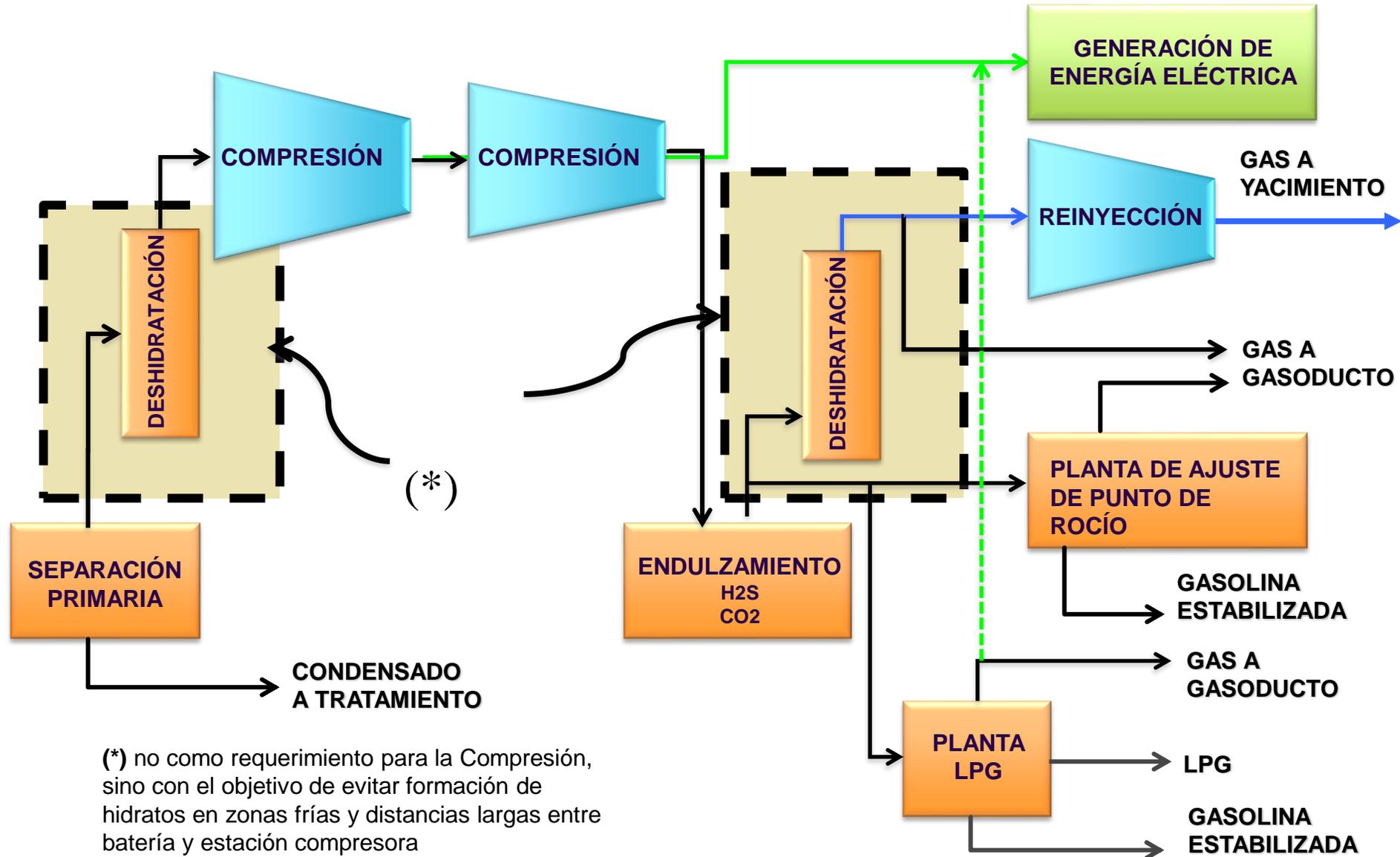


## 4.- DESHIDRATACIÓN

# ESQUEMA TÍPICO DE PROCESAMIENTO



(\*) no como requerimiento para la Compresión, sino con el objetivo de evitar formación de hidratos en zonas frías y distancias largas entre batería y estación compresora

## Objetivos de la Deshidratación

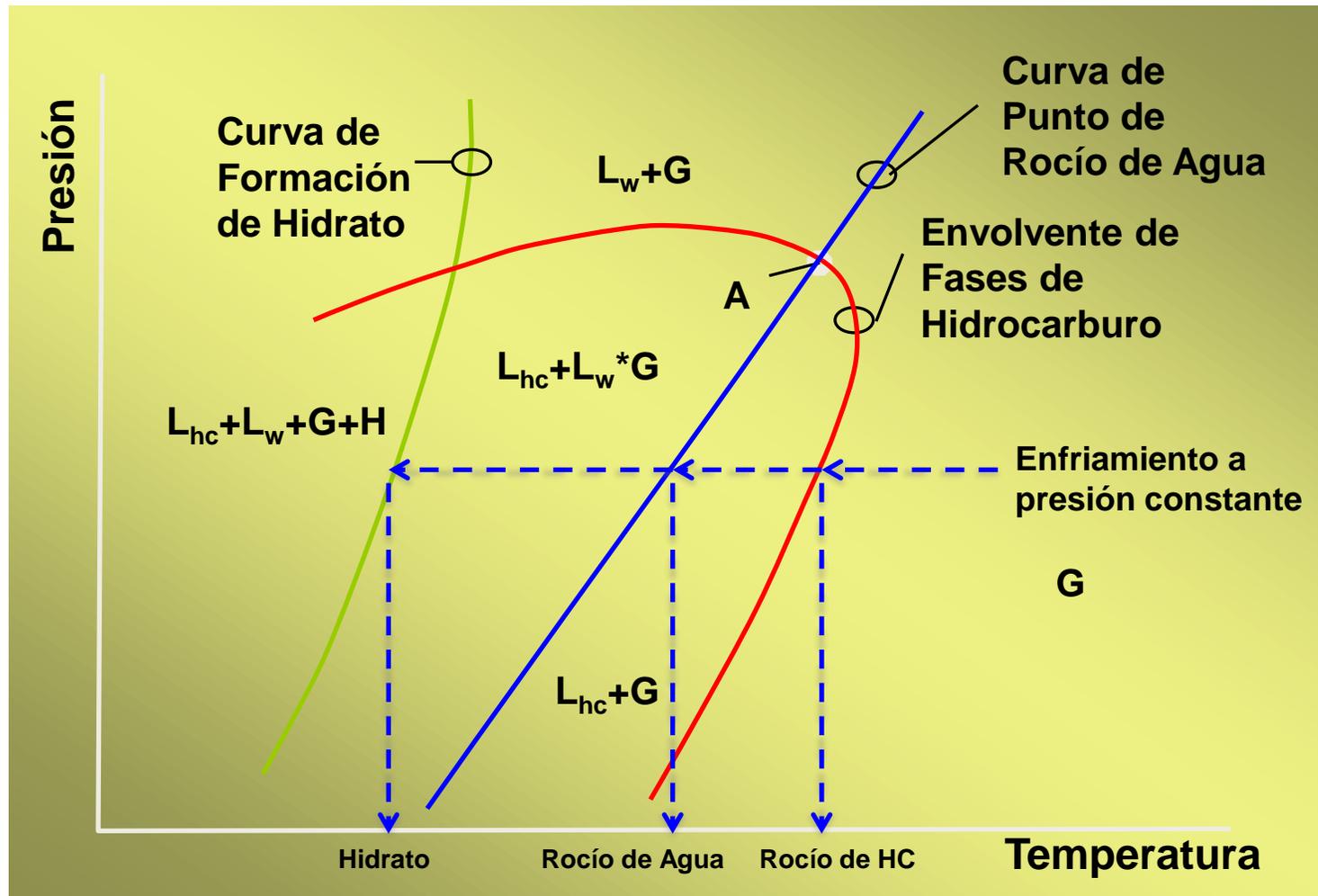
- **Cumplir con los requerimientos de transporte por gasoducto**
- **Cumplir con los requerimientos del proceso aguas abajo**
- **Prevenir la corrosión**
- **Prevenir la formación de hidratos y/o congelamiento**

