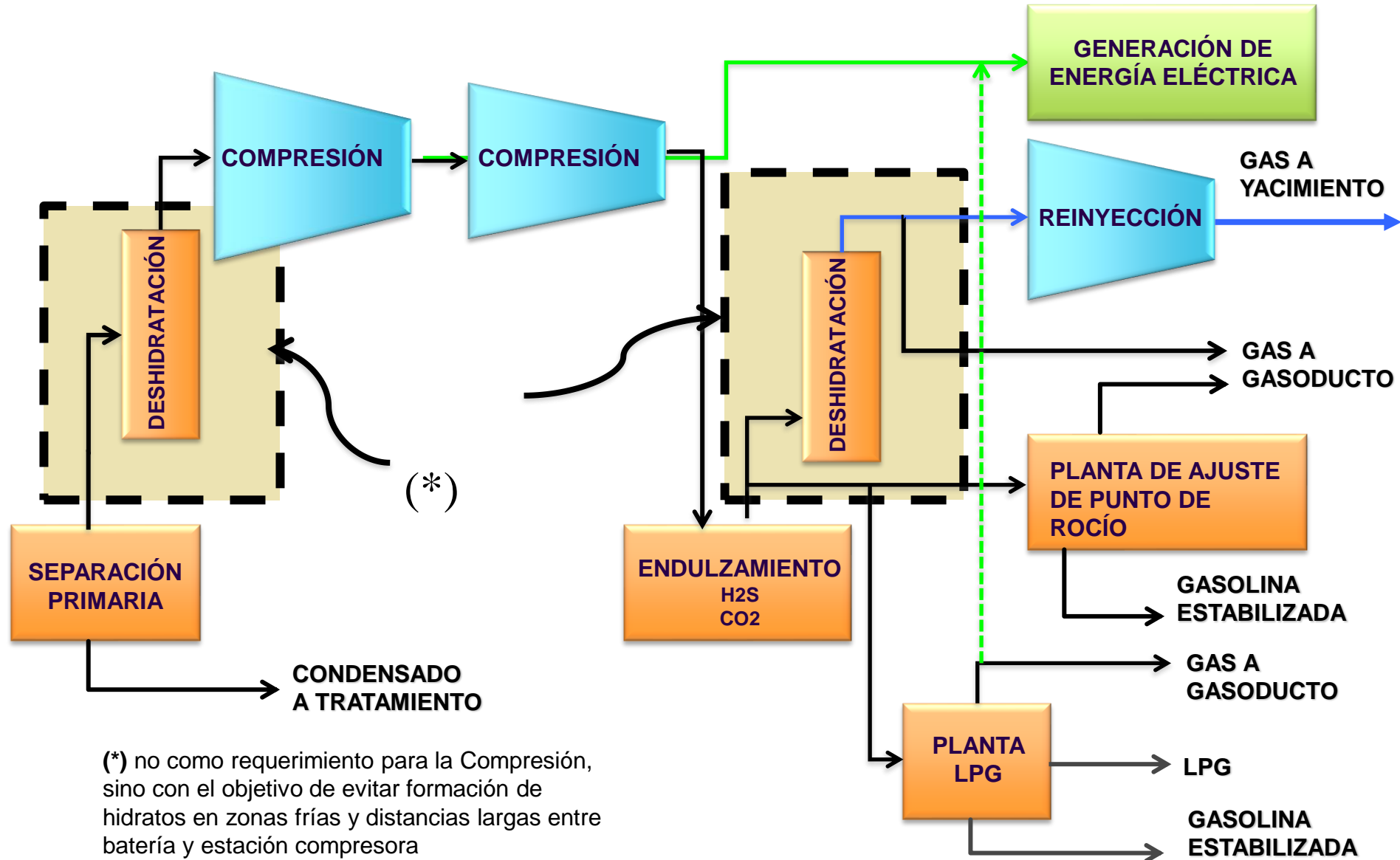


4.- DESHIDRATACIÓN

ESQUEMA TÍPICO DE PROCESAMIENTO



Objetivos de la Deshidratación

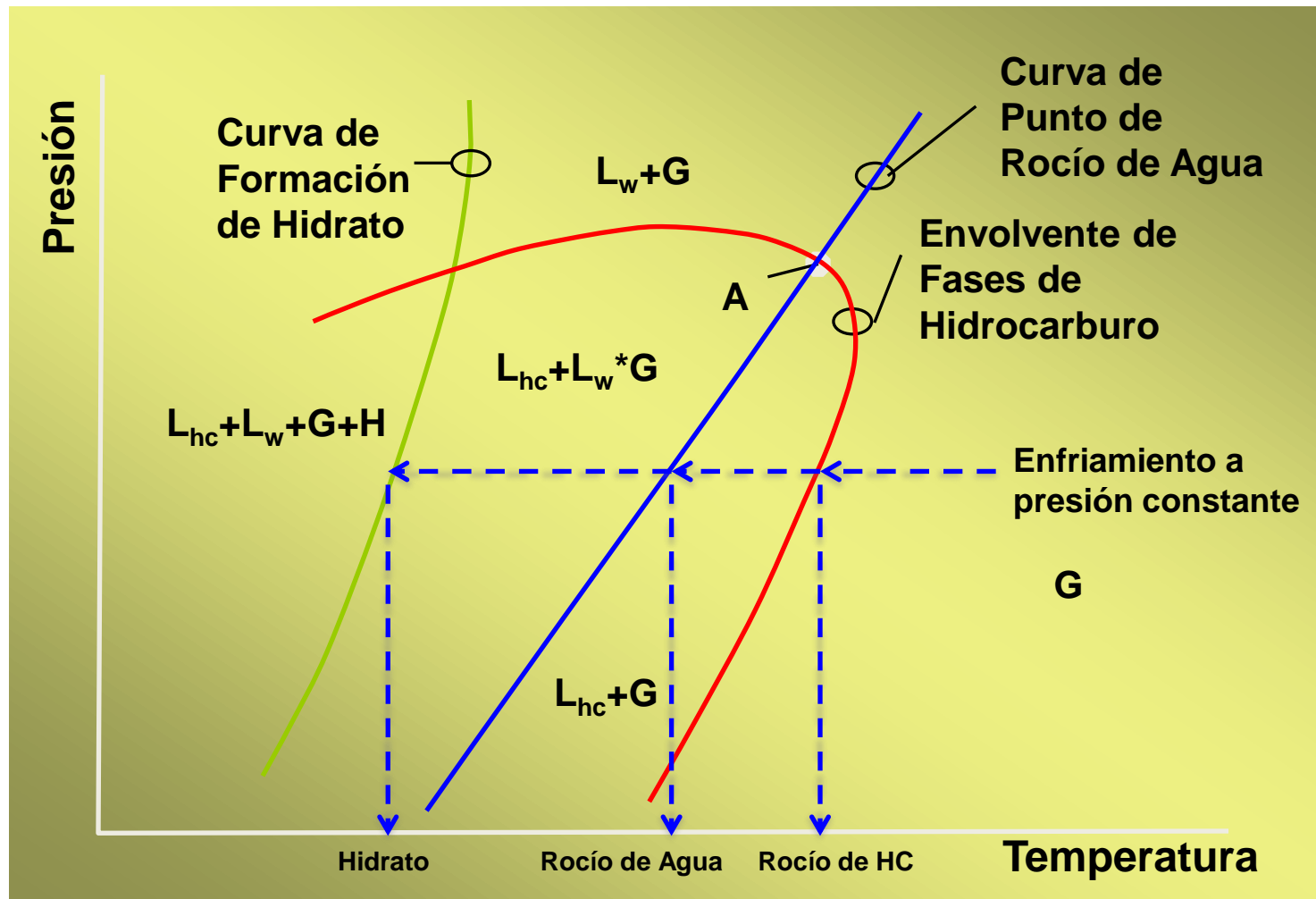
- **Cumplir con los requerimientos de transporte por gasoducto**
- **Cumplir con los requerimientos del proceso aguas abajo**
- **Prevenir la corrosión**
- **Prevenir la formación de hidratos y/o congelamiento**

PUNTO DE ROCÍO DE AGUA E HIDROCARBUROS

- En todo gas natural existe un conjunto de pares de valores P-T a partir de los cuales el agua contenida comienza a pasar de su estado de vapor al estado líquido (condensación). Análogamente sucede con los hidrocarburos pesados contenidos en el gas.
- Se denomina **Punto de Rocío** a aquella temperatura a la cual aparece la primera gota líquida.
- La representación gráfica de dicho conjunto de puntos, nos muestra las curvas de puntos de rocío de agua y la de hidrocarburos de un determinado gas natural.

Deshidratación

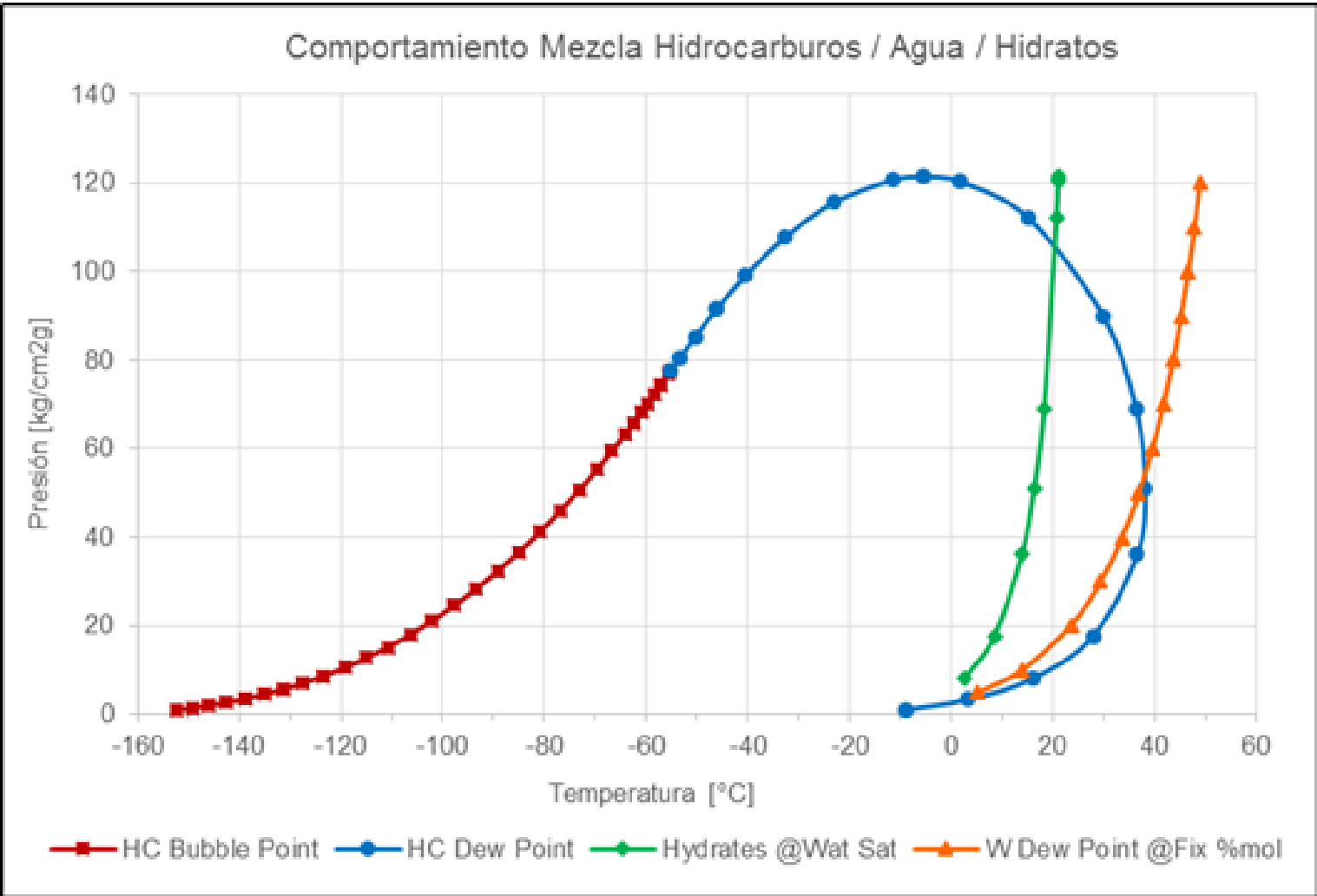
PUNTO DE ROCÍO DE AGUA E HIDROCARBUROS



Phase behavior of water-natural gas mixtures: usual case (after Maddox and Erbar , 1983)

Deshidratación

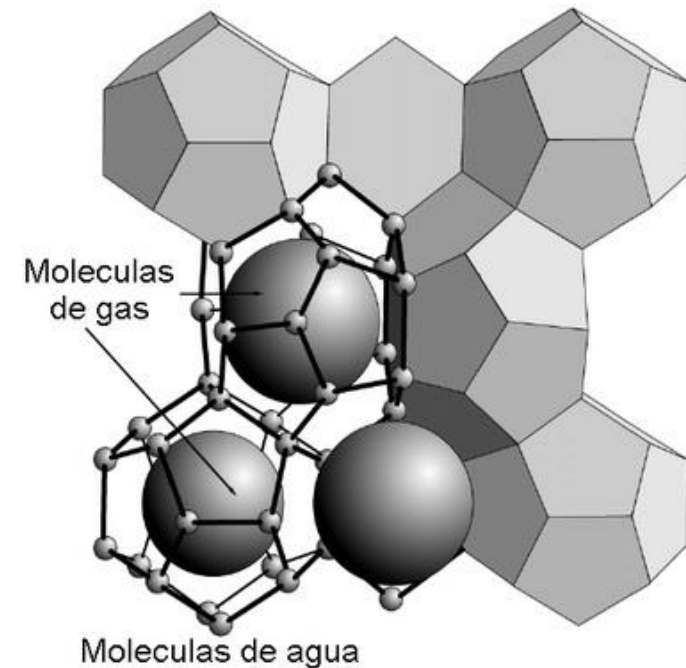
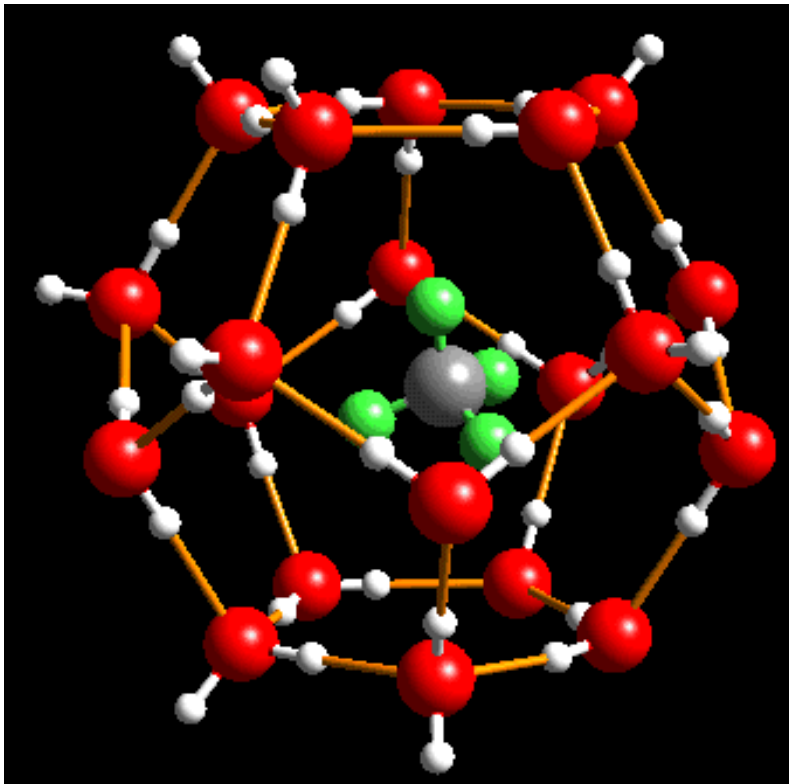
PUNTO DE ROCÍO DE AGUA E HIDROCARBUROS



