

# Producción de Hidrocarburos en Yacimiento (TA114)



## PROFESOR:

### Carlos Alberto M. Casares

- Ingeniero Químico, ITBA 1983, Especialización en Gas, UBA 1985.
- Más de 40 años de experiencia profesional en la Industria del Gas Natural, realizando tareas técnicas en Gas del Estado S.E. y comerciales en Tecpetrol S.A., en el Directorio del Ente Nacional Regulador del Gas y como Subsecretario de Hidrocarburos y Combustibles (Secretaría de Gobierno de Energía).
- Más de 30 años de desempeño docente como Profesor de Grado y de Postgrado en el ITBA, en el IGPUBA y en el IAPG.
- Integrante de la Comisión de Publicaciones del IAPG.
- Ex Presidente de la Comisión de Transporte y Tratamiento de Gas del IAPG
- Miembro del Subcomité de Calidad de Gas IRAM-IAPG
- Ex Miembro de la Comisión de Mediciones de Gas del IAPG
- Ha escrito trabajos para congresos, seminarios y revistas de la especialidad, y es coautor de un libro sobre aspectos técnicos y económicos del gas natural.
- Actualmente Interventor del ENARGAS

## **ÍNDICE**

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. COMPRESIÓN**
- 3. DESHIDRATACIÓN**
- 4. PLANTAS DE AJUSTE DE PUNTO DE ROCÍO Y RECUPERACIÓN DE GASOLINA**
- 5. SEPARACIÓN DE ETANO Y GAS LICUADO**
- 6. ENDULZAMIENTO**
- 7. SERVICIOS AUXILIARES**
- 8. INSTRUMENTACION Y CONTROL**

## Bibliografía

- Engineering Data Book - GPSA (Gas Processors Suppliers Association), <http://gpsa.gpaglobal.org/databook>
- Petroleum Engineering Handbook, SPE (Society of Petroleum Engineers). Vol III, Facilities and Construction Engineering - <http://petrowiki.org/File%3AVol3FCECover.png>
- Oilfield Processing of Petroleum - Volume I : Natural Gas and Volume II; Crude Oil, F.S. Manning and R.E. Thompson, PennWell Publishing Company
- Handbook of Natural Gas Engineering, Donald L. Katz, Mc. Graw Hill Chemical Engineer. Book Company
- Gas Conditioning and Processing - Volume I and II, John M. Campbell, Campbell Petroleum Series
- Gas Conditioning and Processing - Volume III, and IV, Robert N. Maddox, Campbell Petroleum Series
- Petroleum Refinery Engineering, W.F. Nelson

# **Procesamiento de Gas en Yacimientos**

## **1.- INTRODUCCIÓN**

# TERMINOLOGÍA DEL GAS NATURAL

## ❑ GAS NATURAL

–Crudo

–Comercial o Negociable

–Rico o Húmedo

–Pobre o Seco

–Dulce

–Ácido

–Residual

–Licuado (LNG)

## ❑ GAS LICUADO (LPG)

–Mezcla Propano-Butano

–Propano Comercial

–Butano Comercial

## ❑ LÍQUIDOS

–Del Gas Natural (NGL)

–Condensado

–Gasolina Natural

## CARÁCTERÍSTICAS DEL GAS NATURAL

- **Fuente energética de origen fósil, que en la combustión no produce hollín.**
- **Producto incoloro, inodoro y no tóxico.**
- **Es compresible. Puede distribuirse a la presión deseada.**
  - **Distribuable por cañerías**
  - **Permite el uso vehicular**
- **Es más ligero que el aire (densidad relativa  $<1$ )**
  - **Peso específico  $0,75 \text{ kg/m}^3$  (en condiciones std de P y T)**
  - **Densidad relativa del orden de 0,6**
- **Puede convertirse a líquido. Se puede transportar licuado.**
  - **Licúa a temperatura inferior a  $-160 \text{ }^\circ\text{C}$**
  - **Relación volumétrica GN/GNL:  $\sim 600$**
- **Tiene un alto poder calorífico**
  - **PCS entre  $9.000$  y  $10.000 \text{ kcal/m}^3$  ( $38$  a  $42 \text{ MJ/m}^3$ )**
  - **PCI aproximadamente el 90% del PCS**

# 'Competidores' del Gas Natural

- Gas Licuado de Petróleo

- Fuel Oil

- Gas Oil

- Nafta

- Electricidad

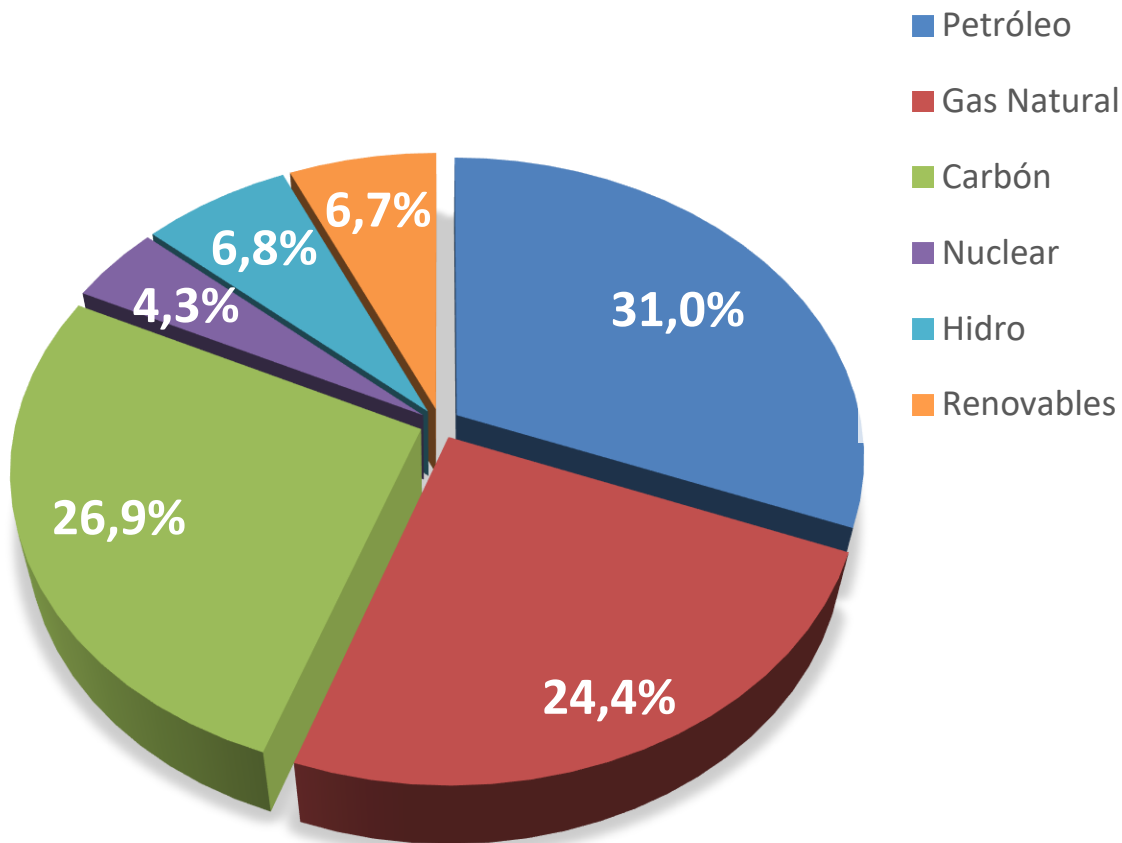
- Leña

COMBUSTIBLE	UNIDADES	CANTIDAD	KILOCALORIAS UTILES	KILOCALORIAS REFERENCIA
Gas Natural	m3	1.000	8.400.000	9.300.000
Hidrógeno	m3	3.440	8.400.000	
Gas Licuado	kg	770	8.400.000	
Metanol	lts	2.200	8.400.000	
Etanol	lts	1.650	8.400.000	
Gasolina/Nafta	lts	1.100	8.400.000	
Biodiesel	lts	1.060	8.400.000	
Kerosene	lts	1.010	8.400.000	
GasOil	lts	970	8.400.000	
Diesel	lts	950	8.400.000	
Fuel Oil	lts	910	8.400.000	
Carbón Mineral	kg	1.140	8.400.000	
Carbón Vegetal	kg	1.290	8.400.000	
Leña	kg	3.000	8.400.000	
Electricidad	kwh	9.770	8.400.000	
Petróleo	bbl	6	8.400.000	

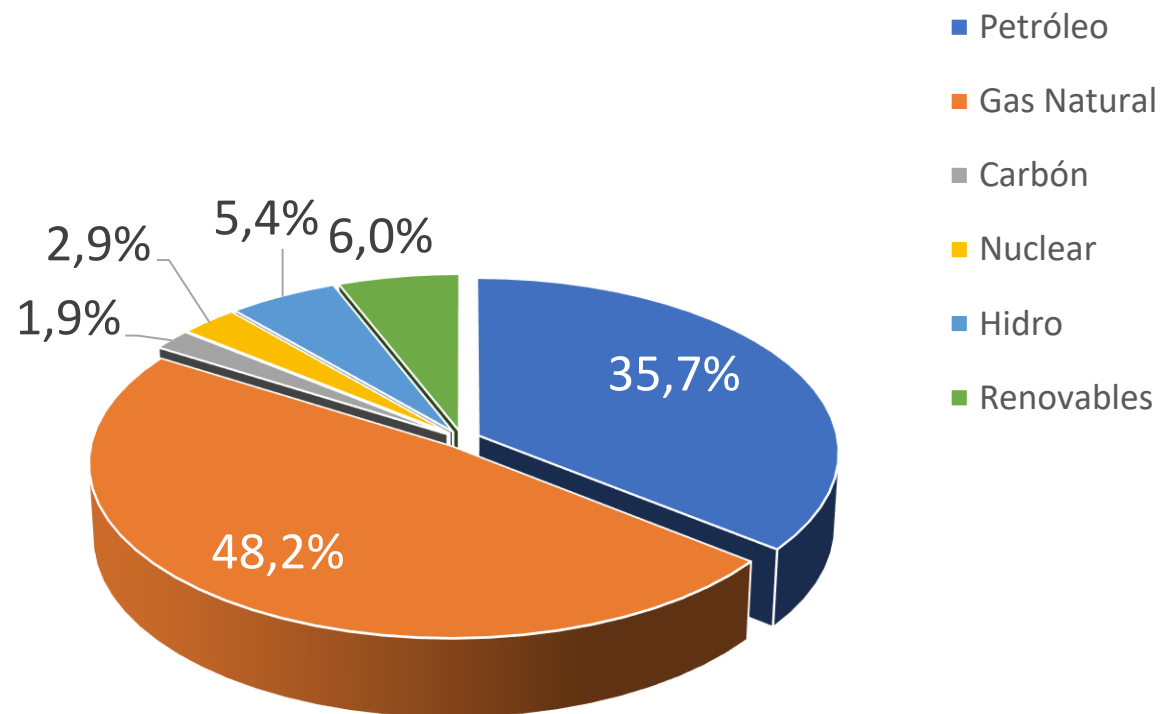


# LA MATRIZ ENERGÉTICA PRIMARIA

En el Mundo: 14.215 M Tep



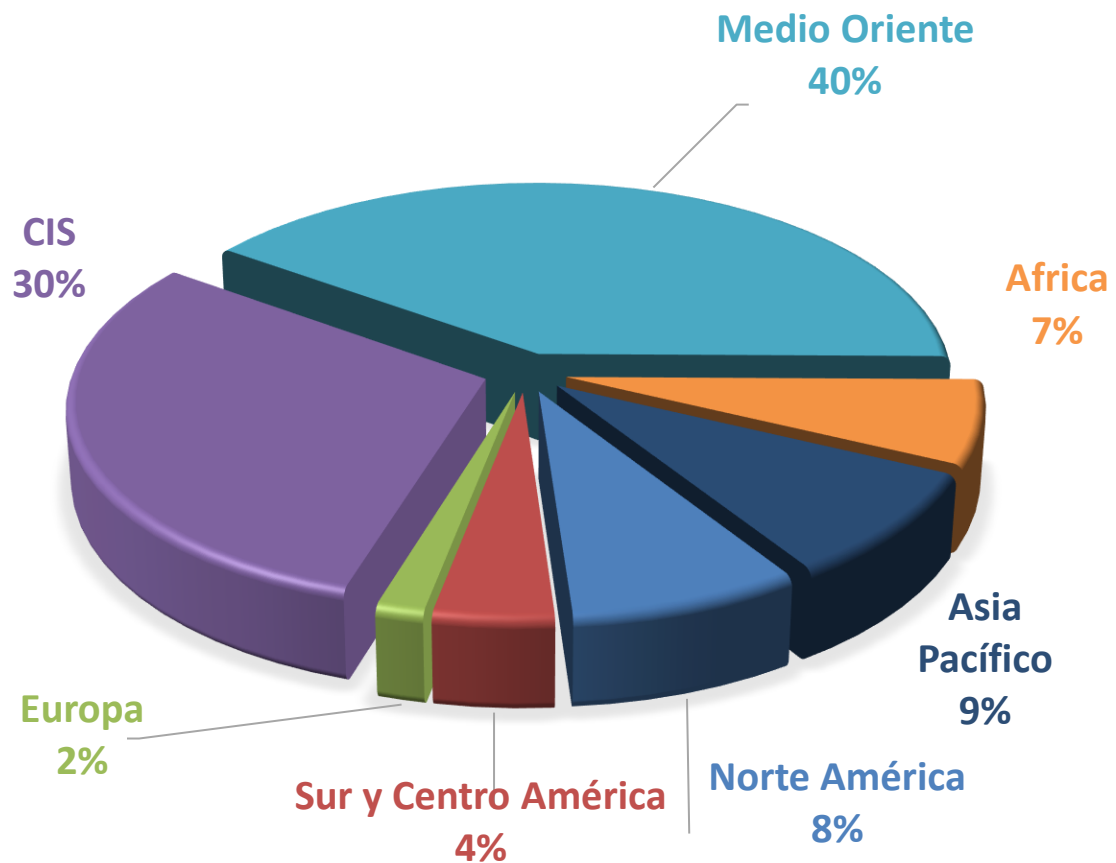
En Argentina: 82 M Tep



**Mtoe:** millones de toneladas equivalentes de petróleo (1toe = 10 millones kcal)

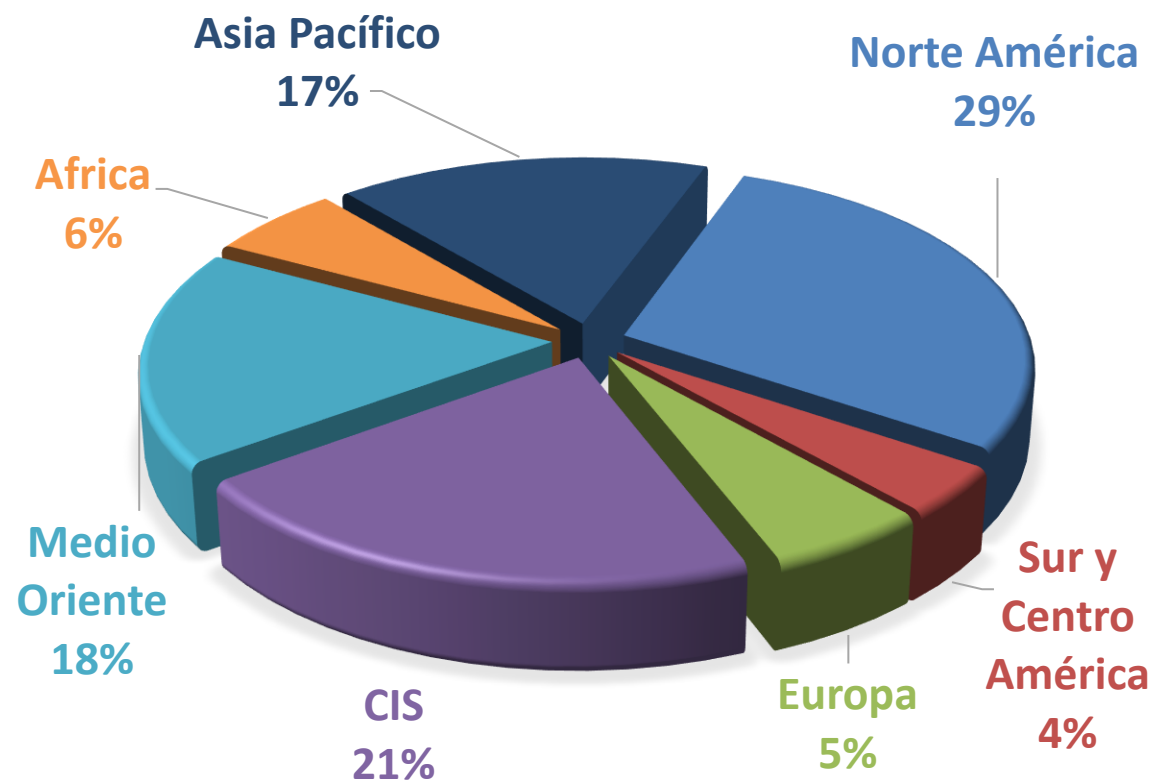
Datos: 2021 Fuente: BP Statistical Review of World Energy - June 2022