## ***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

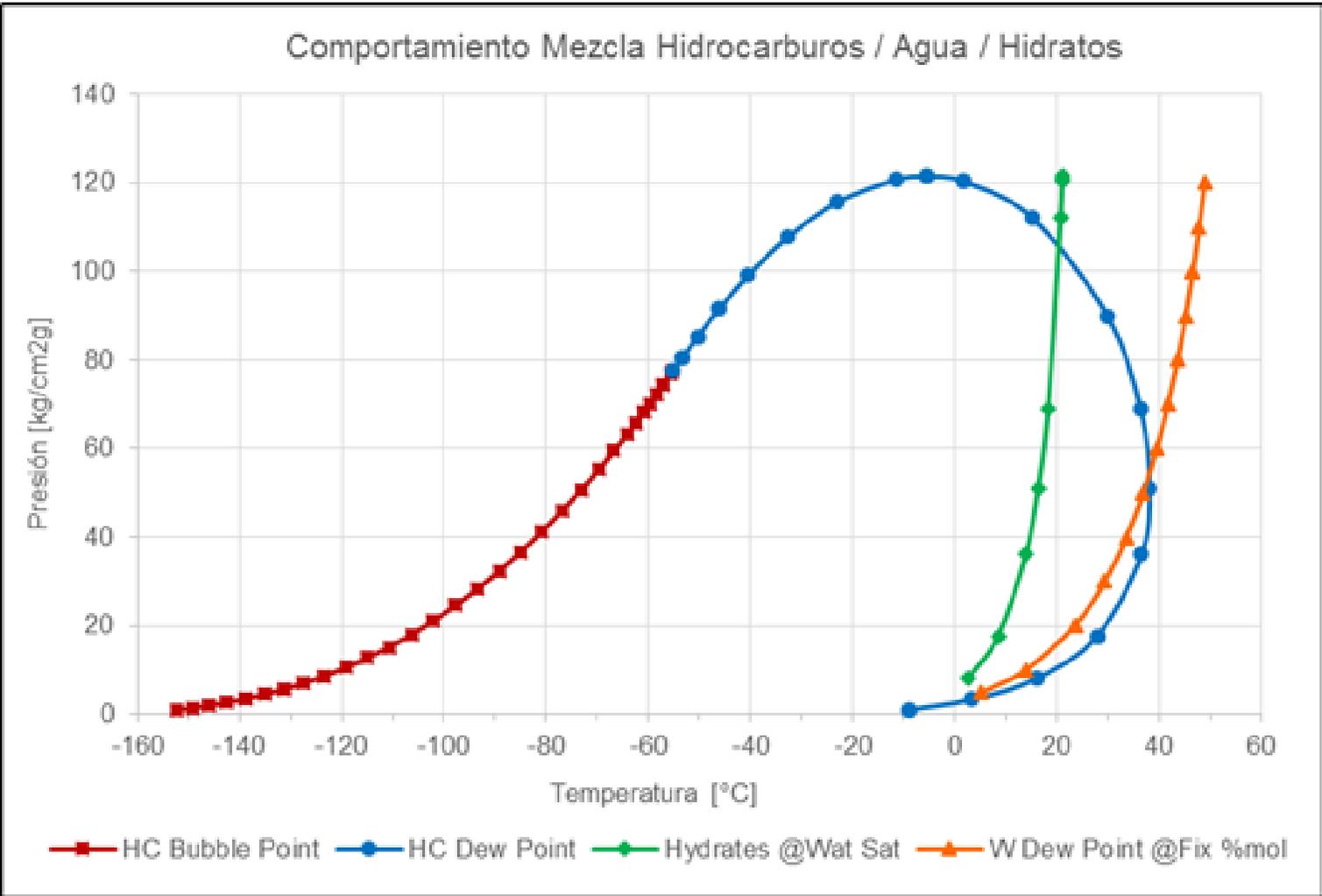
## PUNTO DE ROCÍO DE AGUA E HIDROCARBUROS



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

# Deshidratación

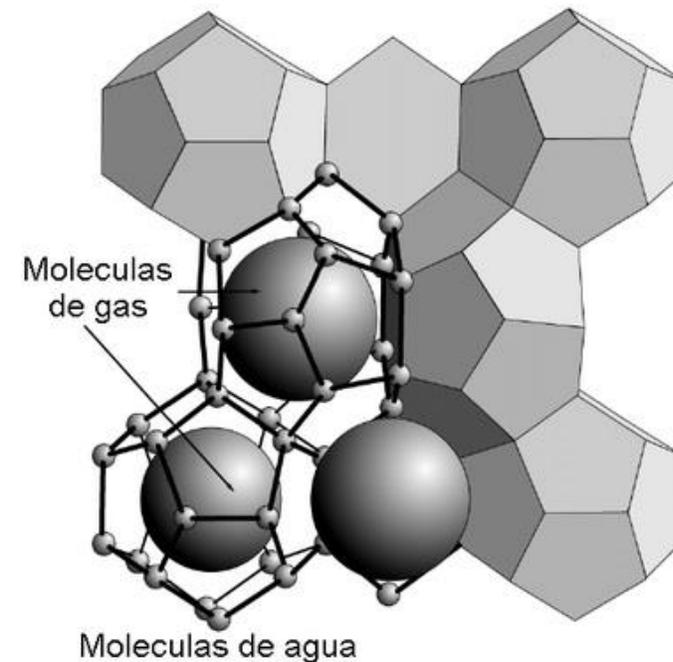
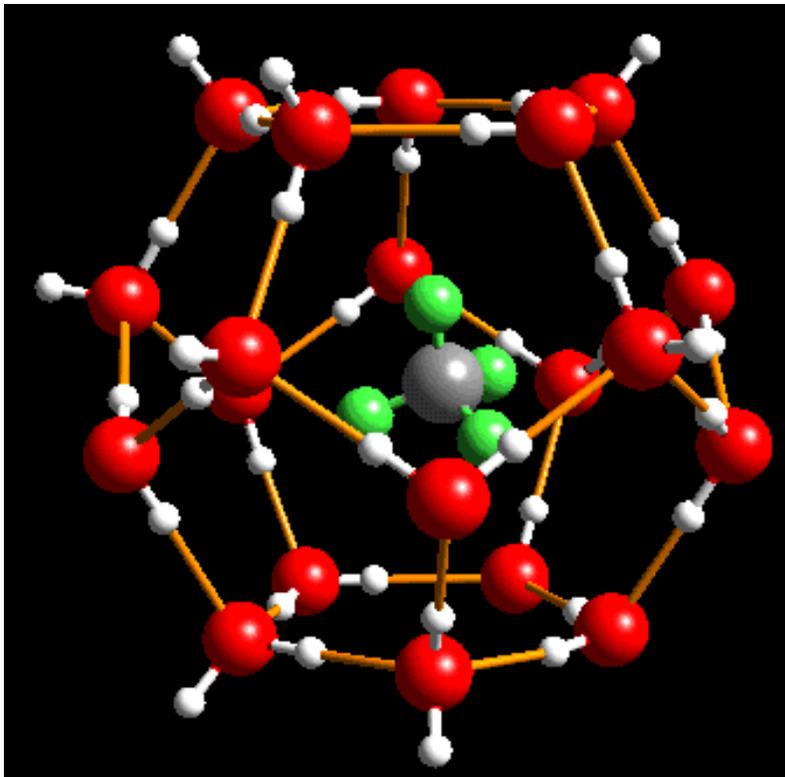
## PUNTO DE ROCÍO DE AGUA E HIDROCARBUROS



# 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***

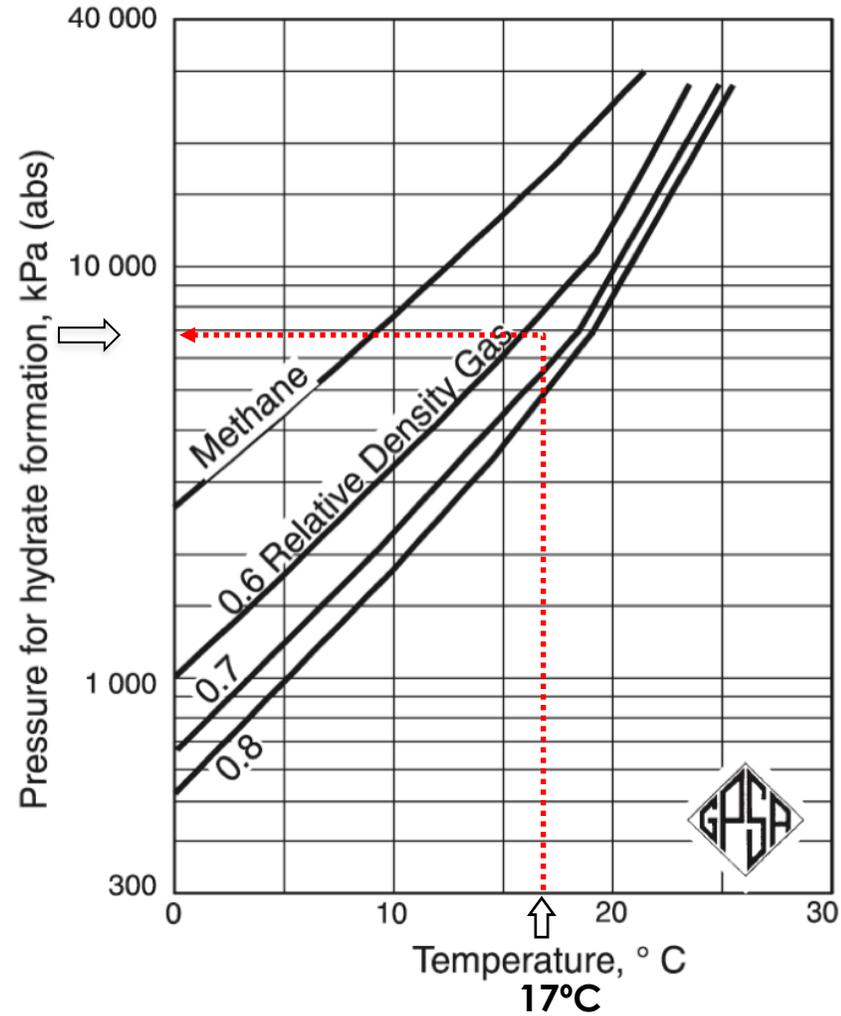
- **CONDICIONES PARA SU FORMACION:**
  - Agua libre ( ej.  $5\frac{3}{4}$  H<sub>2</sub>O:CH<sub>4</sub>, 17 H<sub>2</sub>O:C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)
  - Temperaturas menores que la de formación de hidratos a la correspondiente presión de operación (Bajas Temperaturas - Altas Presiones)
  
- **FACTORES 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)**

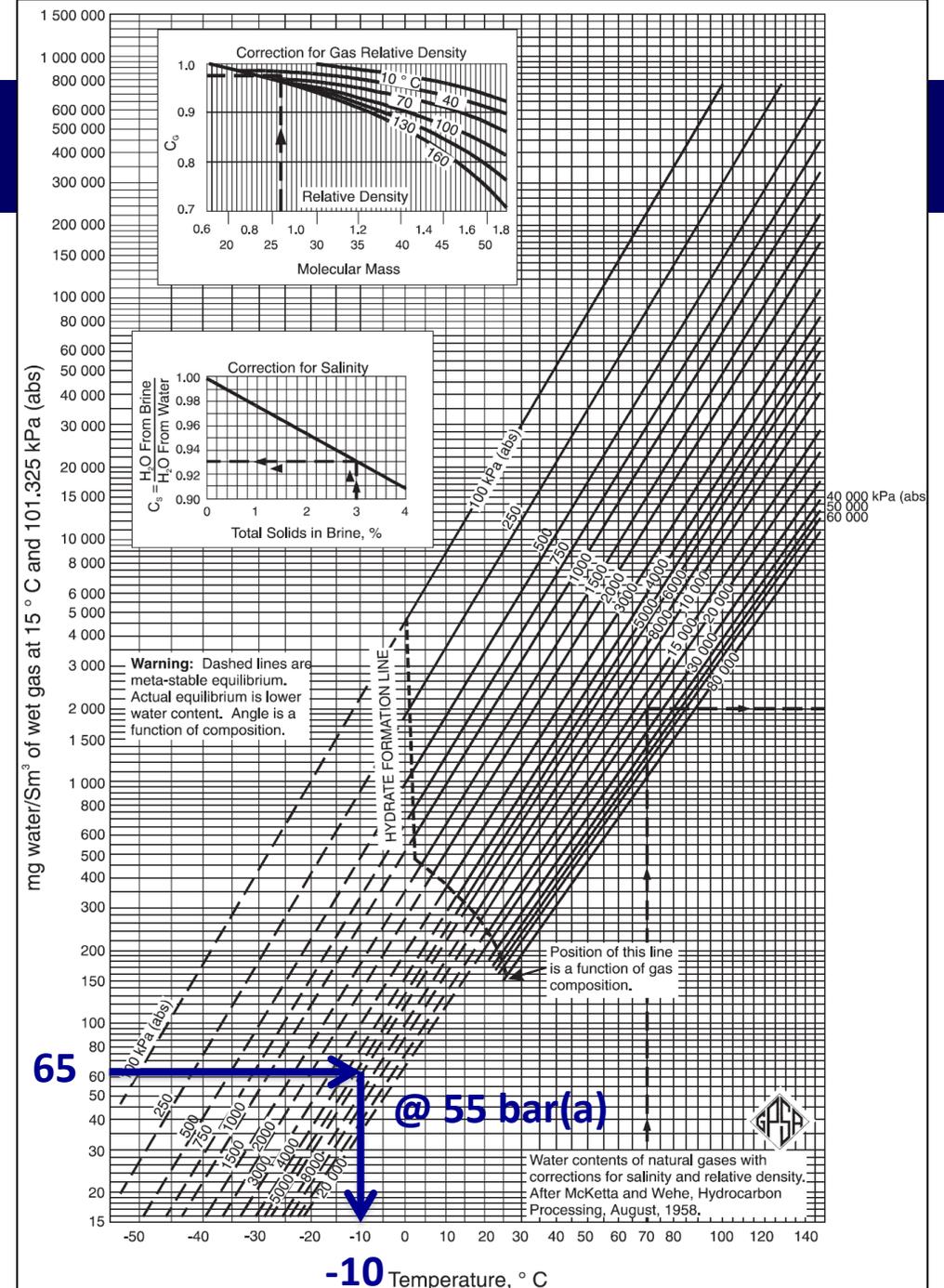
↑P ⇒ ↓ contenido de agua

↑T ⇒ ↑ contenido de agua

↑SG ⇒ ↓ contenido de agua

La presencia de **gases ácidos** (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) incrementa el contenido de agua de saturación.

La presencia de **N<sub>2</sub>** 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 / Sm<sup>3</sup> )***

	<b>Metano</b>	
	<b>20°C</b>	<b>40°C</b>
<b>1 bara</b>	<b>17519</b>	<b>55797</b>
<b>20 bara</b>	<b>949</b>	<b>2987</b>
<b>70 bara</b>	<b>336</b>	<b>1021</b>

### ***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 <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	HOC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH	HOC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O- <del>CH<sub>2</sub></del> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH	HO(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>2</sub> - <del>CH<sub>2</sub></del> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 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*