Deshidratación

HIDRATOS

Complejos cristalinos con «estructuras de jaula» donde la malla fundamental está constituida por moléculas de agua apuntaladas por moléculas de hidrocarburos ocupando las cavidades



Deshidratación

Hidratos – Hidrato en cañería



HIDRATOS: FORMACIÓN

- **CONDICIONES PARA SU FORMACION:**
 - Agua libre (ej. $5\frac{3}{4}$ H₂O:CH₄, 17 H₂O:C₃H₈)
 - Temperaturas menores que la de formación de hidratos a la correspondiente presión de operación (Bajas Temperaturas - Altas Presiones)

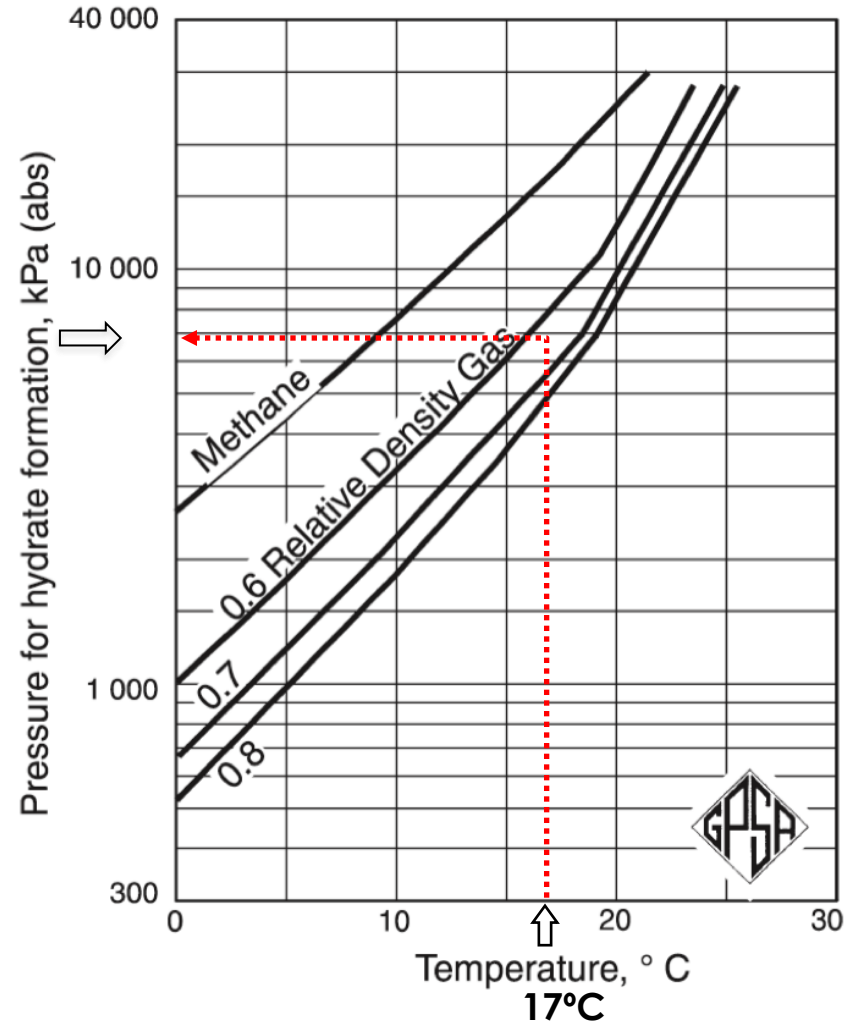
- **FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE FORMACION:**
 - Composición del gas.
 - Altas velocidades.
 - Pulsación de presión.
 - Pequeños cristales.
 - Existencia de lugares apropiados.

Deshidratación

HIDRATOS: FORMACIÓN

**CONDICIONES
PARA LA
FORMACION
DE HIDRATOS**

70 bar(a)



Deshidratación

HIDRATOS: FORMACIÓN

- **ACCIONES PARA EVITAR SU FORMACION:**
 - Modificar condiciones de presión y/o temperatura.
 - Llevar el punto de rocío de agua por debajo de la temperatura de operación (deshidratación).
 - Introducir sustancias que bajan la temperatura de formación de hidratos (inhibición).
- **METODOS CORRECTIVOS:**
(cuando se ha formado el hidrato)
 - Elevar la Temperatura.
 - Reducir la Presión.
 - Introducir sustancias inhibidoras de formación de hidratos.

IMPEDIR FORMACION DE HIDRATOS:

- ✓ **Deshidratación (Remoción de Agua)**
 - **Absorción (líquido): MEG, DEG, TEG**
 - **Adsorción (sólido): Silica, Alumina, Tamices Moleculares**
 - **Condensación**

- ✓ **Inhibición de Formación de Hidratos (Inyección de Químicos)**
 - **Hidrofílicos: MeOH, EtOH, MEG, DEG, TEG**
 - **LDHI (Baja Dosificación): Antiaglomerantes, Cinéticos**

Deshidratación

CONTENIDO DE AGUA EN EL GAS

En un gas saturado es función de:

- **Presión**
- **Temperatura**
- **Gravedad específica (SG)**

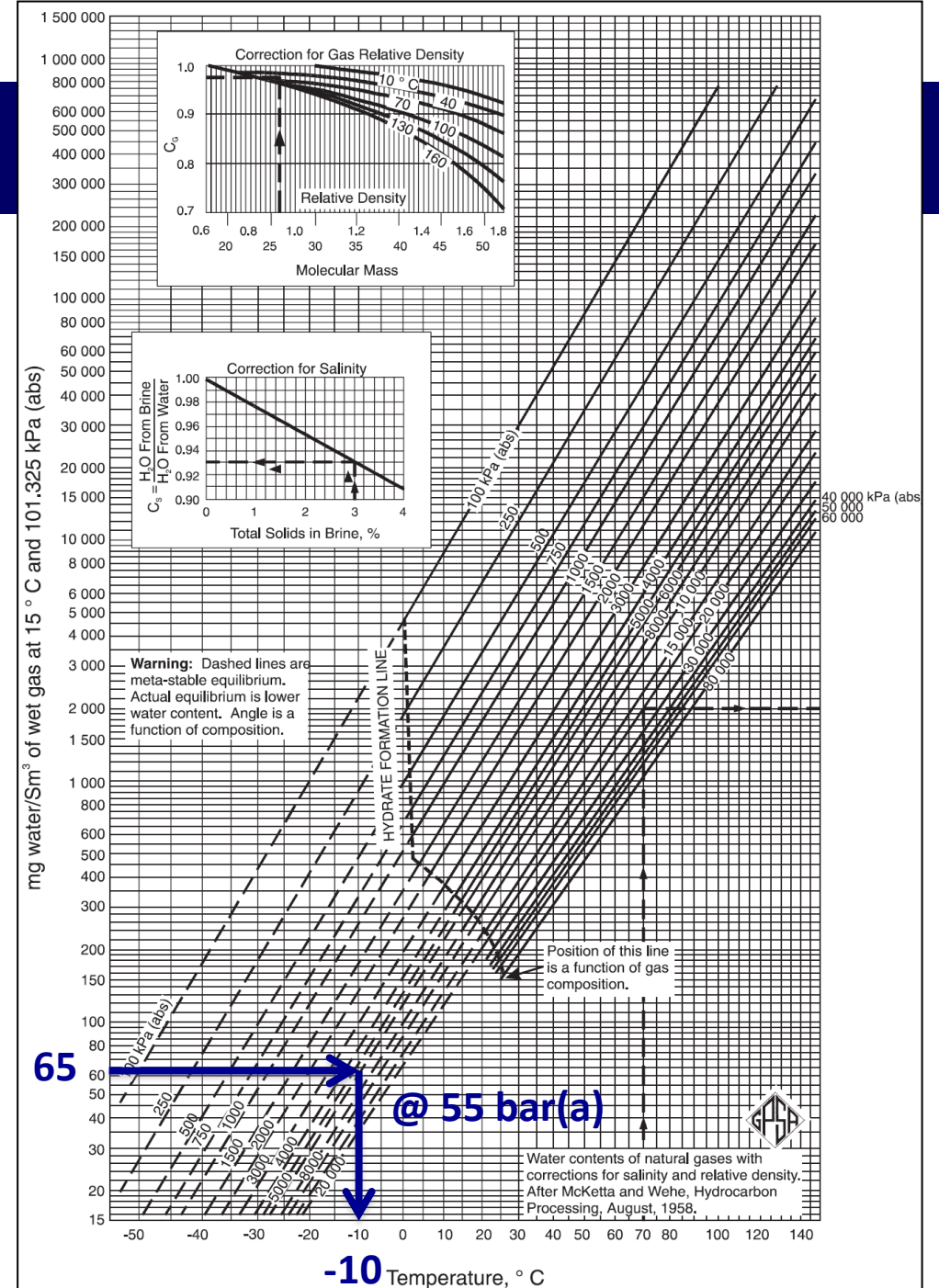
↑P ⇒ ↓ contenido de agua

↑T ⇒ ↑ contenido de agua

↑SG ⇒ ↓ contenido de agua

La presencia de **gases ácidos** (CO₂, H₂S) incrementa el contenido de agua de saturación.

La presencia de **N₂** disminuye el contenido de agua de saturación.



Deshidratación

En la Tabla adjunta se observa cómo varía, con la Temperatura y la Presión, la cantidad de agua de saturación en un gas.

Un aumento de la Temperatura de **sólo 20 °C** casi **triplica** dicha cantidad, en el Metano.

Un aumento de la Presión genera una disminución de la cantidad de agua, pero en menor proporción que la relación de presiones.

AGUA DE SATURACIÓN (mg / Sm³)

	Metano	
	20°C	40°C
1 bara	17519	55797
20 bara	949	2987
70 bara	336	1021

MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN:

- **Absorción:** con un *líquido higroscópico* con el cual se pone en íntimo contacto la corriente de gas.

El vapor de agua, presente en un gas será "absorbido" por una solución mientras la presión parcial del vapor de agua en el gas en contacto con la solución, exceda la presión de vapor del agua en la solución.

- **Absorción:** con un *lecho de material sólido*

Deshidratación

Absorbentes	Metanol	Etanol	MEG	DEG	TEG
Formula	CH ₃ OH	CH ₃ CH ₂ OH	HOC ₂ H ₄ OH	HOC ₂ H ₄ O- CH₂ C ₂ H ₄ OH	HO(C ₂ H ₄ O) ₂ - CH₂ C ₂ H ₄ OH
Peso Molecular	32,0	46,1	62,1	106,1	150,2
Densidad Relat. a 25°C	0,792	0,785	1,110	1,113	1,119
Pto. Ebullición a 760 mmHg (°C)	64,7	78,4	197,3	244,8	285,5
Tensión Vapora a 25°C (mmHg)	122	55	0,12	0,01	<0,01
Pto. Congelación a 760 mmHg (°C)	-97,8	-112,0	-13,3	-8,3	-7,2
Viscosidad Abs. a 25°C (cp)	0,56	1,1	16,5	28,2	37,3
Pto. de Flash PMCC (°C)			116	124	204
Pto. Inflamación C.O.C. (°C)			118,5	143,3	165,6
Temp. Descomposición a 760 mmHg (°C)			165	164	207

Absorbentes

Por qué el TEG es el más usado de los Absorbentes:

- ✓ Es más **fácilmente regenerable** que otros glicoles (MEG, DEG), dada la mayor diferencia entre su punto de ebullición y el del agua.
- ✓ Tiene una alta **temperatura de descomposición (207 °C)**.
- ✓ **Menores pérdidas por vaporización** que otros glicoles (MEG, DEG).
- ✓ Menor viscosidad por encima de los 20 °C que el TREG.
- ✓ Menor costo que el TREG.

La concentración de TEG en equilibrio con el agua, es de **98,7 %** (en peso) a su temperatura de descomposición (**207 °C**), y a la presión de **1 ata**. Para mayores concentraciones se requerirá inyectar un no condensable (y así bajar la presión parcial) o hacer vacío.