# RESERVAS Y PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL



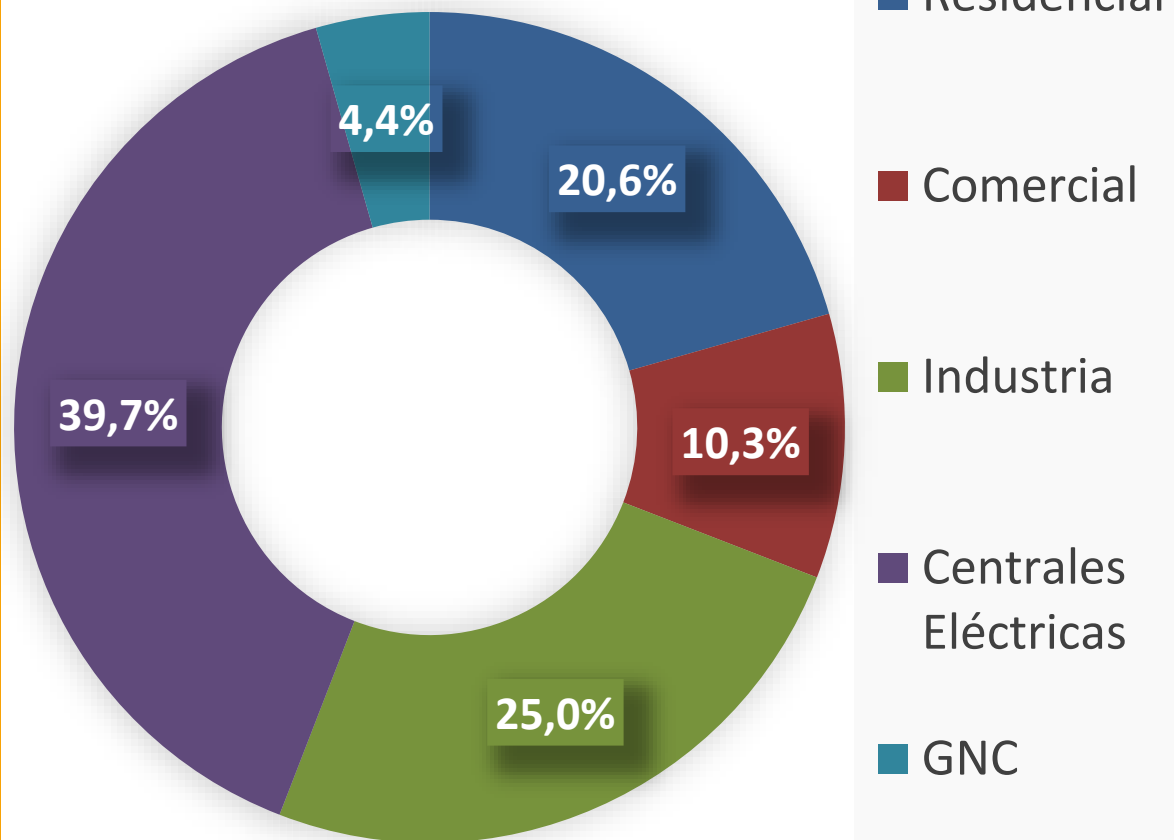
**Reservas: 188,1 ( $10^{12}\text{Sm}^3$ )**

**Producción : 3.861,5 ( $10^9\text{Sm}^3$ )**



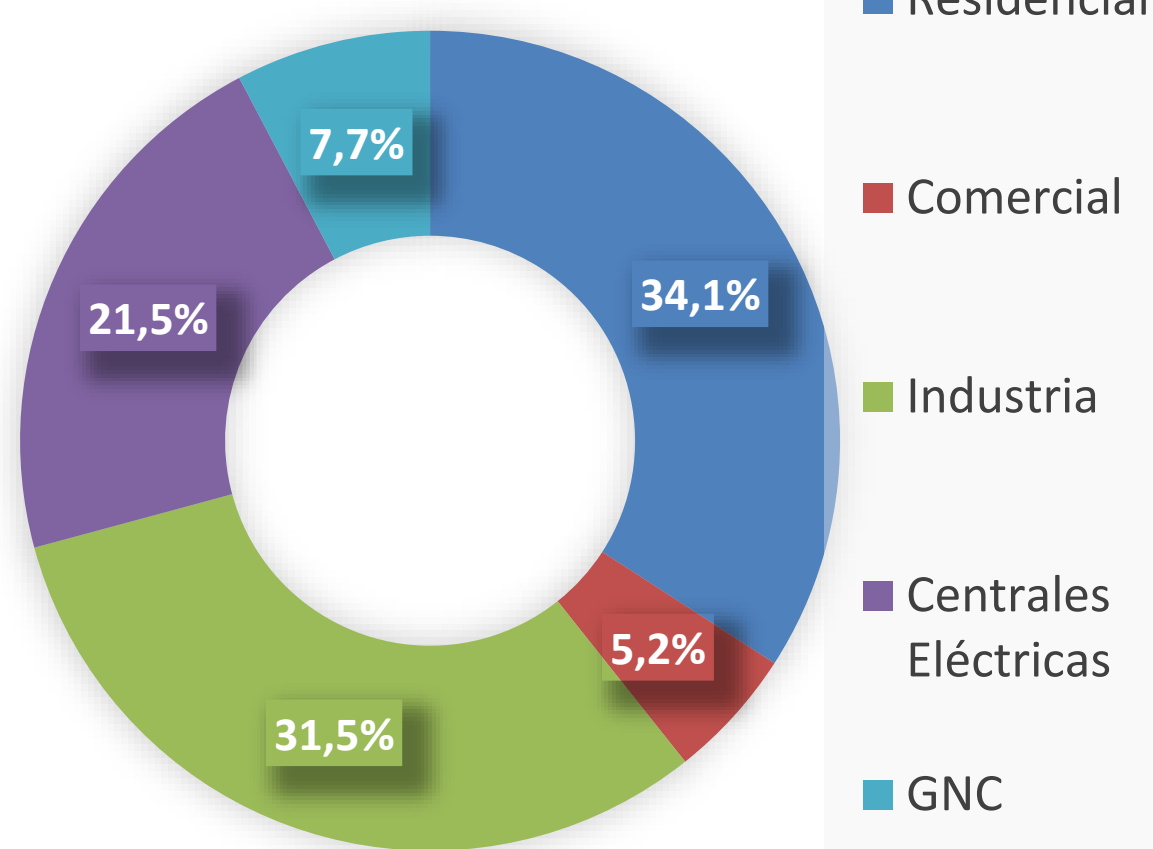
# UTILIZACIÓN DEL GAS NATURAL

## En el Mundo



Fuente: Estadística IEA 2020

## En la Argentina



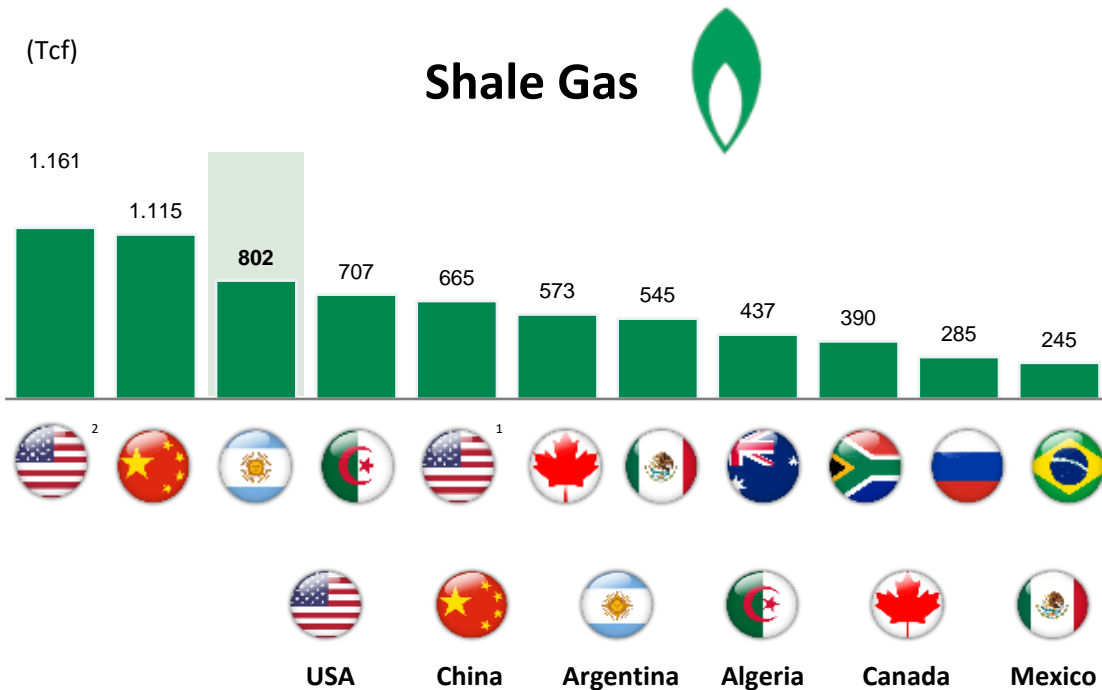
Fuente: Estadística Enargas 2021

# RECURSOS NO CONVENCIONALES (RECUPERABLES)

## Vaca Muerta Gas Resources

**300 TCF \***

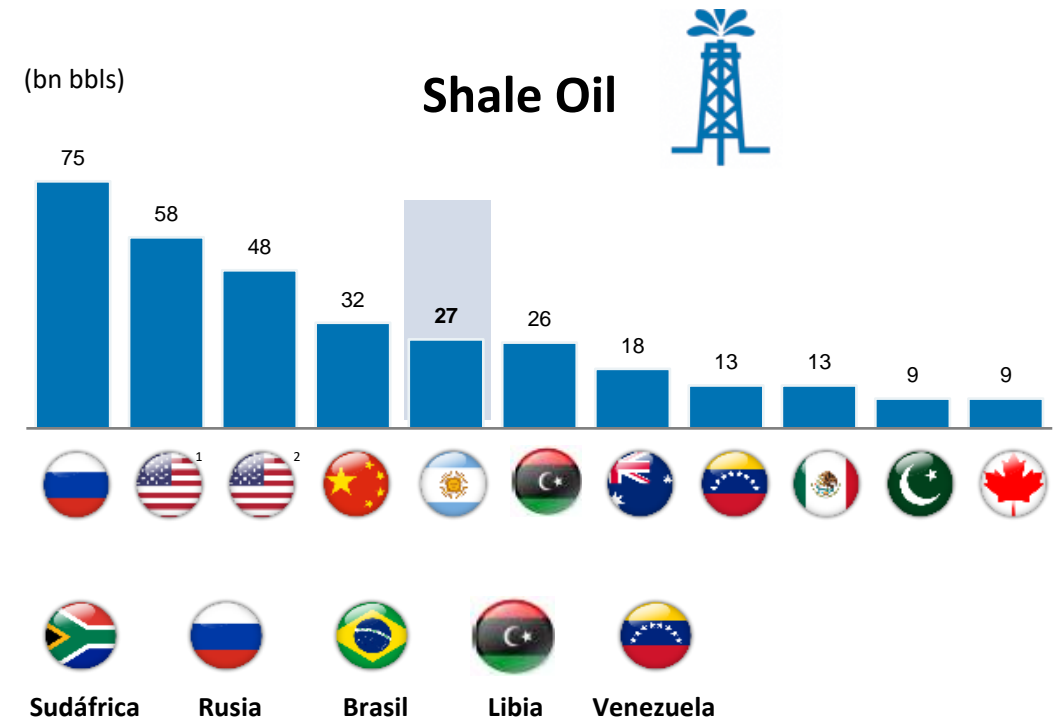
170 años de consumo interno



## Vaca Muerta Oil

**16 billones de barriles\***

80 años de consumo interno



Source: Broker reports, Wood Mackenzie

Note: <sup>1</sup> USA estimated from EIA; <sup>2</sup> USA estimated from ARI

\* Recursos técnicamente recuperables

# FAMILIAS DE GASES COMBUSTIBLES

- **Primera familia: GAS MANUFACTURADO (BAJO PCS)**
  - gases manufacturados de hulla o coke.
  - PCS entre 4000 y 6000 kcal/m<sup>3</sup> (16-25 MJ/m<sup>3</sup>).
  - Composición típica 50% H<sub>2</sub>, 20% CO<sub>2</sub>, 20% CH<sub>4</sub>, 5% CO...
  - Problemas de toxicidad. Actualmente en abandono.
- **Segunda familia: GAS NATURAL (PCS INTERMEDIO)**
  - Pertenecen a esta familia: gas natural y propano-aire.
  - PCS entre 9.000 y 10.000 kcal/m<sup>3</sup> (38-42 MJ/m<sup>3</sup>).
  - Metano: Punto de fusión -182 °C, Punto de ebullición -161,5 °C
  - Densidad respecto al aire: ~ 0,6. Peso de 1m<sup>3</sup>: ~ 0,75 kg
- **Tercera familia: GAS LICUADO DE PETRÓLEO (ALTO PCS)**
  - Pertenecen a esta familia: butano y propano comerciales.
  - Son subproductos del GN y/o de refinado del petróleo.
  - Permiten el suministro de gas a zonas alejadas de la red de GN.
  - PCS entre 22.500 a 30.000 kcal/Nm<sup>3</sup> (95-125 MJ/Nm<sup>3</sup>).
  - Densidad respecto al aire: de 1,5 a 2. Peso de 1m<sup>3</sup>: entre 1,9 a 2,6 kg
  - Tensión de vapor: entre 1.434 y 483 kPa a 37,8 ° C

# GAS NATURAL: Un combustible limpio

Fuente: EIA

El gas natural es el combustible más limpio dentro de la gama de los combustibles fósiles.

