

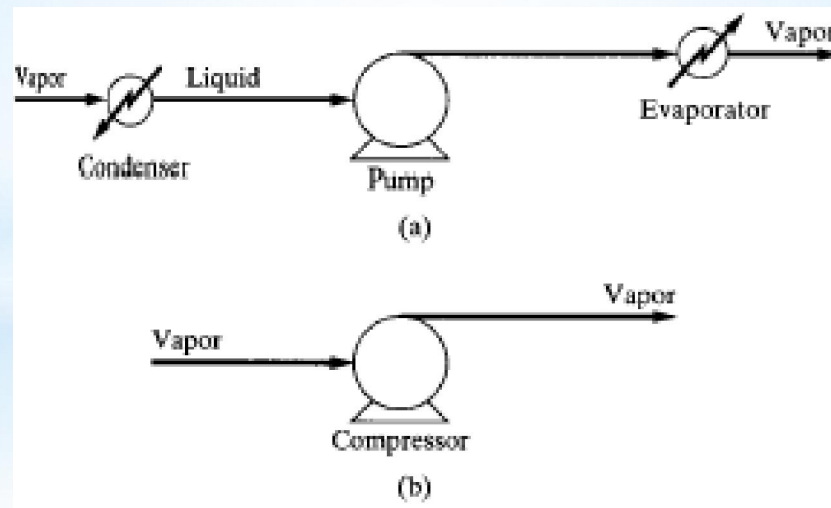
* Reglas de diseño

* Compresores y Bombas de vacío

- * Se emplean ventiladores cuando se desea aumentar la presión en aproximadamente 3% (12 plgH₂O)
 - * Sopladores alcanzan presiones menores de 40 psig
 - * Compresores trabajan con presiones mayores a 40 psig
-
- * Usar un ventilador para llevar la presión del gas desde P atmosférica a valores tan altos como 40 plgH₂O man (1,47psig).
 - * Usar un soplador o compresor para lograr presiones tan altas como 206 KPa man o 30 psig.
 - * Usar un compresor o un sistema múltiple etapas para Presiones mayores de 30 psig.

* Compresores y Bombas de vacío

- * Asumir caídas de presión de 2psi/100 pie de tubería y una caída de presión de al menos 10 psi para válvulas de control. Por cada 10 pie de elevación, asumir una caída de presión de 4 psi.
- * Para incrementar la presión de una corriente, bombear un líquido en lugar de comprimir un gas, al menos que se requiera refrigeración. Al comparar se tiene que mientras una bomba requiere de 10 Hp el compresor necesitaría de 1000 Hp. Se recomienda en este caso, que la fase vapor sea condensada, luego bombeada, y revaporizarla.



* Compresores y Bombas de vacío

- * La relación de compresión r debe ser la misma para cada etapa de la unidad multietapa. Se evalúa:

$$r = (P_{\text{descarga}}/P_{\text{succión}})^{1/n}, \text{ con } n \text{ etapas.}$$

$$r = 2 - 3$$

- * Métodos de Compresión:

- * Isotérmico (ideal)

- * Adiabático. $T_{\text{salida}} < 375 \text{ }^\circ\text{F}$ (límite impuesto por la mayoría de fabricantes de compresores)

- * Politrópico. Sistema de compresores con interenfriadores entre cada etapa. Cada enfriador reduce la temperatura aproximadamente $100 \text{ }^\circ\text{F}$. Las caídas de presión de los interenfriadores es de 2 psi.

DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIALES II



* Método politrópico

- * Por la presencia de interenfriadores, se corrige la relación de compresión:

$$r_{sección} = \left[\left(\frac{P_{descarga}}{P_{succión}} \right) \times (1 + \%N) \right]^{1/(N+1)}$$

- * $P_{descarga}/P_{succión}$ = relación de compresión total a través de todo el proceso
 - * % = porcentaje de caída de presión a través de los interenfriadores, se acostumbra a expresar como una fracción entre 0,01 y 0,1.
 - * N = número de enfriadores entre etapas
 - * $r = 2 - 3$
 - * $H_{max} = 20000$ pies
-

DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIALES II



* Propiedades de los fluidos

Table 1. Suggested Applications for Equation of State Usage

Type of Application	Typically Used EOS Model
Typical hydrocarbon gas mixture, standard pressures and temperatures, low CO ₂ and N ₂ diluents (< 6% total). Air mixtures.	All EOS Models may be used for this application: Redlich-Kwong (RK), Soave-Redlich-Kwong (SRK), Peng Robinson (PR), Benedict-Webb-Rubin-Starling (BWRS), Benedict-Webb-Rubin (BWR), Lee-Kesler-Plocker (LKP), AGA-10
High-pressure applications (>3000 psi).	BWRS, BWR, LKP
High CO ₂ and N ₂ diluents (10-30%) and/or high hydrogen content gases.	BWRS, LKP
High hydrogen content gases (>80% H ₂)	PR, LKP, SRK
Non-hydrocarbon mixtures: ethylenes, glycols, carbon dioxide mixtures, refrigerants, hydrocarbon vapors, etc.	Specific EOS model designed for particular application or chemical mixture will result in greater accuracy. The literature should be consulted for the particular gas and application.

* Intercambiadores de calor y hornos

- * Emplear intercambiadores de tubo y coraza en contracorriente (con o sin servicios) para proveer o retirar calor.

Caídas de presión en intercambiadores:

- * 1,5 psi para ebullición y condensación
 - * 3 psi para un gas
 - * 5 psi para un líquido poco viscoso
 - * 7-10 psi para líquidos de alta viscosidad
 - * 20 psi para un fluido de proceso que pasa a través de un horno
-
- * Si la corriente requiere calentarse por encima de los 750°F usar un Horno a menos que el producto se descomponga.
 - * Aplicar Quench en corrientes muy calientes al menos de 1150 °F antes de enviarlos a enfriamiento adicional o condensación. Alternativamente, si la corriente de proceso contiene vapor de agua, el agua líquida es un efectivo fluido quench.

* Fluidos térmicos

*Silla

Table 4.1 Selected Heat-Transfer Fluids

Heat-Transfer Fluid	Operating Temperature Range, °C	Reference
Refrigerants		
Methane		2
Ethane and Ethylene	-60 to -115	2
Propane and Propylene	5 to -46	2
Butanes	-12 to 16	2
Ammonia	-32 to 27	2
Fluorocarbon (R-12) ^a	-29 to 27	2
Water + Ethylene Glycol (50%/50%)	-50 to 90	
Water		
Water (wells, rivers, lakes)	32 to 49	3
Chilled Water	1.7 to 16	4
Cooling Tower Water	30	
High Temperature Water	300 to 400	6
Air	65 to 260	7, 8
Steam		
Low Pressure (2.7 bar) ^b	126	
Low Pressure (4.6 bar) ^b	148	
Organic Oils^c	-50 to 430	9
Silicone Oils	-23 to 399	11
Molten Salts		
25% AlCl ₃ , 75% AlBr ₃	75 to 500	9
40% NaNO ₂ , 7% NaNO ₃ , 53% KNO ₃	204 to 454	10
Liquid Metals		
56% Na, 44% K or 22% Na, 78% K	204 to 454	6
Mercury	316 to 538	6
Combustion Gases	> 500	9







a) Dichlorodifluoromethane

b) Typical steam pressures

c) For example: diphenyl-diphenyl oxide, hydrogenated terphenyl, aliphatic oil, aromatic oil

1. > 65 °C (149 °F) use an air-cooled heat exchanger
2. < 50 °C (122 °F) use water

1- ¿Se debe purificar la corriente de alimentación antes de que entre en el proceso?



i) Impurezas reactivas y/o en cantidades significativas		Remover.
ii) Impurezas como gas y/o inertes		Procesar
iii) Impureza presente en efluente líquido de subproducto o producto		Remover
iv) Impureza presente como azeótropo		Procesar
v) Impureza que inactiva el catalizador		Remover
vi) Impurezas participantes de un ciclo		Purgar

Remover Especies
o Purificar



Costos del proceso
Aumentan

2- Un subproducto reversible ..¿Se debe remover o recircular?