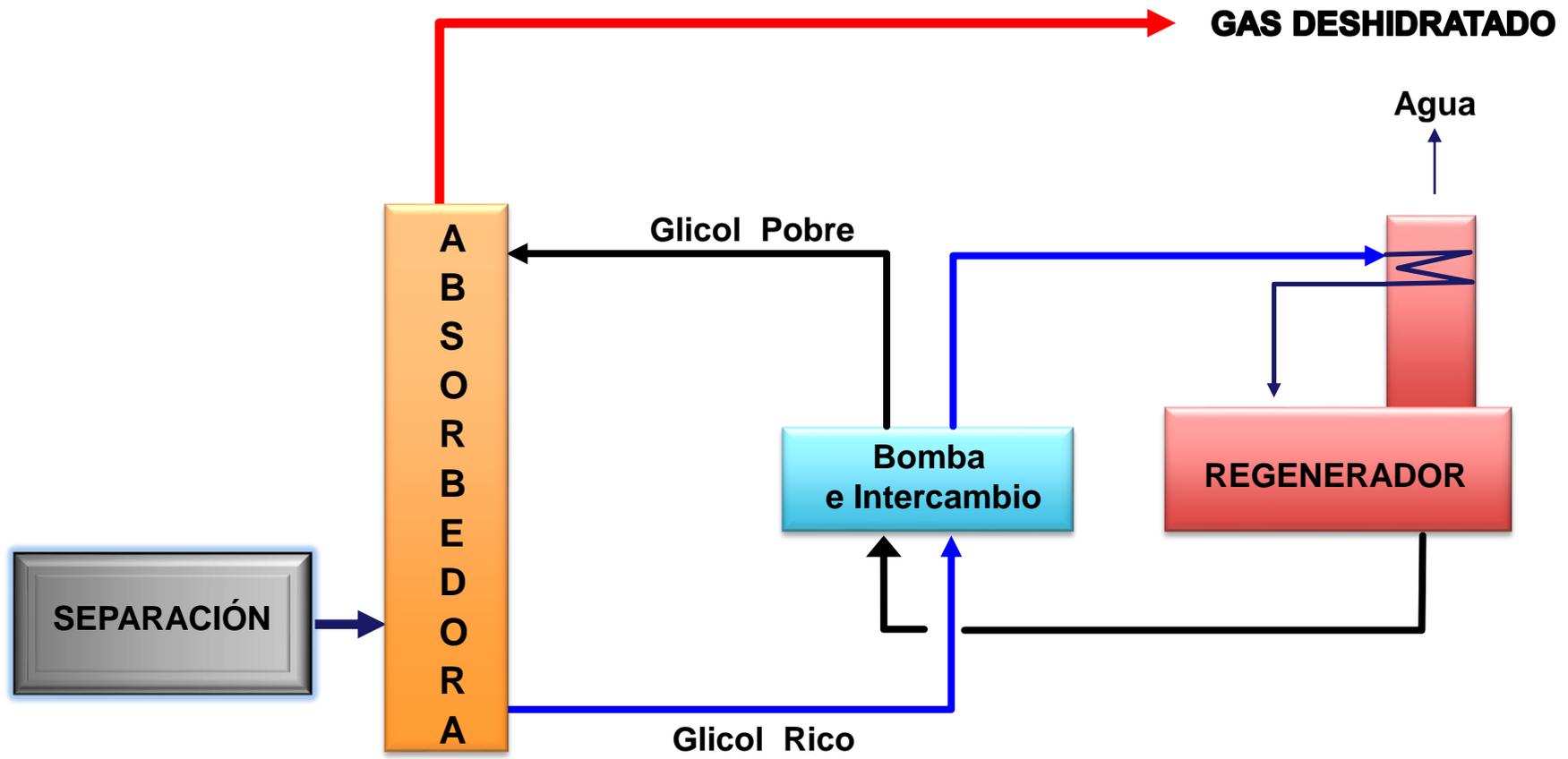
### – Absorción

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

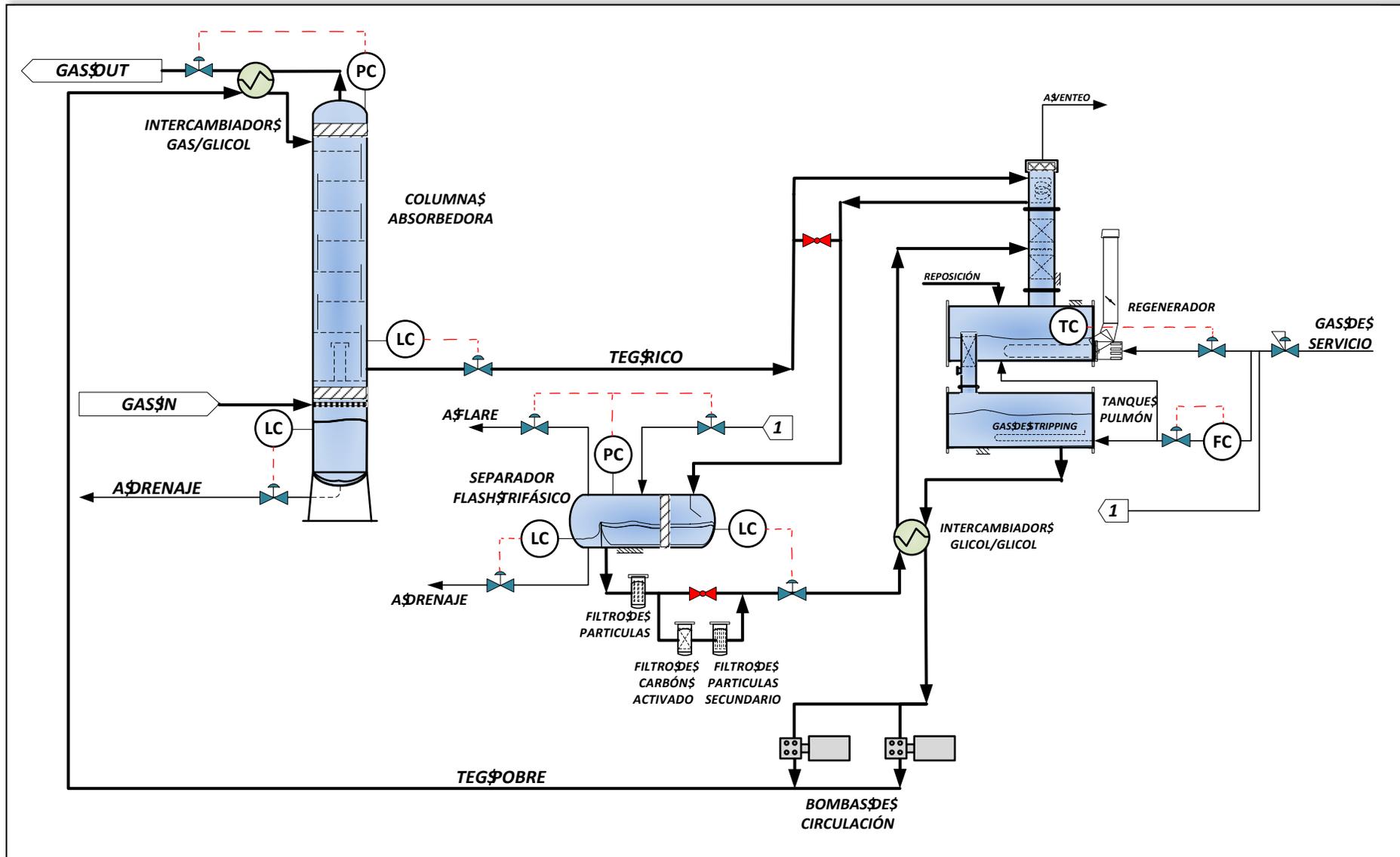
### – Regeneración

- 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



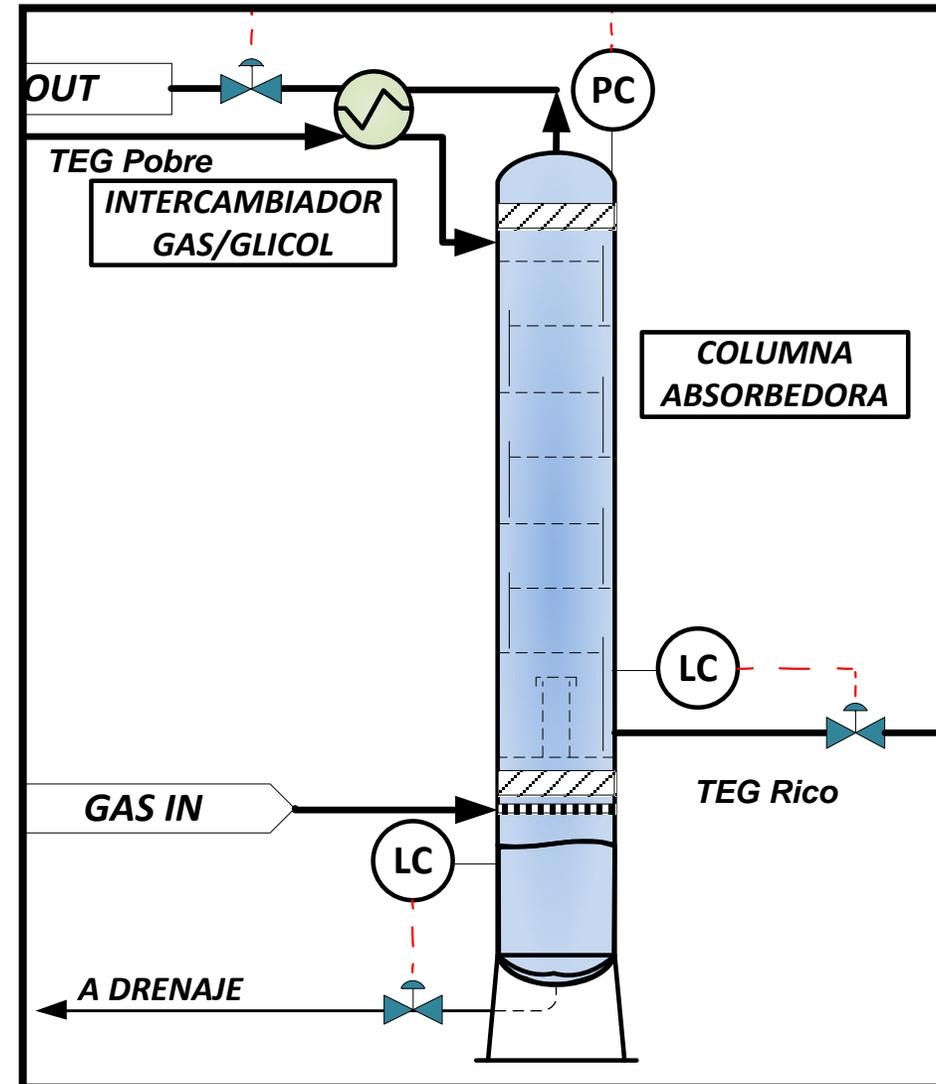
## UNIDADES DE TEG

### Absorción:

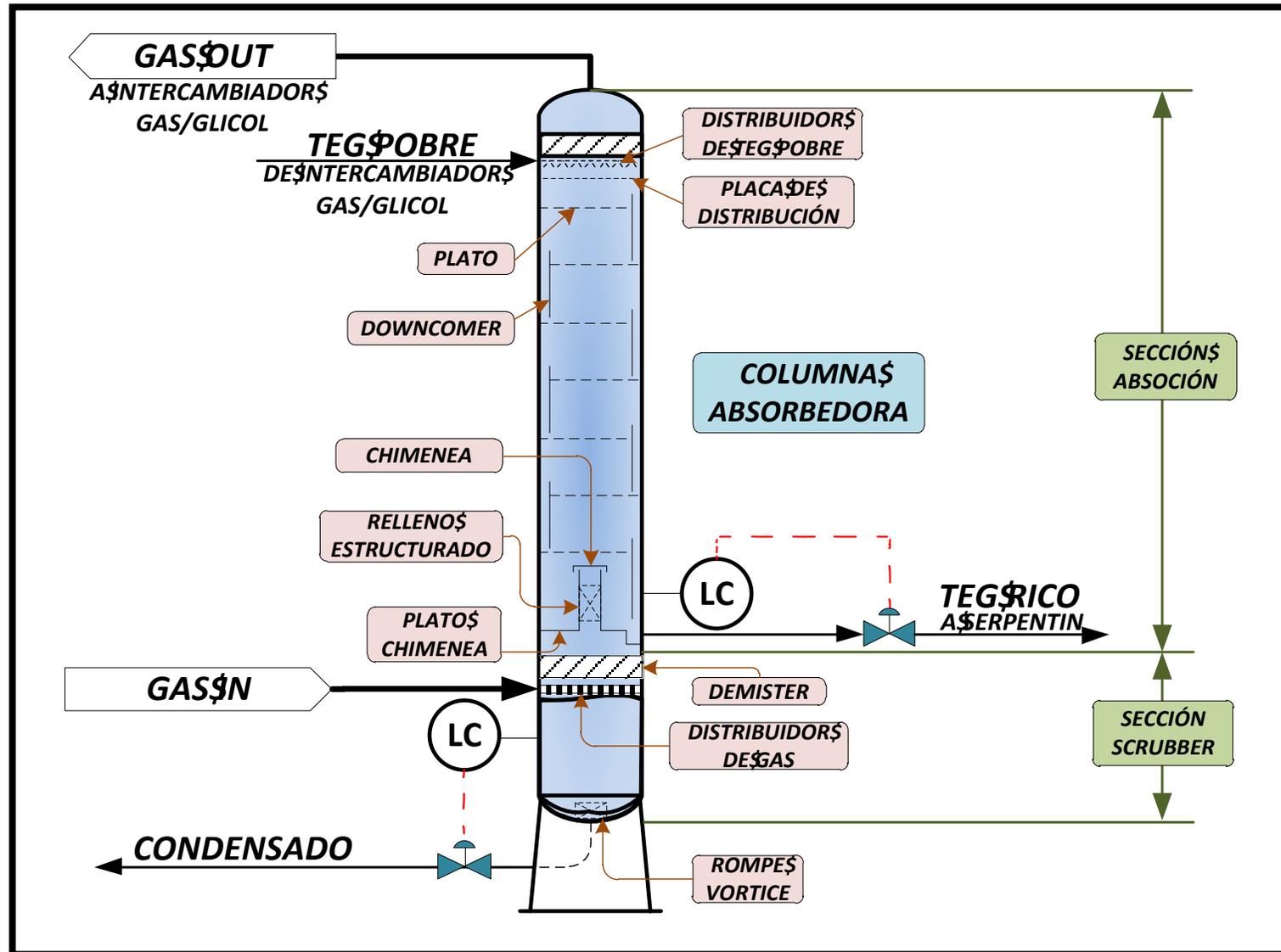
El gas saturado en agua asciende por la **Columna Absorbedora** y se contacta con una corriente descendiente de **TEG "pobre"** en agua (o sea TEG concentrado, con alto poder de absorción).