*Principal responsable del calentamiento global*

Niveles de Emisión de Combustibles Fósiles				
Libras por MMBtu de Energía entregada				
Contaminante	Gas natural	Nafta	Diesel	Carbón
Dióxido de carbono	117	156	164	210
Monóxido de carbono	0,56	0,99	0,95	2,1
Metano	1,25	0,088	0,016	0,18
Óxidos de nitrógeno	0,85	1,63	4,41	4,57
Óxidos de azufre	0,0006	0,084	0,29	1,4x%S
Material Particulado	0,01	0,10	0,31	0,39
Orgánicos Totales	1,60	2,10	0,35	0,20

*Proviene del nitrógeno contenido en el aire*

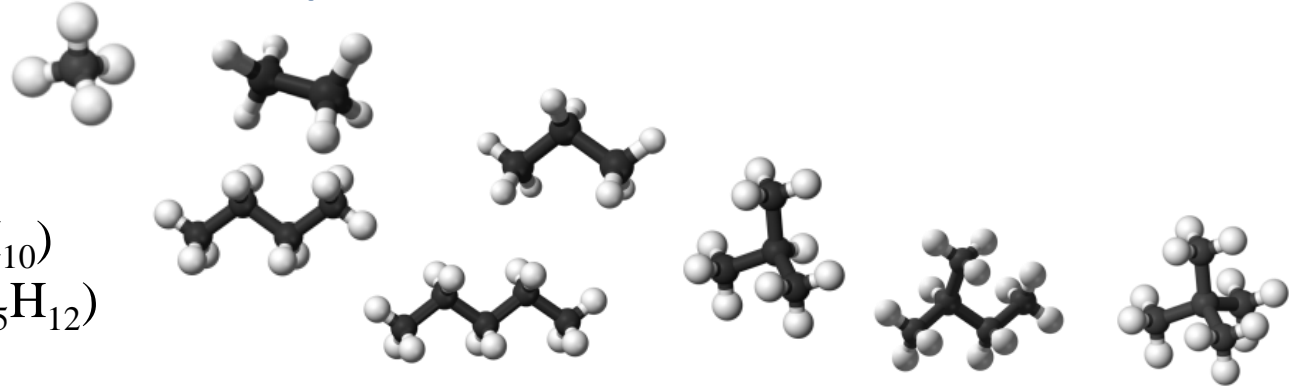
*Principal responsable de las afecciones respiratoria*

# COMPONENTES DEL GAS NATURAL

## Componentes del gas natural

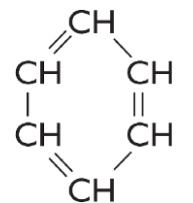
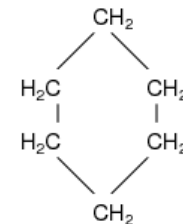
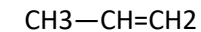
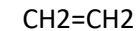
### ➤ Hidrocarburos ALIFÁTICOS SATURADOS (parafínicos)

- metano ( $\text{CH}_4$ )
- etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )
- propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )
- normal butano e iso butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )
- normal pentano e iso pentano ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )
- hexanos ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ )
- etc. ( $\text{C}_n \text{H}_{(2n+2)}$ )



### ➤ NO SATURADOS (olefínicos, nafténicos y aromáticos) si están presentes es sólo en cantidades muy pequeñas

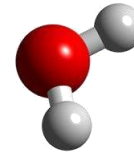
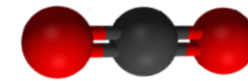
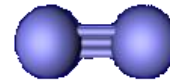
- etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), propileno ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), etc. ( $\text{C}_n \text{H}_{2n}$ )
- cicloexano ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ), etc. ( $\text{C}_n \text{H}_{2n}$ )
- benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), etc. ( $\text{C}_n \text{H}_{(2n-6)}$ )



## COMPONENTES DEL GAS NATURAL

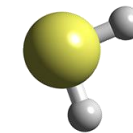
- **No hidrocarburos**

- $\text{N}_2$  NITRÓGENO
- $\text{CO}_2$  DIÓXIDO DE CARBONO
- $\text{H}_2\text{O}$  AGUA



- **En pequeñas proporciones**

- $\text{H}_2\text{S}$  SULFURO DE HIDROGENO
- $\text{COS}$  SULFURO DE CARBONILO
- $\text{R-SH}$  MERCAPTANOS
- $\text{Hg}$  MERCURIO (como sales de mercurio)
- $\text{MP}$  METALES PESADOS





# COMPONENTES DEL GAS NATURAL

## COMPOSICIÓN TÍPICA DE UN GAS NATURAL

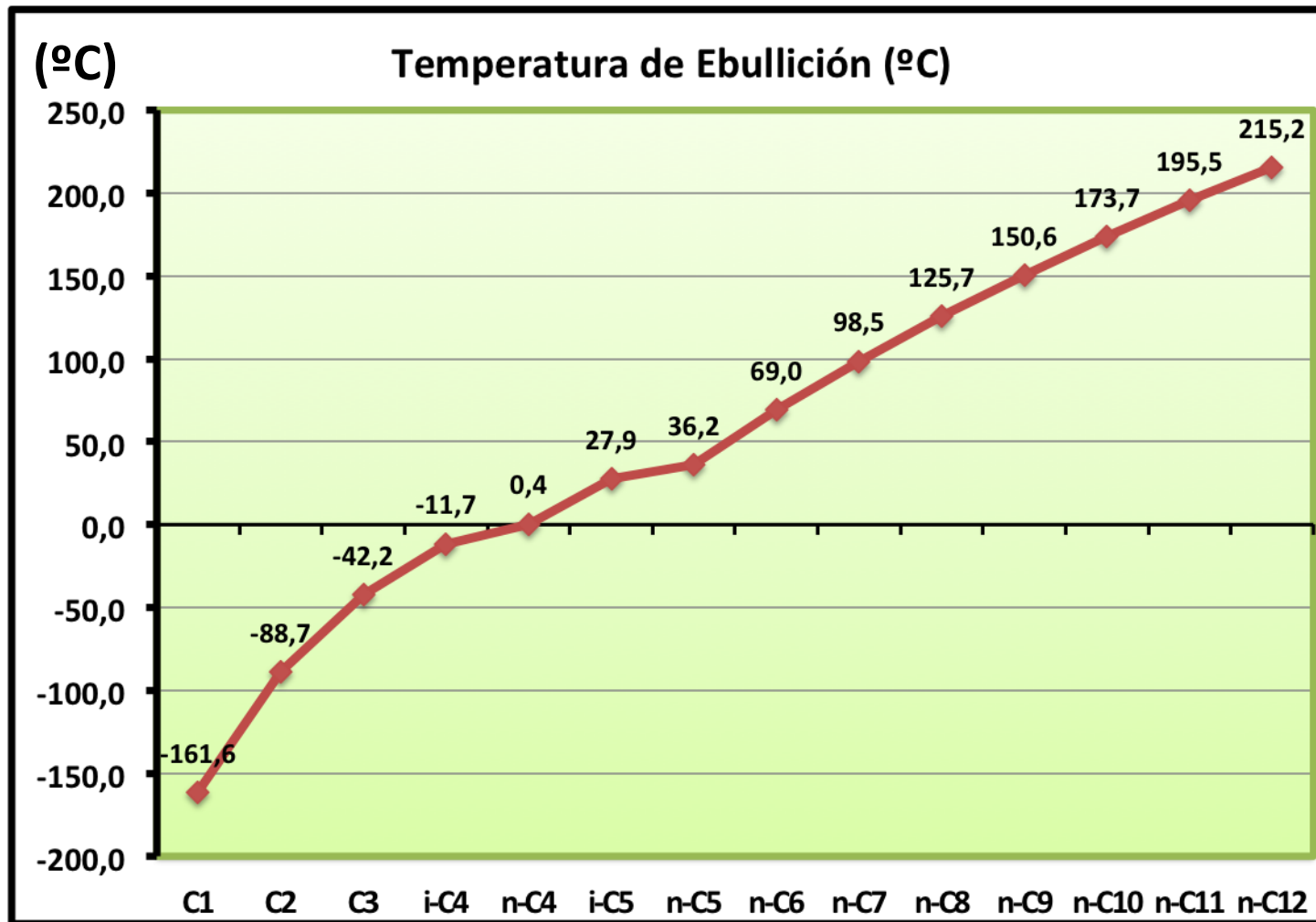
Composición: (% molar) (base seca)

	GAS CRUDO
Nitrogen	0,569
CO2	4,635
Methane	83,981
Ethane	5,515
Propane	2,897
i-Butane	0,754
n-Butane	0,798
i-Pentane	0,253
n-Pentane	0,164
Hexanos	0,207
Heptanos	0,136
Octanos	0,069
Nonanos	0,014
Decanos	0,006
C11+	0,001
Contenido de H2S	25,0 ppmv
Contenido de S total	30,2 ppmv
Contenido de Agua	saturación
Contenido de Mercurio	2000 ng/Nm3
Peso Molecular	20,18
Caracterización del C11+	
Peso Molecular	206,1
S.G.	0,872

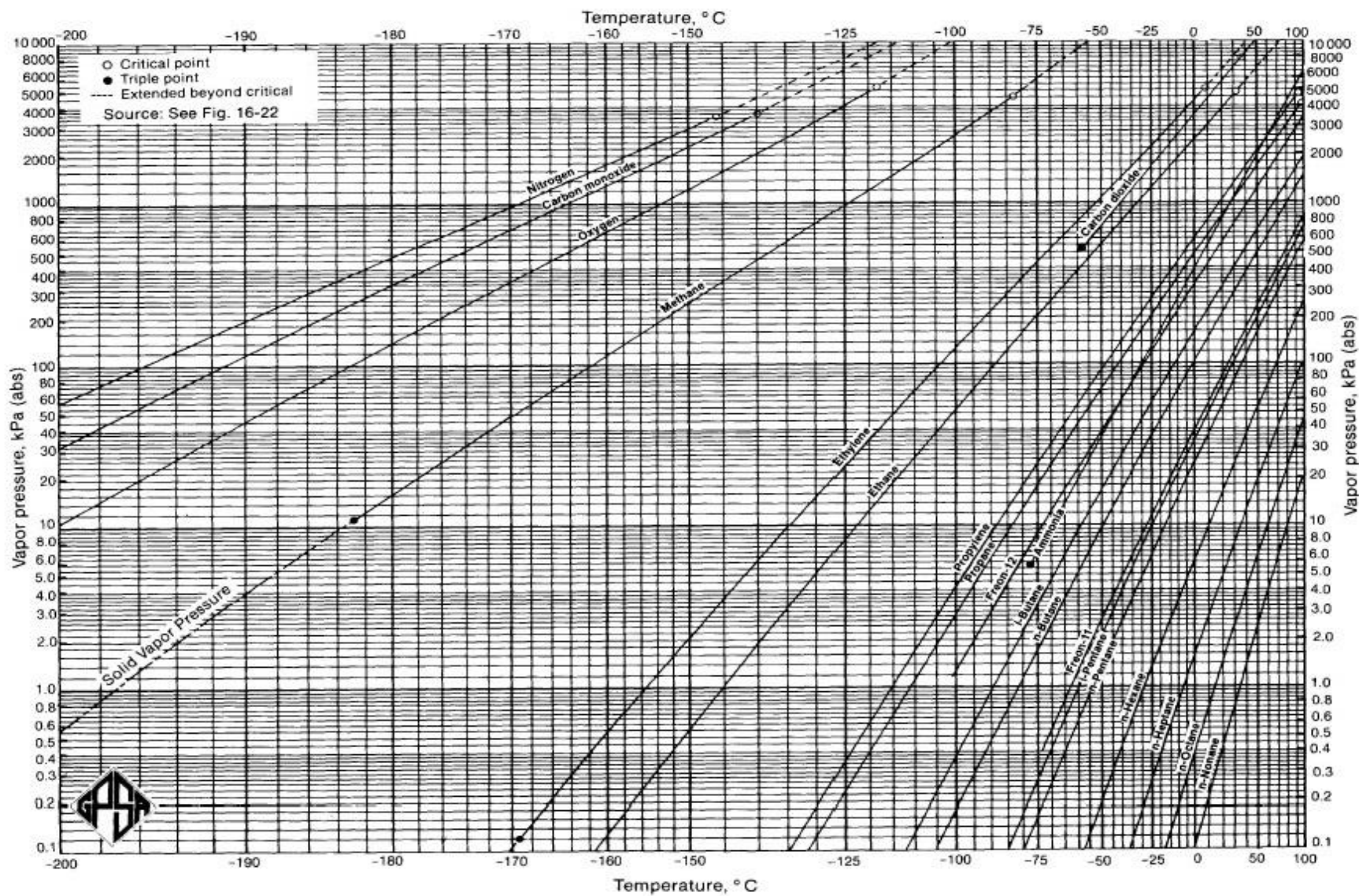
# PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES

Componente	MW (kg/kmol)	PCS (kcal/Sm3)	PCI (kcal/Sm3)	$\rho$ líquido @ 15°C (kg/m3)	Pvapor @ 38°C (kPa)	RVP (kPa)
H2O	18	0	0	1000	6	-
N2	28	0	0	-	-	-
CO2	44	0	0	-	-	-
C1	16	9.009	8.111	-	-	-
C2	30	15.785	14.438	358	-	-
C3	44	22.444	20.647	507	1.310	1.299
i-C4	58	29.005	26.761	563	498	494
n-C4	58	29.098	26.855	584	356	346
i-C5	72	35.685	32.992	624	141	138
n-C5	72	35.757	33.062	631	107	105
C6	86	42.420	39.278	664	34	34
C7	100	49.079	45.488	688	11	12
C8	114	55.735	51.695	706	4	4

