



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de turboexpansión

■ Autores:

***Philipp Albrecht - Ing. de Proceso***  
***Martín Mastandrea - Ing. de Proceso***



# **Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de turboexpansión**

## **Tópicos**

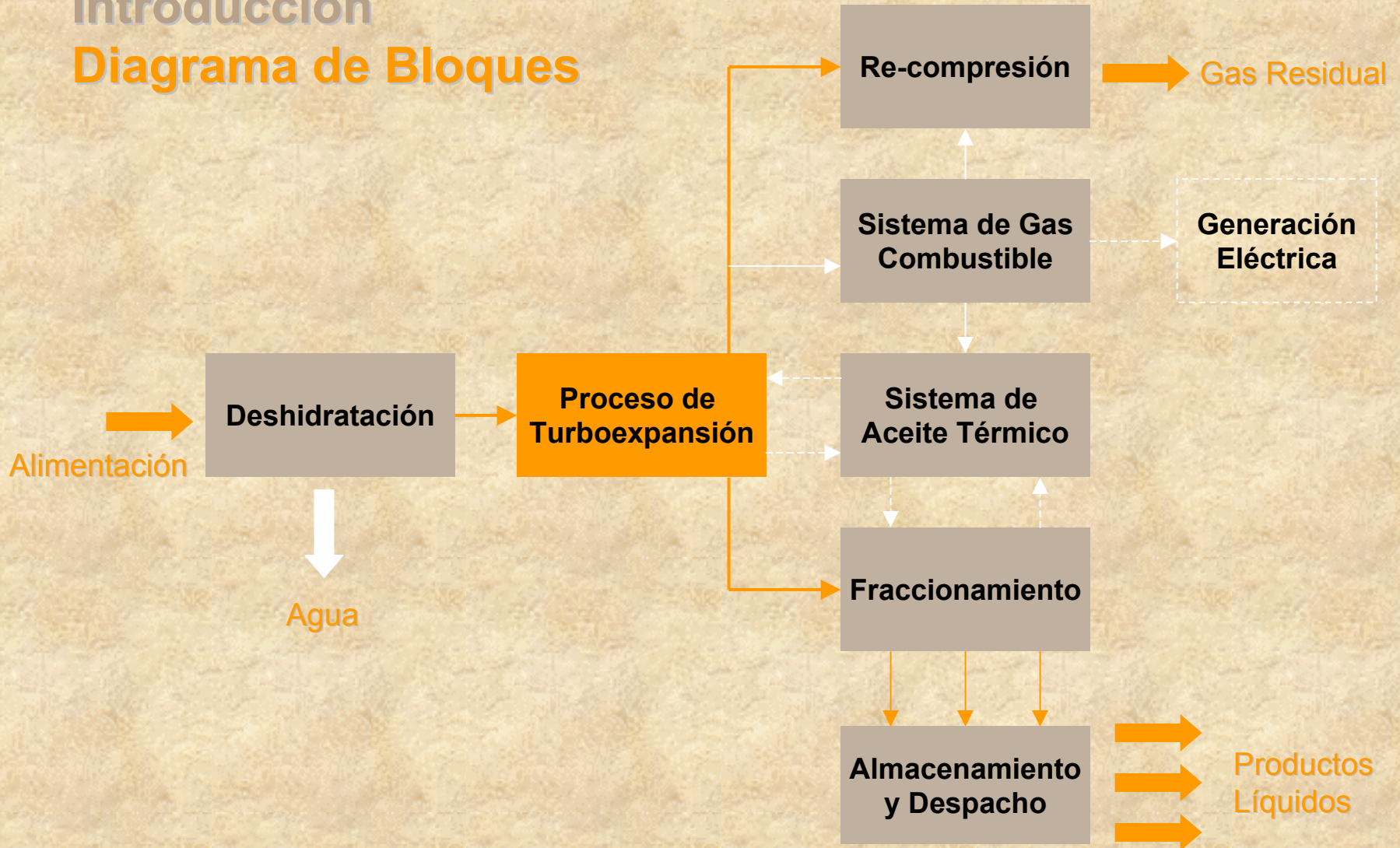
- **Introducción**
- **Selección de la tecnología de turboexpansión**
- **Optimización del proceso**
- **Conclusión**

# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Introducción

### Diagrama de Bloques





# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Introducción

### Rangos posibles de recuperación

La recuperación es función de :

- Presión, temperatura y composición de alimentación
- Especificaciones de producto

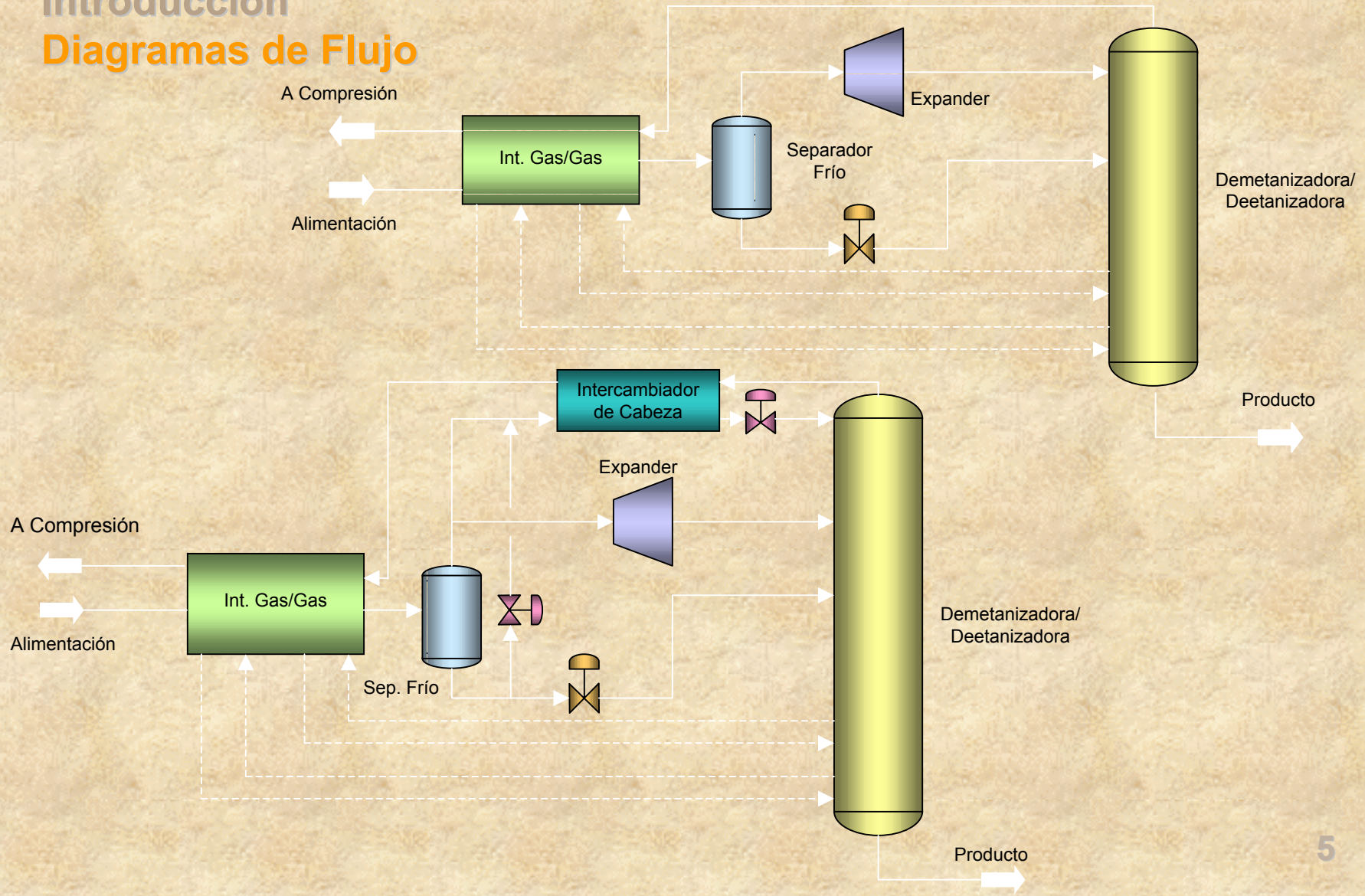
| Producto Puro | Recuperación  |
|---------------|---------------|
| Etano         | 80% - 98%     |
| Propano       | 80% - 99+%    |
| Butano        | 100% (aprox.) |
| Gasolina      | 100%          |

# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Introducción

## Diagramas de Flujo





# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



Selección de la tecnología de turboexpansión

**Procedimiento de evaluación. Factores de consideración**



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Variables a fijar

- Caudal másico o molar de alimentación.
- Composición, presión y temperatura de alimentación.
- Especificaciones de productos.
- Presión de salida del gas residual.
- Presión columna demetanizadora/deetanizadora
- Paquete termodinámico (Peng Robinson)
- Valor económico de gas residual, productos líquidos, gas combustible.

¿ % de Recuperación ?



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Diferencias por costos de capital

- Items no presentes en todas las tecnologías:
  - Recipientes.
  - Equipos rotantes.
  - Intercambiadores de calor.
  - Elementos de control.
  - Líneas de proceso.
  - Licencias
  
- Items presentes en todas las tecnologías:



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Diferencias por costos de capital

#### ■ Columna demetanizadora/deetanizadora

$\Delta\text{costo} \sim 0$  si para las tecnologías consideradas se tiene:

- Caudales similares.
- Igual presión de operación.
- Igual número de etapas teóricas de equilibrio: 18 a 26.
- Criterios de diseño hidráulico: inund. por arrastre aprox. 70%
- Igual presión y temperatura de diseño.
- Igual material requerido:
  - 28.8 °C a -101 °C: SA593
  - 101 °C a -184.4 °C: SA 240 TP 304

# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Diferencias por costos de capital

#### ■ Expansor - Compresor

$\Delta\text{costo} \sim 0$  si para las tecnologías consideradas se tiene:

- Caudales aproximadamente iguales.
- Presiones de succión y descarga de expansor y compresor booster aproximadamente iguales.
- Iguales eficiencias:

Expansor: 80 al 85 % (adiabática)

Compresor booser: 74 al 78 % (politrópica)

Pérdidas por acople: 2.5% (conservativo)



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Diferencias por costos de capital

#### ■ Separador frío

$\Delta\text{costo} \sim 0$  si para las tecnologías consideradas se tiene:

- Caudales aproximadamente iguales.
- Igual presión de operación.
- Iguales criterios de diseño: tiempo de residencia de líquido y velocidad del gas.
- Igual presión y temperatura de diseño.



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Diferencias por costos de capital

#### ■ Intercambiadores de Calor

En general no será correcto asumir  $\Delta\text{costo} \sim 0$ , se tendrán diferencias en:

- Cantidad de unidades.
- Caudales.
- Acercamientos de temperatura.
- Cantidad de calor intercambiado.

#### ■ Unidad de recompresión

En general no será correcto asumir  $D\text{costo} \sim 0$ , dada la recuperación diferencial del compresor booster.

# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Diferencias por costos operativos

- Calor externo demandado por reboiler columna demetanizadora o deetanizadora según corresponda.
- Potencia diferencial de bombas de transferencia de aceite térmico.
- Potencia diferencial de bombas de transferencia de producto de fondo de columna (en caso que dicha bomba sea requerida).
- Potencia diferencial de la unidad de recompresión.

### Diferencias de producción

- Evaluación económica de la corriente líquida .
- Evaluación económica de la corriente gaseosa (a la condición calorífica del valor de referencia).