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.

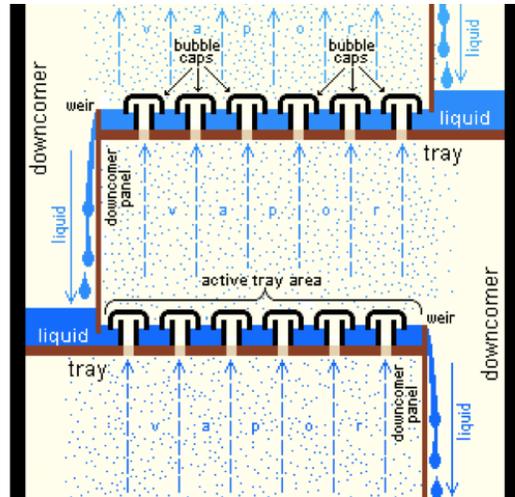


# UNIDADES DE TEG – Columna Absorbadora



# UNIDADES DE TEG – Internos de Columna Absorbedora

## Columna de Platos (campanas)



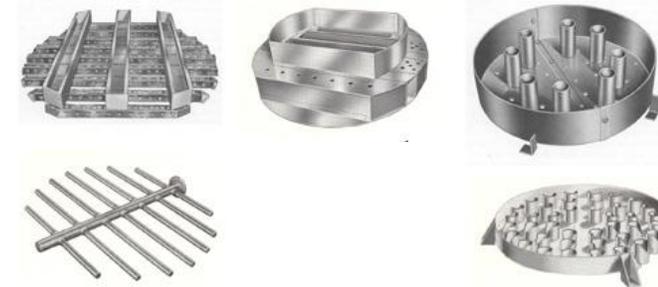
## Columna Rellena



**Relleno desordenado**



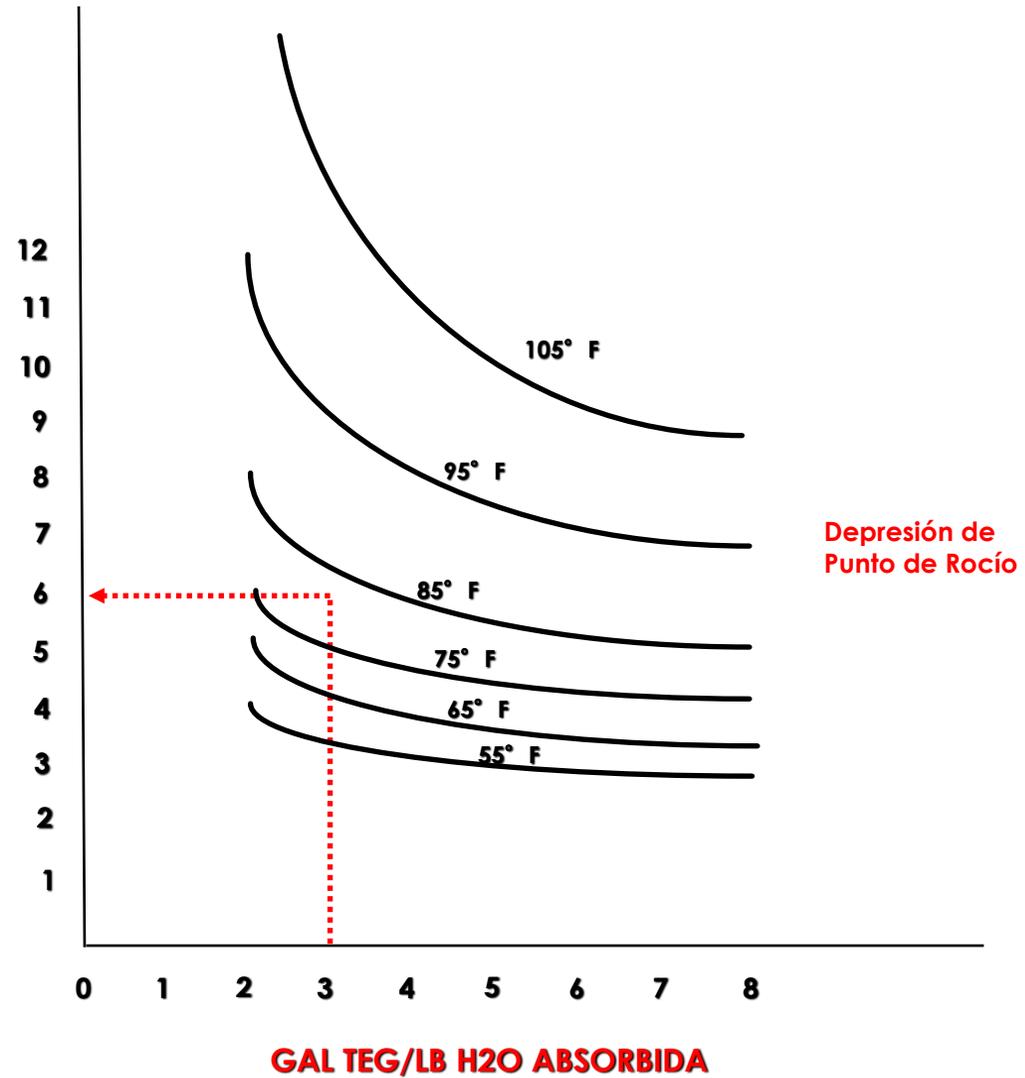
**Relleno ordenado**



**Distribuidores**

# PLATOS O RELLENOS REQUERIDOS

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

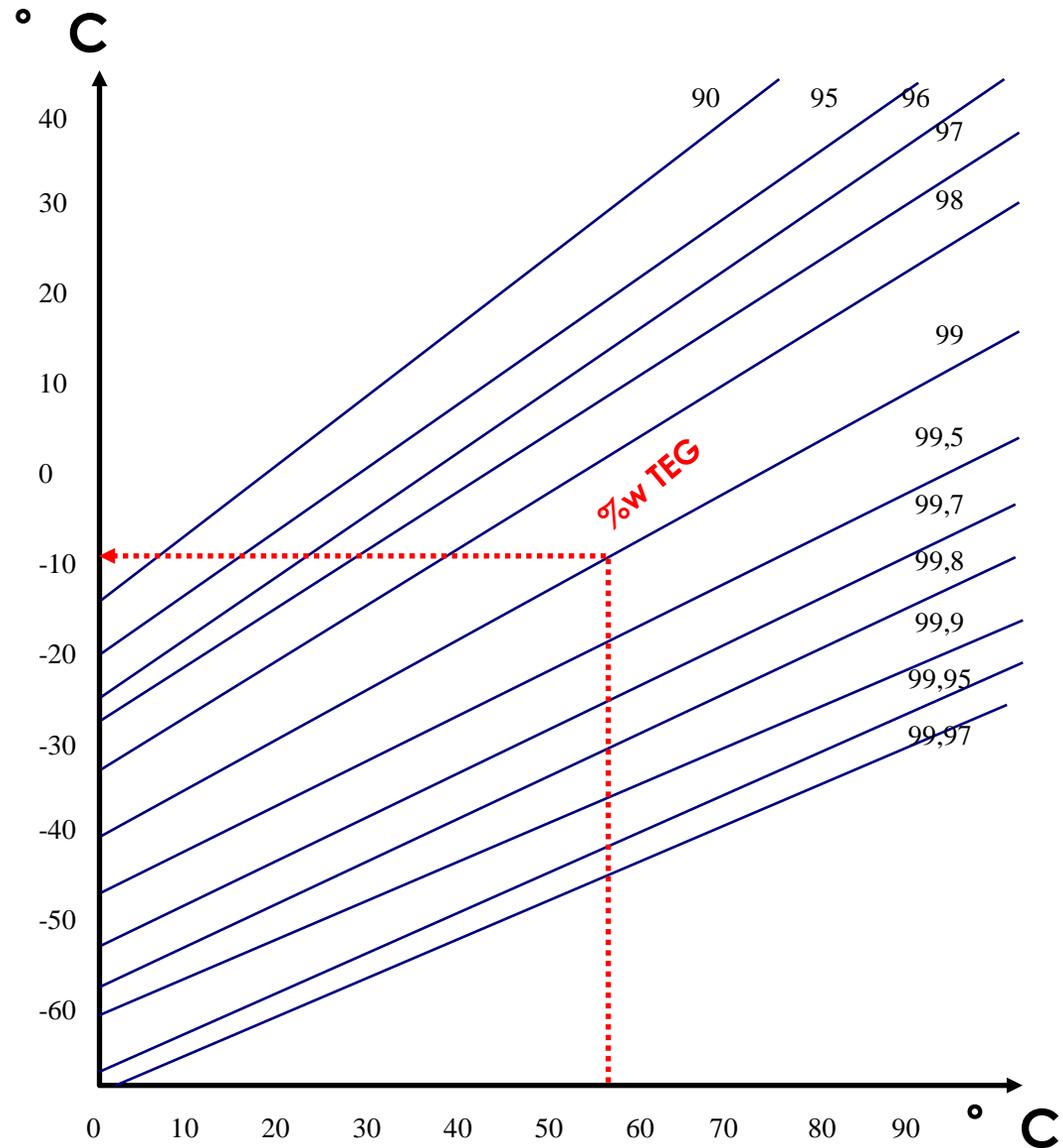


**Depresión de  
Punto de Rocío**

**GAL TEG/LB H2O ABSORBIDA**

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

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