UNIDADES DE TEG – PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

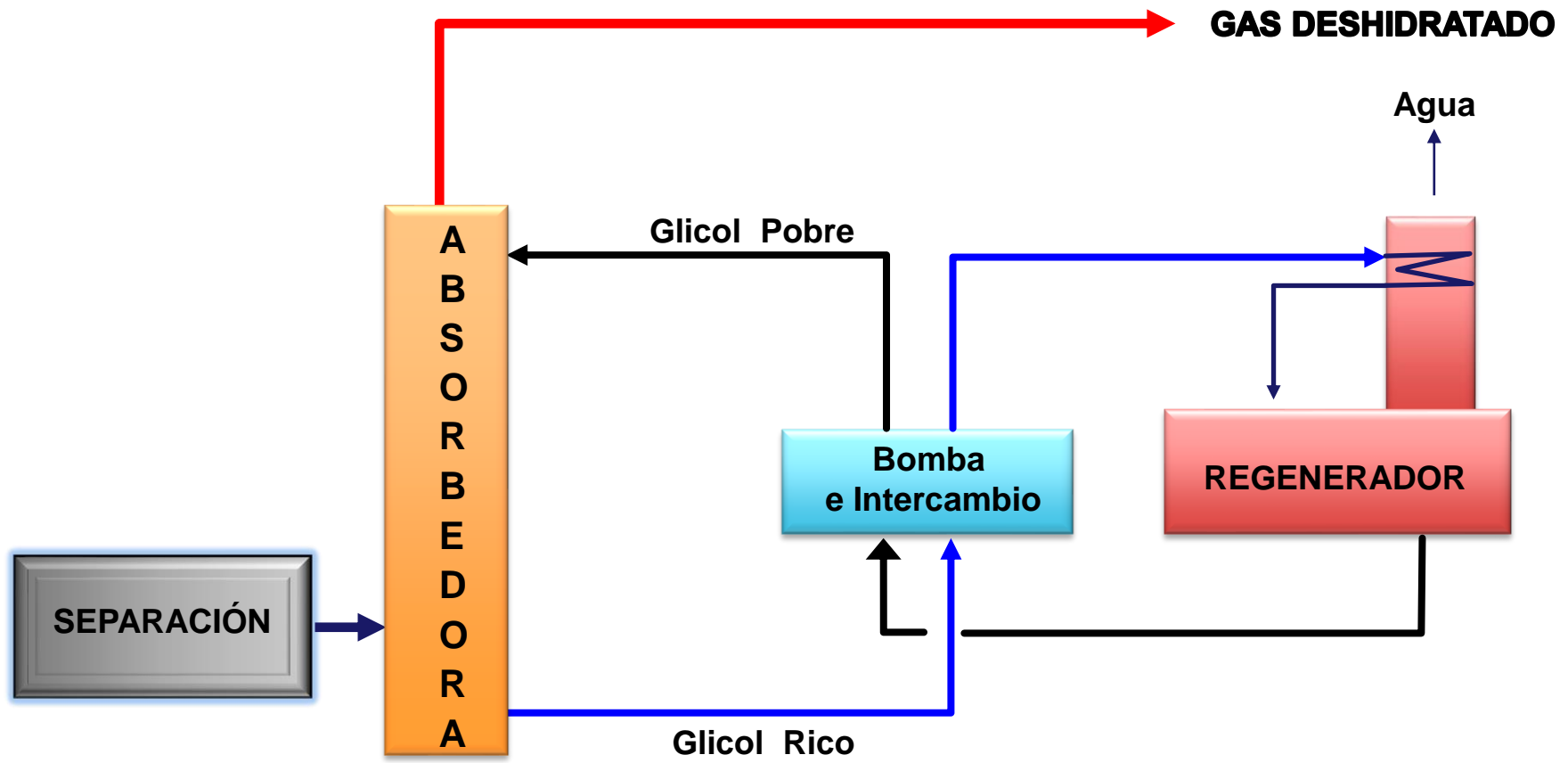
– Absorción

- Del agua contenida en el gas con circulación contra corriente de “TEG”, en una torre con internos de platos o relleno.

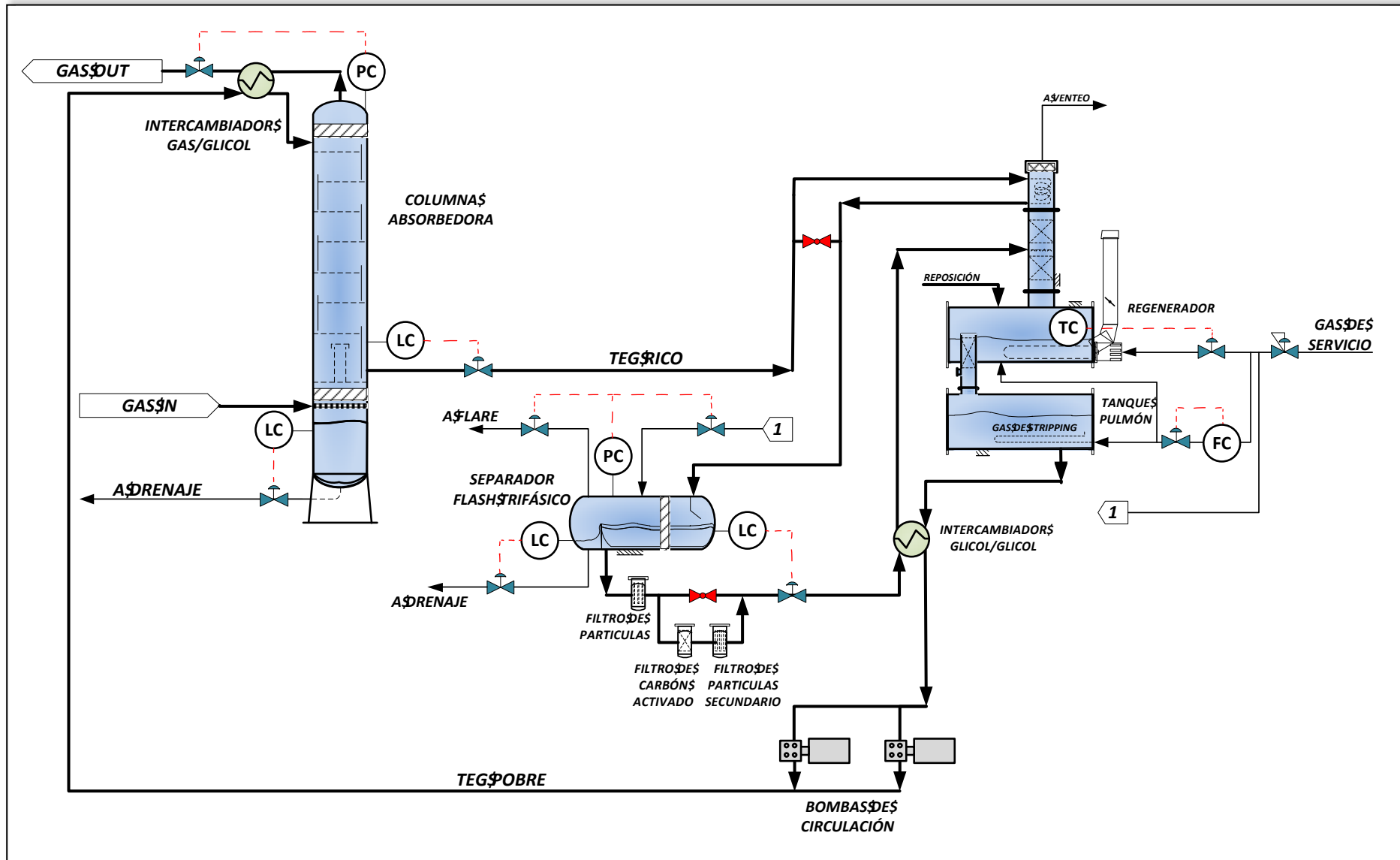
– Regeneración

- Del “TEG”, a presión atmosférica con calentamiento suficiente para evaporar el agua y llevarlo a la concentración requerida por el proceso de absorción.

UNIDADES DE TEG – DIAGRAMA DE BLOQUES



UNIDADES DE TEG – DIAGRAMA DE PROCESOS



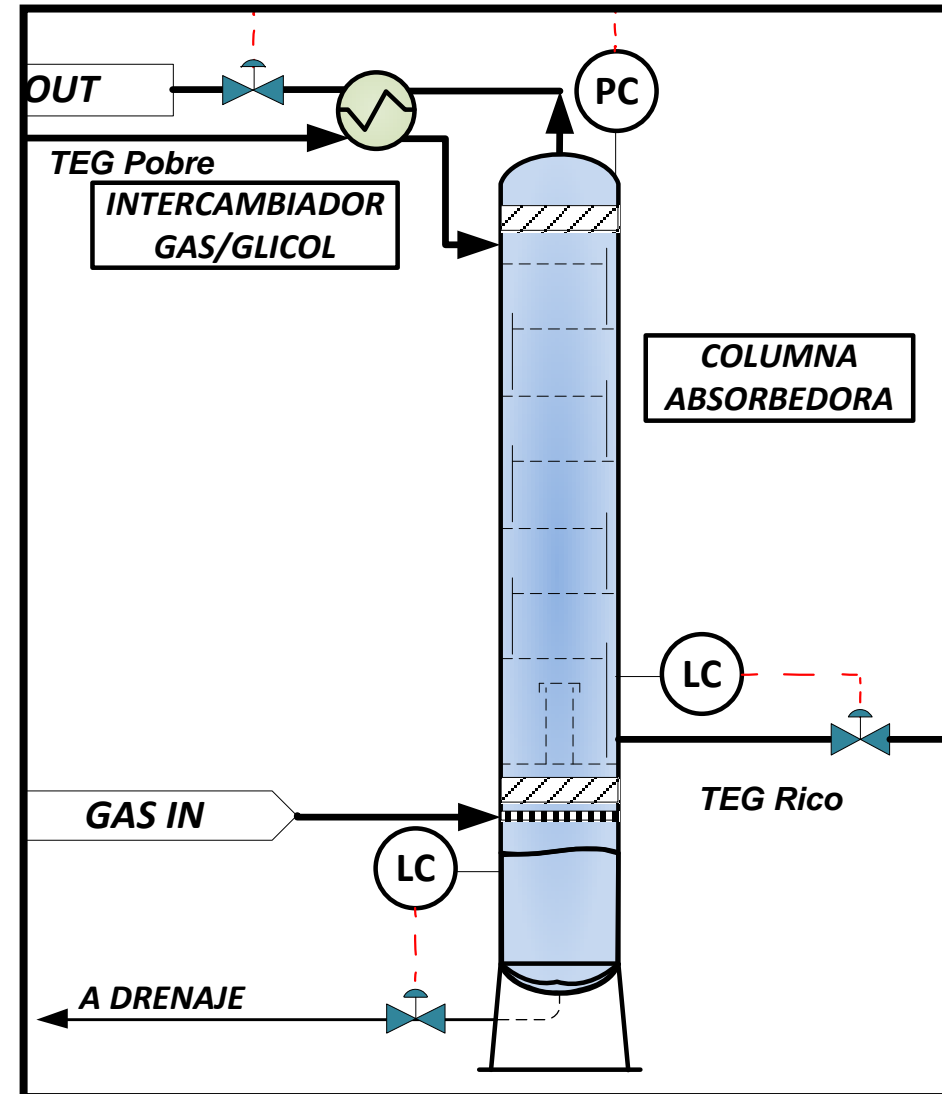
UNIDADES DE TEG

Absorción:

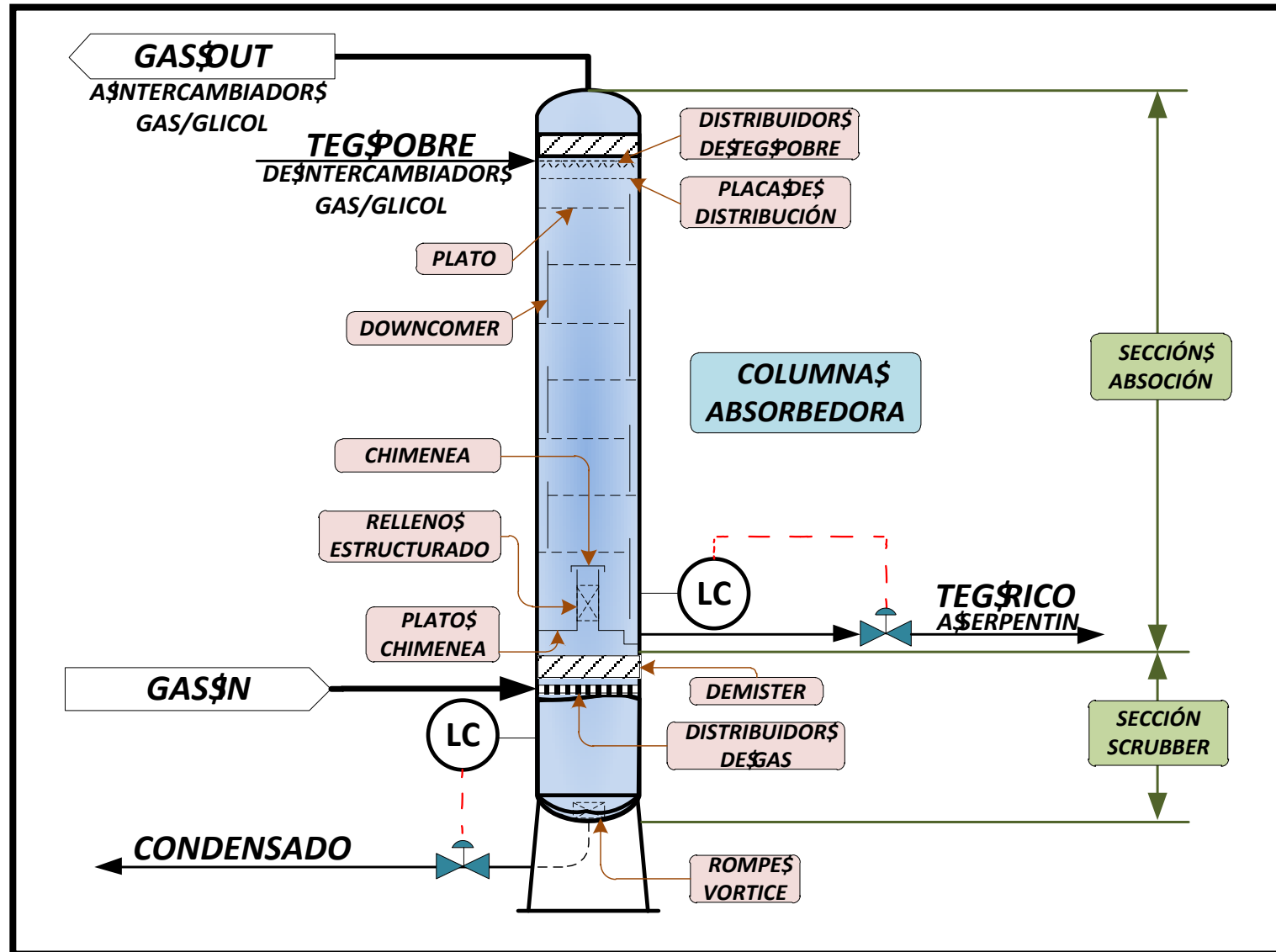
El gas saturado en agua asciende por la **Columna Absorbedora** y se contacta con una corriente descendiente de **TEG "pobre"** en agua (o sea TEG concentrado, con alto poder de absorción).

El TEG va absorbiendo en varias etapas, el agua del gas y sale por la parte inferior, como **TEG "rico"** en agua (diluido).

El gas "seco" egresa por la parte superior de la Columna Absorbedora.