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión

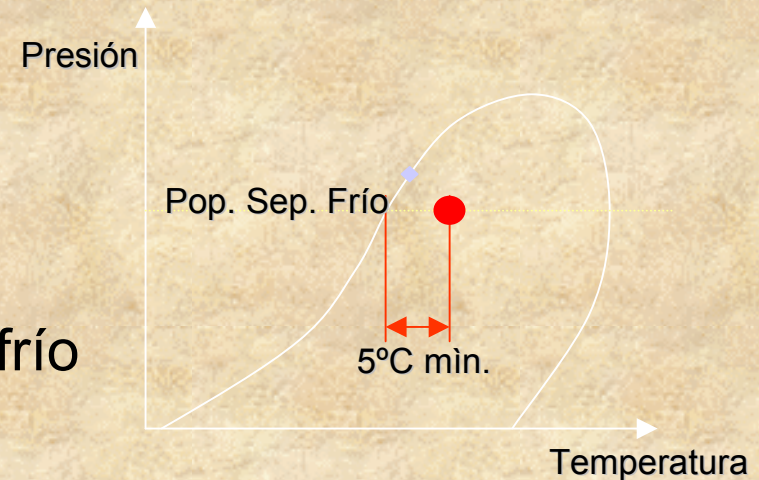


## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Operabilidad

#### Estabilidad del proceso

- Control adecuado.
- Punto de operación del separador frío



Curva envolvente del  
gas de entrada al Separador Frío

#### Tolerancia al CO<sub>2</sub>

- Medida de tolerancia al CO<sub>2</sub> =  $T_{op} - T_{solidif. CO_2}$
- - [CO<sub>2</sub>]  $\rho$  -  $T_{solidif. CO_2}$

#### Flexibilidad operativa

- Facilidad del proceso para adaptarse a condiciones cambiantes, por ejemplo, composición de la alimentación.

# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección de la tecnología de turboexpansión

### Factores de decisión

- Factores económicos (VAN).
- Operabilidad.
- Antecedentes (confiabilidad).
- Facilidad para expansiones futuras.



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

- Presión de entrada.
- Presión de la columna demetanizadora o deetanizadora.
- Necesidad de enfriamiento post-compresor booster.
- Reparto de calor cedido por una corriente fría.
- Bifurcación de masa.
- Distribución de calor en reboilers.
- Consideraciones sobre otras unidades.



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Presión de entrada

- Al  $\uparrow$   $P_e$  (@  $P_{col}$  fija)  $\Rightarrow$   $\uparrow$  Recuperación ( $\downarrow$  Temperatura)
- Al  $\downarrow$  Temperatura  $\Rightarrow$   $\uparrow$  Sobrecondensación de liviano(s)  
 $\Rightarrow$   $\uparrow$  Acercamiento a solidificación  $CO_2$

Límite al aumento de  $P_e$ : evaluación económica de instalaciones de alta presión y objetivos de explotación del reservorio.





## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Presión columna

- Al  $\downarrow$   $P_{col}$  (@  $P_e$  fija)  $\Rightarrow$   $\uparrow$  Recuperación ( $\downarrow$  Temperatura,  $\uparrow \alpha_t$ )  
 $\Rightarrow$   $\uparrow$  Potencia de recompresión
- Al  $\downarrow$  Temperatura  $\Rightarrow$   $\uparrow$  Sobrecondensación de liviano(s)  
 $\Rightarrow$   $\uparrow$  Acercamiento a solidificación  $CO_2$

$P_{col}$  debe ser inferior a la presión crítica del producto de fondo (coexistencia de fases líquido vapor).



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Enfriamiento post-compresor booster

#### Servicio

##### Recompresión de entrada

En general deberá proveerse cierto enfriamiento para remover el calor de compresión.

##### Recompresión de salida

En general no se justifica proveer enfriamiento, debe evaluarse el impacto sobre compresión de salida.