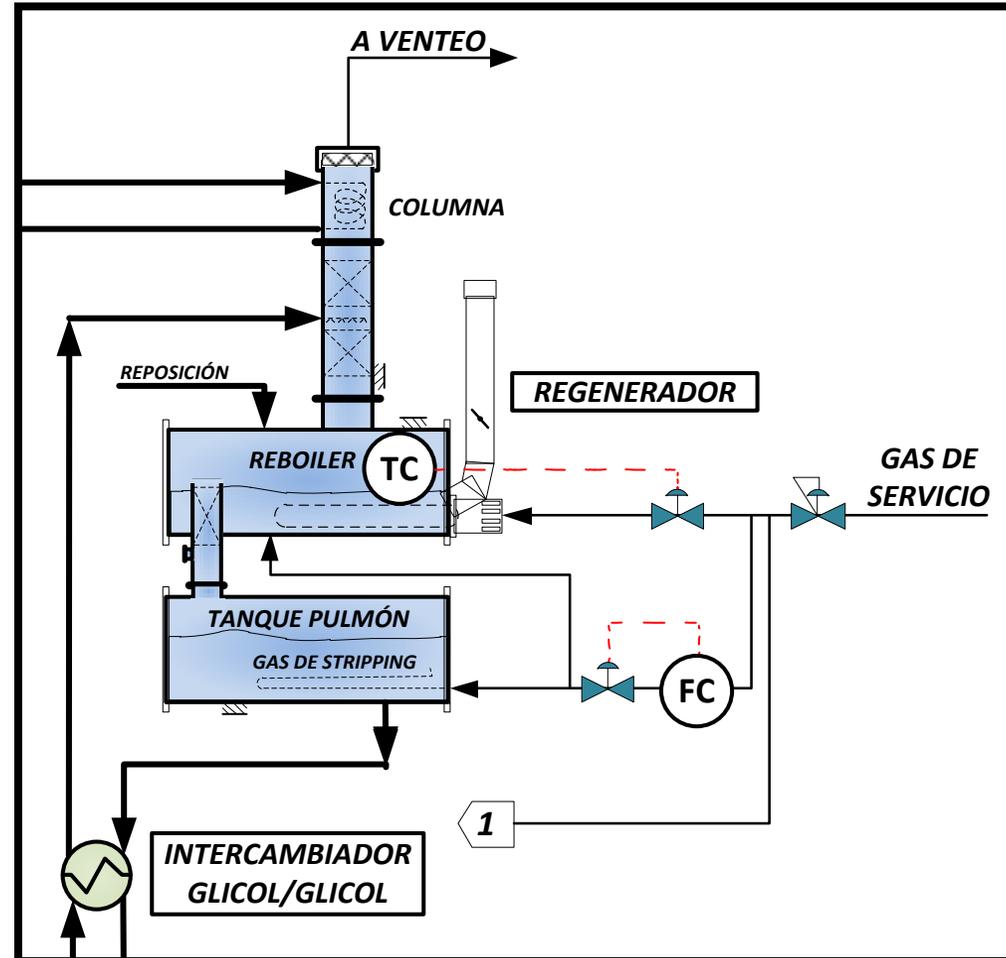
## UNIDADES DE TEG

### 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



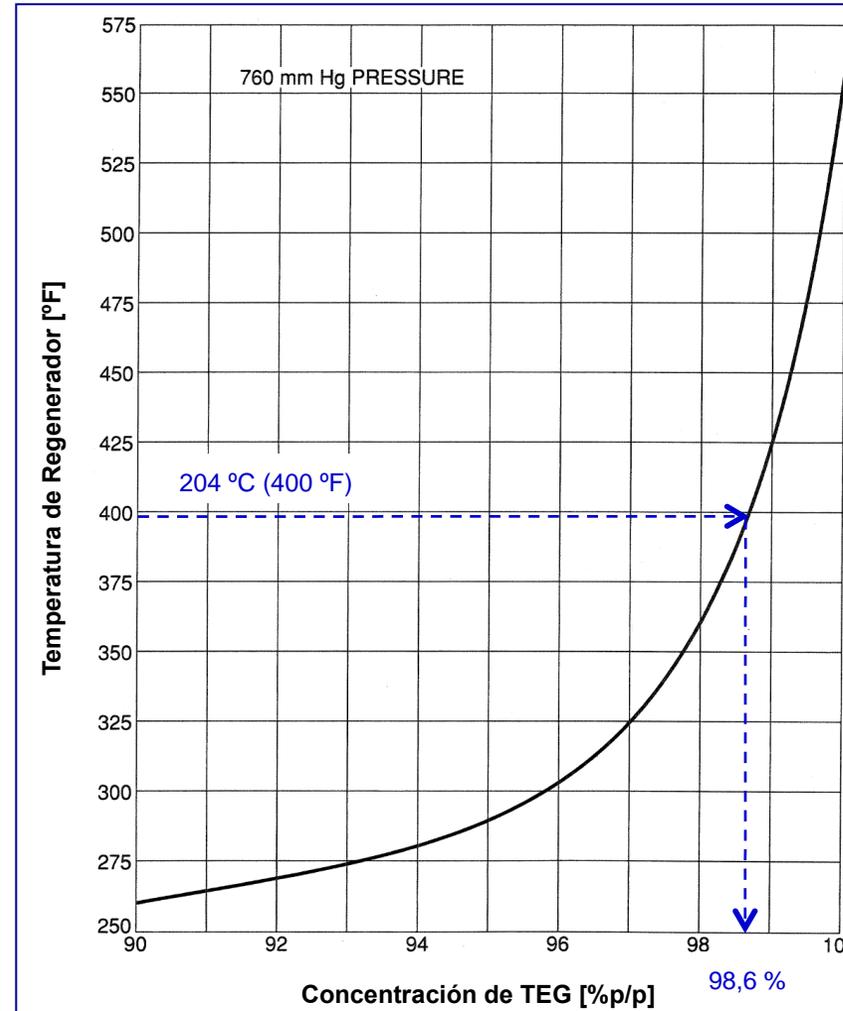
## UNIDADES DE TEG – Regeneración (cont.)

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

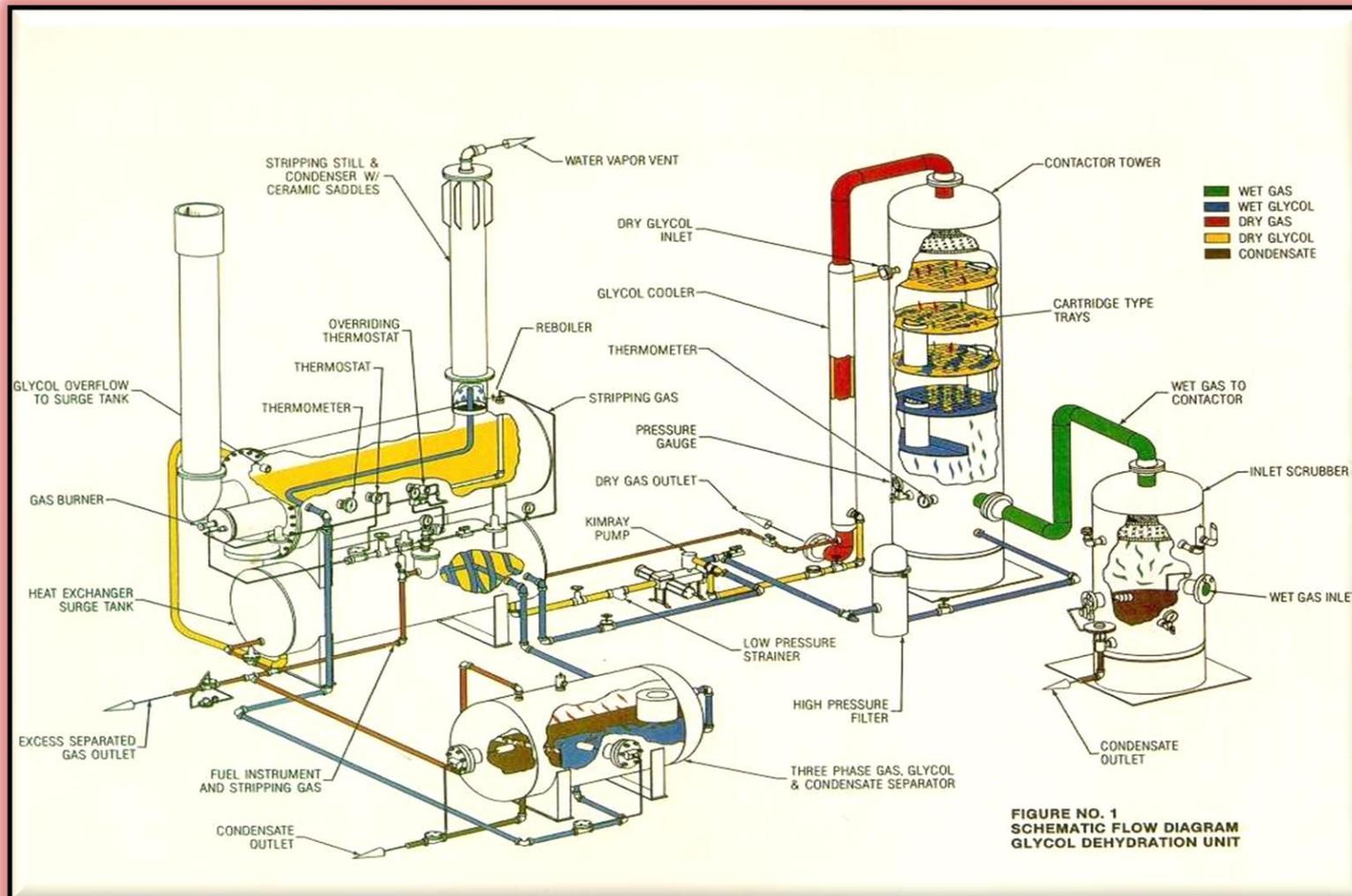
Pero nunca debe ser superior a la temperatura de descomposición (207 °C). **Se debe operar por debajo de los 204 °C (400°F)**

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*



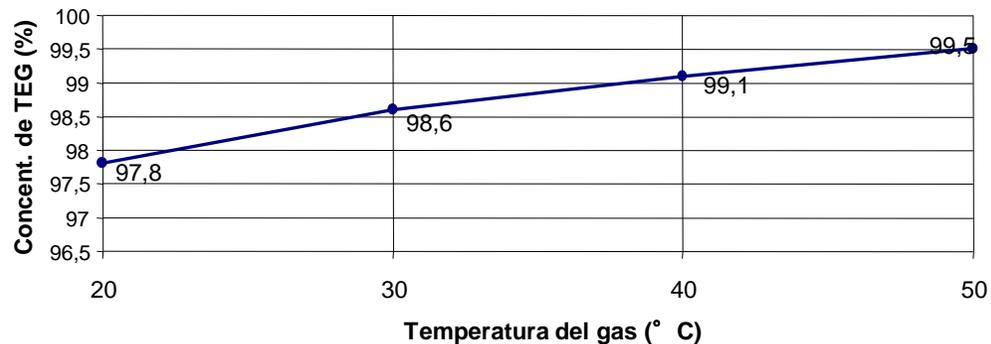
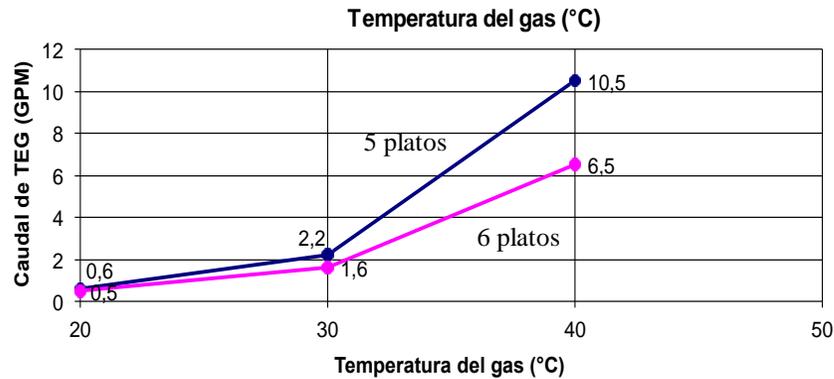
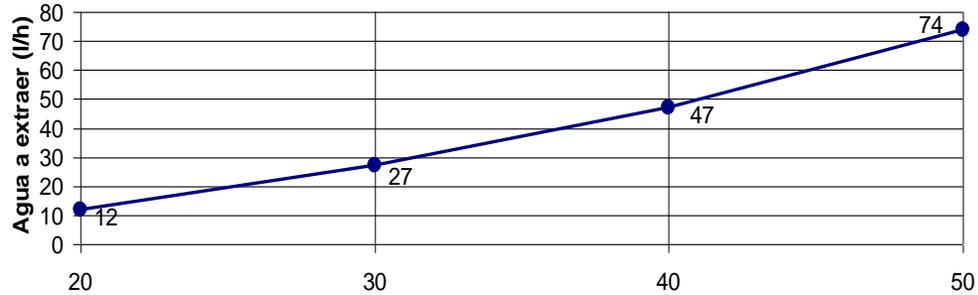
## ***UNIDADES DE TEG: Diseño y Operación***