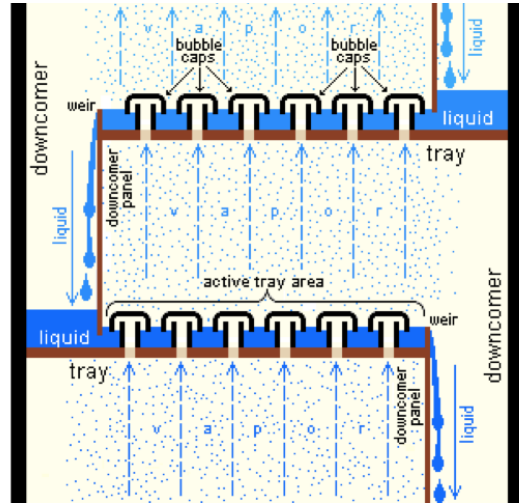


UNIDADES DE TEG – Columna Absorbedora



UNIDADES DE TEG – Internos de Columna Absorbedora

Columna de Platos (campanas)



Columna Rellena



Relleno desordenado



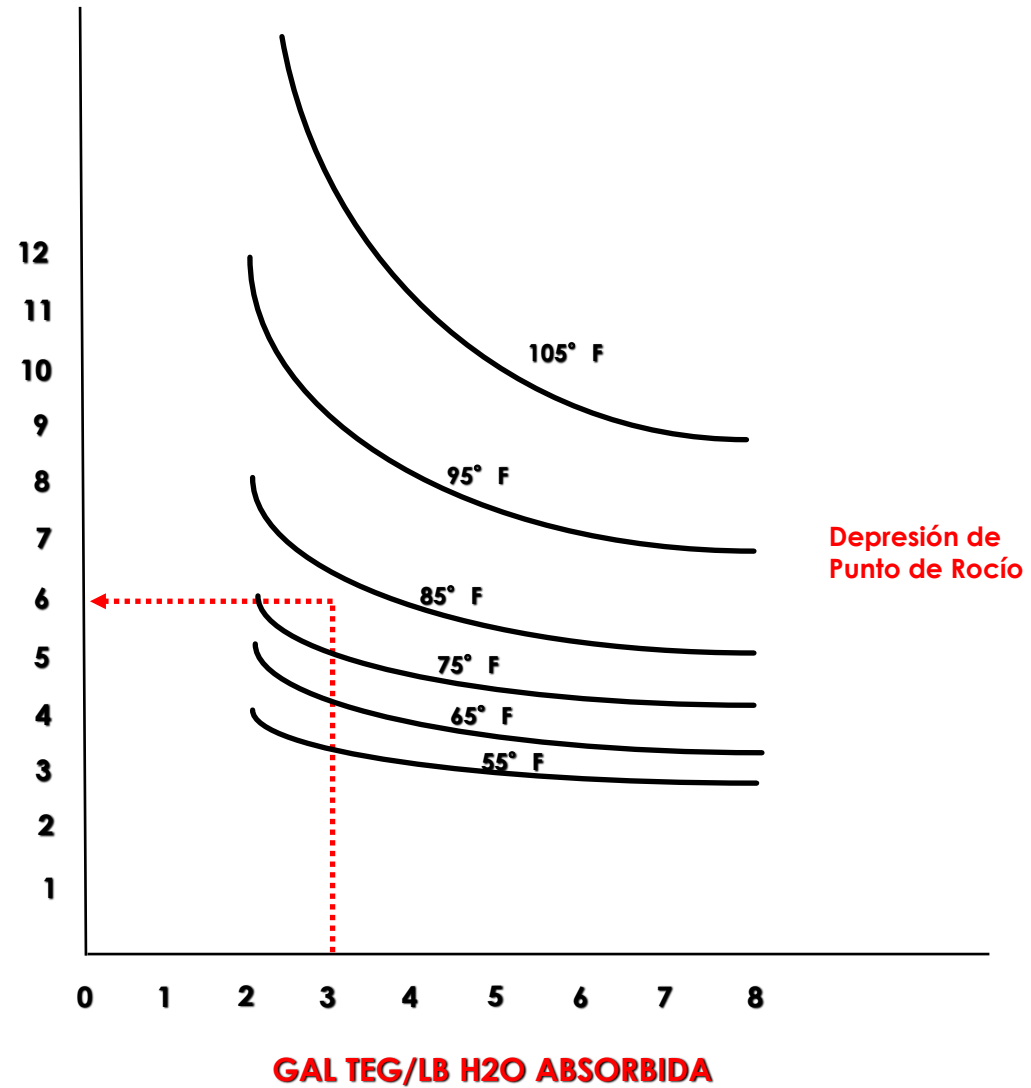
Relleno ordenado



Distribuidores

PLATOS O RELLENOS REQUERIDOS

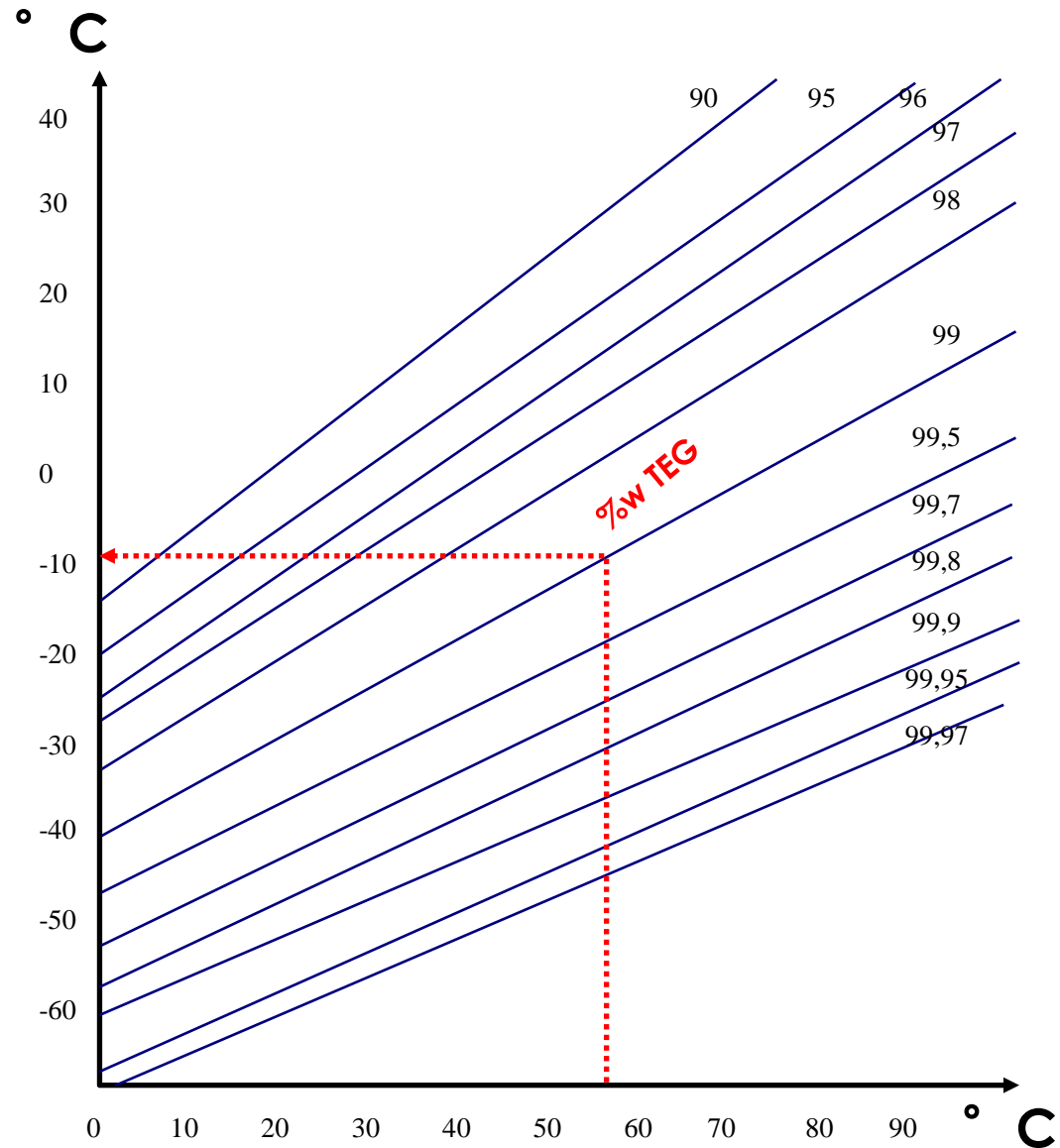
**CANTIDAD DE PLATOS
O PIES DE ALTURA
DE RELLENO**



**Depresión de
Punto de Rocío**

Punto de Rocío de Agua en equilibrio con distintas concentraciones de TEG

**Punto de
Rocío de
Agua
vs
Temperatura
de contacto**



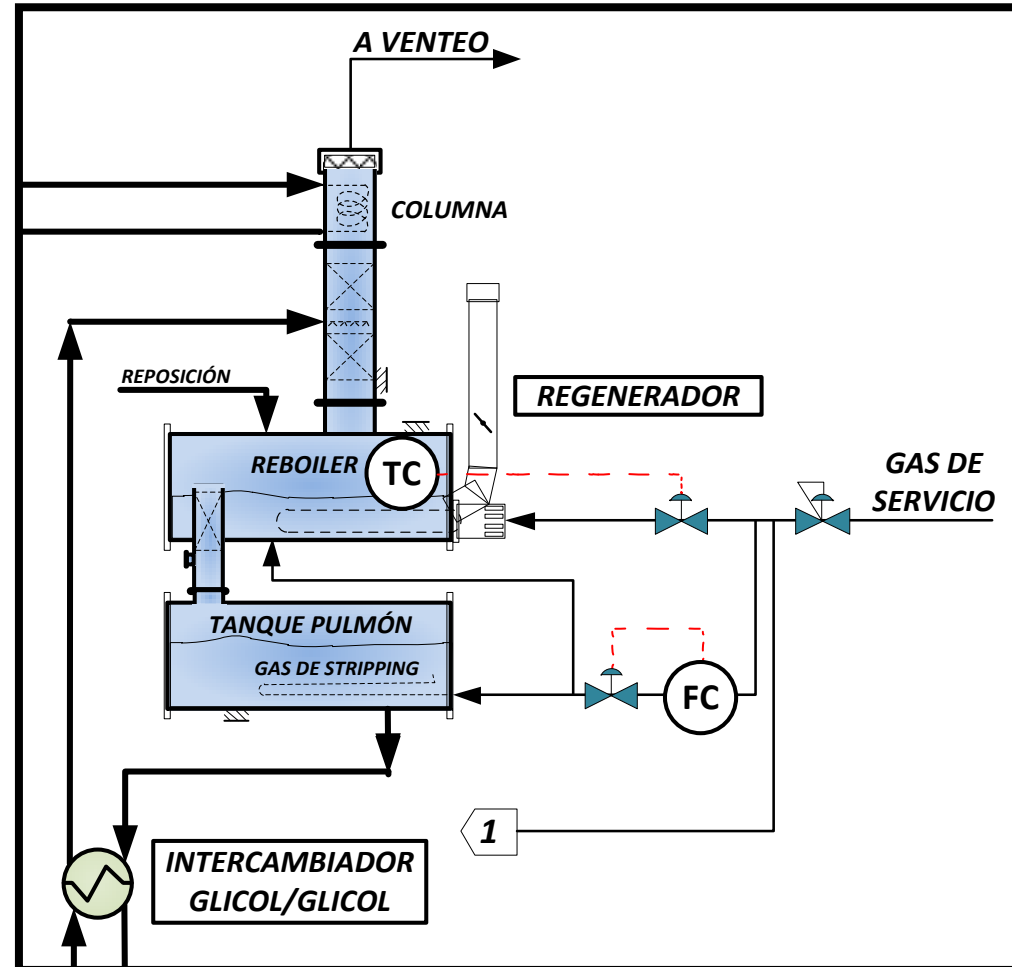
UNIDADES DE TEG

Regeneración:

El **TEG rico**, ya purificado de hidrocarburos y sólidos, entra en la etapa de regeneración, donde se lo calienta a presión atmosférica para vaporizar el agua absorbida, hasta alcanzar la concentración requerida para el TEG pobre.

El **vapor de agua** removido se ventea a la atmósfera.

Para hacer más eficiente el proceso, se precalienta el TEG que ingresa al **Reboiler del Regenerador**, en el **Intercambiador Glicol / Glicol**, con el TEG pobre que sale de él y va a las Bombas. Éste debe ser enfriado a **menos de 110°C** o a la máxima temperatura que admitan las Bombas



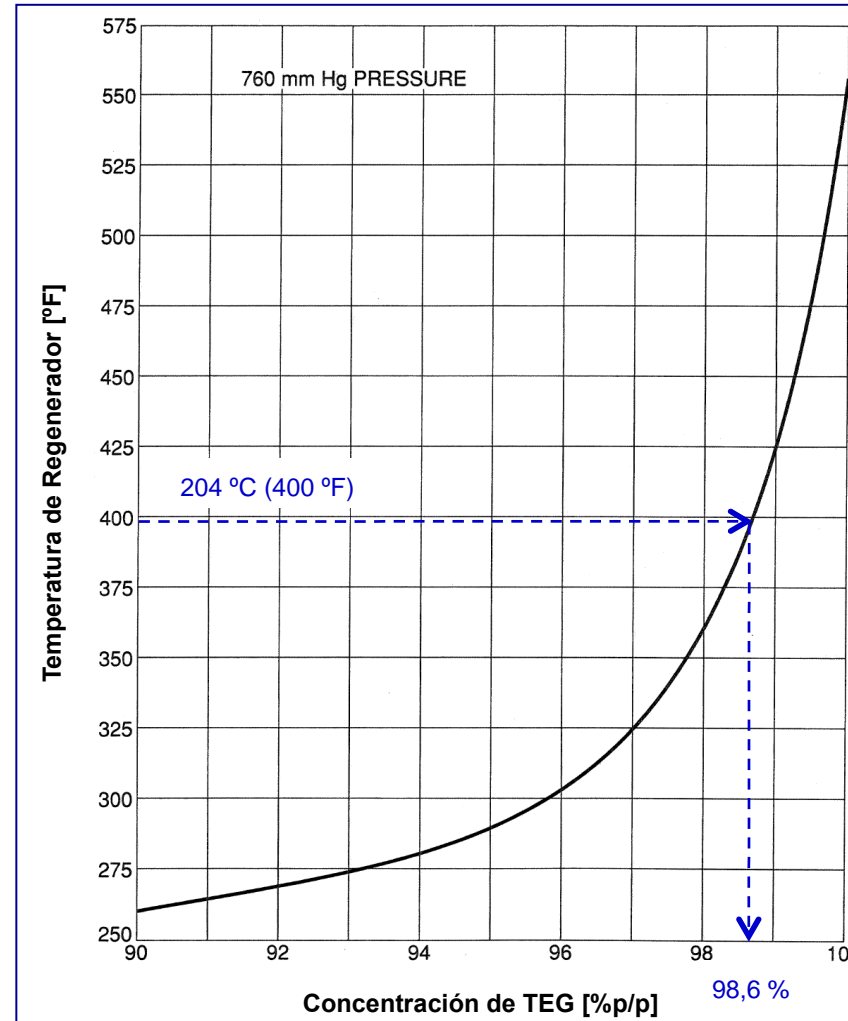
UNIDADES DE TEG – Regeneración (cont.)

La **temperatura de regeneración** dependerá de la **concentración** requerida de TEG pobre.