## PROPIEDADES DE LOS COMPONENTES (Cont.)

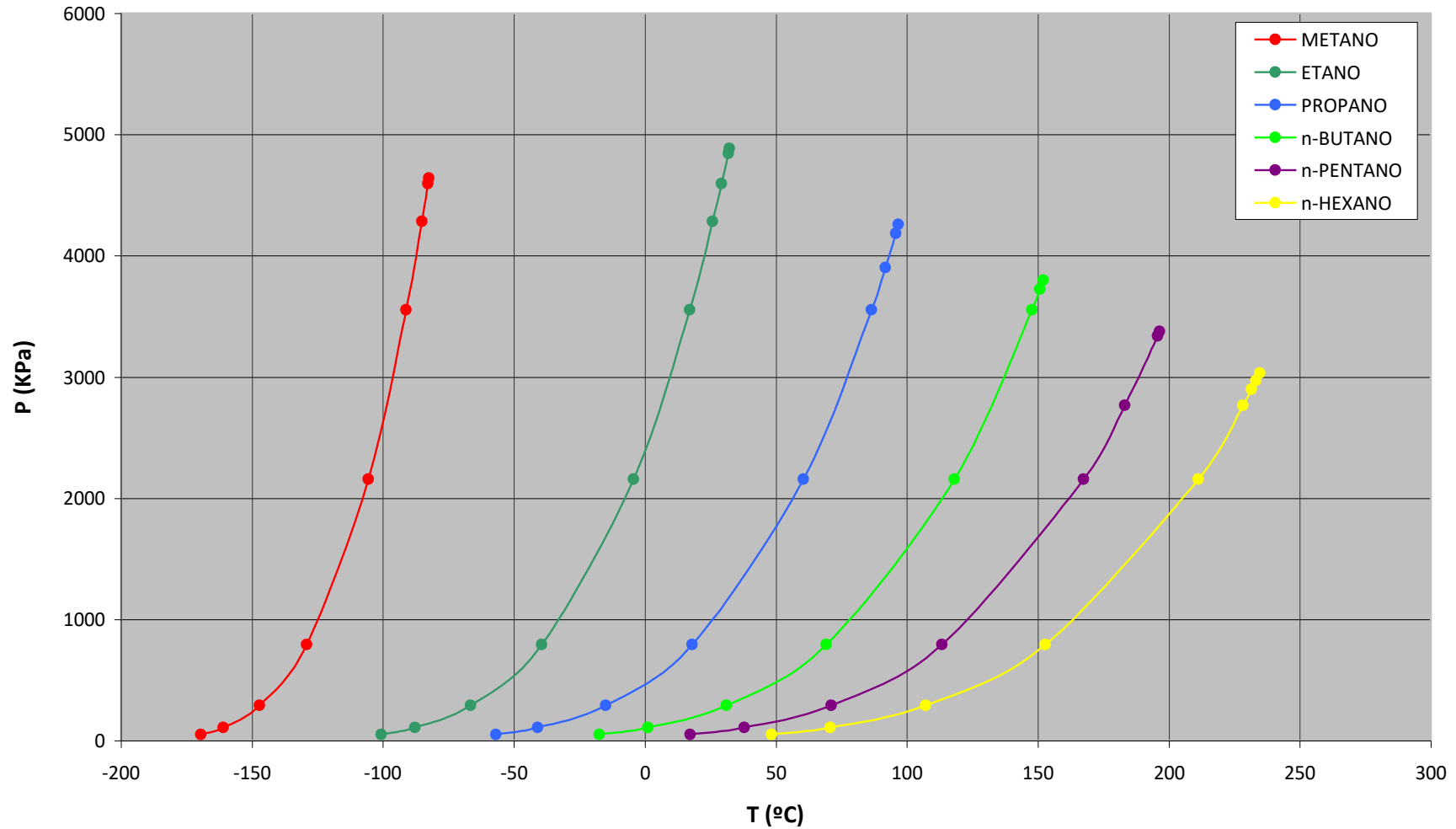


# CURVAS DE PRESIÓN DE VAPOR



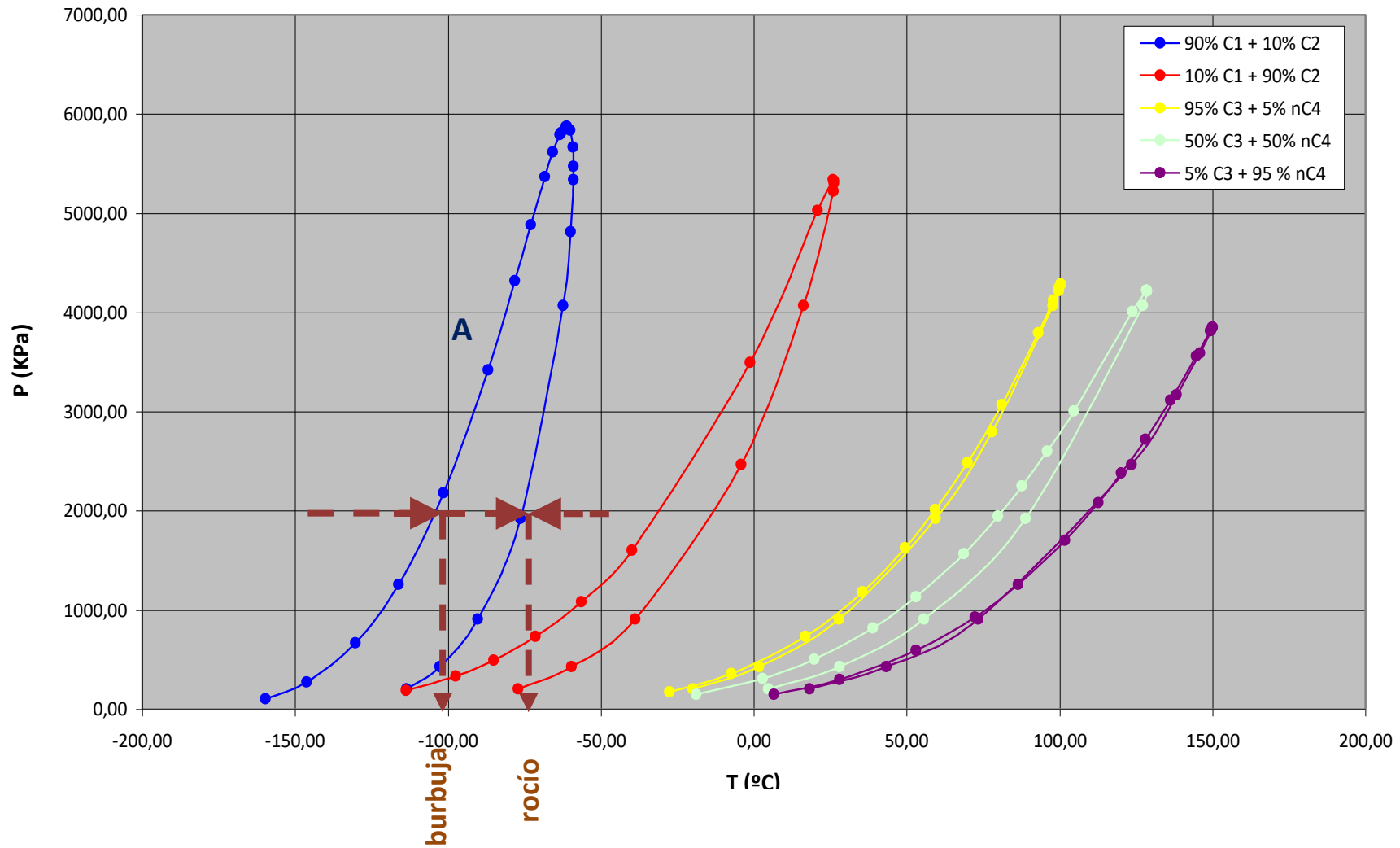
# DIAGRAMAS DE FASES

Comparación Curvas P-T  
COMPONENTES PUROS



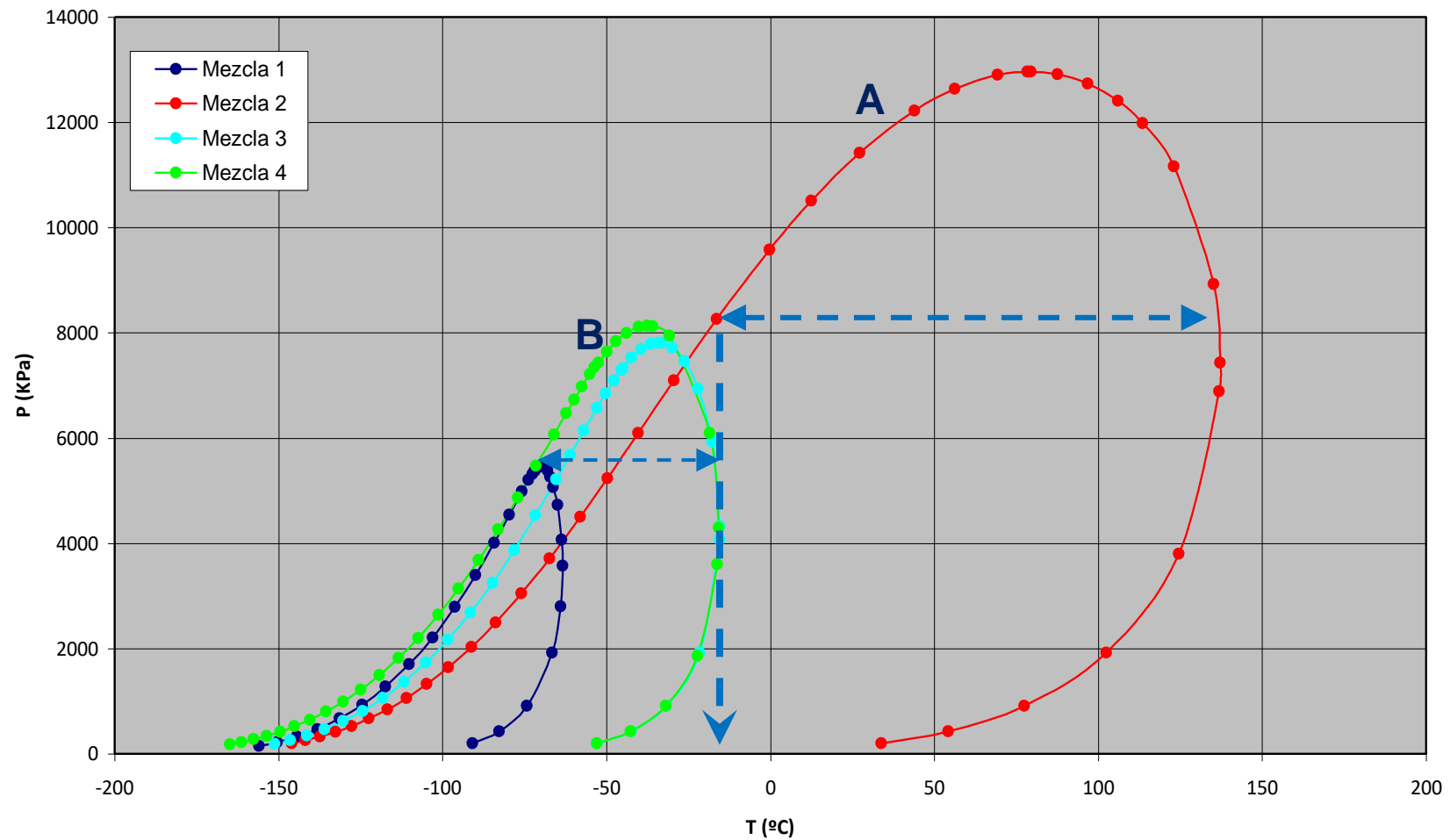
# DIAGRAMAS DE FASES

Comparación Diagrama P-T  
BICOMPONENTES



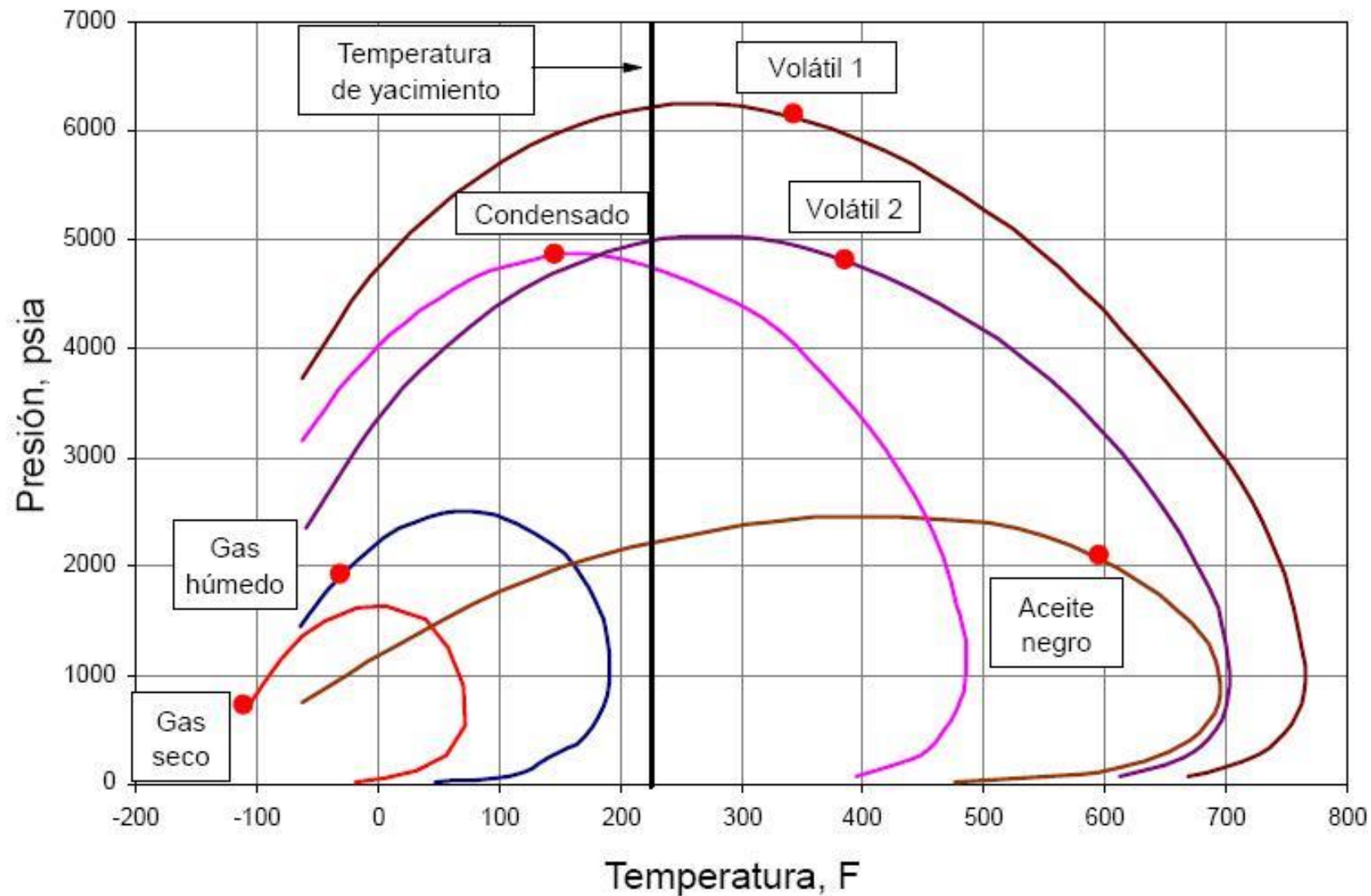
# DIAGRAMAS DE FASES

Comparación Diagramas P-T  
MULTICOMPONENTES



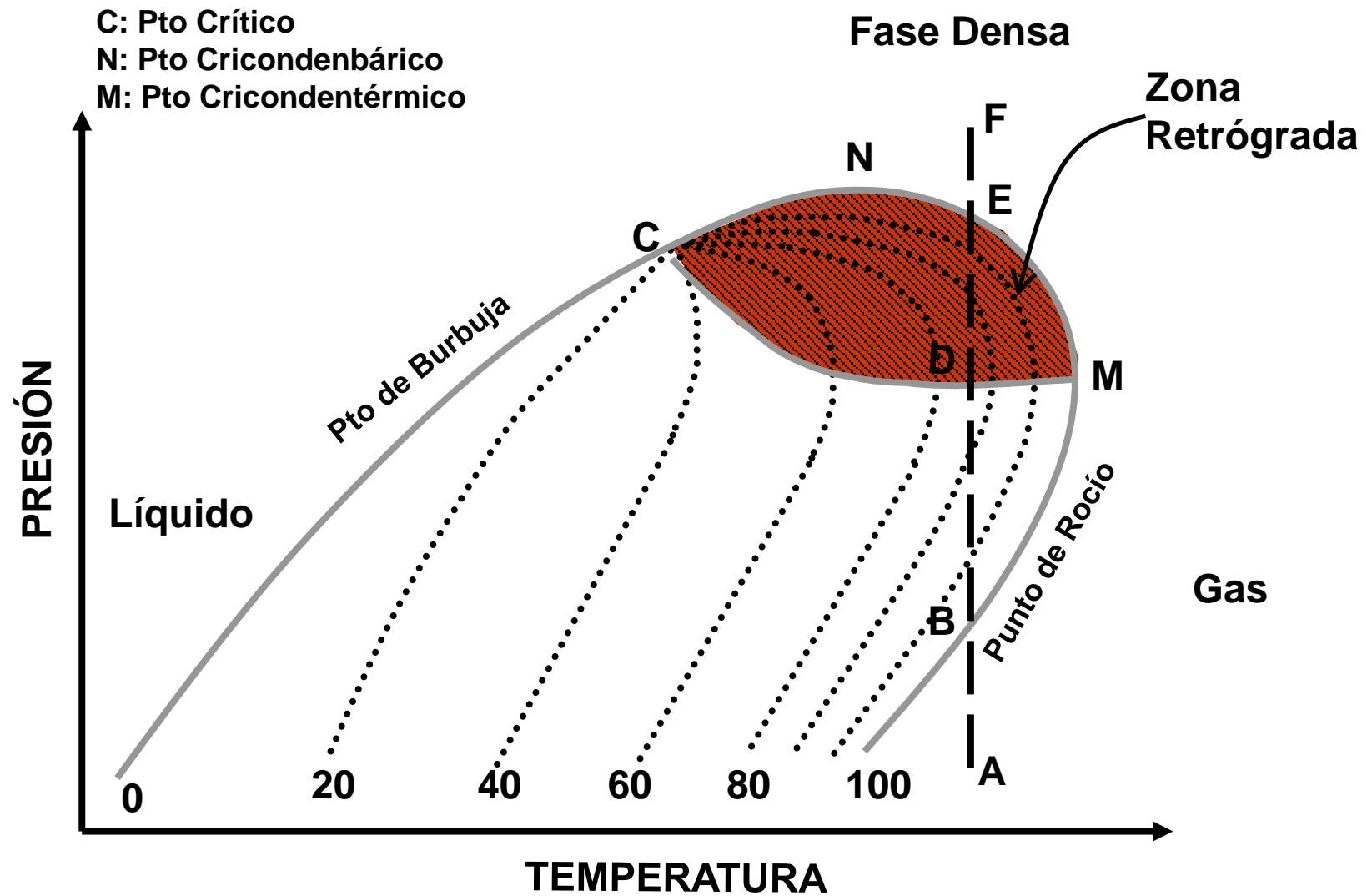


# APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE FASES: Yacimientos





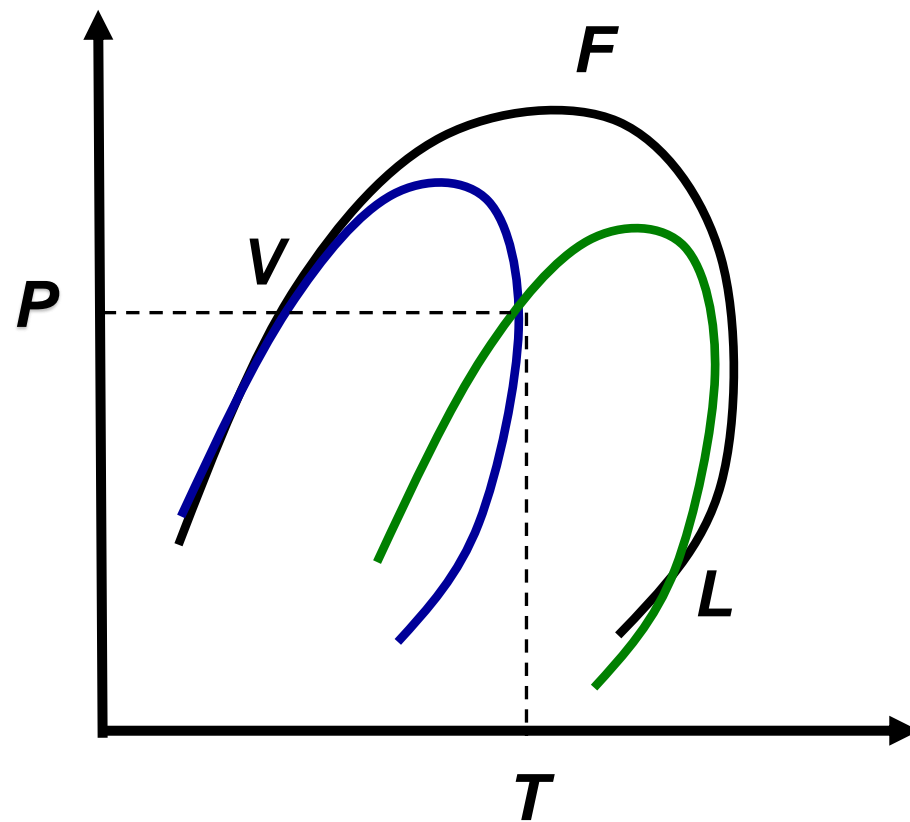
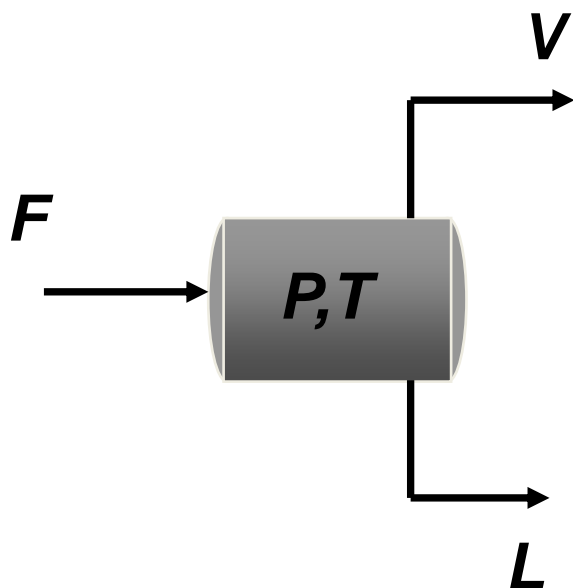
# CONDENSACIÓN RETRÓGRADA



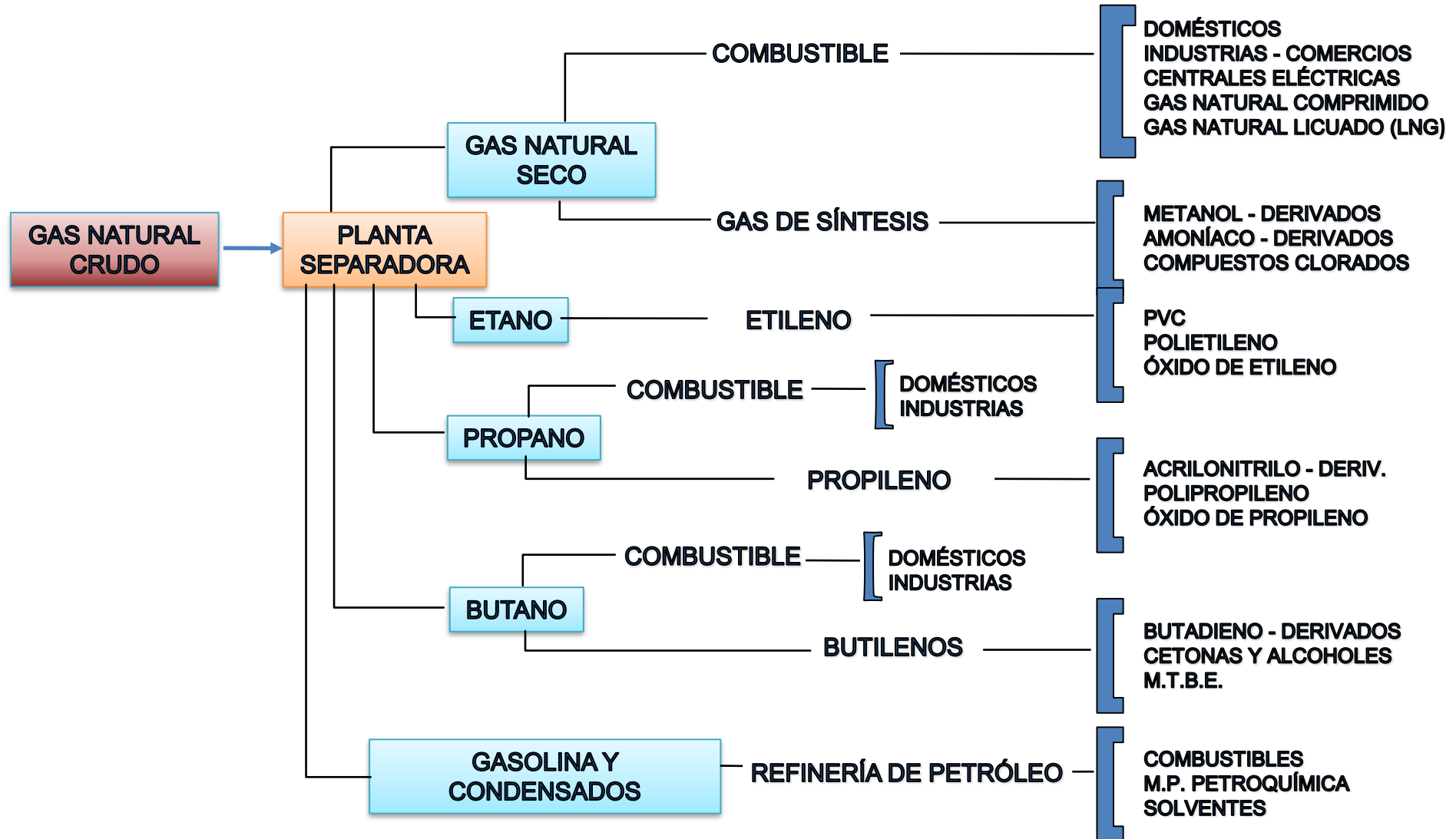
## CONDENSACIÓN RETRÓGRADA: Referencias

- ✓ **Punto Crítico:** lugar donde convergen las curvas de burbuja y de rocío. Las propiedades intensivas de las fases son idénticas ( $\delta$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $h$ ,  $s$ )
- ✓ **Cricodontérmico:** la mayor temperatura a la cual pueden existir en equilibrio fase líquida y fase vapor, en una mezcla multicomponente.
- ✓ **Cricondembárico:** la mayor presión a la cual pueden existir en equilibrio fase líquida y fase vapor, en una mezcla multicomponente.
- ✓ **Fase Densa:** región donde la mezcla tiene propiedades físicas que están entre las del líquido y las del gas.
- ✓ **Zona de Condensación Retrógrada:** dentro de la cual la disminución de la presión produce condensación de hidrocarburos.

# DIAGRAMAS DE FASES: Separadores



# PRODUCTOS DEL GAS NATURAL



## IMPUREZAS Y CONTAMINANTES DEL GAS NATURAL

- Vapor de Agua ( $H_2O$ )
- Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )
- Inertes totales ( $N_2+CO_2$ )
- Sulfuro de Hidrógeno ( $H_2S$ )
- Otros Compuestos de Azufre (COS, RSH, etc.)
- Hidrocarburos Condensables (HC)
- Otros (Mercurio y Oxígeno)
- Partículas Sólidas y Líquidas

# GAS NATURAL: Componentes, Productos y Especificaciones

H<sub>2</sub>O