Recirculación		Sobredimensión de todos los equipos del ciclo
Remoción		Aumento de los costos variables y mayor requerimiento de materias primas.

* Reactores

La Decisión es Económica

*Purga:

*Reciclo:

3)- ¿Se debe usar un reciclo de gas con una corriente de purga?

Regla Práctica: "Cuando un reactivo liviano se encuentre junto a impurezas o subproductos livianos con punto de ebullición menor que el propileno (-48°C), se debe usar un sistema de reciclo con una corriente de purga. Sin embargo, las separaciones por membrana, siempre deben ser consideradas".

4)- ¿se deben recuperar o recircular reactantes?

Criterios de diseño

- Recuperar el 99% de los materiales valiosos, ya que éstos representan un alto % del costo de producción.
- El aire es alimentado en exceso para forzar la conversión completa y no se recircula.
- El agua también se usa en exceso y debe recircularse al máximo, debido a los altos costos de tratamiento.

* **Reactores**

- * Variables de Diseño: responsables de la distribución de producto dentro del proceso

Ejemplos de Variables de Diseño

- Reacción Compleja :
 - Conversión del reactor
 - Razón molar de reactantes
 - T° y Presión de la reacción
- Reacción con Exceso :
 - Cantidad de exceso
- Procesos con Reciclo :
 - Gases recirculados/Gases purgados

* **Reactores**

* Remoción de calor

- * Para remover un calor de reacción elevado, considerar el uso de reactantes en exceso, un diluyente inerte o corrientes frías. Esto afecta la distribución de químicos y deben considerarse.
- * Para reacciones de menor calor de reacción, circular el fluido de reacción a través de un intercambiador de calor externo, usar una chaqueta o un sistema de enfriamiento. También considere el uso de interenfriadores entre etapas de reacción adiabáticas.
- * Para controlar la temperatura de una reacción altamente endotérmica, considerar el uso de reactantes en exceso, un diluyente inerte o corrientes calientes. Esto afecta la distribución de químicos y deben considerarse.
- * Para calores de reacción más bajos, circular el fluido de reacción a través de un intercambiador de calor externo, usar una chaqueta o un sistema de calentamiento. También considere el uso de calentadores entre etapas de reacción adiabáticas.

* Remoción de calor

for ≤ 500 gal (1.89 m^3)

for > 500 gal (1.89 m^3)

if the reactor pressure is greater
than twice the jacket pressure

for a jacket pressure ≤ 300 psi (20.7 bar)

for a jacket pressure > 300 psi (20.7 bar)

but < 1000 psi (68.9 bar)

for steam the pressure is ≤ 750 psi (51.7 bar)

use the simple jacket

use the dimple or half-pipe coil

use the simple jacket

use the dimple

use the half-pipe coil jacket

use the half-pipe coil jacket

use the half-pipe coil jacket

Finalidad de un sistemas de separación

- Aislar los productos purificados
- Recuperar subproductos valiosos
- Preparar materias primas
- Evitar (separándolos de la mezcla que los contiene) materiales indeseables o tóxicos.

Tecnologías para la separación de una mezcla

- destilación,
- evaporación,
- absorción,
- membranas,
- destilación molecular,
- extracción
- separación en un campo eléctrico,
- difusión térmica,
- cristalización,
- difusión por presión,
- y muchas otras.

* Separaciones

- * Separación de enriquecimiento: consiste en incrementar la concentración de una o más especies en la corriente deseada. No significa alta recuperación o pureza, necesariamente. Técnicas convenientes para lograr esta separación: condensación, absorción física, permeación por membranas, destilación criogénica y adsorción.
- * Separaciones “agudas”: se desea que a partir de una corriente de entrada se logre una o dos corrientes con un alto grado de recuperación o pureza.
- * Separación de Purificación: La concentración inicial de impurezas en una mezcla debe ser menor del 2% o 2000 ppm, mientras que la concentración final de las impurezas en el producto debe ser menor a 100 ppm.