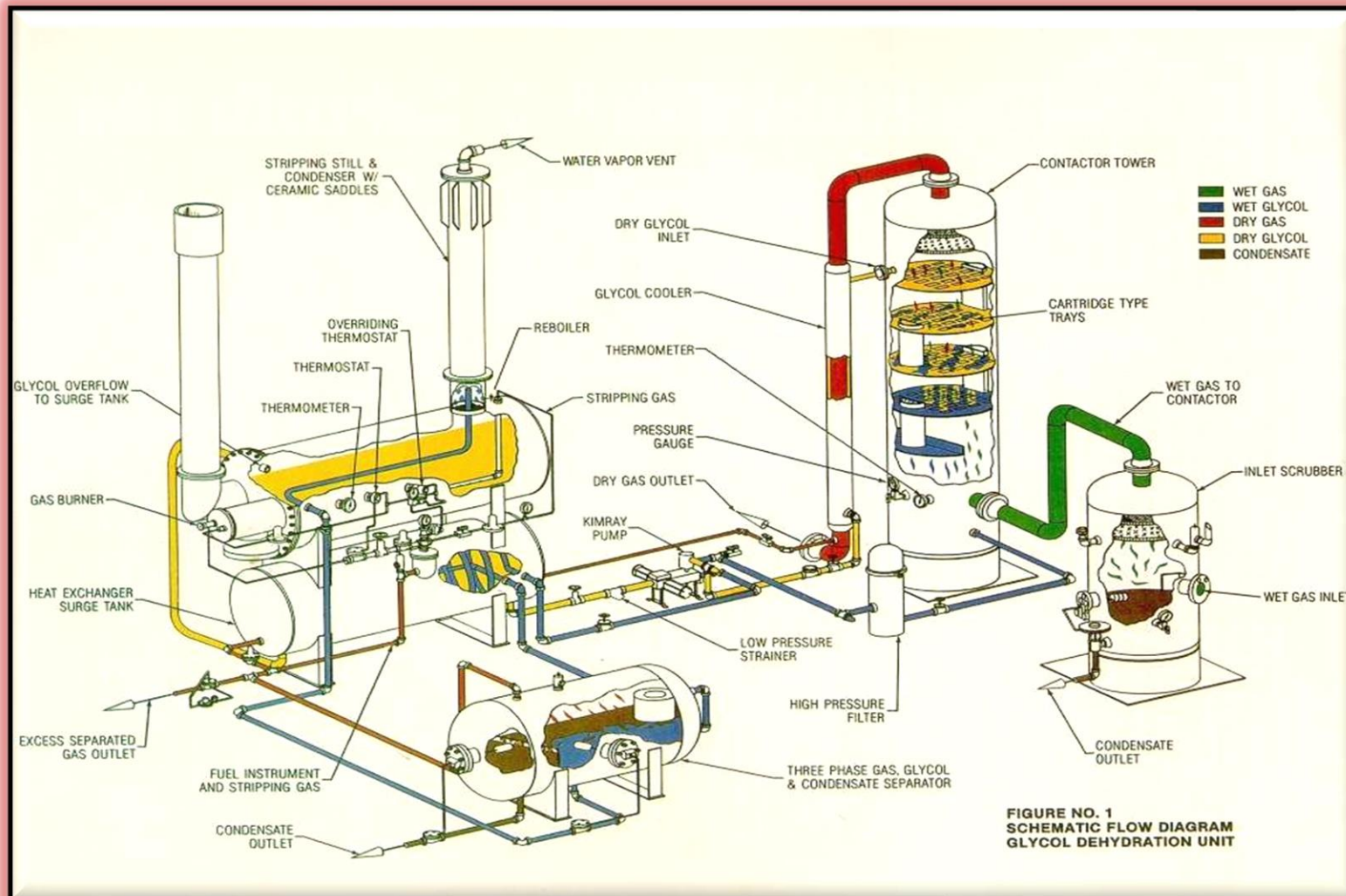
Pero nunca debe ser superior a la temperatura de descomposición (207 °C). **Se debe operar por debajo de los 204 °C (400°F)**

Del gráfico puede verse que a presión de **1 ata**, la concentración máxima a obtener es del **98,6%**.

Si se requiere un TEG más concentrado habrá que usar **Gas de Stripping** para disminuir la presión parcial del TEG, u otros métodos que hacen vacío en el Reboiler.



UNIDADES DE TEG – LAY OUT



Deshidratación

UNIDADES DE TEG



UNIDADES DE TEG



Deshidratación

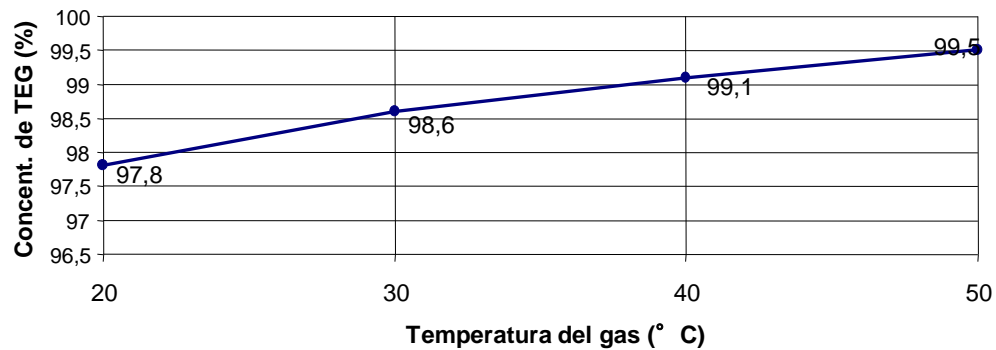
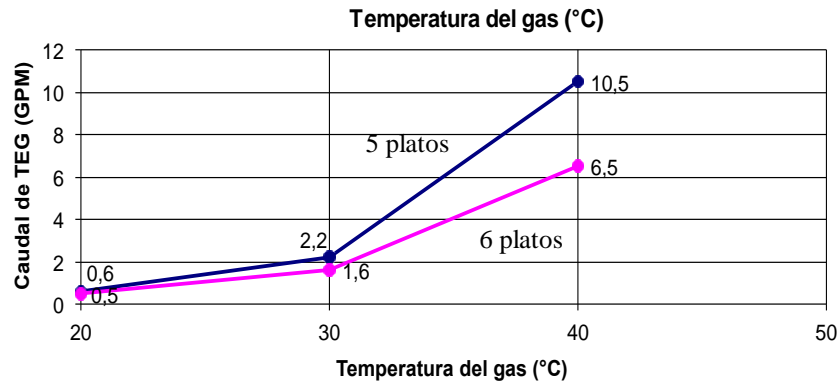
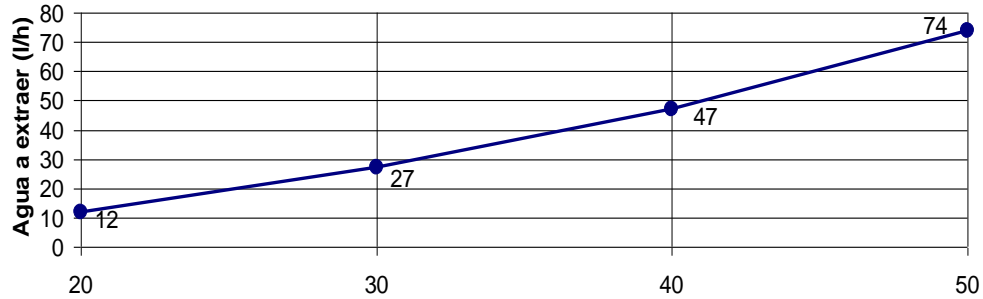
UNIDADES DE TEG: Diseño y Operación

- **CONDICIONES QUE AFECTAN EL DISEÑO Y LA OPERACIÓN**
 - Temperatura del gas de entrada.
 - Presión del gas de entrada.
 - Caudal y composición del gas.
 - Temperatura del Glicol que entra a la columna.
 - Concentración del glicol que entra a la columna.
 - Número de platos de la columna.
 - Caudal de circulación del glicol.

PROBLEMAS OPERATIVOS

- **Pérdidas de glicol**
 - Arrastre de gotas en el gas de salida
 - Pérdidas en a columna despojadora
 - Como vapores en el gas de salida
- **Descomposición del TEG**
 - Temperatura máxima 400 °F ~204° C
- **Efectos de la condición del gas de entrada**
 - Aceites
 - Hidrocarburos líquidos
 - Sales
 - Otros sólidos
 - Temperaturas muy bajas

UNIDADES DE TEG – INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL GAS



BASE:

1MMSCMD

MW = 17,4

P = 70,3 Kg/cm² (abs)

Agua a la salida: 65mg/Sm³

MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN:

- **Adsorción:** con un *lecho de material sólido* de estructura porosa por el cual se hace circular la corriente de gas.

El adsorbente retendrá en forma selectiva sobre su superficie, agua y/o hidrocarburos, hasta su saturación, mediante fuerzas intermoleculares. Sobre la superficie activa del desecante también actúan fenómenos de polaridad, difusión y condensación.

- **Absorción:** con un *líquido higroscópico ...*

ADSORCIÓN: Funcionamiento

- **Adsorción**

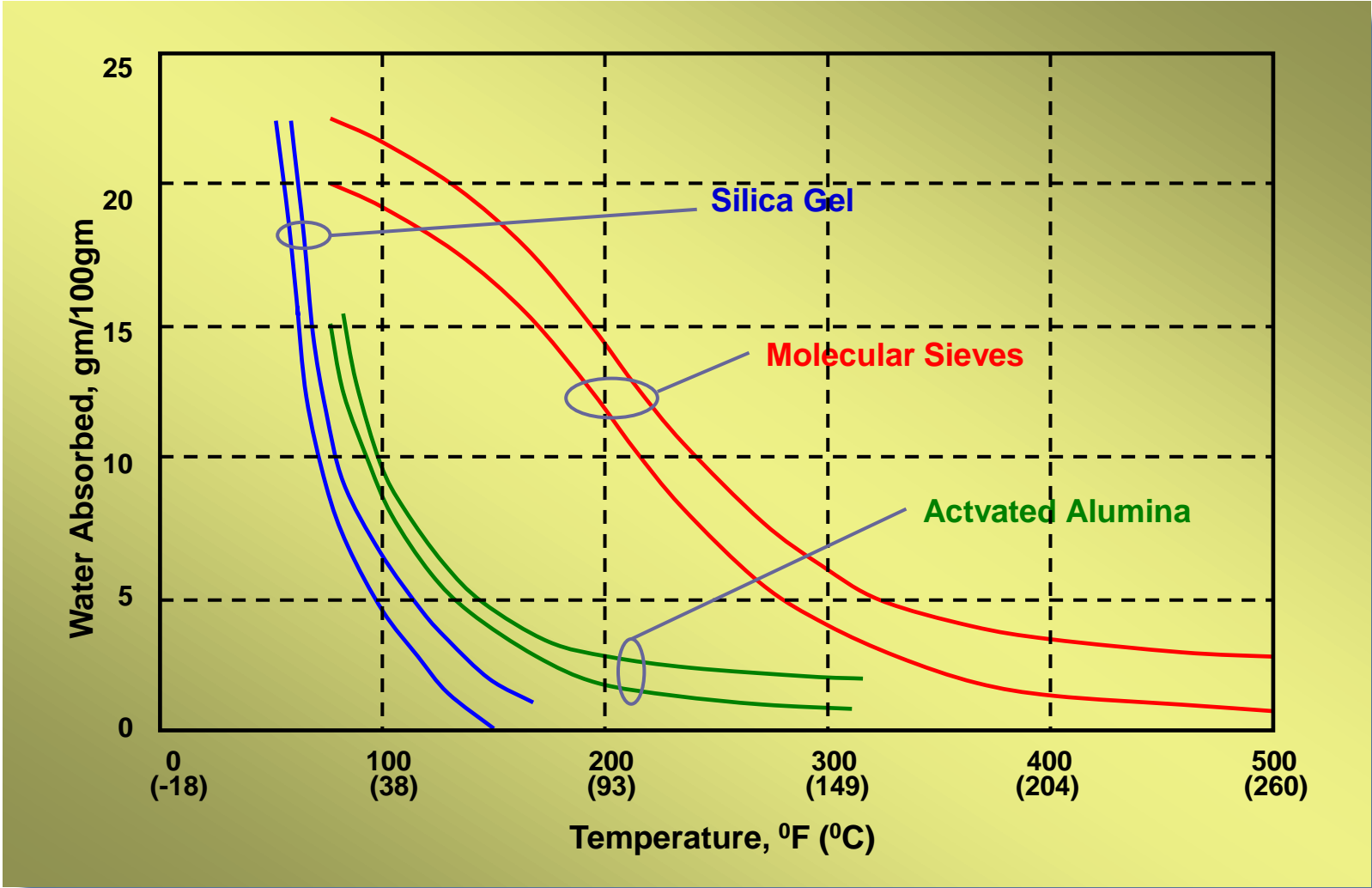
Del agua contenida en el gas por circulación a través de un lecho sólido adsorbente, en un recipiente a presión.

- **Regeneración**

Del adsorbente, por calentamiento del mismo y/o reducción de presión, para eliminar por vaporización, el agua retenida, mediante una corriente de gas natural deshidratado, previamente calentado.

