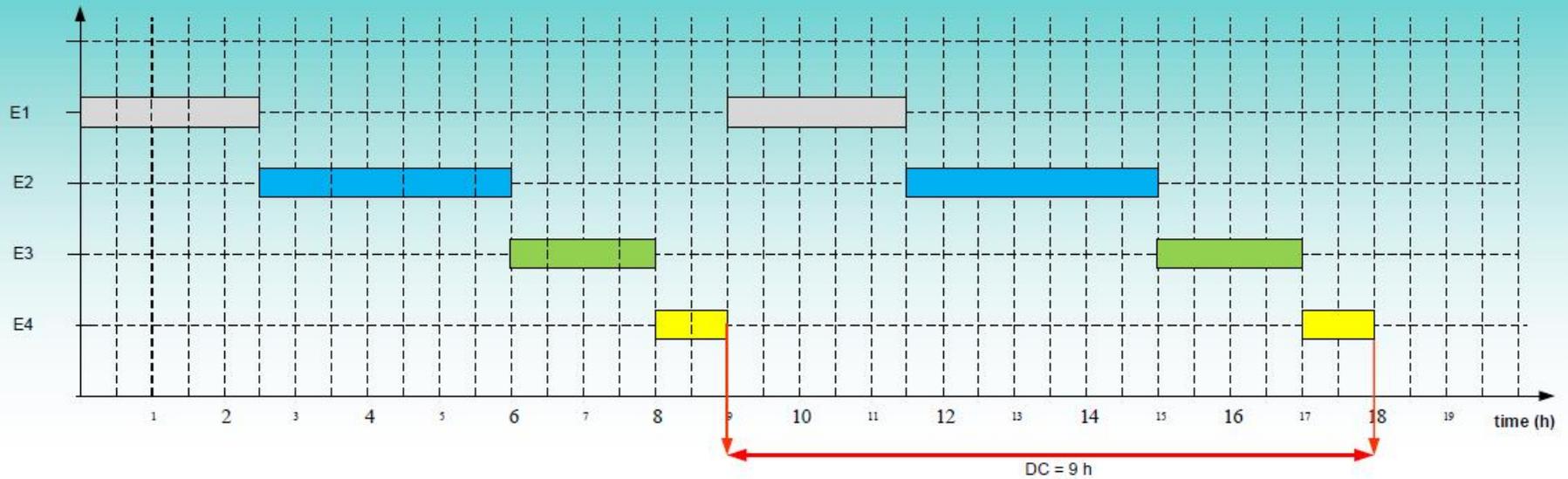
# Procesos Batch. Duración de ciclo (DC)



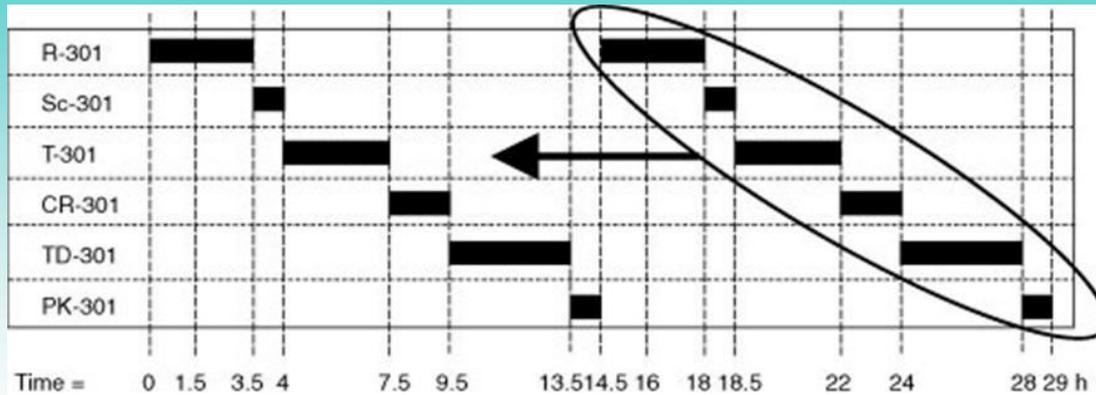
# Procesos Batch. Duración de ciclo (DC)