H<sub>2</sub>S  
COS  
CS<sub>2</sub>  
RSH

O<sub>2</sub>  
N<sub>2</sub>  
CO<sub>2</sub>  
C1  
C2

C3

iC4  
nC4

iC5  
nC5  
C6  
C7+

## GAS A GASODUCTO (ENARGAS NAG- 602/19)

Agua < 65 mg/Sm<sup>3</sup>

H<sub>2</sub>S < 3mg/Sm<sup>3</sup> ( 2,1 ppmv)

Azufre Total <15mg/Sm<sup>3</sup>

O<sub>2</sub> < 0,2% molar

CO<sub>2</sub> < 2% molar

Inertes < 4% molar

Punto de Rocío HC

< -4 °C @ 55 bar (a)

PCs: 8850 a 10200 kcal/m<sup>3</sup>

Índice de Wobbe

11300 a 12470 kcal/m<sup>3</sup>

## Gasolina Estabilizada

RVP < 12 psi @ 100°F

Pto. Final Evap. < 190° C

## Mezcla Propano-Butano

Presión de Vapor

< 208 psi @ 100°F

(1434 kPa @ 37,8° C)

C<sub>5+</sub> < 2%v

Evap: 95% a t < 2,2° C a 1atm.

## Propano Comercial:

PV < 208 psig @ 100°F (1434 kPa a 37,8° C)

C<sub>4+</sub> < 2.5%v

Evap: 95% a t < -38,3° C a 1 atm.

## Butano Comercial:

PV < 70 psig @100°F (482,6 kPa a 37,8° C)

C<sub>5+</sub> < 2.0%v Evap: 95% a t < 2,2° C a 1 atm

# NORMAS PARA MEDICIÓN DE CARACTERÍSTICAS

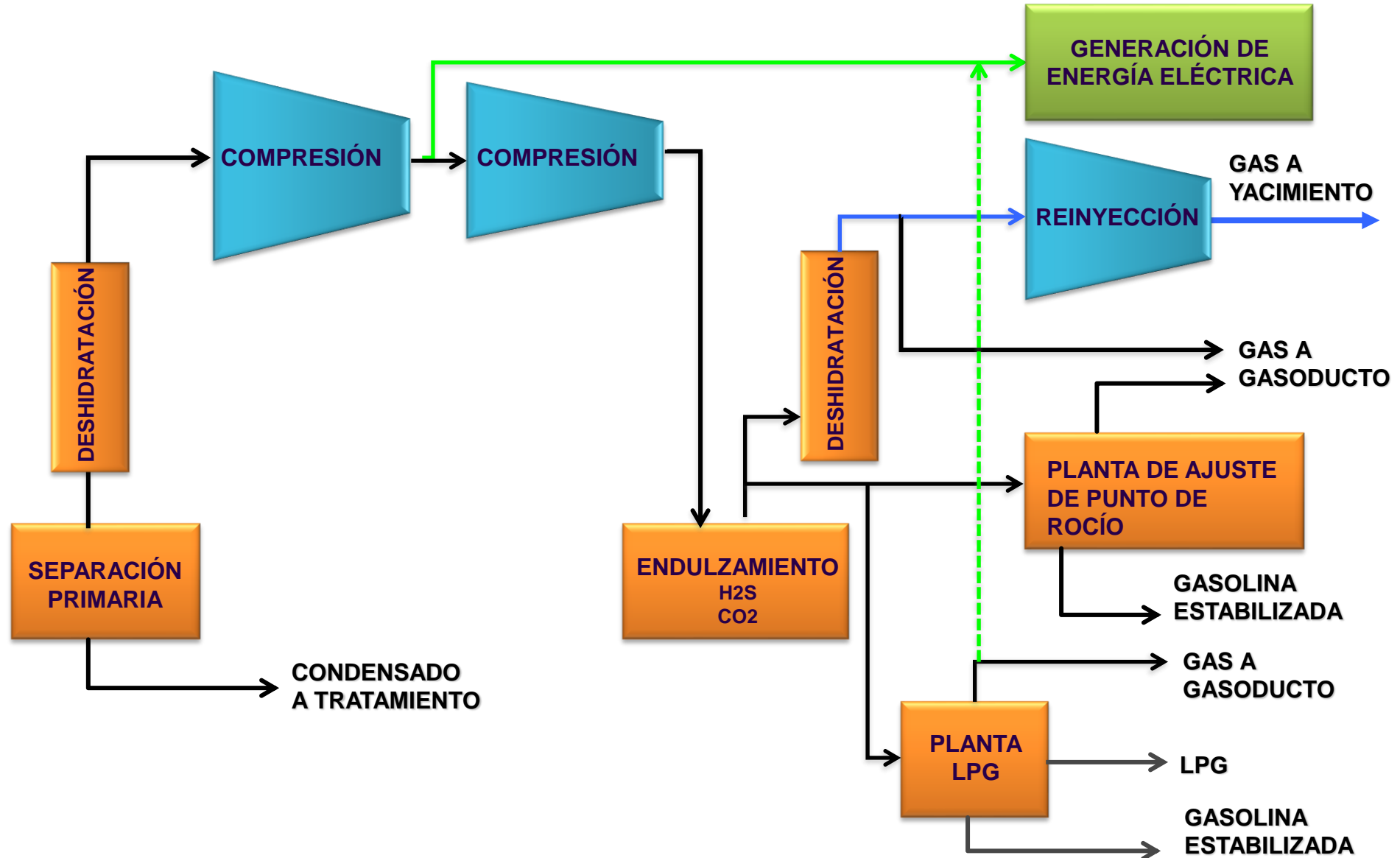
ITEM	RUBRO	IRAM A	ISO	GPA	ASTM D
1	Conversión de Unidades	23			
2	Tablas de Constantes Físicas	6854	6976	2145	
3	Características del Gas Natural	6865	13686		
4	Muestreo	6858	10715	2166	5287
			6712		5503
5	Análisis Cromatográfico	6862	6568		
		6852	6974	2261	1945
6	Análisis Cromatográfico Extendido		6975	2286	
7	Conversión de Masa a Volumen			8173	
8	Cálculo de Densidad p/Cromatografía	6854	6976	2172	3588
9	Cálculo de Poder Calorífico p/Cromatografía	6854	6976	2172	3588
10	Cálculo de Índice de Wobbe p/Cromatografía	6854	6976		
11	Determinación de Vapor de Agua	6856	6327		1142
			11541		5454
			10101		4888
12	Determinación de Sulfhídrico	6860		2377	4810
				2265	4084
13	Determinación de Compuestos de Azufre	6861	6326	2199	5504
			19739	2286	6228
				2290	1988
14	Determinación de Azufre total				1072
					4468
15	Determinación de Mercurio	6874	6978		5954