Deshidratación

ADSORBENTES

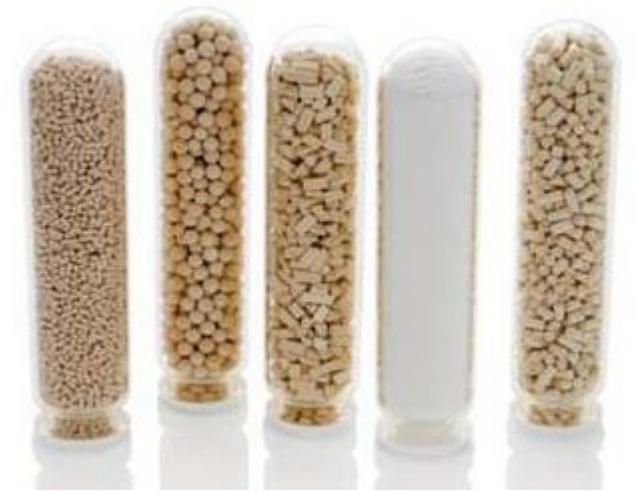


Deshidratación

Absorbentes



Molecular Sieve



Silica Gel



ADSORBENTES

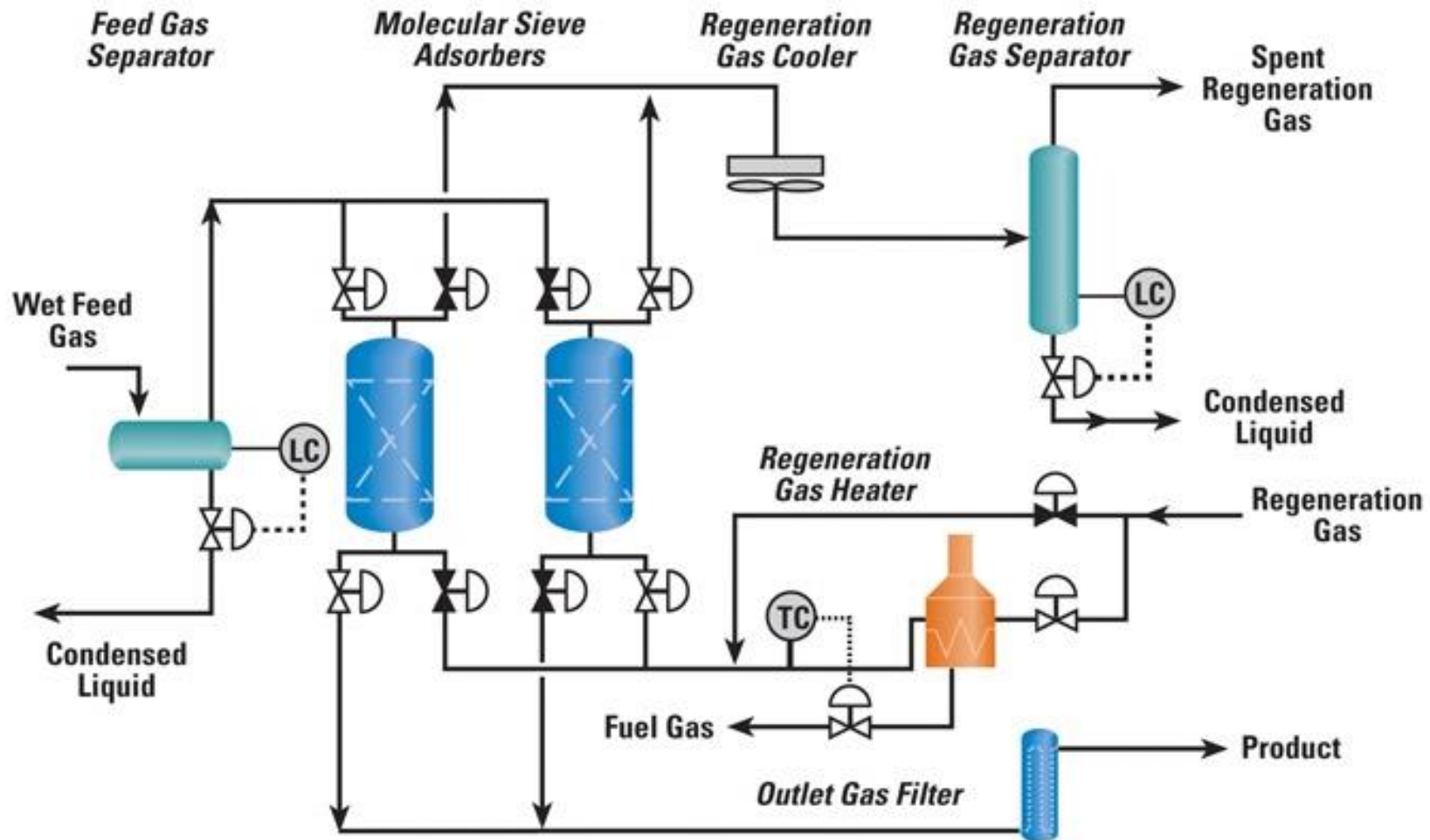
<i>Desecante</i>	<i>Forma</i>	<i>Densidad (lb/pie³)</i>	<i>Tamaño de particula</i>
<i>Alumina Gel</i>	<i>Esférica</i>	<i>52</i>	<i>1/4''</i>
<i>Alumina activada</i>	<i>Granular</i>	<i>52</i>	<i>1/4''-8 Mesh</i>
<i>Alumina activada</i>	<i>Esférica</i>	<i>47-48</i>	<i>1/4''-8 Mesh</i>
<i>Silica Gel</i>	<i>Esférica</i>	<i>50</i>	<i>4-8 Mesh</i>
<i>Silica Gel</i>	<i>Granular</i>	<i>45</i>	<i>3-8 Mesh</i>
<i>Tamiz molecular</i>	<i>Esférica</i>	<i>42-45</i>	<i>4-8 Mesh</i>
			<i>8-12 Mesh</i>
<i>Tamiz molecular</i>	<i>Cilindro</i>	<i>40-44</i>	<i>1/8''-1/16''</i>

ADSORCIÓN

- ***Campo de aplicación***
Aguas arriba de procesos criogénicos
(recuperación de NGL, LNG)
- ***Rangos de aplicación***
Punto de rocío de agua
 - Hasta -60° C (sílica gel)
 - Hasta -73° C (alúmina)
 - Hasta -100° C (tamices moleculares)
Contenido de agua
 - < 0.1 ppm

Deshidratación

ADSORCIÓN: Diagrama de flujo



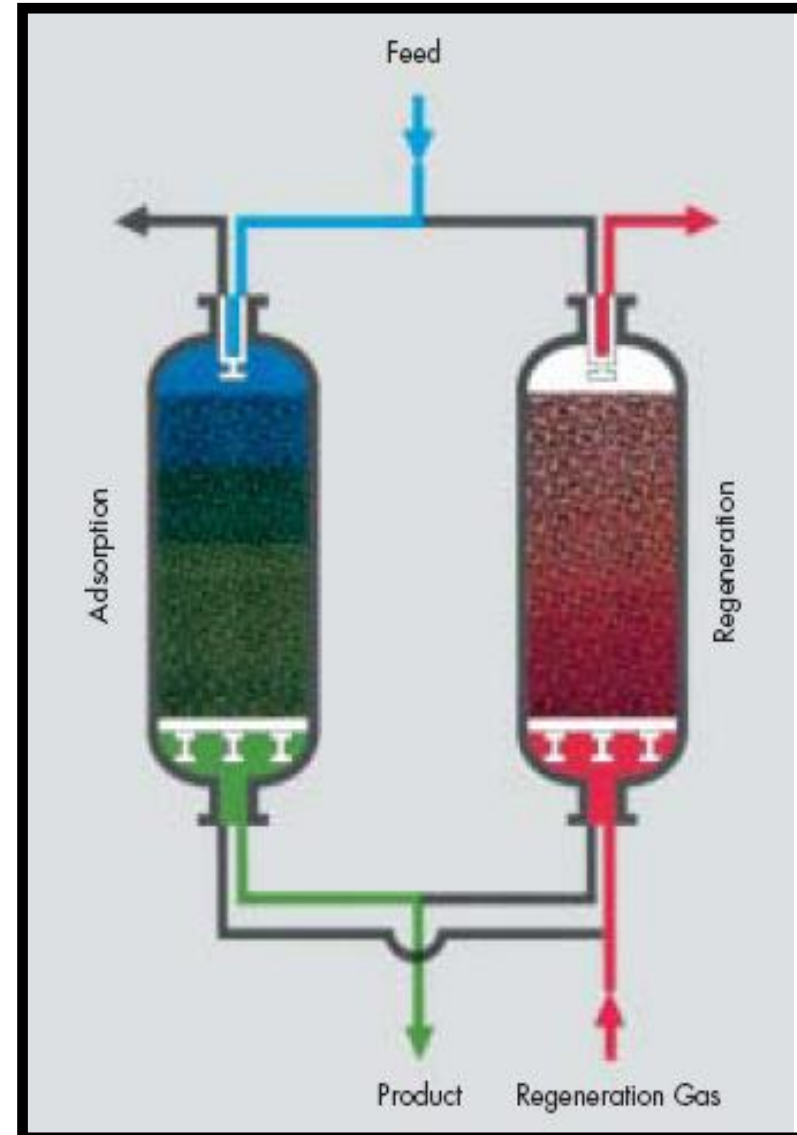
Deshidratación

ADSORCIÓN

Esquema de 2 lechos:

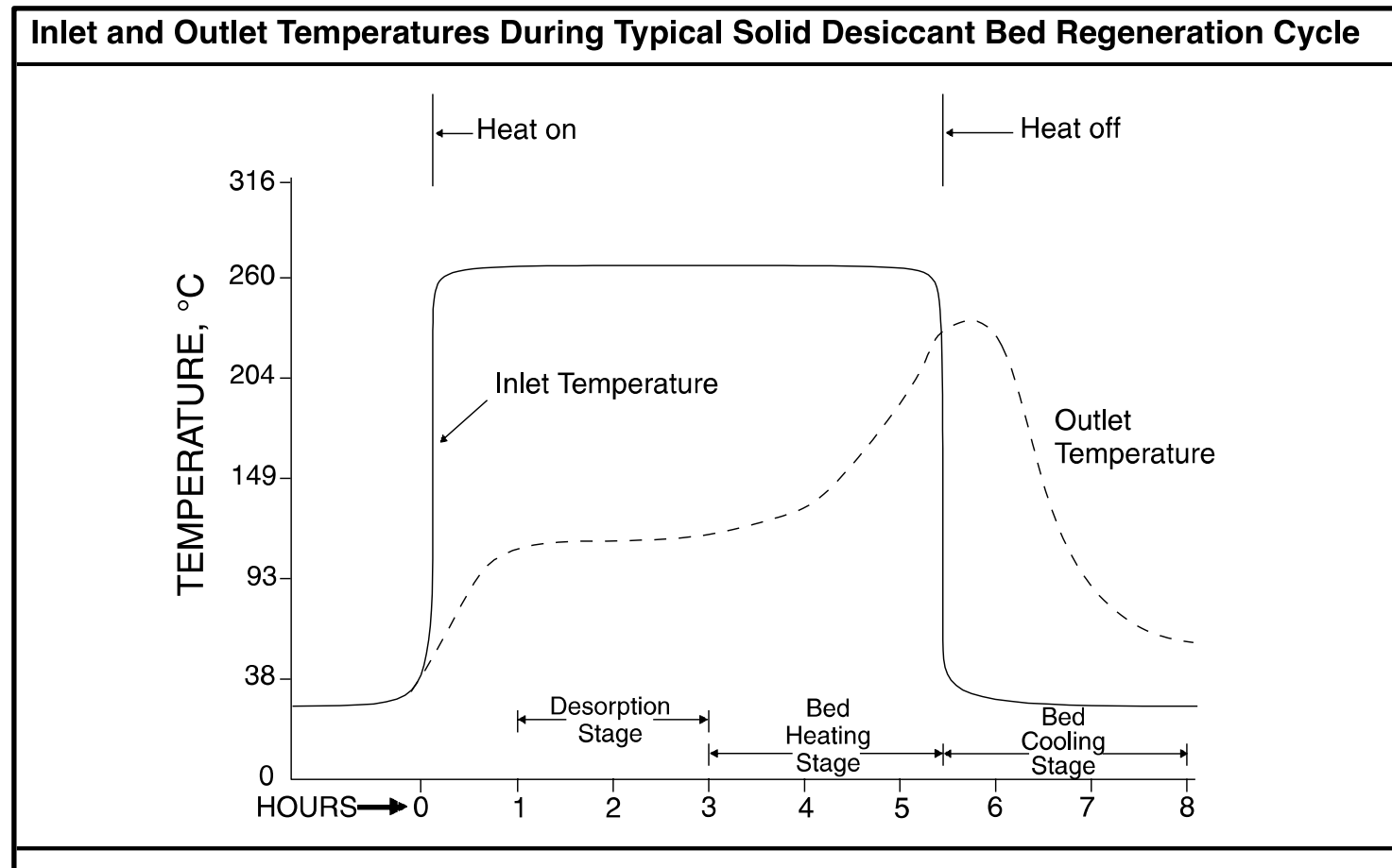
1 en Adsorción
(flujo descendente)

1 en Regeneración
(flujo ascendente)



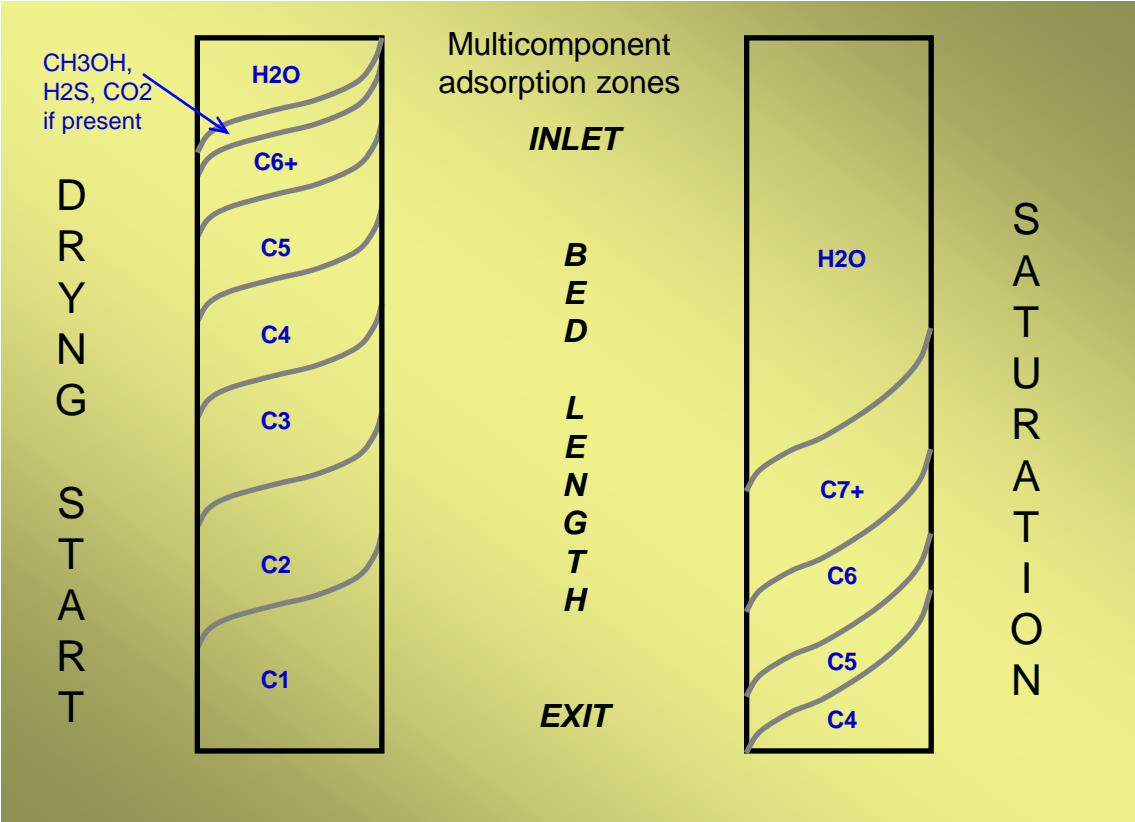
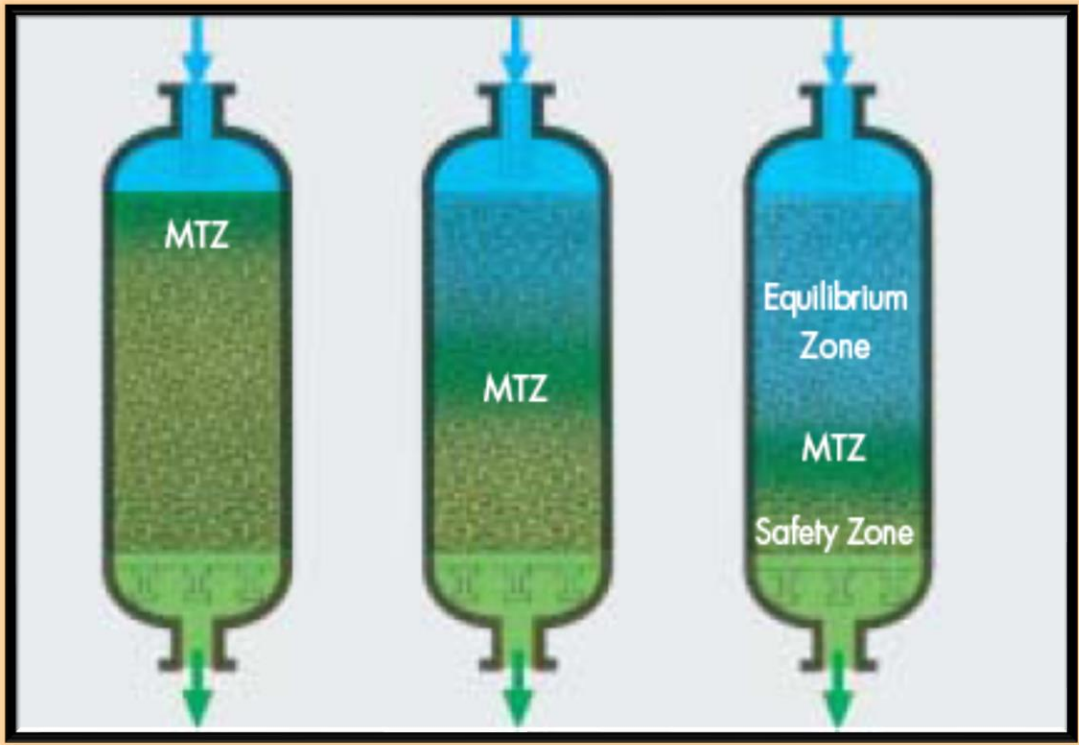
Deshidratación