# Procesos Batch. Duración de ciclo (DC)



# Procesos Batch. Scheduling



$$T_{NO} = n \sum_{i=1}^m t_i$$

$n$  : Número de lotes o batch

$t_i$  : tiempo de cada etapa

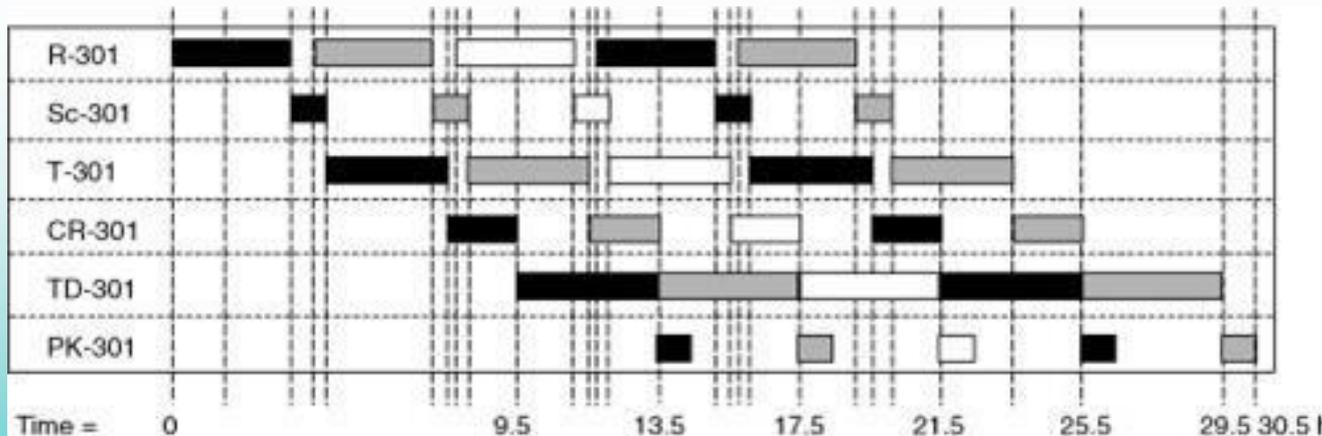
$m$  : etapas

NO: operación no-solapada

O: operación solapada

$$t_{\text{ciclo}} = \frac{\text{tiempo total}}{\text{número de lotes}}$$

$$t_{\text{ciclo,NO}} = \frac{T_{NO}}{n} = \frac{n \sum_{i=1}^m t_i}{n} = \sum_{i=1}^m t_i$$



$$T_o = (n-1) \max(t_i) + \sum_{i=1}^m t_i$$

$$t_{\text{ciclo,O}} = \frac{T_o}{n} = \frac{(n-1) \max(t_i) + \sum_{i=1}^m t_i}{n}$$

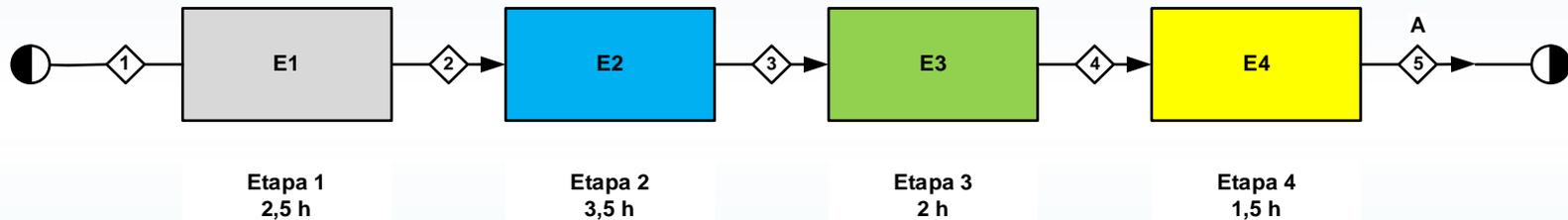
Cuando  $n$  es un valor grande, la duración de ciclo se aproxima a:

$$t_{\text{ciclo,O}} = \frac{T_o}{n} = \max_{i=1..m}(t_i)$$

# Procesos Batch. Duración de ciclo (DC)

Ejemplo: Un proceso batch involucra cuatro etapas con los siguientes tiempos de proceso.