# TRATAMIENTO DEL GAS NATURAL

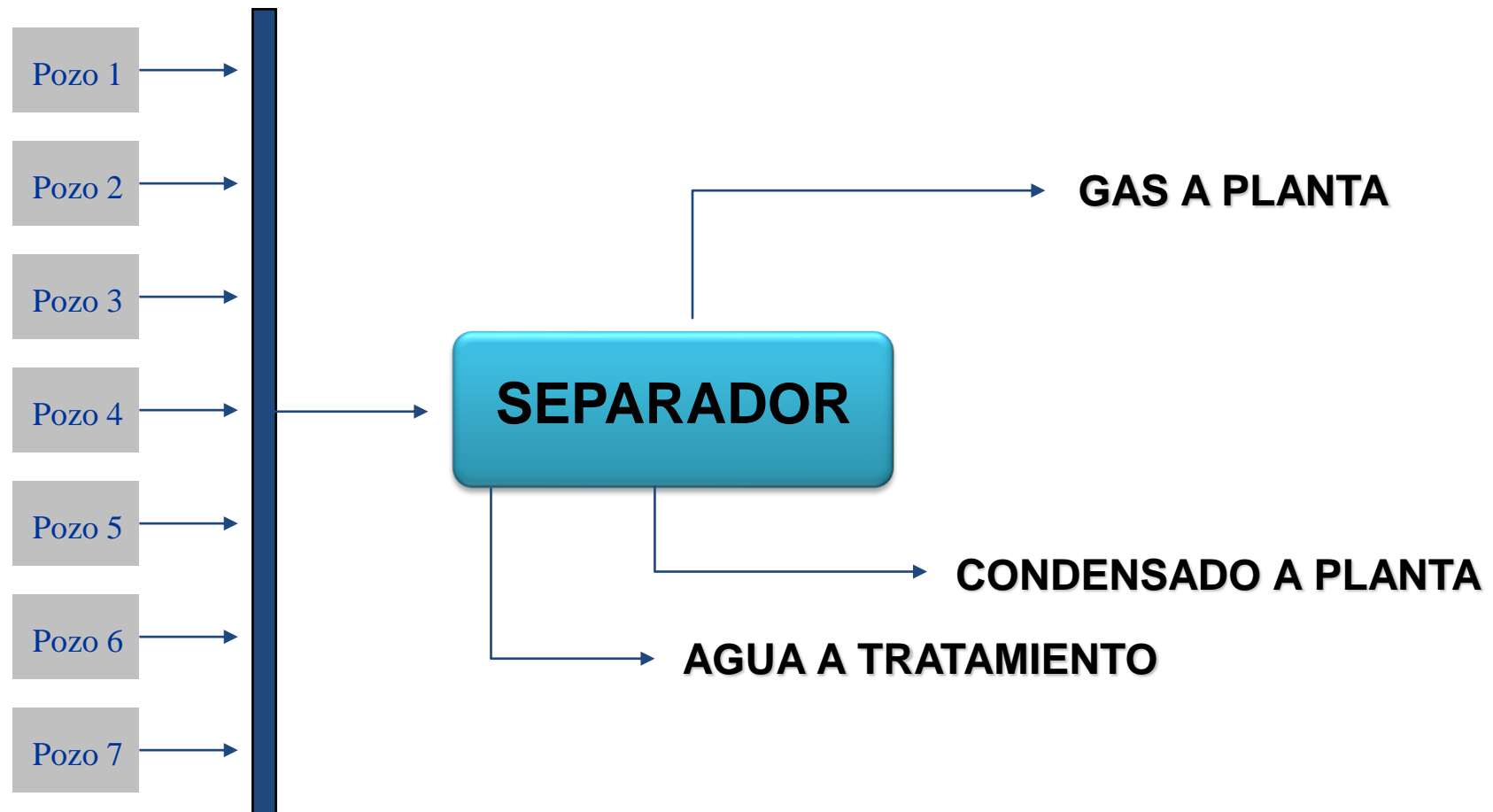
- ❖ Remoción de:
  - partículas sólidas y líquidas
  - vapor de agua
  - hidrocarburos condensables
  - dióxido de carbono
  - sulfuro de hidrógeno y otros compuestos de azufre
  - mercurio y otros metales pesados
  