ADSORCIÓN: Ciclo de Regeneración

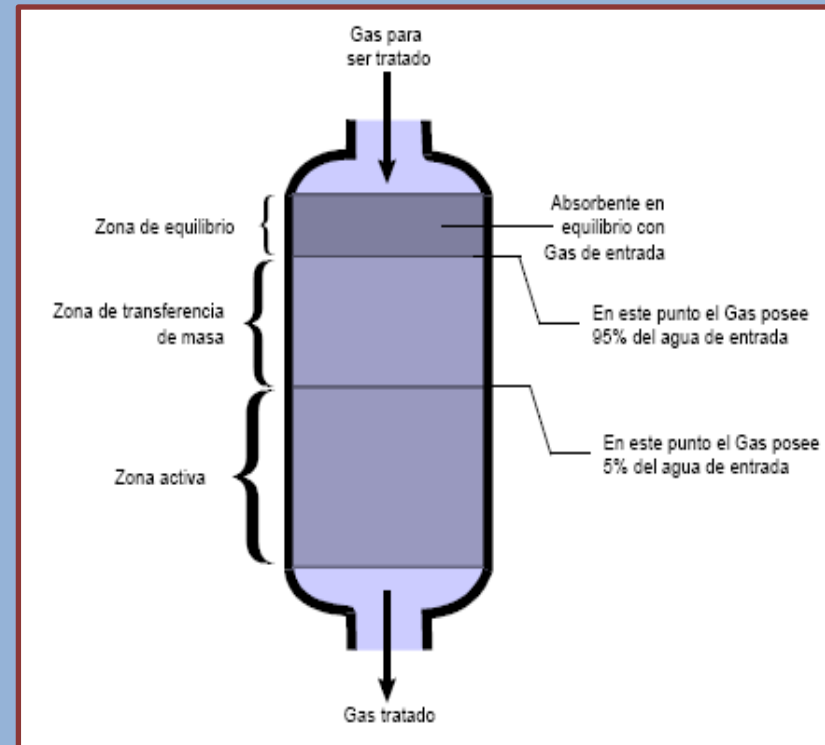
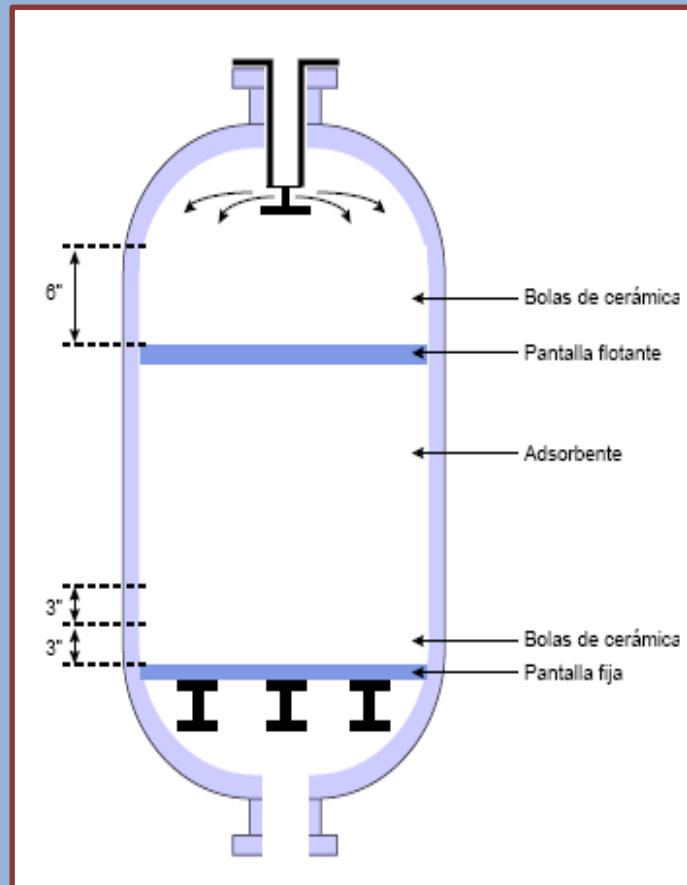


Deshidratación

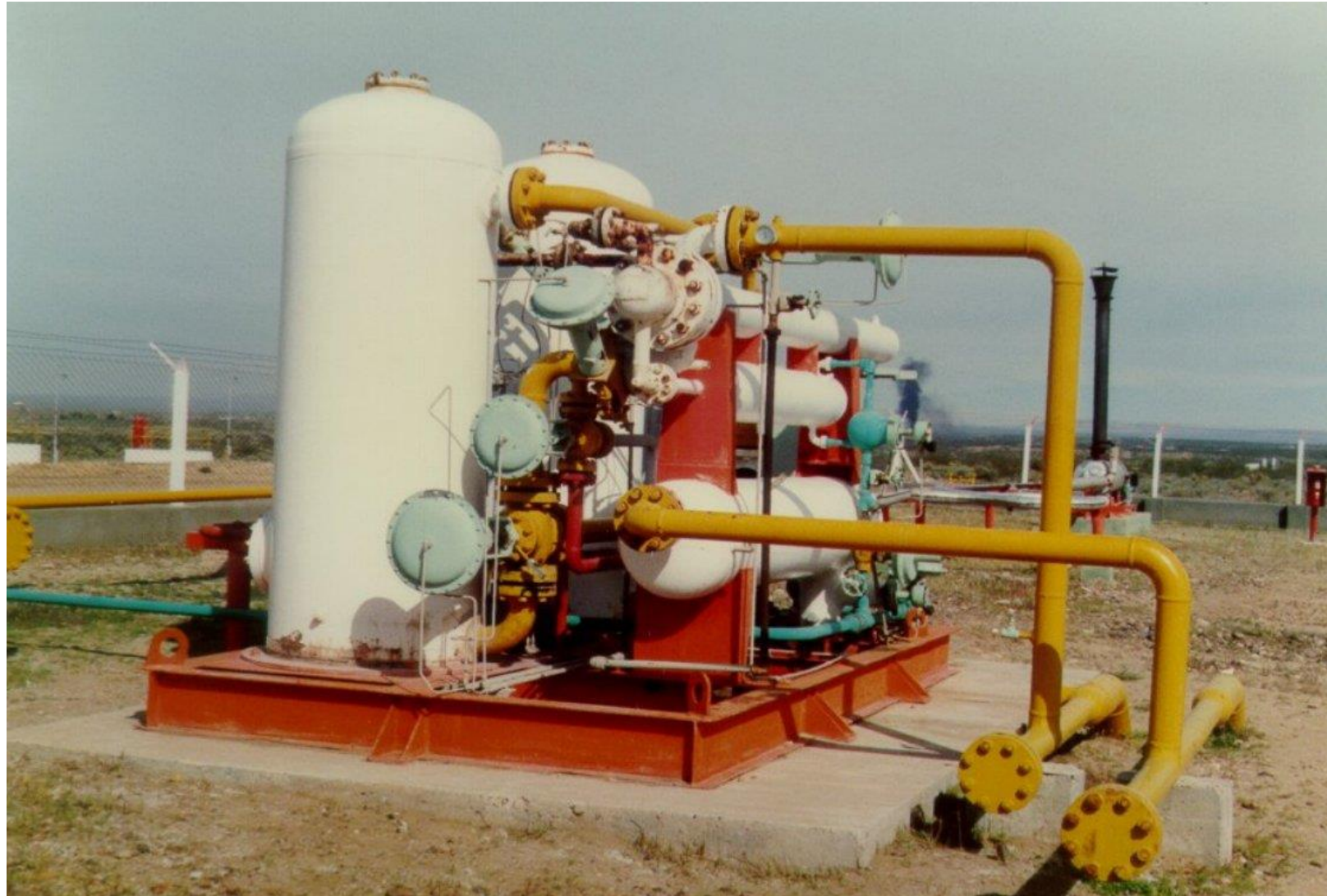
ADSORCIÓN: Transferencia de masa



ADSORCIÓN : Esquemas de internos y lechos



DESHIDRATADORAS DE LECHO SOLIDO



DESHIDRATADORAS DE LECHO SOLIDO



INHIBICIÓN DE LA FORMACIÓN DE HIDRATOS

En lugar de evitar la presencia de agua líquida, se disuelve en ésta un producto inhibidor de formación de hidratos.

Tipos de inhibidores:

- *Termodinámicos: impiden la formación*
 - Metanol
 - Glicoles
- *De baja dosificación (LDHI):*
 - Cinéticos
 - Antiaglomerantes

INHIBICIÓN DE LA FORMACIÓN DE HIDRATOS

Inhibidores termodinámicos

- *Aplicación*
 - Transporte
 - Plantas de ajuste de punto de rocío por refrigeración
- *Los más comunes*
 - **Metanol** (más volátil, mayores pérdidas por vaporización, regeneración poco conveniente \$)
 - **MEG** (más utilizado, regeneración similar a proceso TEG)
 - **DEG** (más viscoso, sólo a $T > -10^{\circ} \text{ C}$)

INHIBICIÓN DE LA FORMACIÓN DE HIDRATOS

Inhibidores de baja dosificación (LDHI):

Disminuyen la velocidad de crecimiento de los cristales o evitan la aglomeración de los mismos.

Ventajas:

- Baja dosis requerida, por lo que para determinadas caudales operativos las instalaciones son mínimas y menos costosas que otras alternativas de Inhibidores termodinámicos.
- Bajas pérdidas causada por la evaporación, sobre todo en comparación con metanol .
- Baja Toxicidad.

Aplicaciones:

- Transporte en sistemas de Captación.

DESHIDRATACIÓN / INHIBICIÓN

Preguntas claves:

- **Caudal y presión del gas.**
- **Temperatura del gas húmedo:** ¿está saturado?
- **Objetivo principal:** ¿Inhibir hidratos o evitar condensación?
¿Es tolerable la presencia de agua?
- **Destino del gas:** gasoducto, unidad de ajuste de punto de rocío, unidad de licuefacción o recuperación de NGL.
- **Temperatura ambiente:** ¿es factible una etapa (previa) de enfriamiento y condensación?
- **¿Operación continua o estacional?**

ANEXOS

- **UNIDADES DE TEG:**
 - Caudal y Concentración de TEG
 - Caudal de Gas de Stripping
 - Cantidad de etapas en Columna Absorbadora
 - Consideraciones de Diseño de los Equipos

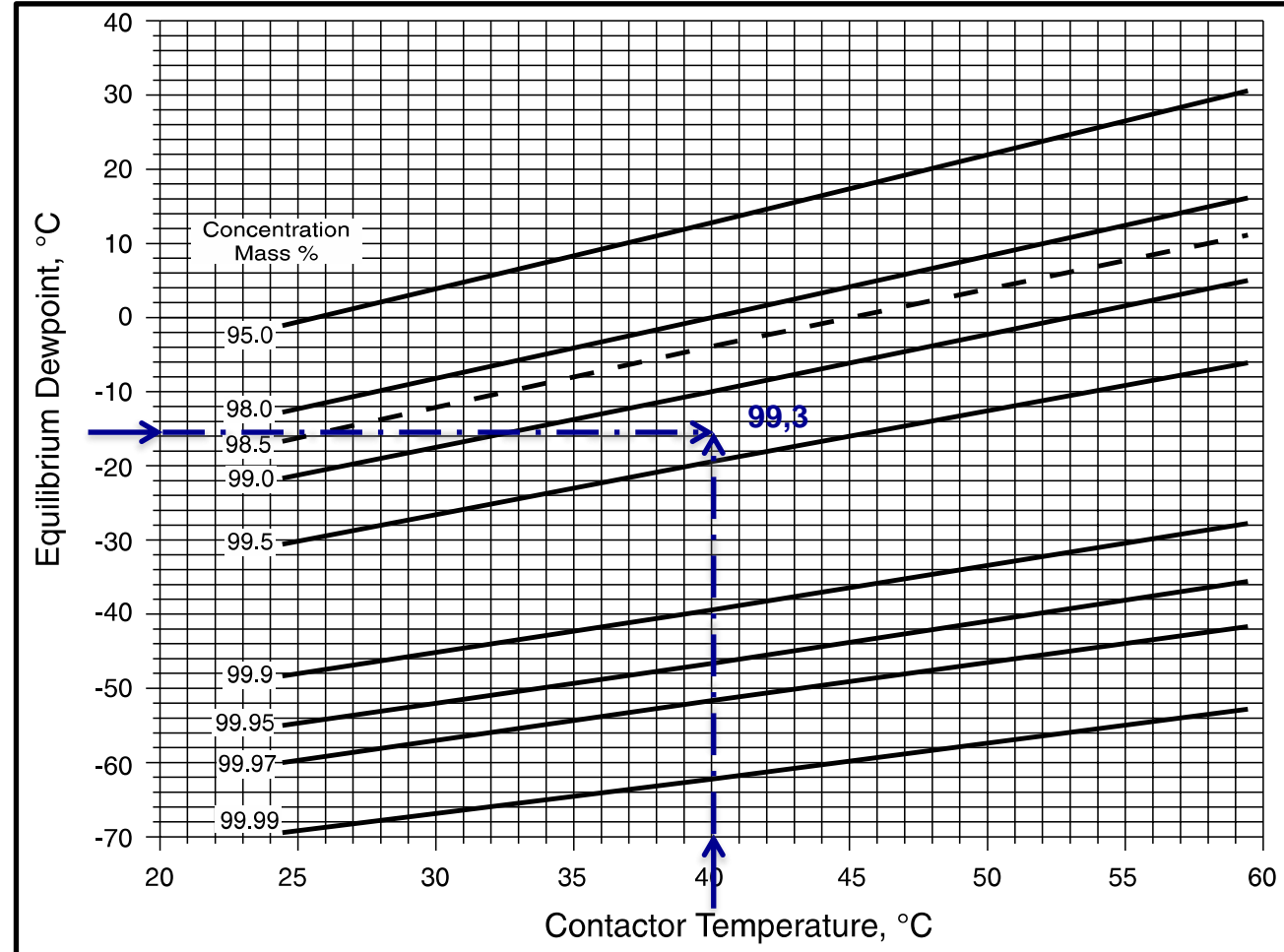
UNIDADES DE TEG - Caudal y concentración de TEG