- **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/cm<sup>2</sup> (abs)**

**Agua a la salida: 65mg/Sm<sup>3</sup>**

## 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**

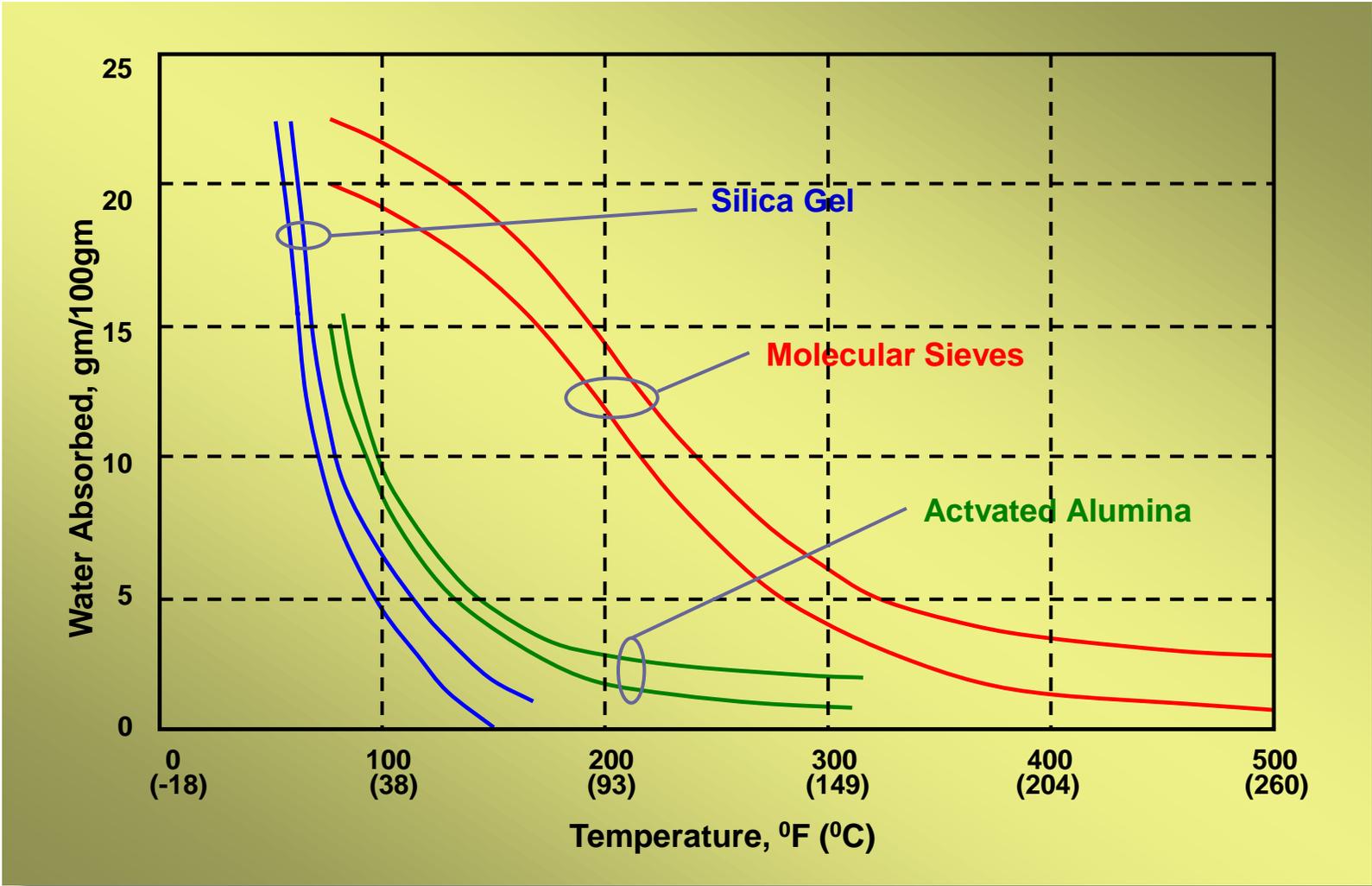
Del agua contenida en el gas por circulación a través de un lecho sólido adsorbente, en un recipiente a presión.

- **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/pie<sup>3</sup>)</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  $-60^{\circ}$  C (sílica gel)
  - Hasta  $-73^{\circ}$  C (alúmina)
  - Hasta  $-100^{\circ}$  C (tamices moleculares)  
**Contenido de agua**
  - $< 0.1$  ppm



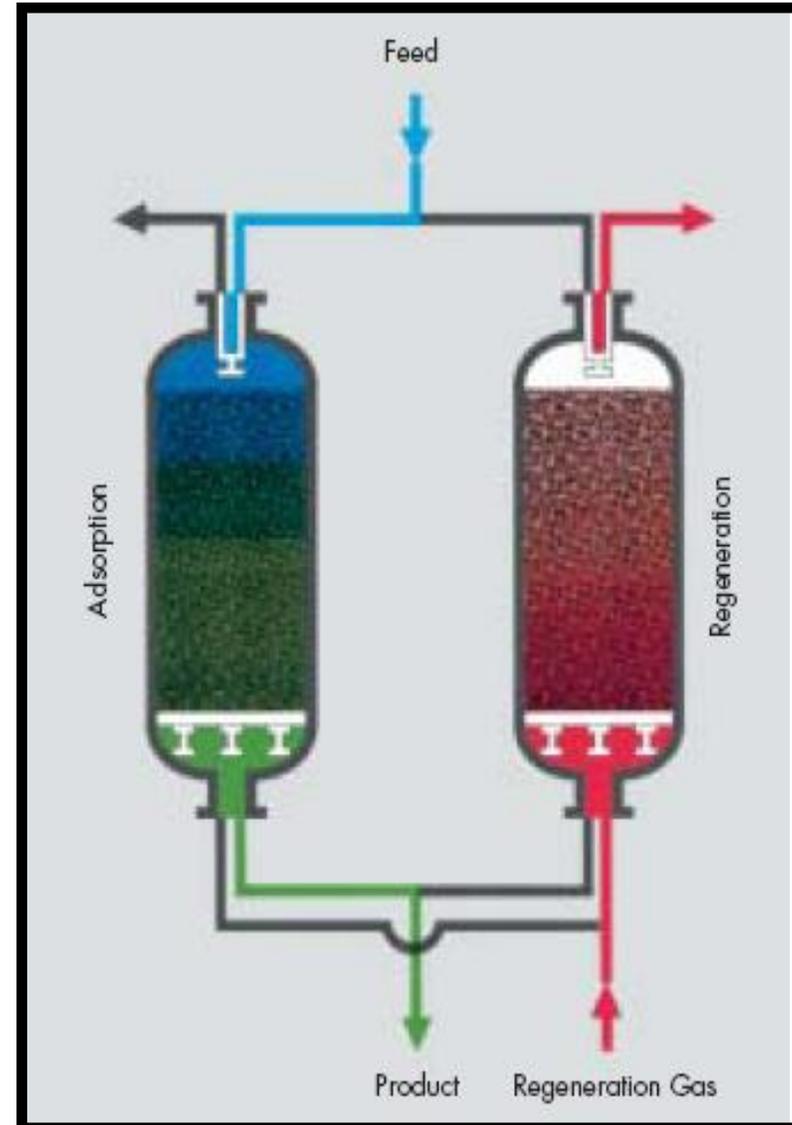
# Deshidratación

## *ADSORCIÓN*

Esquema de 2 lechos:

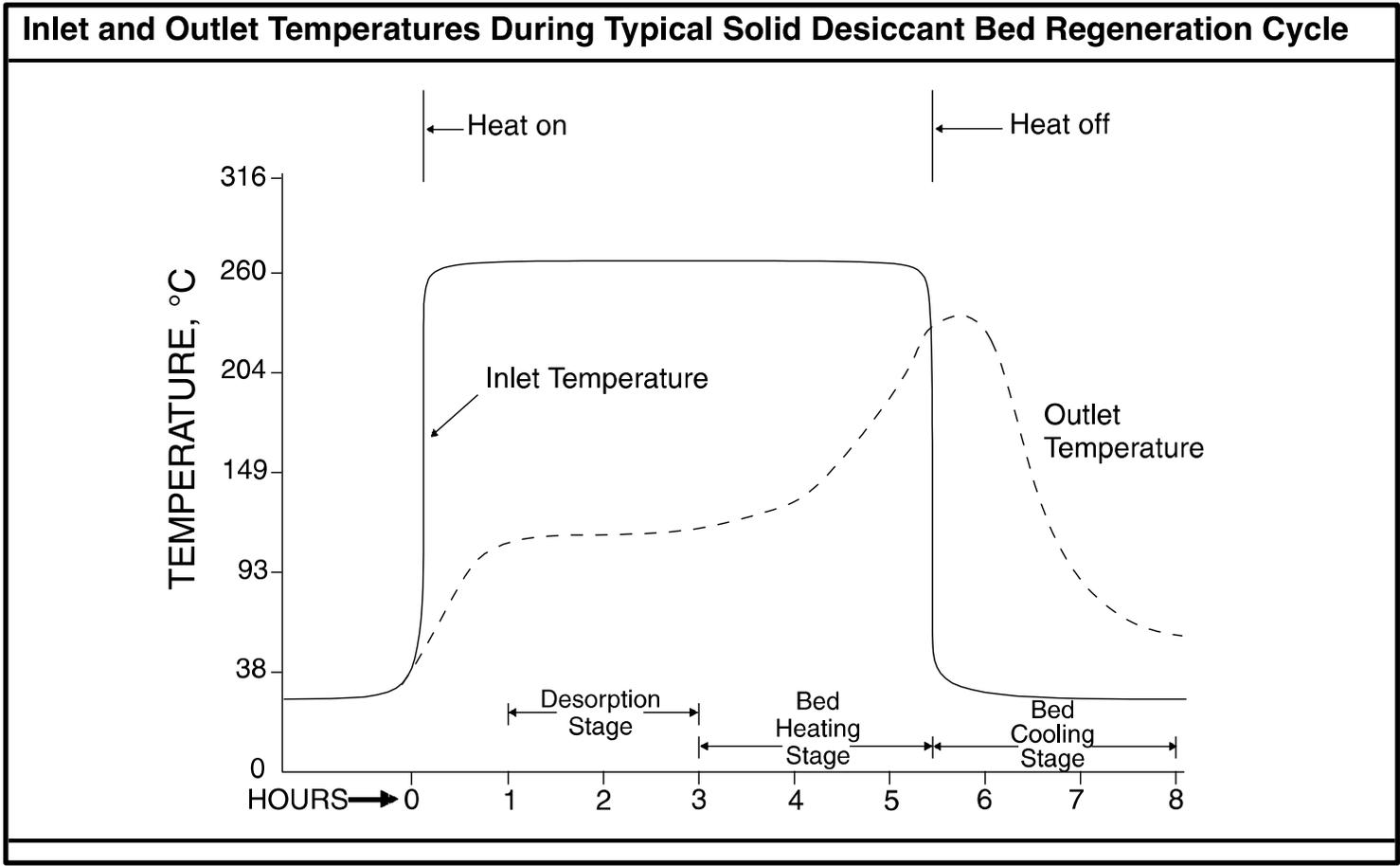
1 en Adsorción  
(flujo descendente)

1 en Regeneración  
(flujo ascendente)



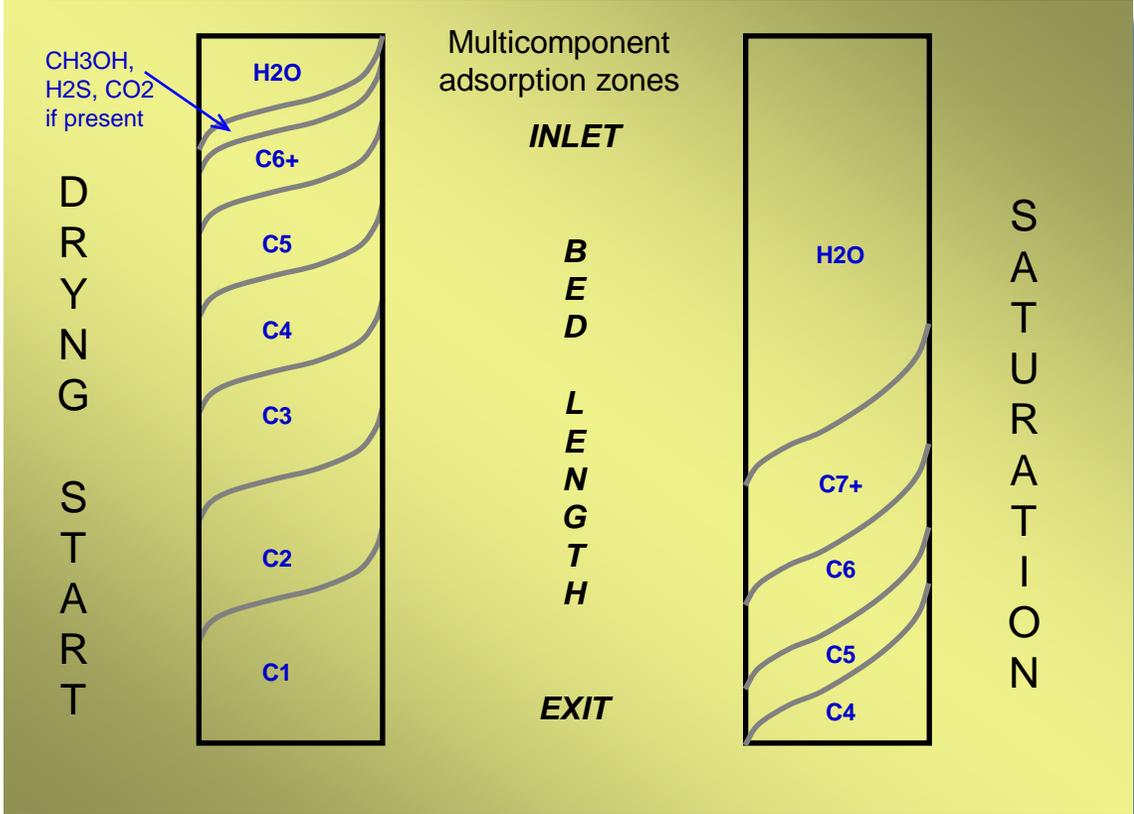
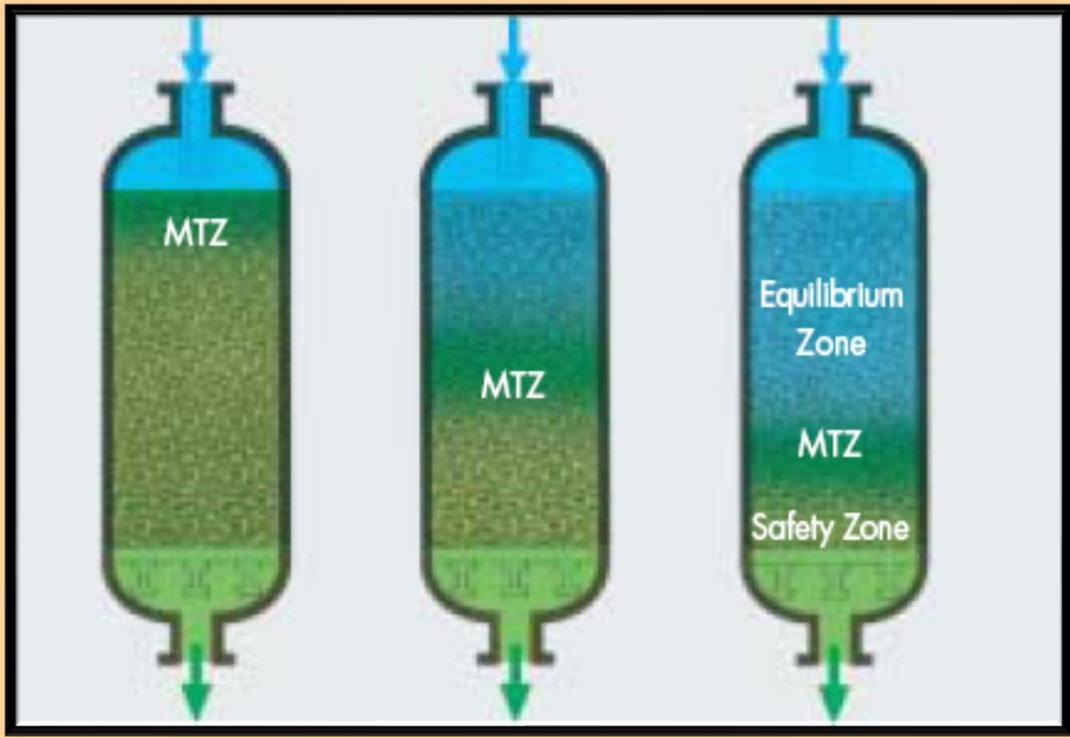
# Deshidratación