TAG	Descripción	Tiempo (h)
E1	Calentamiento y mezclado	2,5
E2	Reacción	3,5
E3	Cristalización	2
E4	Filtración y secado	1,5



Determine la duración del ciclo para operación no superpuesta y superpuesta.

$$T_{NO} =$$

$$t_{ciclo,NO} =$$

$$T_{0,5} =$$

$$t_{ciclo,0,5} =$$

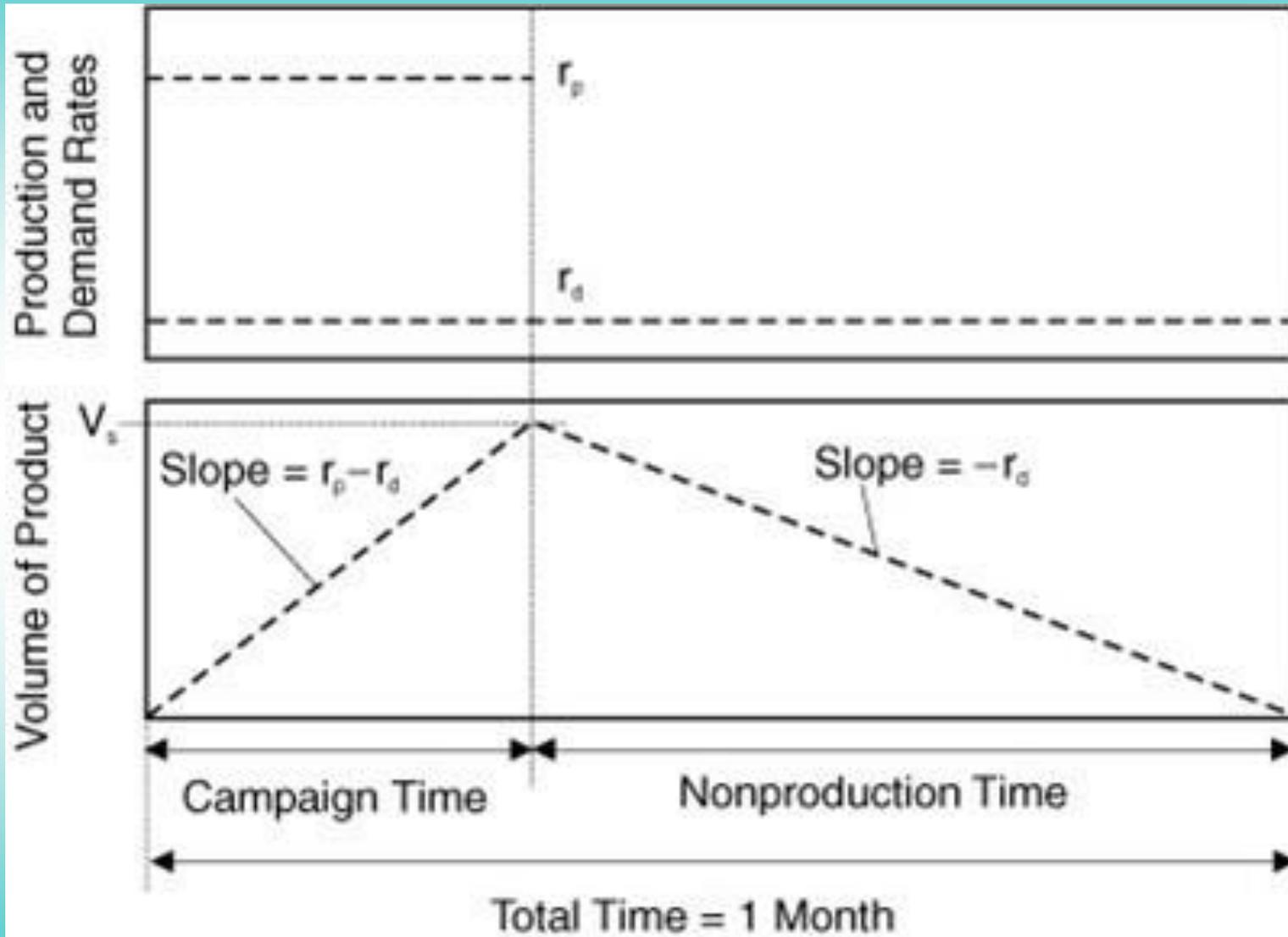
$$T_{0,10} =$$

$$t_{ciclo,0,10} =$$

$$T_{0,\infty} =$$

$$t_{ciclo,0,\infty} =$$

# Procesos Batch. Inventarios



# Jerarquía de diseño conceptual

*Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

Otras consideraciones: Pureza de la alimentación y componentes trazas

- ✓ En general, las corrientes de alimentación que entran en un proceso no contienen componentes químicos puros. Siempre existe la opción para purificar aún más la alimentación del proceso. (¿Purificación antes de la alimentación?).
- ✓ La pregunta de si la etapa de purificación debe realizarse, sólo puede responderse mediante un análisis técnico-económico detallado.
- ✓ Sin embargo, algunas heurísticas pueden usarse para elegir un buen caso base o punto de partida. Los siguientes heurísticas están modificados de Douglas [1].