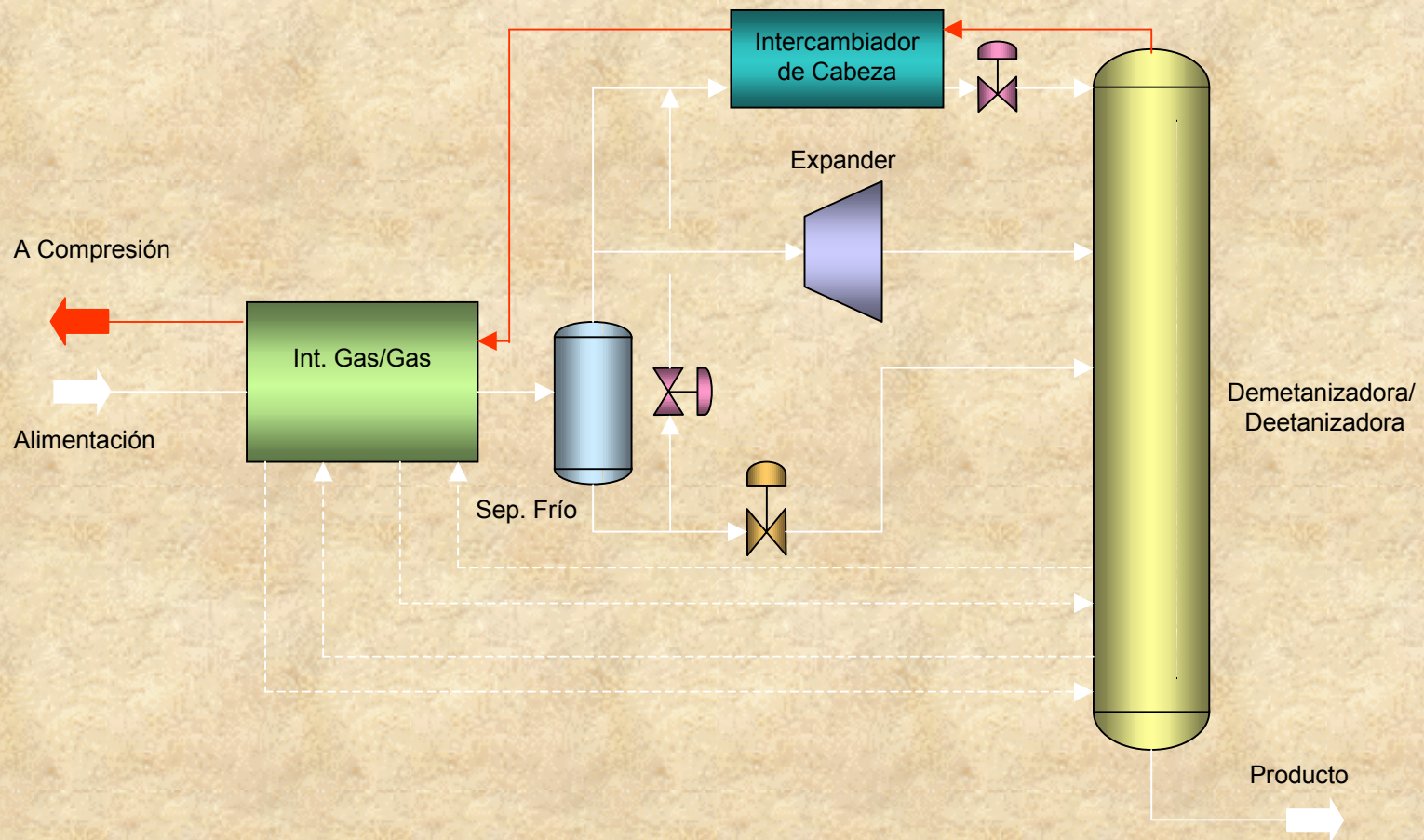


# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Reparto de calor de una corriente fría