Separation Method	Enrichment Separations	Sharp Separations	Purifications
Condensation	yes	no	no
Cryogenic Distillation	yes	yes	no
Physical Absorption	yes	yes	no
Chemical Absorption	no	yes	yes
Molecular Sieve Adsorption	yes	yes	yes
Equilibrium Limited Adsorption	yes	yes	yes
Membranes	yes	yes	no
Catalytic oxidation	no	no	yes
Catalytic hydrogenation	no	no	yes

* Filtración

- * Los procesos de filtración son clasificados por su tasa de acumulación de torta: Rápido, 0,1-10 cm/s; medio, 0,1-10cm/min, lento, 0,1-10cm/h.
- * La filtración continua no debe probarse si 1/8 de pulgada de espesor de torta no se forma en menos de 5 min.
- * La filtración rápida se realiza con bandas, filtraciones centrífugas.
- * *Filtraciones de velocidad media se logra con los tambores al vacío, filtros o centrífugas de discos.*
- * Lechadas de filtrado lento se manejan en los filtros de presión o sedimentación centrifugadoras.
- * Para minerales finamente molidos y minerales, en los tambores rotatorios de filtración, las velocidades pueden ser de 1500 lb/ día pies² , a 20 rev /h y vacíos de 18-25 plgHg.
- * Los sólidos gruesos y cristales pueden ser filtrados a un ritmo de 6.000 libras / pie² día a 20 rev/ h, con 2-6 plgHg de vacío.

*Cristalización

- * Compuestos químicos inorgánicos cristalizados de una solución acuosa concentrada por enfriamiento cuando la solubilidad disminuye significativamente. Mantener la solución de 1 a 2 °F por debajo de la temperatura de saturación a la concentración prevalente. *Usar la cristalización por evaporación cuando la solubilidad no cambia de modo apreciable.*
- * Las velocidades de crecimiento de cristal son aproximadamente iguales. Las velocidades de crecimiento de cristales y tamaños son controlados limitando la extensión de sobresaturación, $S=C/C_{sat}$, donde C es la concentración, $1,02 < S < 1,05$. El crecimiento está influenciado (en grado importante) por la presencia de impurezas y de ciertos aditivos específicos que varían según el caso.
- * Separar compuestos orgánicos por cristalización por fusión con enfriamiento, seguido de la remoción de cristales, por sedimentación, filtración o centrifugación. Alternativamente emplear cristalización por capas en una superficie fría, con removedores.

*Centrifugación

- * Cuando tortas de bajo contenido de humedad son requeridas, emplear centrífugas de tazón si se permite que haya sólidos en el líquido madre, aplicar filtración centrífuga si se necesita un lavado efectivo.
- * Las tortas húmedas de filtración o centrifugación son enviadas a secadores para remover la humedad remanente.
- * El calor de secado puede suplirse de modo directo o indirectamente. Dependiendo del espesor de la alimentación y el grado de agitación, los tiempos de secado pueden variar de segundos a horas.

* Evaporación

- * Se recomienda el uso de múltiples efectos, para aprovechar el calor latente de vaporización del agua. La magnitud de la elevación del punto de ebullición es un factor controlante en la selección óptima del número de efectos. La elevación es frecuentemente entre 3 a 10 °F entre la solución y el agua pura.
- * Emplear flujo paralelo, para un número pequeño de efectos, particularmente cuando la corriente líquida esté caliente.
- * Utilizar flujo en contracorriente, para alimentaciones frías y con alto número de efectos.
- * Evaporadores de tubos verticales tanto de tiro natural como tiro forzado son los más comunes. Se emplean tubos de 19-63 mm de diámetro y de longitudes entre 12 y 30 pies. Las velocidades lineales en los tubos de los equipos de flujo forzado son de 15-20 pie/s.

* Secado de sólidos

- * Los tiempos de secado varían desde unos pocos segundos en los secadores de pulverización a 1 hora o menos en secaderos rotativos y hasta varias horas o incluso varios días en el secador de túnel o secadores de banda.
- * Para material granular, de flujo libre o no, con tamaños de partículas de 3 a 15 mm, usar secadores de bandeja y secadores de banda y manejan tiempos de secado en el rango de 10-200 min.
- * Para material de flujo libre que no es sensible al calor, usar secadores rotatorios, donde el calor puede suplirse directamente con un gas caliente o indirectamente de tubos, arrastrando vapor, que circula a lo largo del secador.