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

### Heurísticos: Pureza de la alimentación y componentes trazas

- ✓ Si las impurezas no están presentes en grandes cantidades (por ejemplo, <math><10\sim 20\%</math>) y estas impurezas no reaccionan para formar subproductos, no separe antes de alimentar el proceso. Por ejemplo, el hidrógeno que se alimenta al proceso de HDA de tolueno contiene una pequeña cantidad de metano (5% molar). Dado que el metano no reacciona (es inerte) y está presente como una pequeña cantidad, probablemente no conviene considerar separarlo del hidrógeno.
- ✓ Si la separación de las impurezas es difícil (por ejemplo, una impureza forma un azeótropo con la alimentación o la alimentación es un gas en las condiciones de alimentación), no las separe antes de alimentar el proceso. Por ejemplo, considere nuevamente el metano en el proceso de producción de benceno. La separación de metano e hidrógeno es relativamente costosa porque involucra baja temperatura y/o alta presión. Este hecho, junto con las razones dadas anteriormente, significa que normalmente no se intentará la separación de la alimentación.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 2: Estructura de Entrada-salida* del proceso.

### Heurísticos: Pureza de la alimentación y componentes trazas

- ✓ Si las impurezas ensucian o envenenan el catalizador, purifique la alimentación. Por ejemplo, uno de los venenos catalizadores más comunes es el azufre. Esto es especialmente cierto para los catalizadores que contienen metales del Grupo VIII, como hierro, cobalto, níquel, paladio y platino. En la reformación del metano con vapor de agua para producir hidrógeno, el catalizador se envenena rápidamente por las pequeñas cantidades de azufre en la alimentación. Un lecho de protección de carbón activado (u óxido de zinc) se coloca aguas arriba del reactor para reducir el nivel de azufre en el gas natural a nivel bajo (ppm).
- ✓ Si la impureza reacciona para formar productos difíciles de separar o peligrosos, entonces purifique el alimentación. Por ejemplo, en la fabricación de isocianatos para uso en la producción de poliuretanos, la ruta de síntesis más común implica la reacción del fosgeno con amina. Debido a que el fosgeno es un componente químico altamente tóxico, todo el fosgeno se fabrica en el lugar a través de la reacción del cloro y el monóxido de carbono.

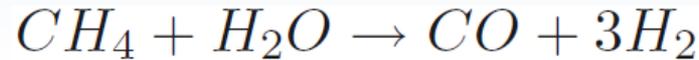


# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

### Heurísticos: Pureza de la alimentación y componentes trazas

- ✓ Si el monóxido de carbono no está fácilmente disponible (por tubería), entonces debe ser obtenido a través de la reformación de gas natural con vapor de agua. La siguiente ecuación muestra la reacción principal general (el dióxido de carbono también puede formarse en el proceso, pero no se considera aquí):



- ✓ ¿A qué pureza se debe alimentar el monóxido de carbono a la unidad de fosgeno? La respuesta depende de lo que suceda con las impurezas en el CO. La principal impureza es el hidrógeno. El hidrógeno reacciona con el cloro para formar cloruro de hidrógeno que es difícil de eliminar del fosgeno, es altamente corrosivo y es perjudicial para el producto de isocianato. Con esta información, tiene más sentido eliminar el hidrógeno al nivel deseado en la corriente de monóxido de carbono en lugar de enviarlo con el CO y causar más problemas de separación en la unidad de fosgeno y más adelante. Los niveles de hidrógeno aceptables en las alimentaciones de monóxido de carbono a las unidades de fosgeno son inferiores al 1%.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

### Heurísticos: Pureza de la alimentación y componentes trazas

- ✓ Si la impureza está presente en grandes cantidades, entonces purifique la alimentación. Para purificar se requieren trabajos adicionales y tareas de calefacción / refrigeración para procesar la gran cantidad de impurezas. Sin embargo, si la separación es difícil y la impureza actúa como un inerte, la separación puede no estar justificada. Un ejemplo es el uso de aire, en lugar de oxígeno puro, como reactivo. Debido a que el nitrógeno a menudo actúa como un compuesto inerte, el costo adicional de purificar el aire no está justificado en comparación con el menor costo de procesar el nitrógeno a través del proceso. Una ventaja adicional de usar aire, a diferencia del oxígeno puro, es la capacidad de absorción de calor del nitrógeno, que ayuda a moderar el aumento de la temperatura de muchas reacciones de oxidación altamente exotérmicas.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