- ❖ Recuperación de hidrocarburos licuables



# ESQUEMA TÍPICO DE PROCESAMIENTO

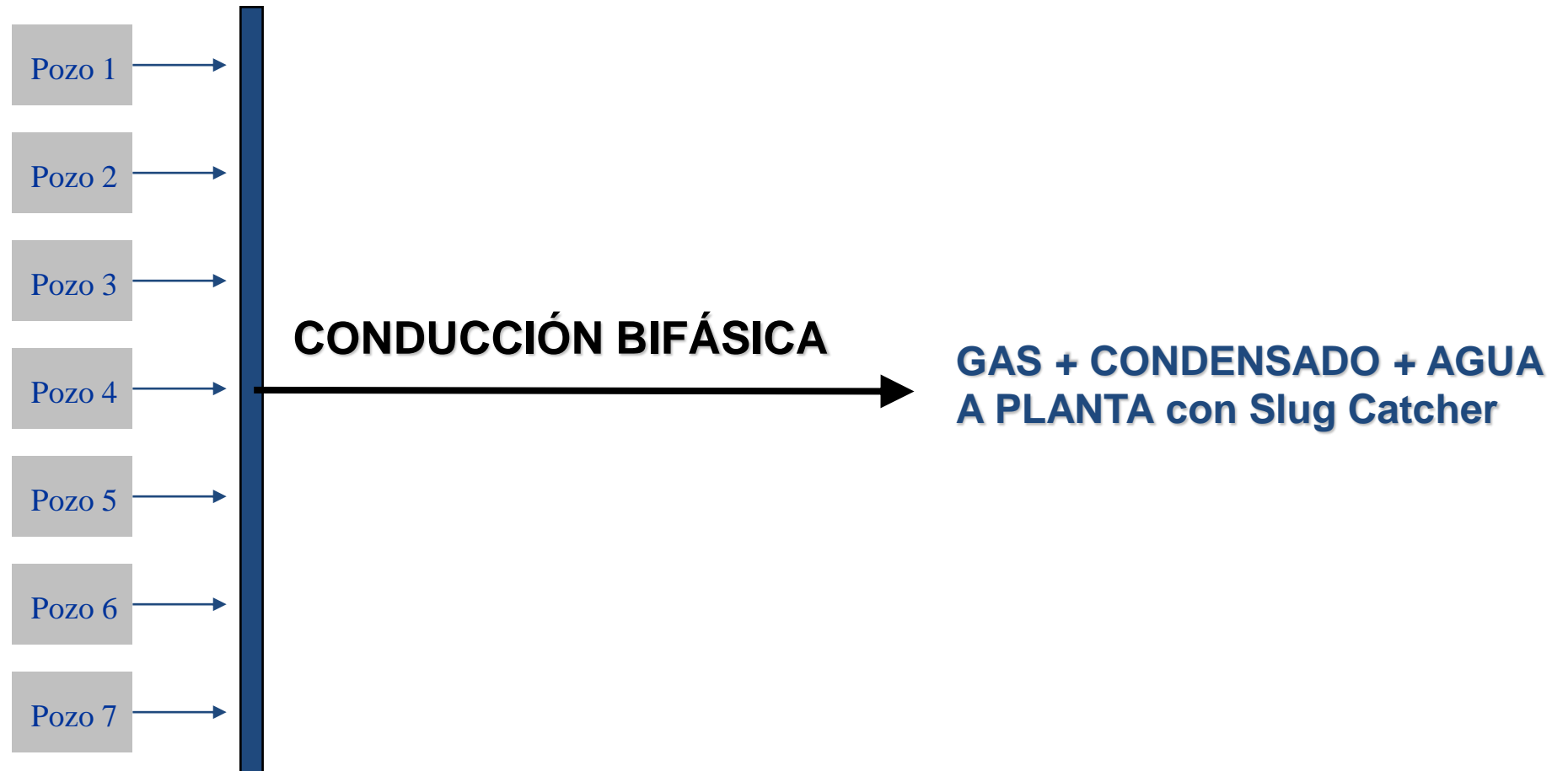


## BATERÍA TRADICIONAL

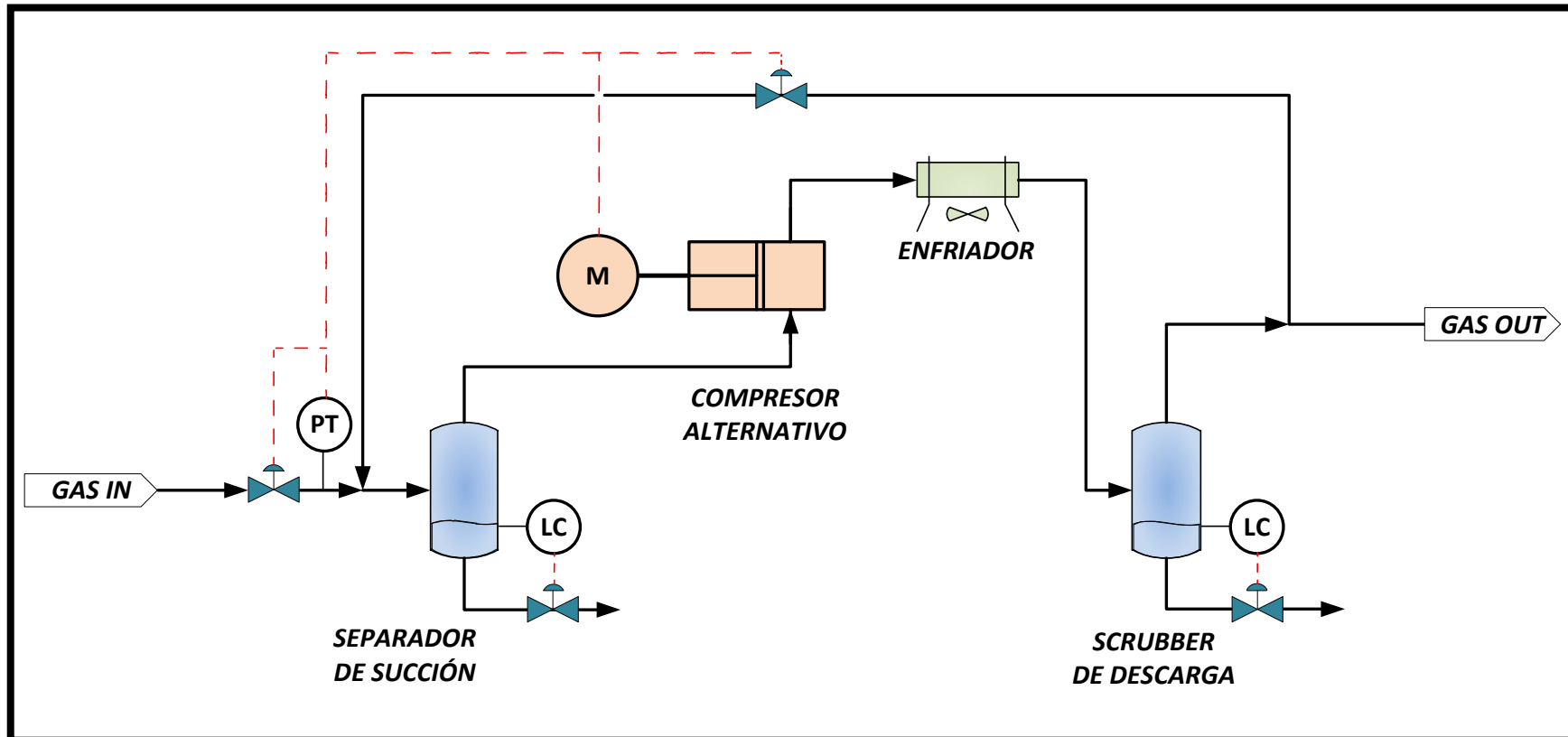


# Captación y Separación Primaria

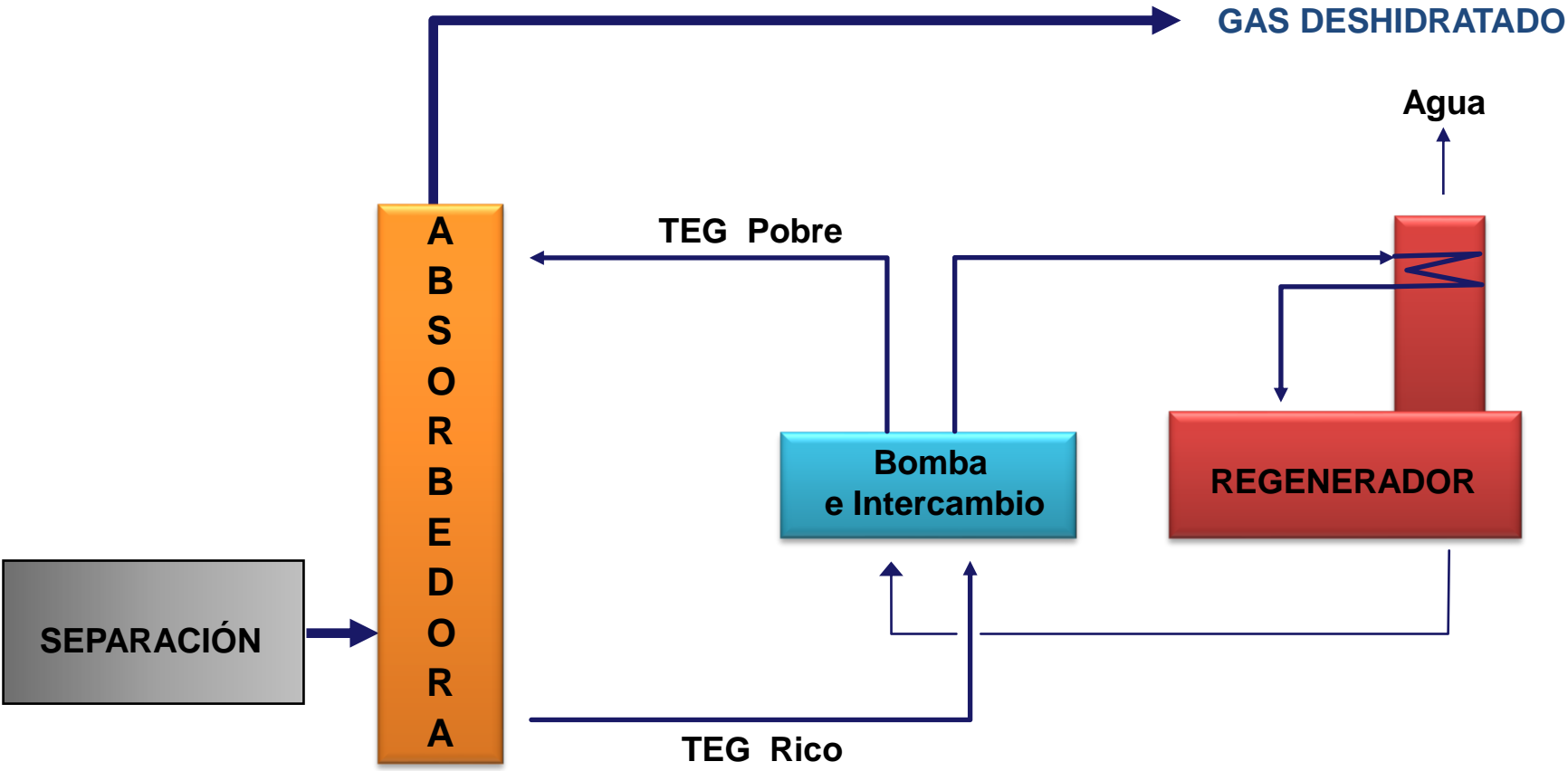
## BATERÍA TIPO CLUSTER



# Compresión

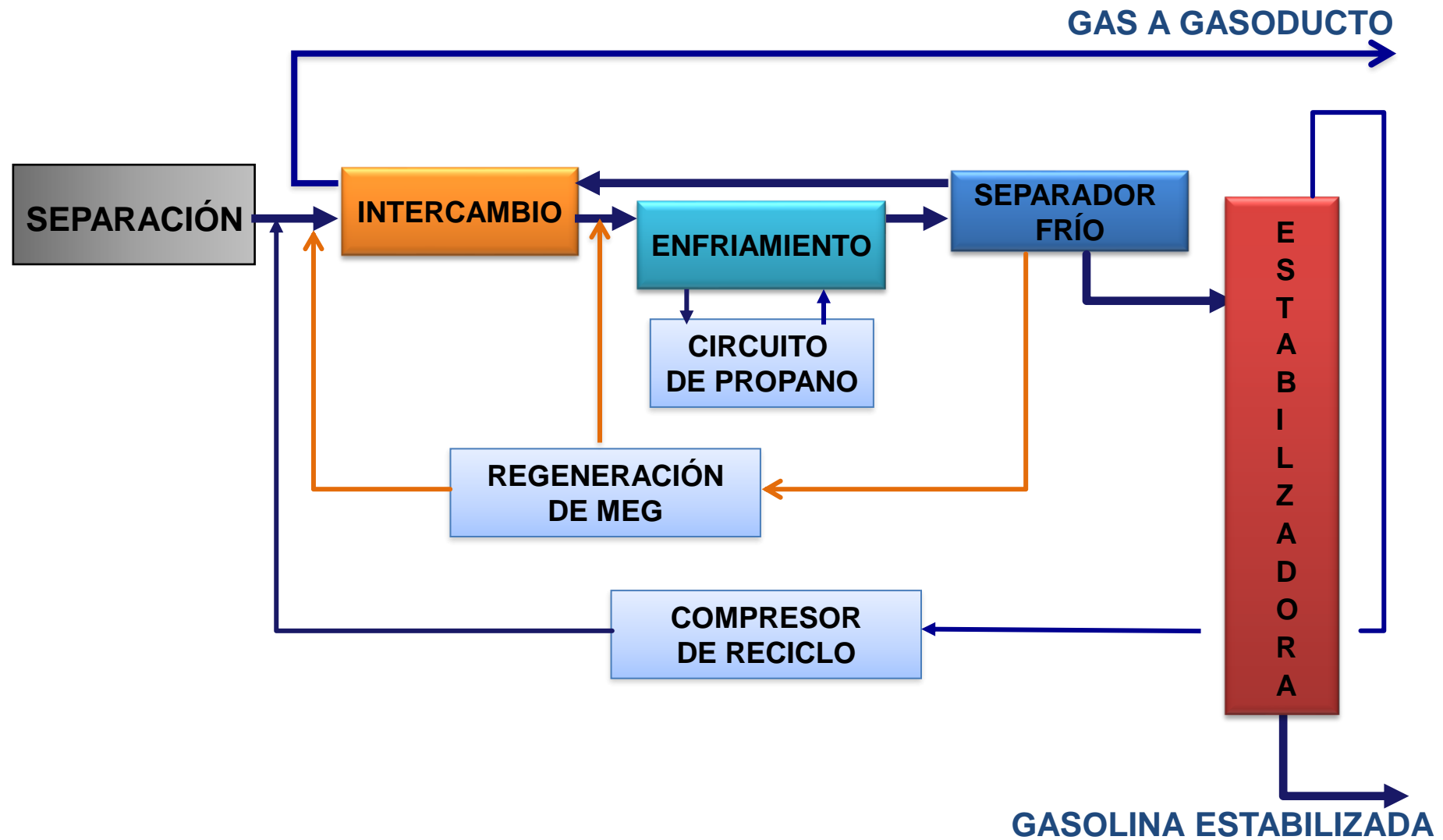


# Planta de Deshidratación – Absorción con TEG





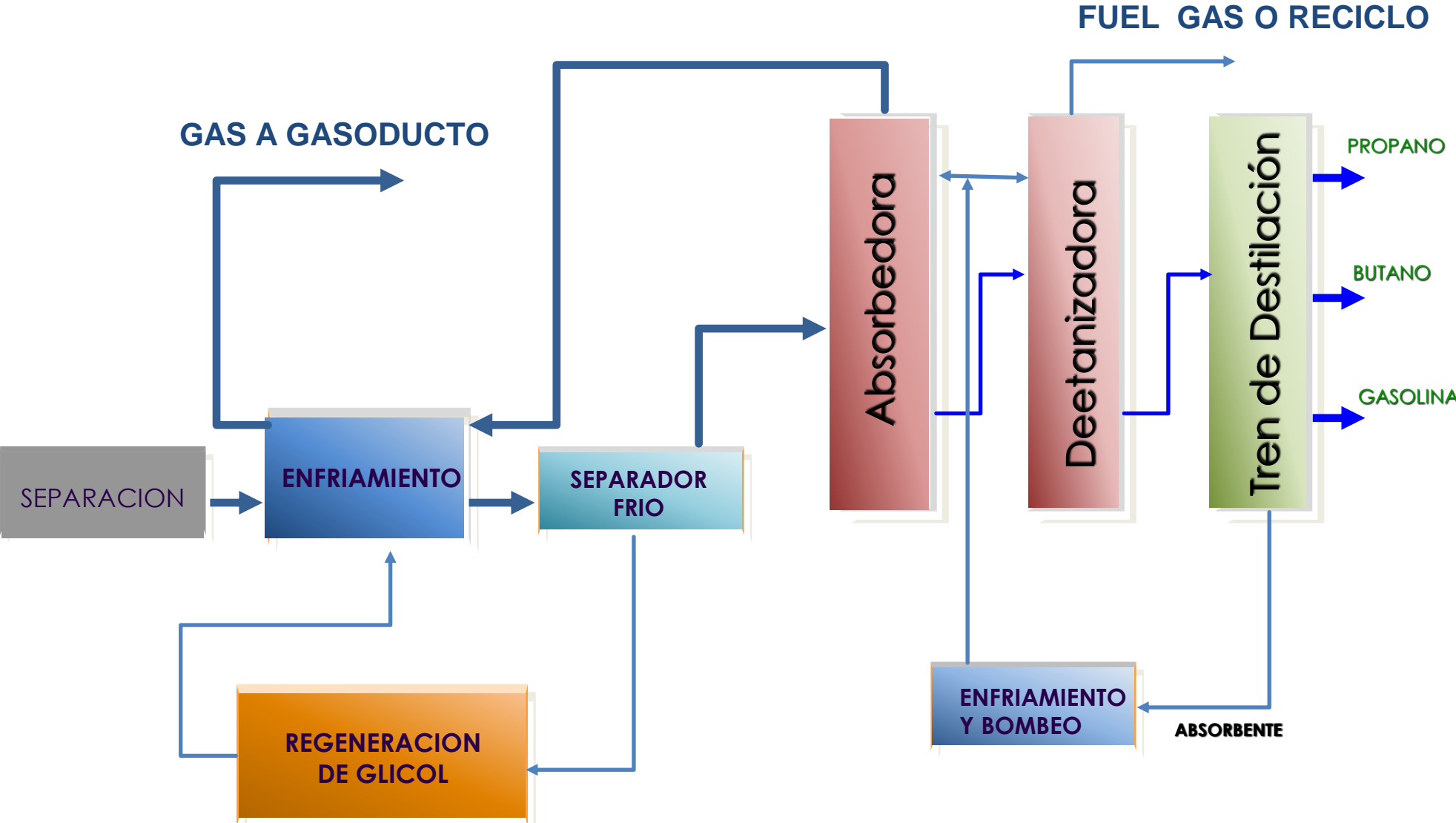
# Planta de Ajuste de Punto de Rocío – Refrigeración Mecánica



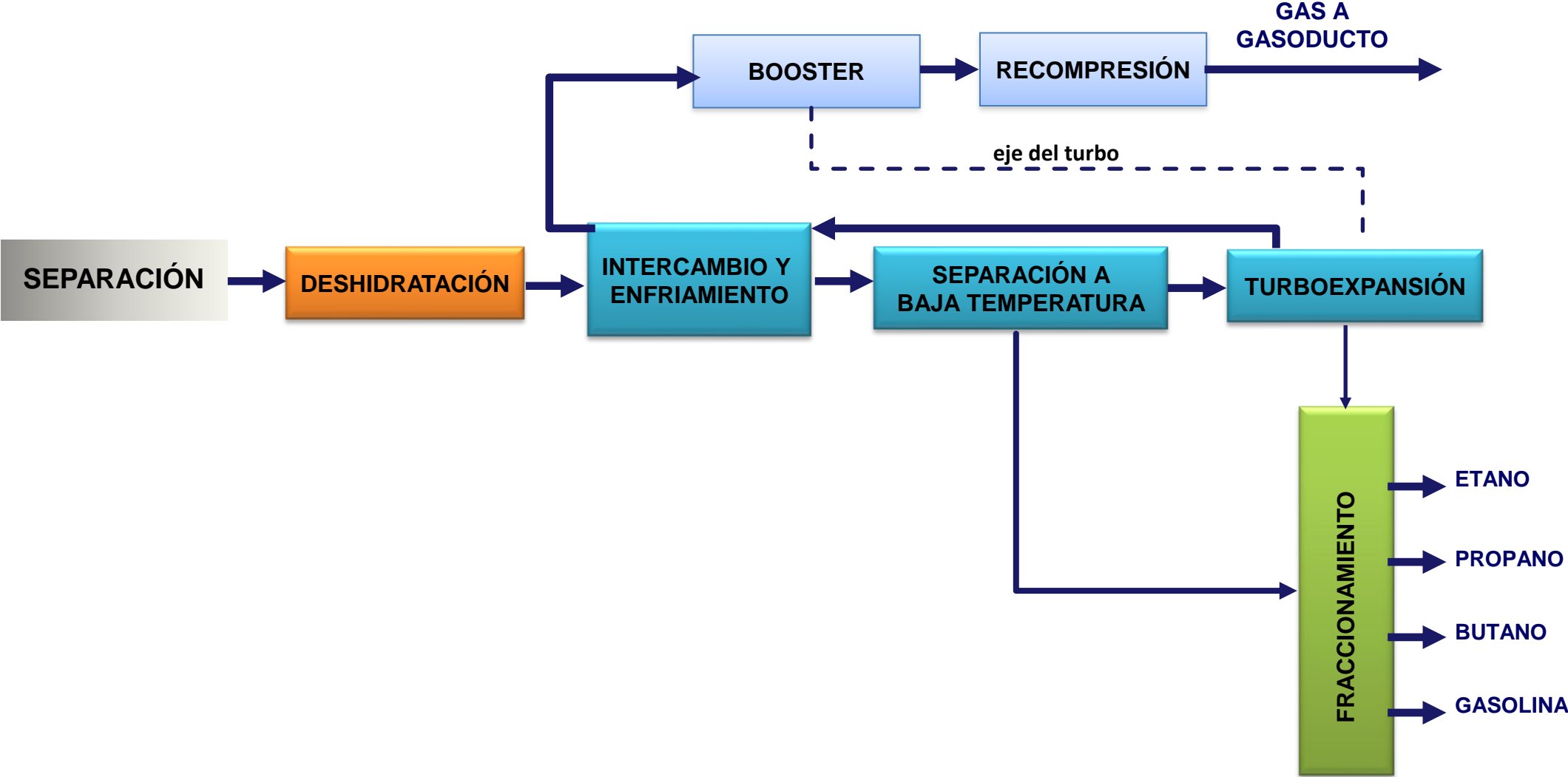




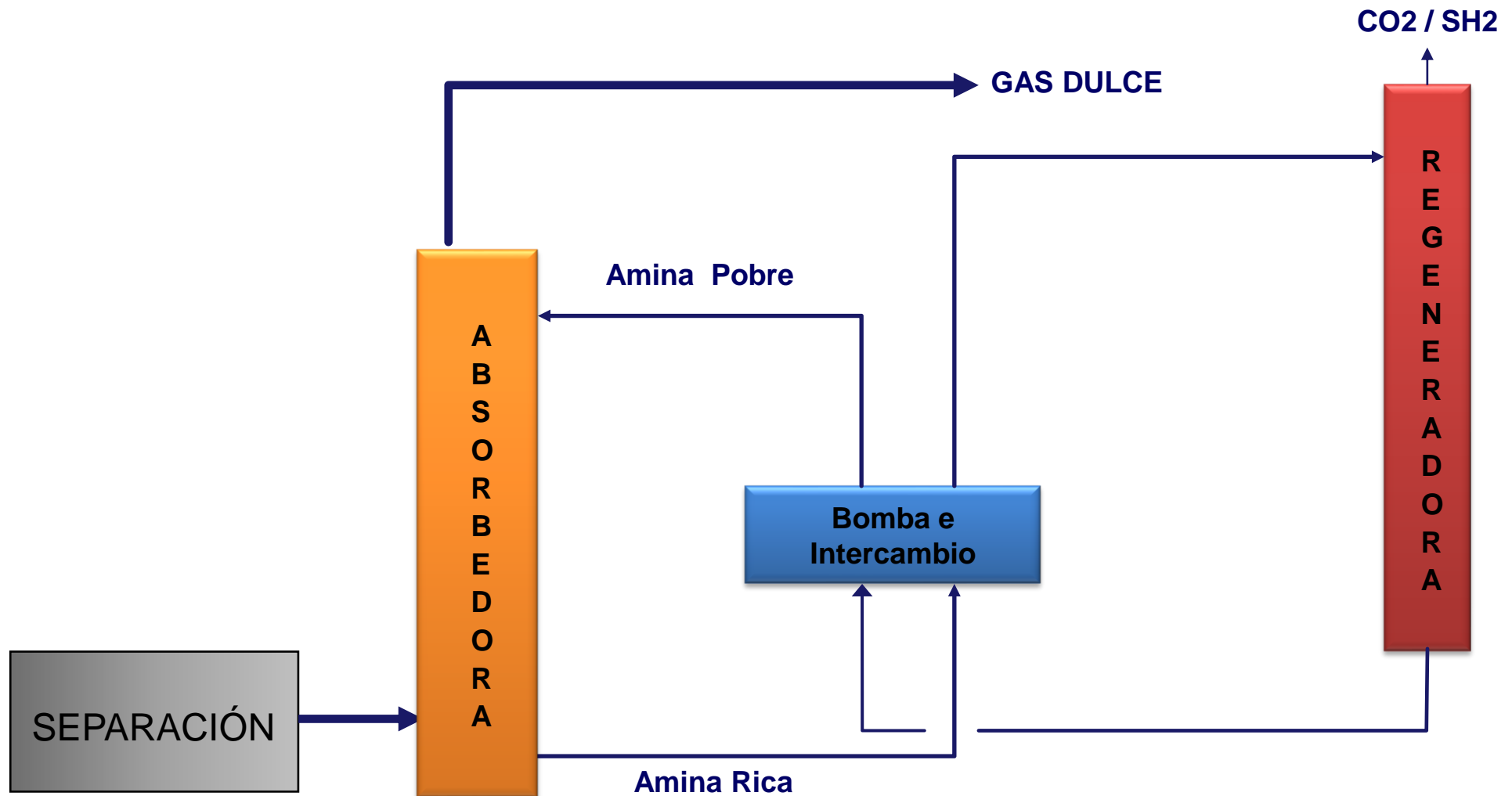
# PLANTA DE RECUPERACION DE LPG Absorción Refrigerada



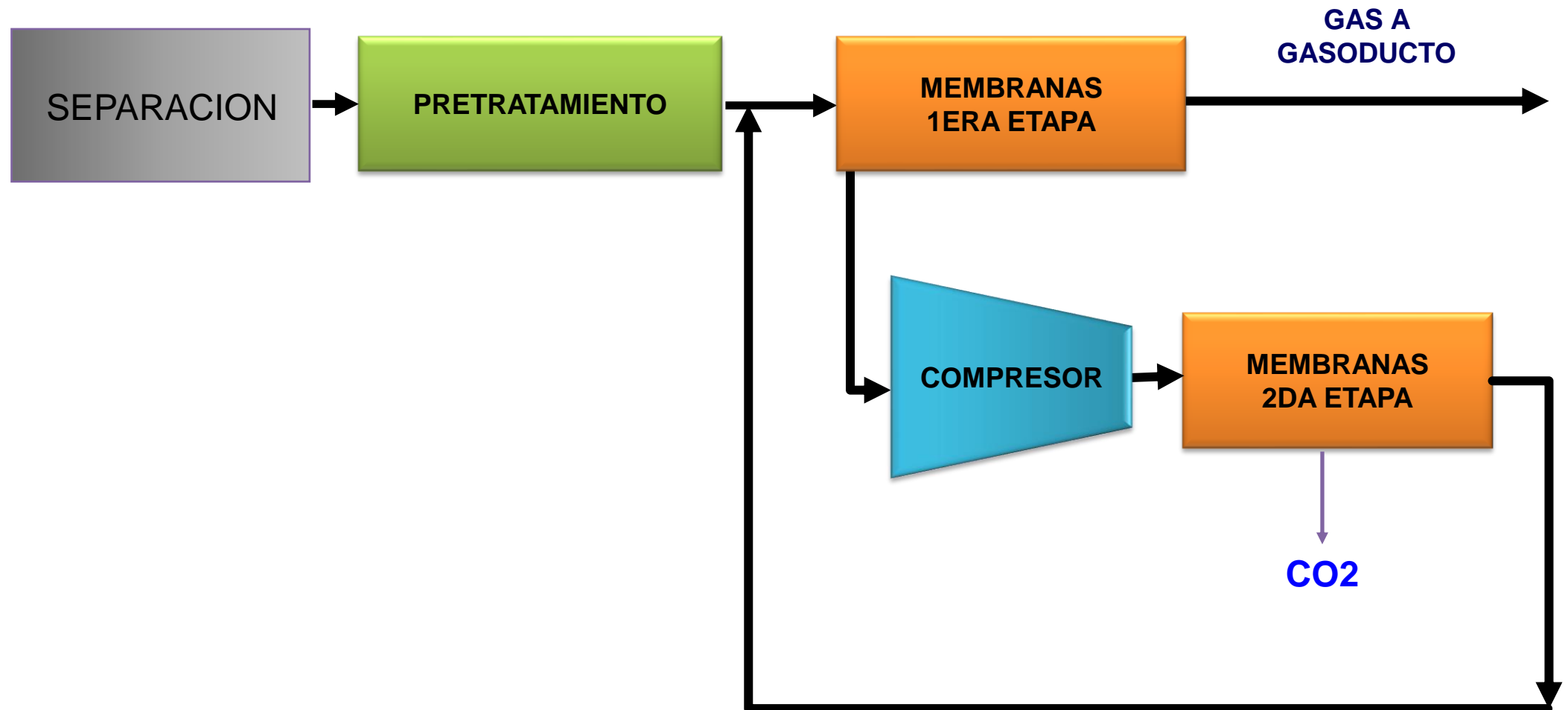
# Planta de Recuperación de NGL – Turboexpansión