* Secado de sólidos

- * Secadores rotatorios operan con velocidades de aire superficial de 5-10 pie/s, a veces hasta 35 pie/s cuando el material es grueso. Los tiempos de residencia son 5-9min. Retención de sólidos=7-8%. En flujo a contracorriente, el gas de salida es 10-20°C por encima del sólido; en un flujo paralelo, la temperatura de la salida de sólidos es de 100 ° C. Se emplean velocidades de rotación de alrededor de 4rpm, el producto de rpm y el diámetro (pies) suele ser entre 15 y 25.
- * Secadores de tambor para pastas y lechadas operan con tiempos de contacto de 3-12s, producen hojuelas de 1-3 mm de espesor con tasas de evaporación de 15-30 kg/m²h. Los diámetros son de 1,5 - 5ft; la velocidad de rotación es de 2-10 rpm. La mayor capacidad de evaporación alcanzada en las unidades comerciales es del orden de 3000 kg/h.

* Secado de sólidos

- * Secadores de transporte neumático normalmente manejan partículas 1-3 mm de diámetro (hasta 10 mm cuando la humedad está sobre la superficie). Las velocidades de aire son 10-30m/s. Los tiempos de residencia único paso son 0,5-3 s, pero con el reciclaje normal el tiempo de residencia media se lleva hasta 60 seg. Unidades: 0,2 m de diámetro por 1 m de altura hasta 0,3 m de diámetro por 38 m de largo.
- * Secadores de lecho fluidizado trabajan mejor sobre las partículas de unas pocas décimas a un mm de diámetro, pero procesan hasta 4 mm de diámetro. Velocidades de los gases con el doble de la mínima velocidad de fluidización operan de modo seguro. En una operación continua, el tiempo de secado de 1-2 minutos son suficientes, pero por lotes para el secado de algunos productos farmacéuticos se emplean tiempos de secado de 2-3 horas.

*Secado de sólidos

- * Secadores de pulverización: la humedad superficial se elimina en unos 5 s, y la mayoría de secado se completa en menos de 60 seg. El flujo de aire y el material en paralelo es más común. Las boquillas de pulverización tienen aberturas 0,012-0,15 pulgadas y funcionan a presiones de 300-4000 psi.
- * Los dispositivos de atomización tipo chorro, giran a una velocidad de 20.000 rpm con una velocidad periférica de 250-600 m/s. Con boquillas, la relación longitud a diámetro del secador es de 4-5; con ruedas de pulverización, la proporción es de 0,5-1.

* Cuchillas cortadoras

* Velocidad de rotación: 400 - 600 rpm

* Potencia consumida por las cuchillas, P (HP):

$$P = 0,0025KCFnR/p$$

K = proporción de cañas cortadas = 0,8

C = trabajo de los molinos

F = fibra de la caña con relación a la unidad = 0,12

n = velocidad de rotación de las cuchillas, rpm

R = radio del círculo de rotación en las puntas (cm) = 60 cm

p = paso de las cuchillas (cm) = 5 cm

* Número de hojas $N = L/p - 1$

L = ancho conductor de cañas = 150 cm

* Material de construcción: Acero al cromo Tungsteno - Vanadio

*** Cuchillas cortadoras**

- * Máquina con presión entre sus cilindros.
- * 3 cilindros
- * Velocidad de rotación: rpm molinos + 0,5 rpm
- * Presión hidráulica (P_H) = 60-70% P_M ,
 P_M presión media usada para los molinos \approx
3500 psi (25,66 t/dcm²)
- * Potencia absorbida, $T = 0,13P*n*D$
- * P = Presión hidráulica total aplicada sobre el cilindro superior, $t = P_H \times A$

* Desmenuzadoras

- * Máquina con presión entre sus cilindros.
- * 3 cilindros
- * Velocidad de rotación: rpm molinos + 0,5 rpm
- * Presión hidráulica (P_H) = 60-70% P_M ,
 P_M presión media usada para los molinos \approx
3500 psi (25,66 t/dcm²)
- * Potencia absorbida, $T = 0,13P*n*D$
 P = Presión hidráulica total aplicada sobre el
cilindro superior, $t = P_H \times A$