## *ADSORCIÓN: Ciclo de Regeneración*

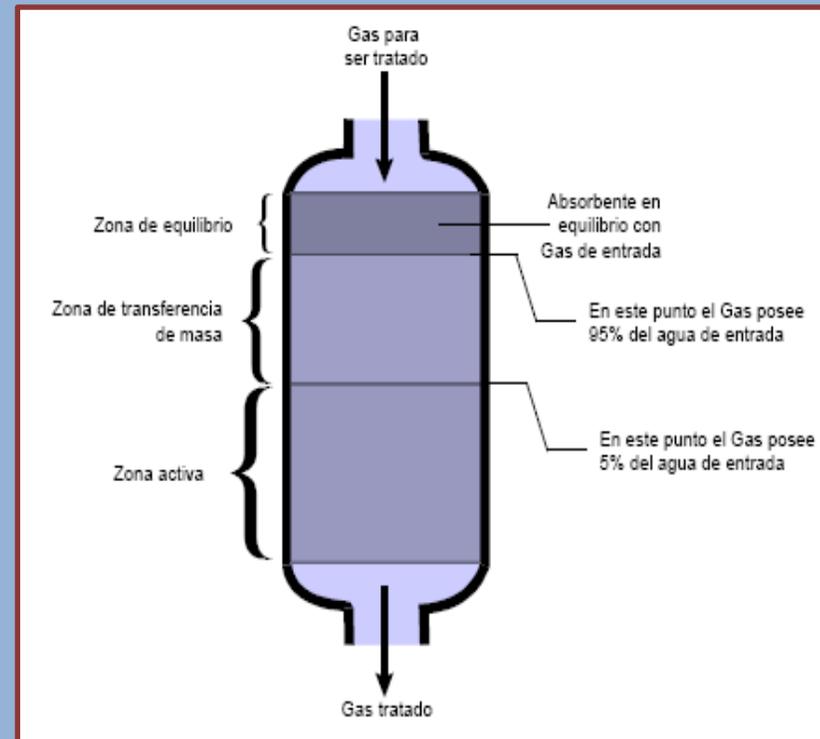
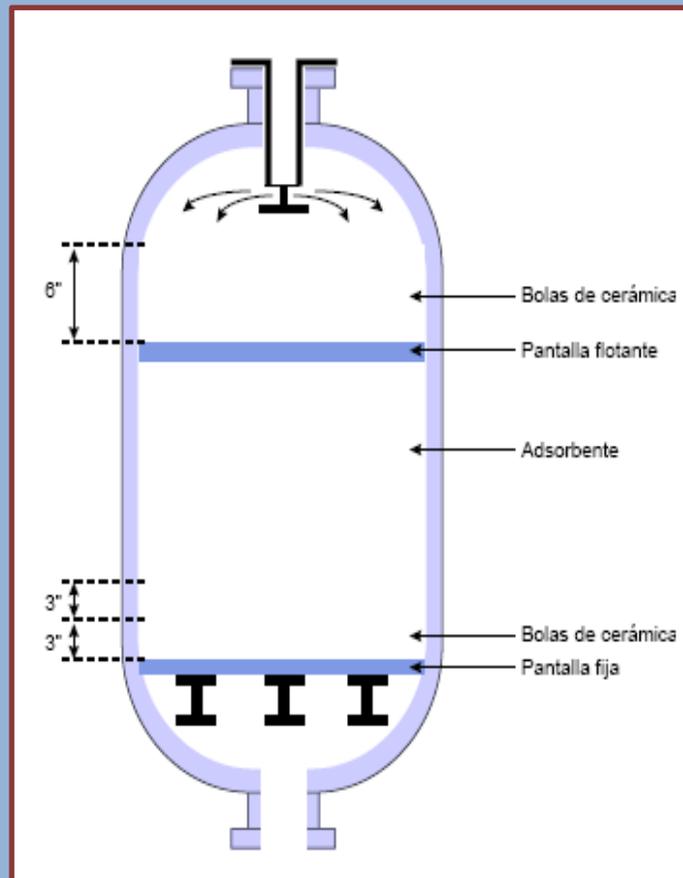


# Deshidratación

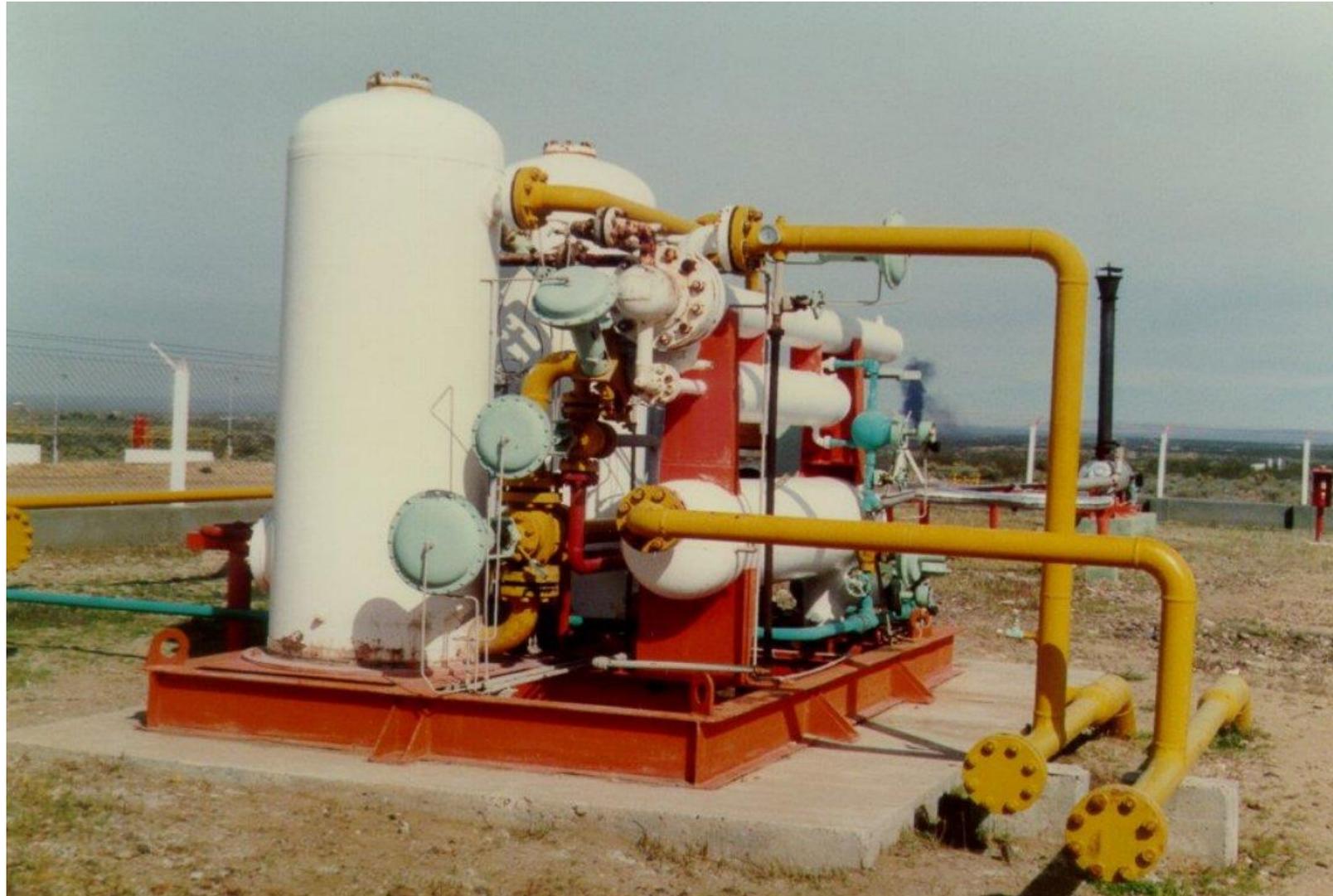
## ADSORCIÓN: Transferencia de masa



# 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 Absorbedora
  - Consideraciones de Diseño de los Equipos

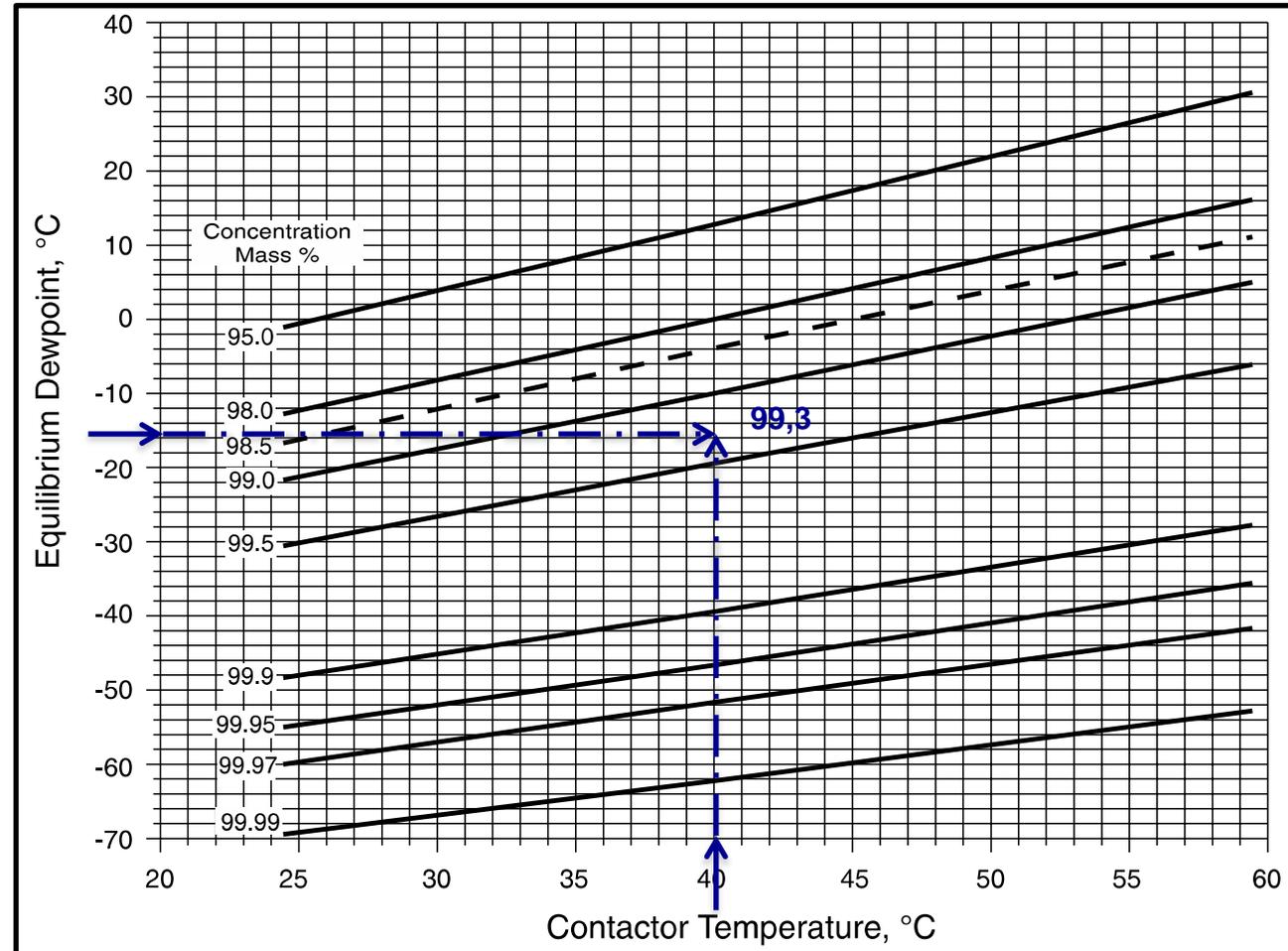
## UNIDADES DE TEG - Caudal y concentración de TEG