### Adición de fuentes requeridas para estabilizar productos o permitir separaciones

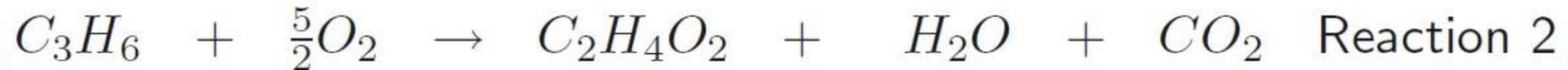
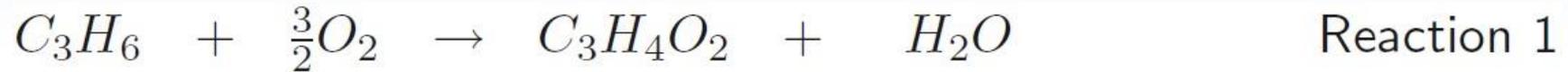
- ✓ Generalmente, las especificaciones del producto se dan como una serie de características que el flujo del producto debe cumplir. Claramente, la pureza de la sustancia química principal en el producto es la principal preocupación. Sin embargo, también se pueden fijar otras especificaciones como el color, la densidad o la gravedad específica, la turbidez, etc.
- ✓ A menudo, muchas de estas especificaciones se pueden cumplir en un solo equipo o en un tren de equipos de separación. Sin embargo, si la corriente del producto es, por ejemplo, reactiva o inestable, entonces se deben agregar componentes químicos estabilizadores adicionales al producto antes de que se almacene. Estos productos químicos estabilizantes son flujos de alimentación adicionales para el proceso.
- ✓ Lo mismo es válido para otros componentes químicos como el disolvente o el catalizador que se consumen efectivamente en el proceso. Si se requiere un solvente como el agua o un producto químico orgánico para que se produzca una separación, por ejemplo, la absorción de un producto químico soluble en solvente de una corriente de gas, entonces este solvente es una alimentación adicional al proceso. La contabilidad de estos productos químicos, tanto en los costos de alimentación como en el balance general de materiales (en las corrientes de productos) es muy importante.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 2: Estructura de Entrada-salida* del proceso.

### Alimentación de inertes para control de reacciones exotérmicas

- ✓ En algunos casos, puede ser necesario agregar corrientes de alimentación de inertes al proceso para controlar las reacciones que tienen lugar. Ejemplos comunes de esto son las reacciones de oxidación parcial de los hidrocarburos.
- ✓ Por ejemplo, considere la oxidación parcial del propileno para dar ácido acrílico, una sustancia química importante en la producción de polímeros acrílicos. Las alimentaciones consisten en propileno casi puro, aire y vapor. Las reacciones básicas que se producen son:



- ✓ Todas estas reacciones son altamente exotérmicas, no limitadas por el equilibrio y potencialmente explosivas. Para eliminar o reducir el potencial de explosión, se alimenta vapor al reactor para diluir la alimentación y absorber el calor de reacción y facilitar el control.
- ✓ En algunos procesos, se agrega suficiente vapor (u otro inerte) para desplazar la mezcla de reacción fuera de los límites de inflamabilidad, limitando así el potencial de explosión. El vapor (u otro inerte) se considera una alimentación al proceso, se debe separar y se deja como producto, subproducto o corriente de desechos.

# Jerarquía de diseño conceptual

*Paso 2: Estructura de Entrada-salida del proceso.*

## Alimentación de inertes para control de equilibrio químico

- ✓ A veces es necesario agregar un material inerte para desplazar el equilibrio de la reacción deseada. Considere la producción de estireno a través de la deshidrogenación catalítica de etilbenceno:
- ✓ Esta reacción tiene lugar a alta temperatura (600 - 750 ° C) y baja presión (<1 bar) y está limitada por el equilibrio. El etilbenceno se alimenta conjuntamente en el reactor con vapor sobrecalentado. El vapor actúa como un inerte en la reacción y ambos proporcionan la energía térmica necesaria para precalentar el etilbenceno y diluyen la alimentación. A medida que aumenta la relación de vapor a etilbenceno, el equilibrio se desplaza hacia la derecha (principio de LeChatelier) y la conversión por paso aumenta.
- ✓ La relación óptima de alimentación de vapor a etilbenceno se basa en la economía general del proceso.