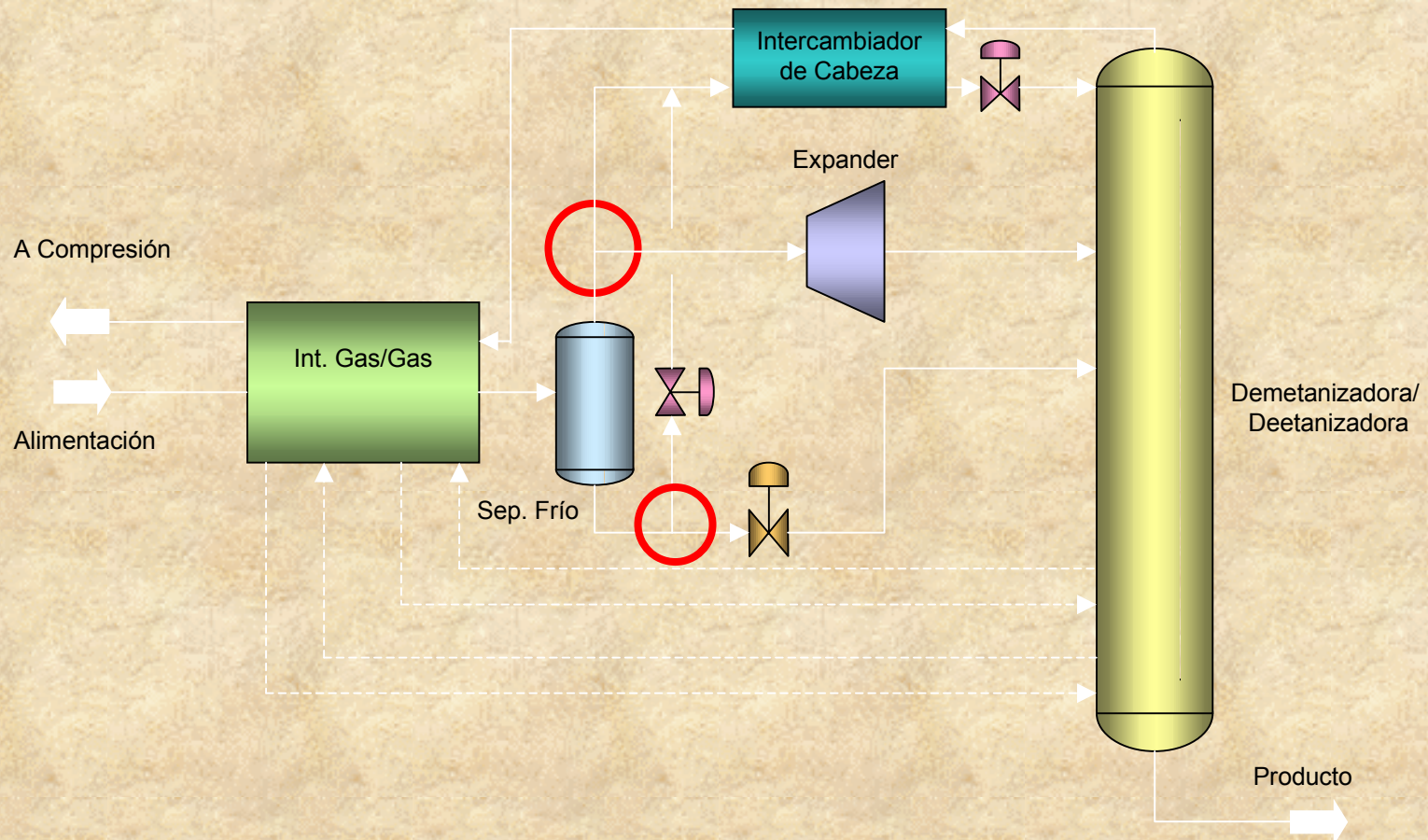


# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Bifurcación de masa



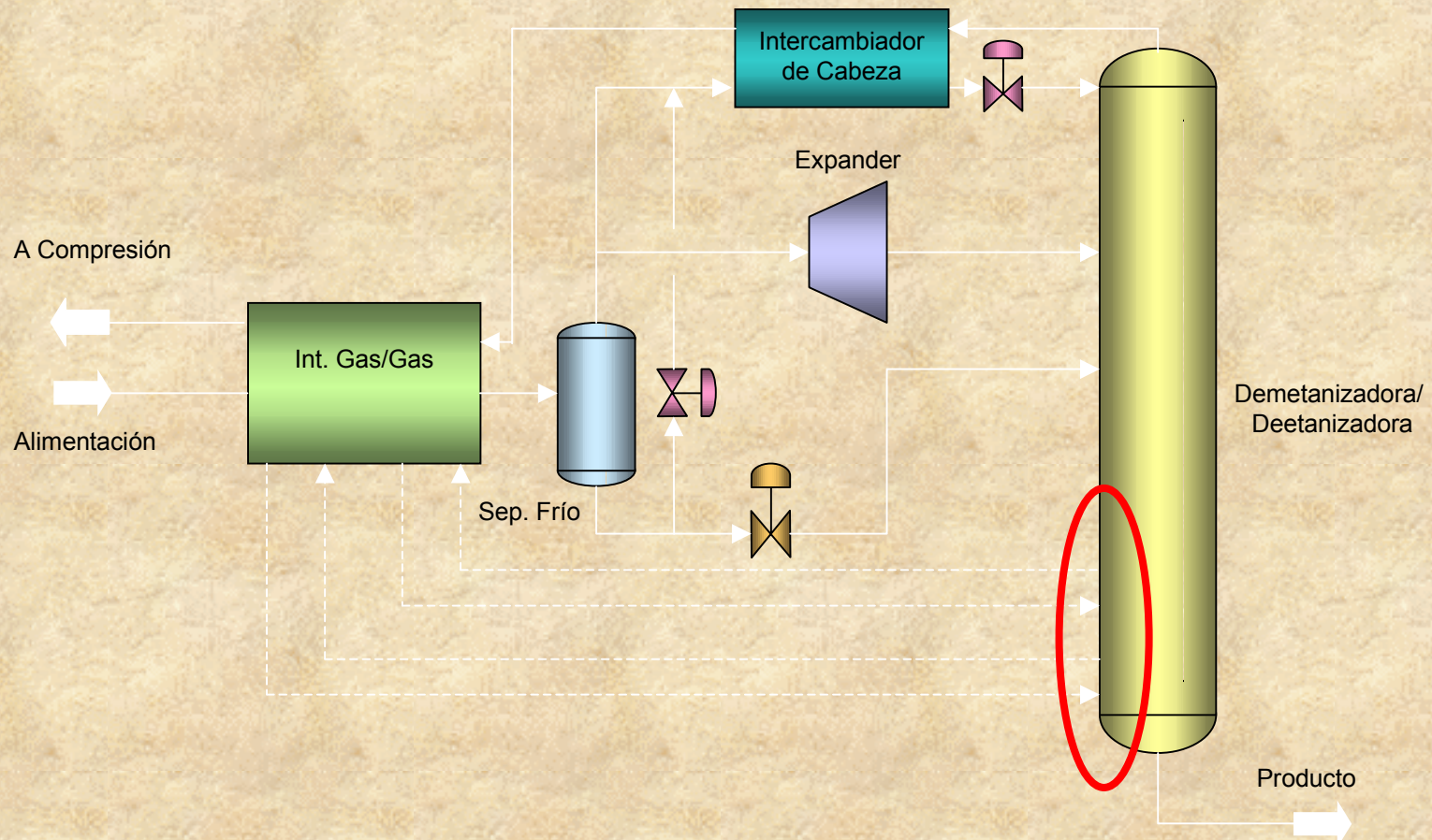


# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Reparto de calor en reboilers



# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



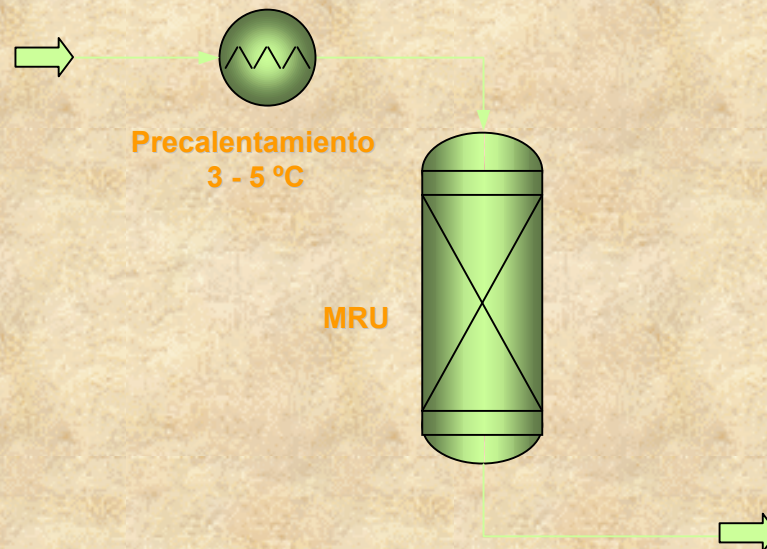
## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Otras unidades

#### ■ Remoción de Mercurio (MRU)

Si se emplean intercambiadores de placas de aluminio deberá preverse la instalación de una MRU.