* Desmenuzadoras

Artículo: Hydrocyclones: dimensions and performance, Adam Zanker. CE May9, 1977

- * Capacidad (L/min)
- * Diámetro de corte (d50)
 - * D partículas a remover
 - * Eficiencia del ciclón (asumida) /se calcula posteriormente
- * Diámetro del cilindro (cm)
 - * Diferencia de densidades $d_s - d_l$ y viscosidad líquido == > Línea referencia 1
 - * Capacidad y Línea referencia 1 == > Línea referencia 2
 - * Línea referencia 2 y d_{50} == > Diámetro del cilindro (cm)

* **Hidrociclones**

* Aceleración centrífuga

* $D_c/D_{v\acute{o}rtice} = 8$ ($D_{vortex}=12,5-20\%D_c$)

* $L_c/D_c=0,75$

* $\alpha =$ coef. pérdida de velocidad de entrada = 0,45

* $n =$ coeficiente velocidad tangencial = 0,8

* Caída de presión ΔP

* $\Delta P = \rho \cdot v_i \cdot (\alpha^2/n) / (288 \cdot g) - [(D_c/D_{v\acute{o}rtice})^{2n-1}]$

* Altura, $H = D_{boquilla} + 2,5D_c$

* **Hidrociclones**

- * Especificaciones dependerán de tipo evaporador a usar. Por ejemplo: Swenson-Walker.
- * Capacidad, dimensiones: Longitud, ancho, profundidad, velocidad de circulación del fluido, características de hélice o aleta, velocidad de rotación de elemento de agitación, potencia, dimensiones de chaqueta de enfriamiento.

* Evaporación

- * Diámetro del tazón
- * Velocidad de rotación
- * Fuerza centrífuga (máxima por gravedad)
- * Potencia de motor

- * Diámetro de discos
- * Número de discos
- * Material de construcción

* Centrífugas (Tazón)

- * Superficie de enfriamiento
- * Volumen (20% adicional)
- * Longitud = $3-3,5D$
- * Velocidad de rotación: $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$ rpm

- * Diámetro de discos = $D - (20-30\text{mm})$
- * Número de discos = $\frac{\text{Senfriamiento total}}{S_{\text{disco}}}$
- * Material de construcción

* **Cristalizadores**

- * Dimensiones: longitud, diámetro
- * Longitud / diámetro = 4 - 10
- * Diámetros < 10 pies
- * Tiempos de residencia: 1 - 2 min

- * Diámetro de discos = $D - (20-30\text{mm})$
- * Número de discos = $\frac{\text{Senfriamiento total}}{S_{\text{disco}}}$
- * Material de construcción

* Secadores rotatorios

* Consideraciones generales

- * Una decisión de operar fuera del rango de presiones de 1 a 10 bar debe justificarse.
- * Una decisión de operar por encima de los 400 °C debe justificarse.
- * Una decisión de operar fuera del rango de 40 °C a 260 °C, requerirá medios especiales de calentamiento o enfriamiento, debiendo justificarse.

- * E. Hugot. Manual para Ingenieros Azucareros; traducido por Carlos Ruiz Coutiño. Compañía Editorial Continental , 1963
- * Chohey, Nicholas. Manual de Cálculos de Ingeniería Química. McGrawHill.
- * Walas, Stanley. Chemical Process Equipment. Butterworth-Heinemann Series. USA. (1990)
- * Walas, Stanley. Rules de Thumb. Chemical Engineering. March 16, 1987

- * Seader, J.D.; Seider W.D y D.R. Lewin. Product and Process Design Principles. John Wiley and Sons, Inc. Second edition
- * Turton Richard. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Process. Prentice-Hall. USA (1998)

- * Ludwig, Ernest. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. Butterworth-Heinemann. USA. (1999)
- * Rules of Thumb for Chemical Engineers. Gulf Publishing Company, Houston, TX. USA. Third Edition (2002)
- * **CHEMICAL PROCESS ENGINEERING Design and Economics.** Harry Silla. Marcel Dekker. USA (2003)

* Bibliografía