# Jerarquía de diseño conceptual

## *Paso 3: Estructura de Reciclo del proceso.*

- ✓ Básicamente, este paso implica la recuperación de materiales y energía del proceso. Tener en cuenta durante el funcionamiento el costos de un proceso químico típico.
- ✓ Peters y Timmerhaus sugieren que las materias primas representan entre el 10% y el 50% de los costos operativos totales de las plantas de procesamiento; sin embargo, debido al aumento de las técnicas de conservación y minimización de desechos, esta estimación puede ser baja, y un límite superior del 75% es más realista.
- ✓ Debido a que estas materias primas son tan valiosas, es conveniente separar y reciclar los reactivos no utilizados.
- ✓ El alcance del reciclaje de los reactivos no utilizados depende en gran medida de la facilidad con que estas materias primas no reaccionadas se puedan separar (y purificar) de los productos que se forman dentro del reactor.

# Jerarquía de diseño conceptual

*Paso 3: Estructura de Reciclo del proceso.*

Eficiencia del uso de materias primas

$$\text{Single-pass Conversion} = \frac{\text{reactant consumed in reaction}}{\text{reactant fed to the reactor}}$$

$$\text{Overall Conversion} = \frac{\text{reactant consumed in process}}{\text{reactant fed to the process}}$$

$$\text{Yield} = \frac{\text{moles of reactant to produce desired product}}{\text{moles of limiting reactant reacted}}$$

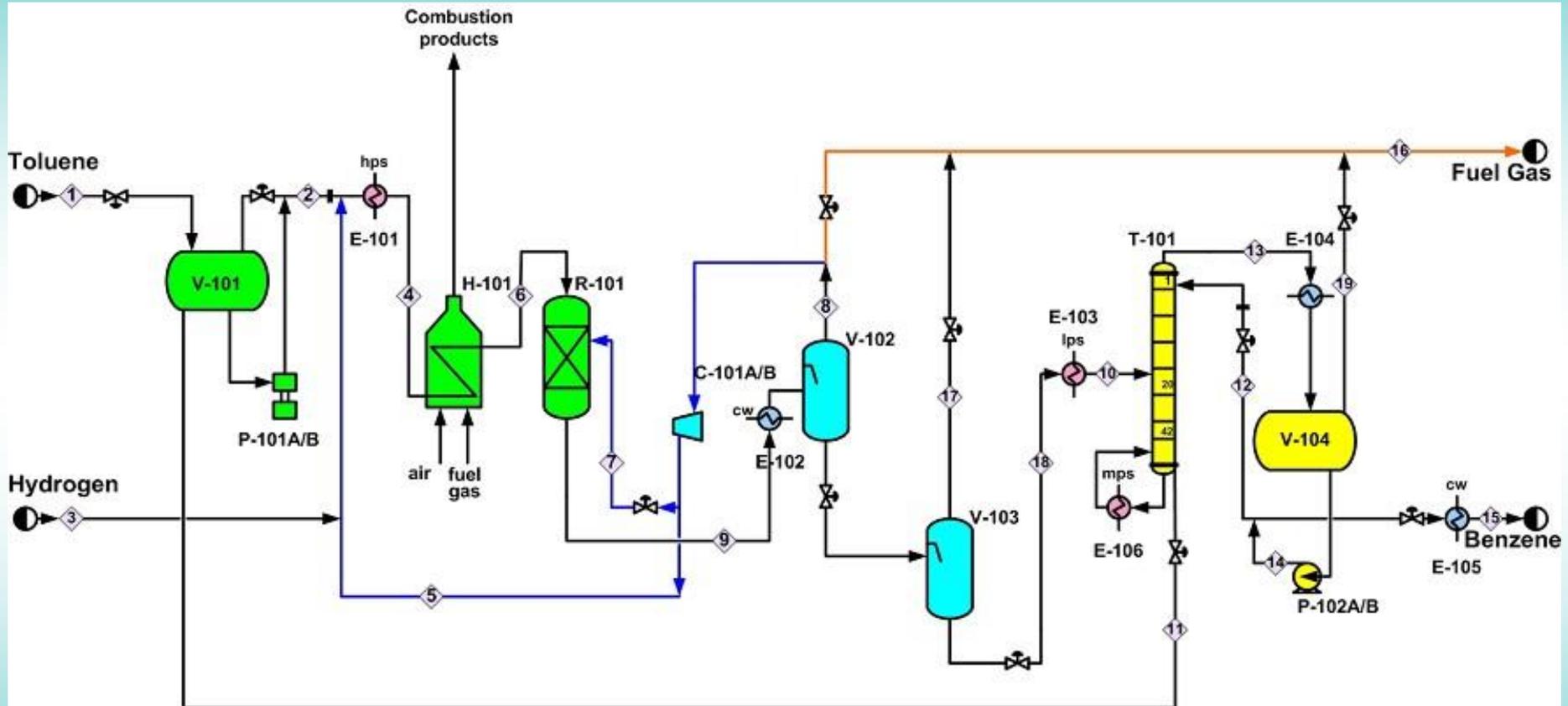
**Benzene Process:** (for the most costly reactant, toluene)