Para tecnologías no regenerativas prestar especial atención a disposición del residuo sólido (contaminado con  $\text{Hg}^0$ ).





# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Otras unidades

#### ■ Deshidratación

Contenido de agua a la entrada de la unidad criogénica no debe superar 0.1 ppm.

Si se usan intercambiadores de placa de aluminio, deben evitarse picos y variaciones de temperatura (regeneración):

- Tensiones admisibles del aluminio ↓ ↓ a  $T > 60^{\circ}\text{C}$ .
- Materiales fallan por fatiga térmica.

# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



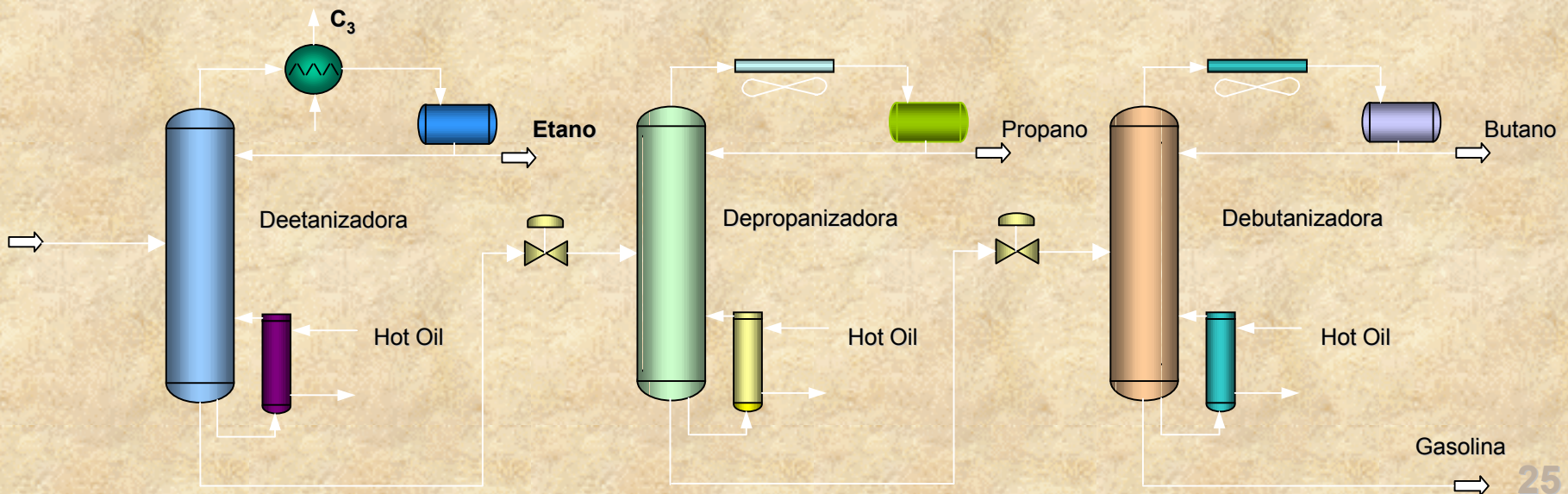
## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Otras unidades

#### ■ Fraccionamiento

En general se emplea la secuencia directa.

Fijar las condiciones de proceso de modo de maximizar la producción del producto de mayor interés económico.





# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Optimización de la tecnología de turboexpansión

### Otras unidades

#### ■ Almacenamiento

Incidencia significativa en el costo de capital.

Tipo de almacenamiento: a presión no refrigerado, a presión refrigerado o atmosférico refrigerado; depende de:

- Condiciones ambientales
- Volatilidad del líquido a almacenar
- Caudal de producción
- Capacidad de almacenamiento requerida

# Guías para la evaluación y optimización de tecnologías de Turboexpansión



## Selección y optimización de la tecnología de turboexpansión

### Conclusión

- Se presentó método de comparación de tecnologías basado en el análisis de diferencias.
- Se proporcionaron valores de referencia válidos para los parámetros de proceso más importantes.
- Se mencionaron criterios que conviene ser definidos a los efectos de realizar la comparación en forma objetiva y simple.
- Se proveyeron guías para la optimización del proceso seleccionado y unidades relacionadas.