**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/Sm<sup>3</sup> @ 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:

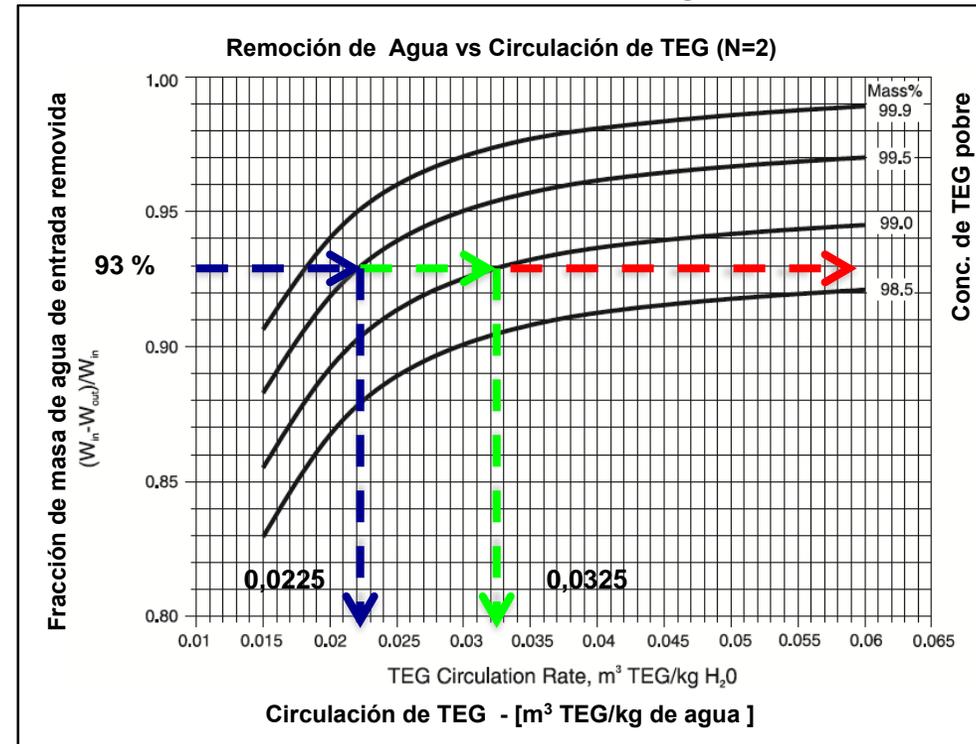
- Caudal de Gas a deshidratar
- Cantidad de Agua que ingresa con el Gas (que será función del Caudal, la Presión y la Temperatura del Gas)
- Cantidad de Agua máxima requerida en el Gas de Salida
- Cantidad de Etapas teóricas (N) de contacto en la Absorbedora

**Rango usual:**

**20 a 35 litros TEG/Kg agua removida (2,4 a 4,2 gal/lbH<sub>2</sub>O)**

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



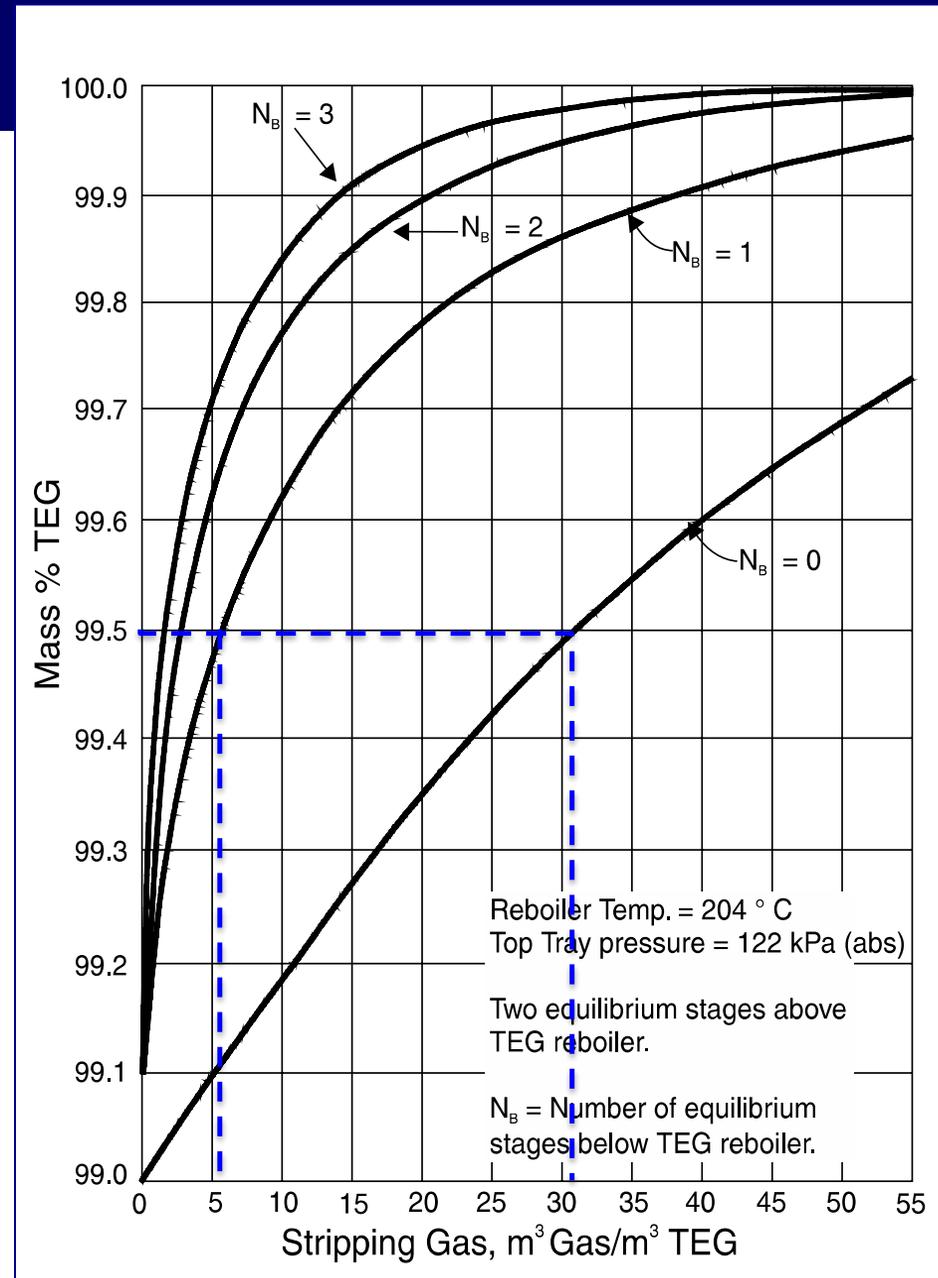
## UNIDADES DE TEG

### 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 Sm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> TEG

Ejemplo: para lograr una concentración de TEG del 99,5%, si el contacto es simple, se requerirán 31 Sm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> TEG. En cambio si se instala una etapa teórica de relleno la cantidad de Gas de Stripping es sólo de 6 Sm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> TEG.



## UNIDADES DE TEG

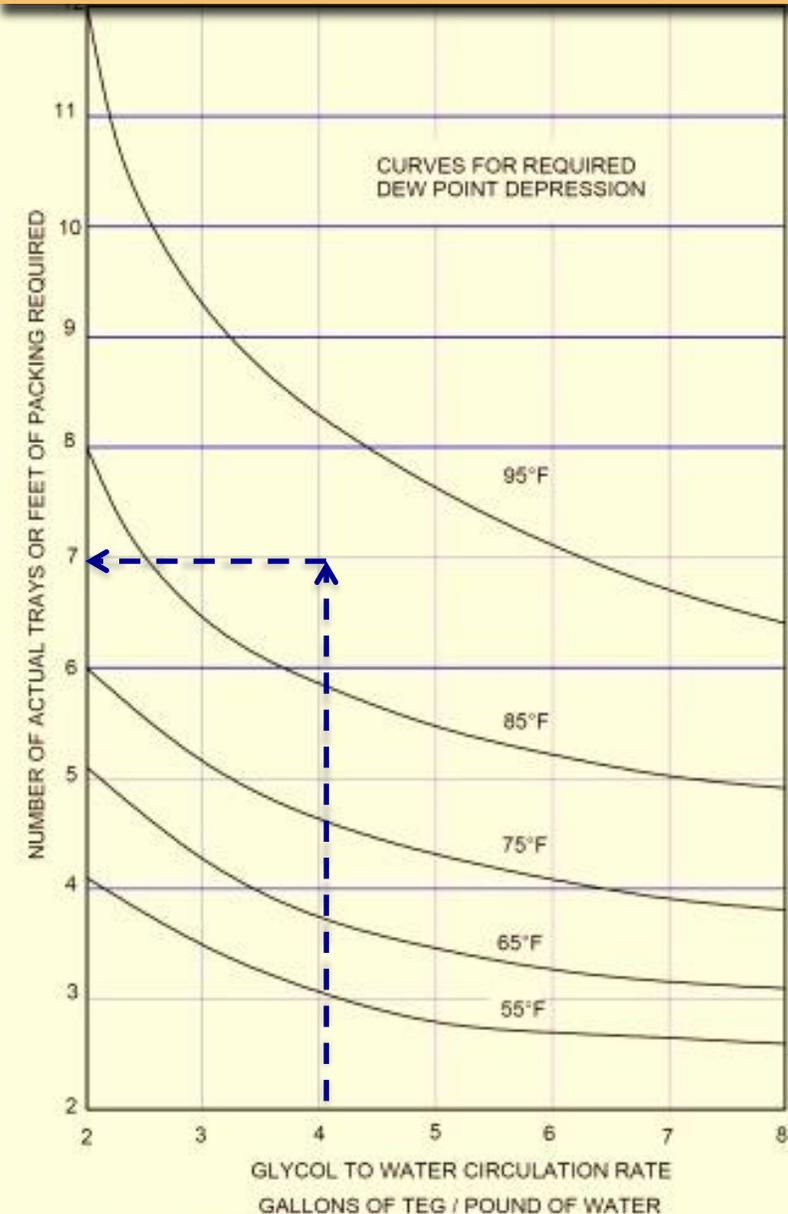
**Cantidad de Platos reales o pies de altura de relleno, en función del Caudal de TEG por cantidad de agua removida, y la Depresión de Ajuste de Punto de Rocío de Agua**  
(Fuente: Sivalls)

**Ejemplo:** Determinar la cantidad de platos para deshidratar un gas de 40°C, hasta un punto de rocío de agua de -10°C (65mg/Sm<sup>3</sup> @ 55 bar(a)), con un caudal de TEG de 4 gal / lbH<sub>2</sub>O removida.

t gas: 40 °C  
t rocío esp: - 10 °C  
Depresión pto rocío: 50 °C = 90 °F  
W<sub>TEG</sub> : 4 gal / lbH<sub>2</sub>O

**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

## ***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