$$\text{Single-pass Conversion} = \frac{144.0 - 36.0}{144.0} = 0.75 \quad \text{or} \quad 75\%$$

$$\text{Overall Conversion} = \frac{108.7 - 0.4 - 0.31}{108.7} = 0.993 \quad \text{or} \quad 99.3\%$$

$$\text{Yield} = \frac{105.2 + 2.85}{108.7 - 0.4 - 0.31} = 0.9995 \quad \text{or} \quad 99.95\%$$

# Estructura de reciclaje





# Reciclo sin separación o purga

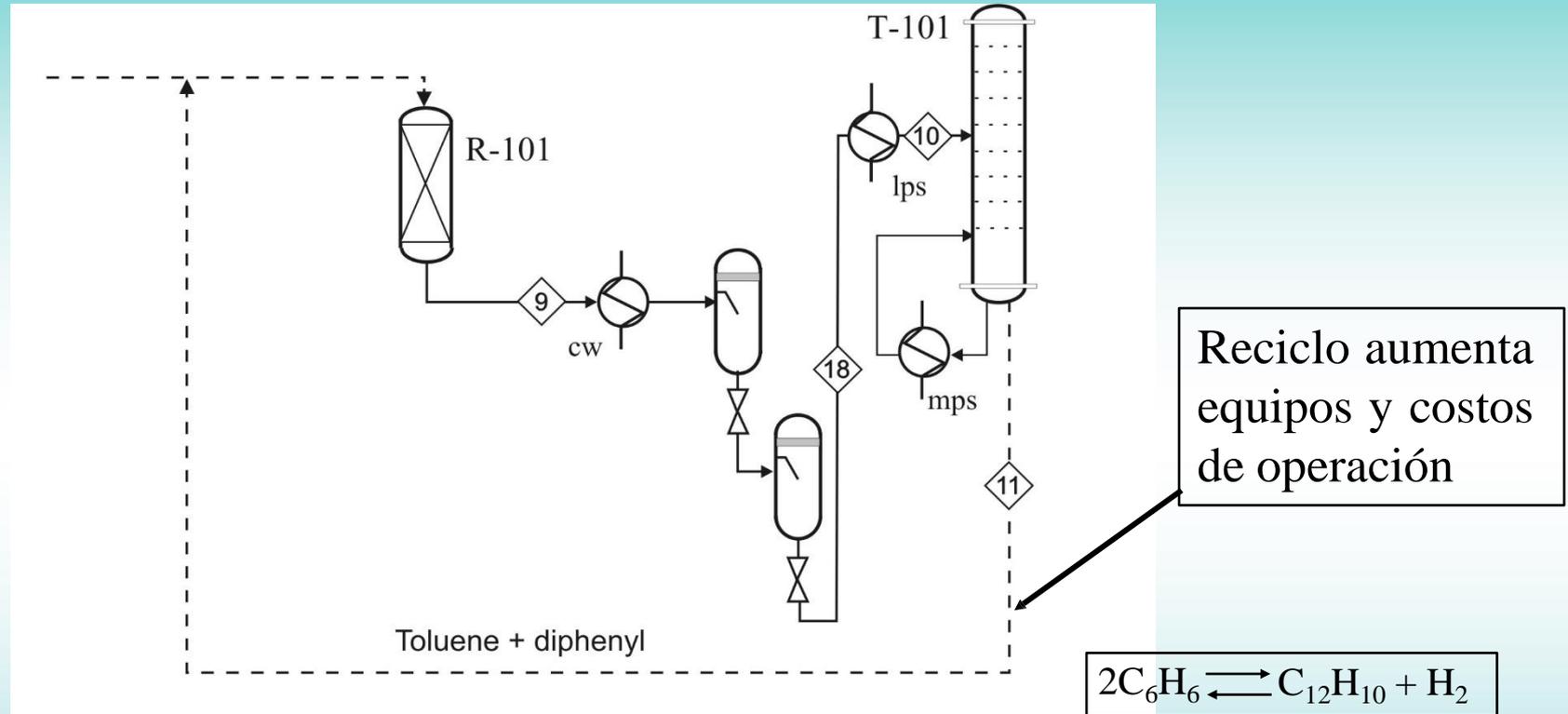


Figure E2.5A: PFD for Alternative A in Example 2.5 - Recycle of Diphenyl without Separation