Punto de Rocío de Agua en equilibrio en función de la temperatura del gas y de la concentración de TEG (Fuente GPSA)

Ejemplo: Determinar la concentración de TEG pobre para deshidratar un gas de 40°C, hasta un punto de rocío de agua de -10°C (65mg/Sm³ @ 55 bar(a))

t gas: 40 °C
t rocío esp: - 10 °C
t rocío equil: - 15 °C

TEG w%: 99,3 %



Nota: Para este caso, se adoptó una aproximación de 5°C entre el punto de rocío especificado (-10°C) y el punto de rocío de equilibrio seleccionado (-15°C). La depresión de punto de rocío es 40°C - (-10°C) = 50°C

UNIDADES DE TEG - Caudal y concentración de TEG

El caudal de TEG pobre y su concentración, requeridos para llegar a la deshidratación requerida, dependerán de:

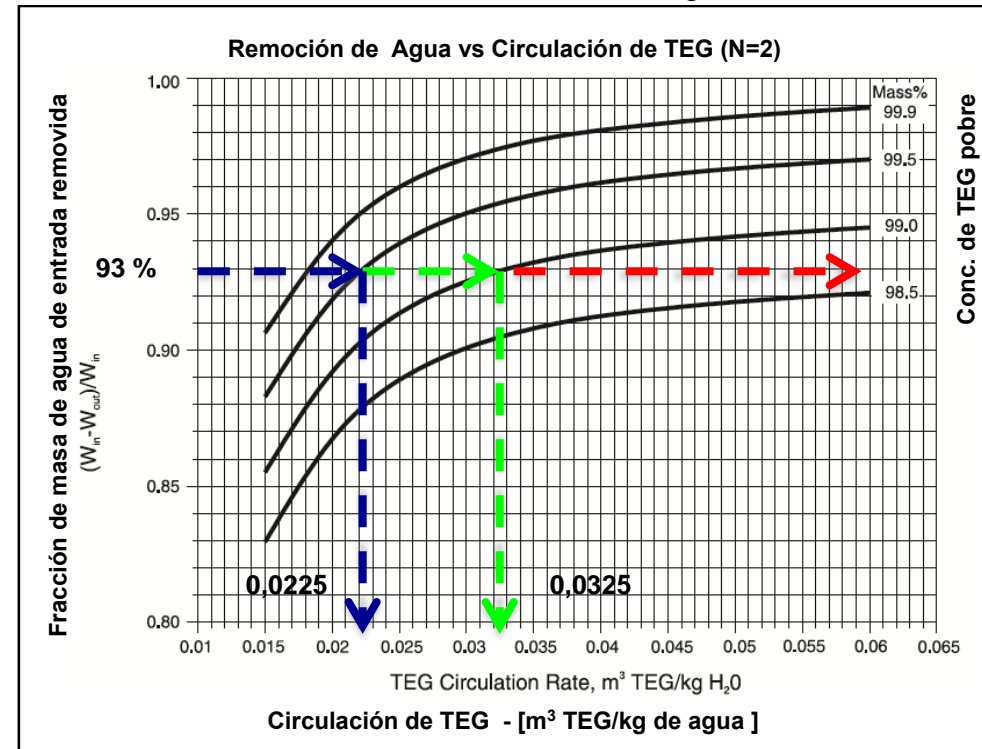
- Caudal de Gas a deshidratar
- Cantidad de Agua que ingresa con el Gas (que será función del Caudal, la Presión y la Temperatura del Gas)
- Cantidad de Agua máxima requerida en el Gas de Salida
- Cantidad de Etapas teóricas (N) de contacto en la Absorbedora

Rango usual:

20 a 35 litros TEG/Kg agua removida (2,4 a 4,2 gal/lbH₂O)

Ejemplo: Para N=2 y una remoción del 93% del agua que ingresa, y una concentración del 99,5% se requieren 22,5 litros de TEG por Kg de agua que ingresa; ó 32,5 si el TEG viene al 99,0 %. Del gráfico se observa que es imposible lograr esa remoción con una concentración del 98,5 %

GPSA Databook, 12th Edition, Fig. 20-71



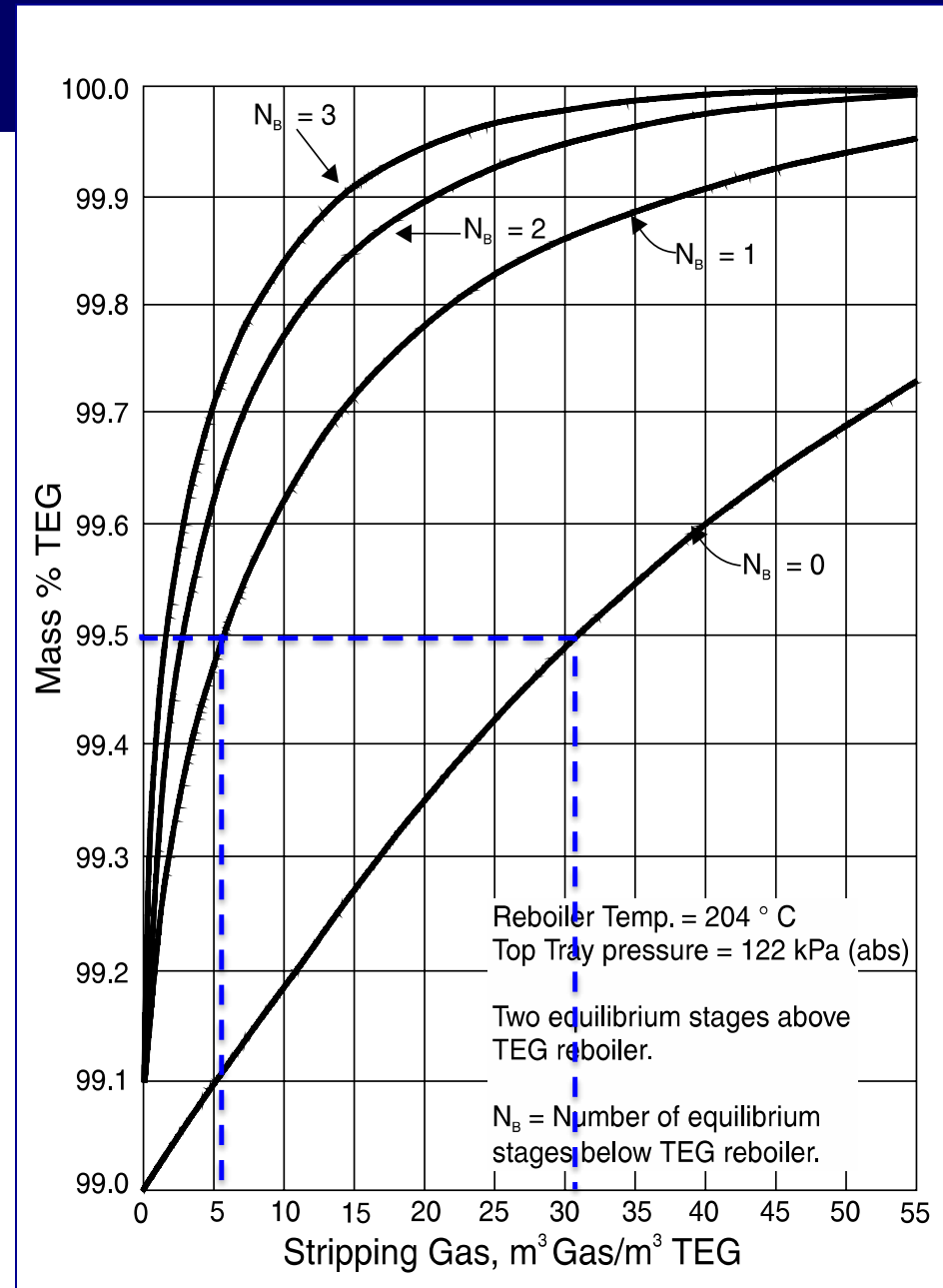
UNIDADES DE TEG

CAUDAL DE GAS DE STRIPPING

El caudal de Gas de Stripping necesario para que a 204 °C se llegue a concentraciones mayores a 98,6 °C, depende del grado de contacto entre el TEG y el Gas de Stripping.

Valores usuales de Gas de Stripping:
15 a 60 Sm³/m³ TEG

Ejemplo: para lograr una concentración de TEG del 99,5%, si el contacto es simple, se requerirán 31 Sm³/m³ TEG. En cambio si se instala una etapa teórica de relleno la cantidad de Gas de Stripping es sólo de 6 Sm³/m³ TEG.



UNIDADES DE TEG

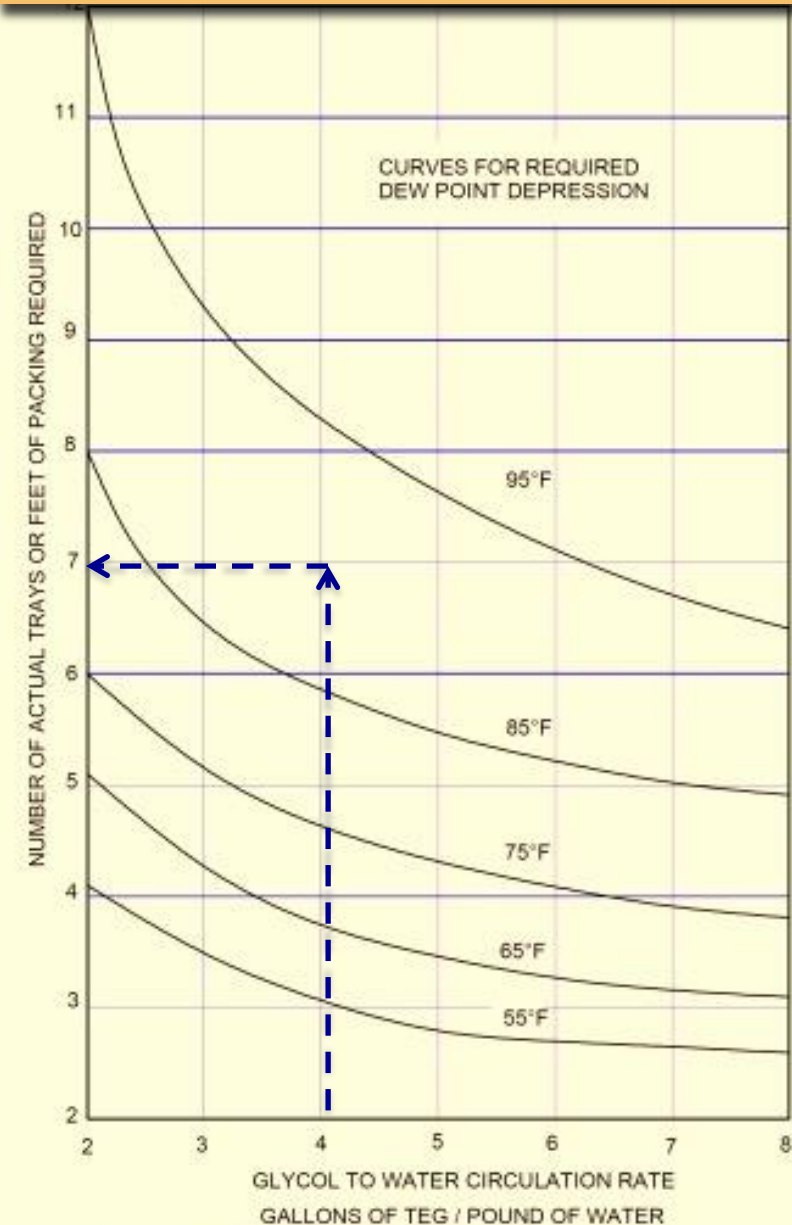
Cantidad de Platos reales o pies de altura de relleno, en función del Caudal de TEG por cantidad de agua removida, y la Depresión de Ajuste de Punto de Rocío de Agua
(Fuente: Sivalls)

Ejemplo: Determinar la cantidad de platos para deshidratar un gas de 40°C, hasta un punto de rocío de agua de -10°C (65mg/Sm³ @ 55 bar(a)), con un caudal de TEG de 4 gal / lbH₂O removida.

t gas: 40 °C
t rocío esp: - 10 °C
Depresión pto rocío: 50 °C = 90 °F
W_{TEG} : 4 gal / lbH₂O

Platos Requeridos: 7 (siete)

PLATOS O RELLENOS REQUERIDOS



NOTE: Graph is based on a contact efficiency of 33%.

UNIDADES DE TEG: Parámetros de Diseño de los Equipos

- **Separador de entrada:**
 - condiciones del gas de entrada
- **Columna:**
 - Condiciones del gas de entrada
 - Caudal y concentración de glicol
 - Tipos de internos (Platos o relleno)
 - Eficiencia de los platos
 - Plato chimenea
- **Expansor:**
 - vertical/horizontal
 - temperatura de operacion
 - tiempo de residencia del liquido
 - venteos seguros

Deshidratación

UNIDADES DE TEG : Parámetro de Diseño de los Equipos (cont.)

- **Filtros:**
 - succión de bomba
 - de partículas y carbón activado
- **Intercambiador gas-glicol:**
 - temperatura de aproximación
- **Intercambiador glicol-glicol:**
 - máxima temperatura de bombeo
- **Regenerador:**
 - Condensador
 - Columna despojadora
 - Gas de stripping