# Reciclo con Separación y Purga

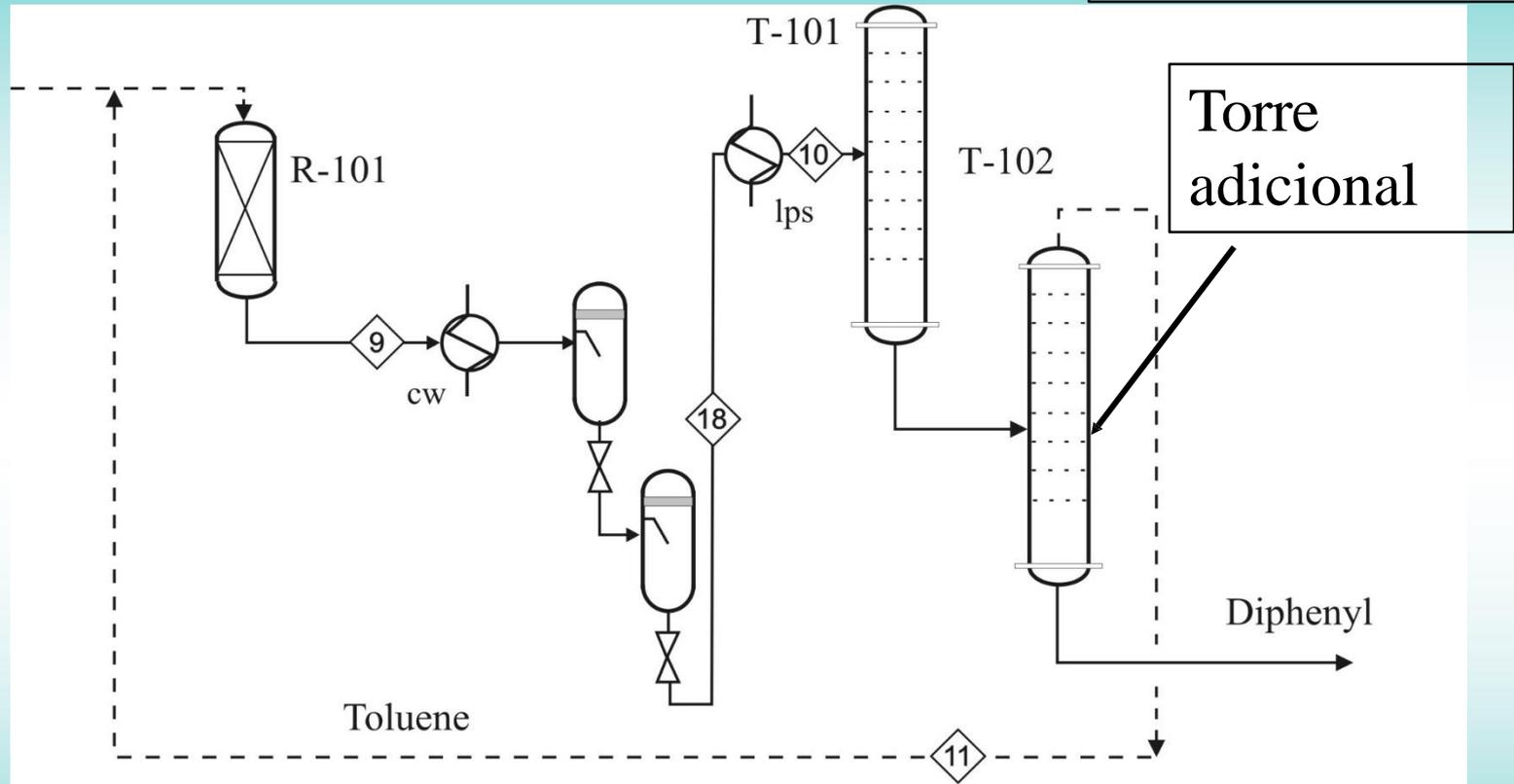


Figure E2.5B: PFD for Alternative B in Example 2.5 - Separation of Diphenyl prior to Recycle of Toluene