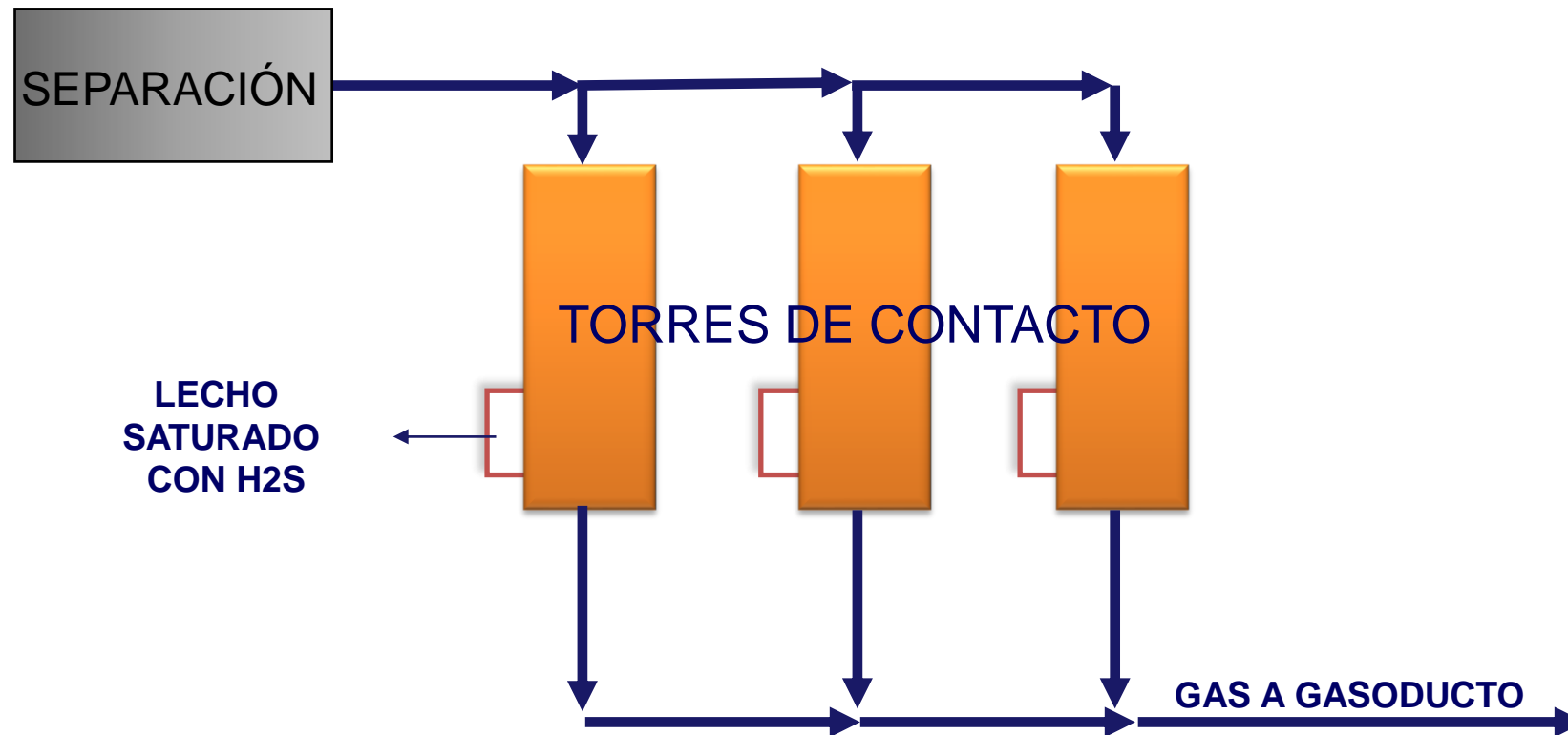
# Planta de Endulzamiento – Absorción con Aminas



# Planta de Endulzamiento – Membranas



# Planta de Endulzamiento – Lechos Sólidos no Regenerativos



# ANEXOS

- **CONCEPTOS TERMODINÁMICOS – Leyes de Equilibrio**
- **ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS**
- **TABLAS DE CONVERSIÓN DE UNIDADES**
- **UNIDADES DE ENERGÍA**

# MOL

## CONCEPTOS TERMODINÁMICOS – kmol y volumen molar

**1 kmol: es una masa igual al peso molecular expresado en kg.**

$$1 \text{ kmol CH}_4 = 16 \text{ kg DE CH}_4$$

$$1 \text{ kmol C}_3\text{H}_8 = 44 \text{ kg DE C}_3\text{H}_8$$

**A una misma presión y temperatura un dado número de moléculas ocupa el mismo volumen independientemente de la naturaleza del gas.**

- VOLUMEN MOLAR

Sólo función de P y T

- VOLUMEN MOLAR NORMAL = 22,414 m<sup>3</sup>/kmol

(@ P = 1 ata , T = 0 °C)

- VOLUMEN MOLAR STANDARD = 23,65 m<sup>3</sup>/kmol

(@ P = 1 ata , T = 15 °C)

# LEY DE GASES IDEALES

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- P: Presión absoluta del gas [bar]
- V: Volumen ocupado por el gas (volumen del recipiente) [m<sup>3</sup>]
- n: Número de kmoles (peso de gas kg/peso molecular)
- R: Constante Universal del Gas Ideal [0,08315 m<sup>3</sup> bar/K kmol]
- T: Temperatura absoluta del gas [K] (t °C + 273,15)

Para una cierta masa de gas, en dos condiciones de P y T:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$



# Constante Universal de los Gases

R =	8,314472	kJ / (K kmol)
	8,314472	m <sup>3</sup> kPa / (K kmol)
	0,08314472	m <sup>3</sup> Bar / (K kmol)
	0,08205746	m <sup>3</sup> atm / (K kmol)
	62,36367	L mmHg / (K mol)
	1,987	kcal / (K kmol)
	10,73159	ft <sup>3</sup> psi / (°R lb-mol)
	0,7302413	ft <sup>3</sup> atm / (°R lb-mol)

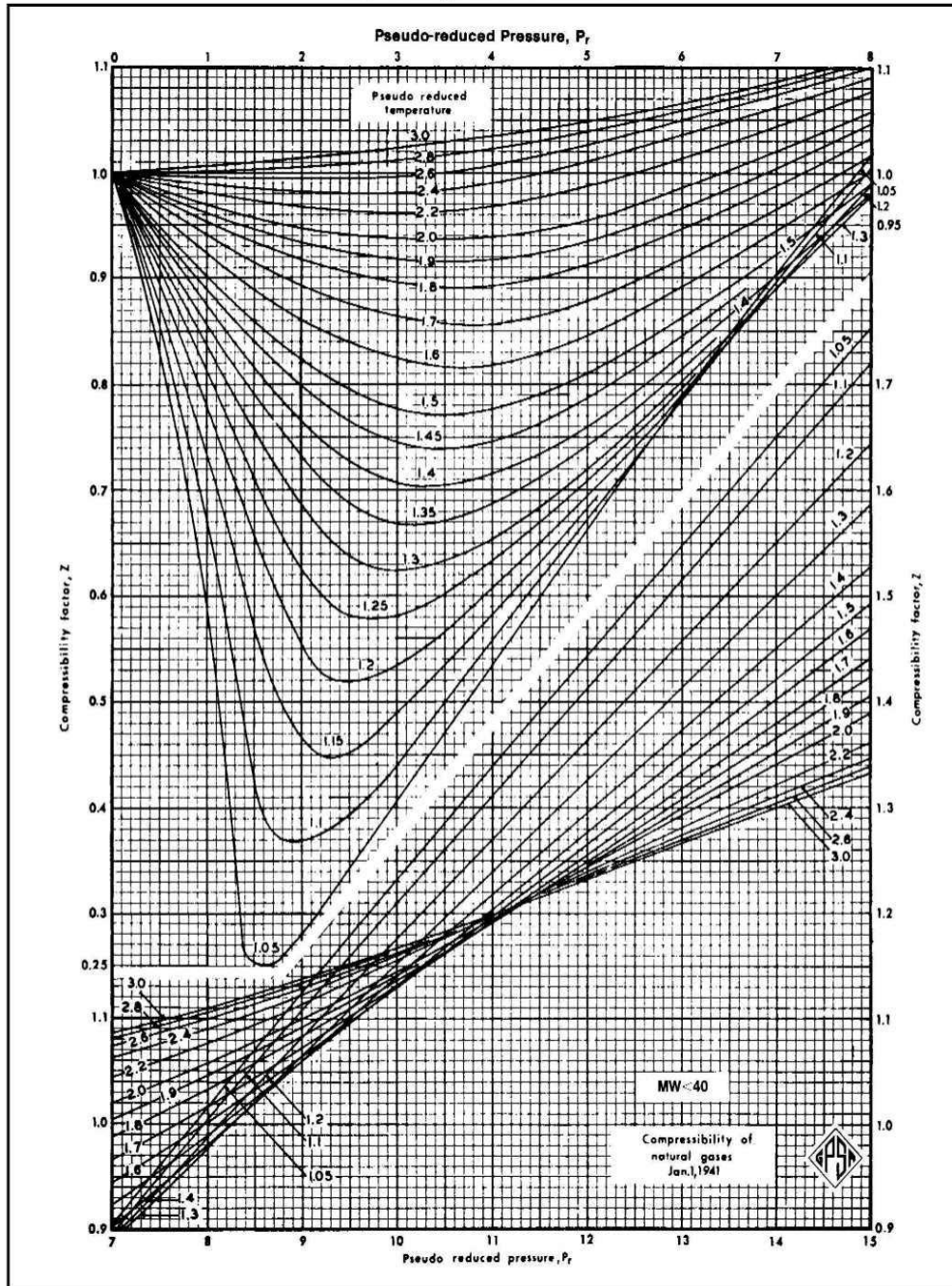
## GASES REALES

El comportamiento del Gas Natural, así como el de los vapores obtenidos de hidrocarburos puros o mezcla de los mismos, no responde con exactitud a lo establecido anteriormente.

Por lo tanto, se debe introducir un factor de corrección

$$P.V = Z.n.R.T$$

- Z: Factor de compresibilidad (Función de P, T, peso molecular)



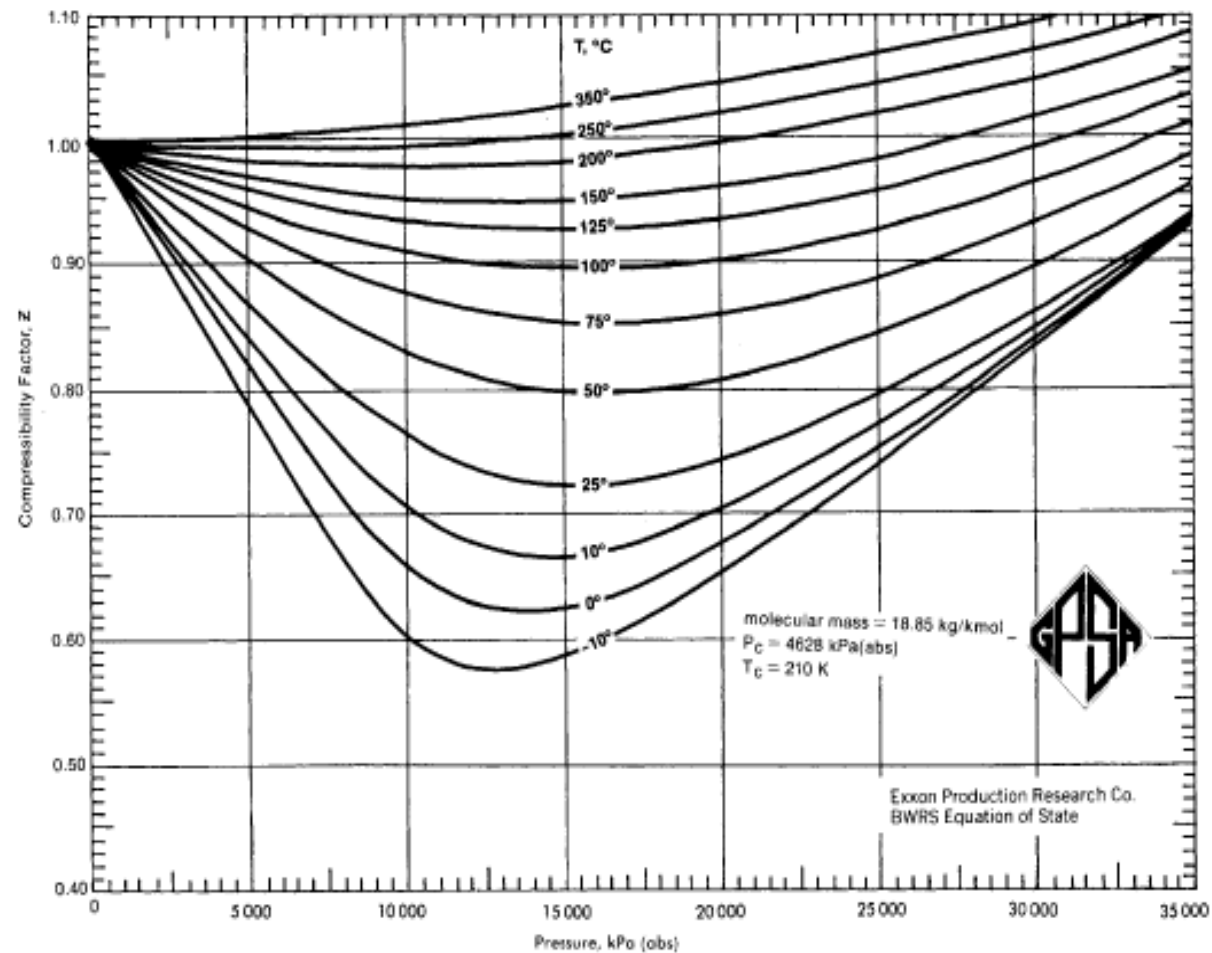
## Z : FACTOR DE COMPRESIBILIDAD

El factor Z es función de la naturaleza o composición del gas, de la presión y de la temperatura; y se define como la relación entre el volumen que ocupa un gas real y el que ocuparía la misma cantidad de gas perfecto:  $Z = V_r/V_p$ .

El hecho de que generalmente Z sea menor que la unidad, indica que a una presión determinada, en un recipiente dado, entra mayor masa de gas real que si fuese gas perfecto.

# FACTOR DE COMPRESIBILIDAD – GAS NATURAL f/PM

Z para un Gas Natural de Peso Molecular = 18.85



# LEYES QUE REGULAN EL EQUILIBRIO LÍQUIDO-VAPOR

## Ley de Dalton:

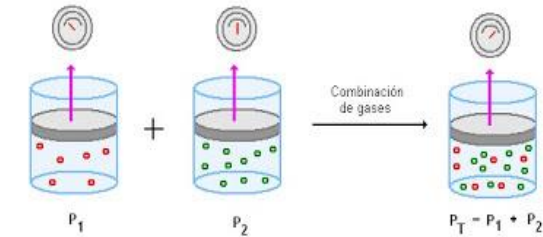
$$P_i = y_i * P$$

$$\sum y_i = 1, \sum P_i = P$$

P: Presión absoluta del sistema

$P_i$ : Presión parcial del componente i

$y_i$ : Fracción molar del componente i en el vapor



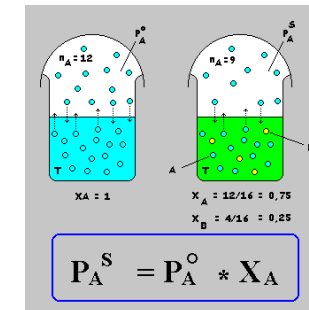
## Ley de Raoult:

$$P_i = p_i * x_i$$

$$\sum x_i = 1$$

$p_i$ : Tensión de vapor del componente i a la temp. t

$x_i$ : Fracción molar del componente i en la fase líquida



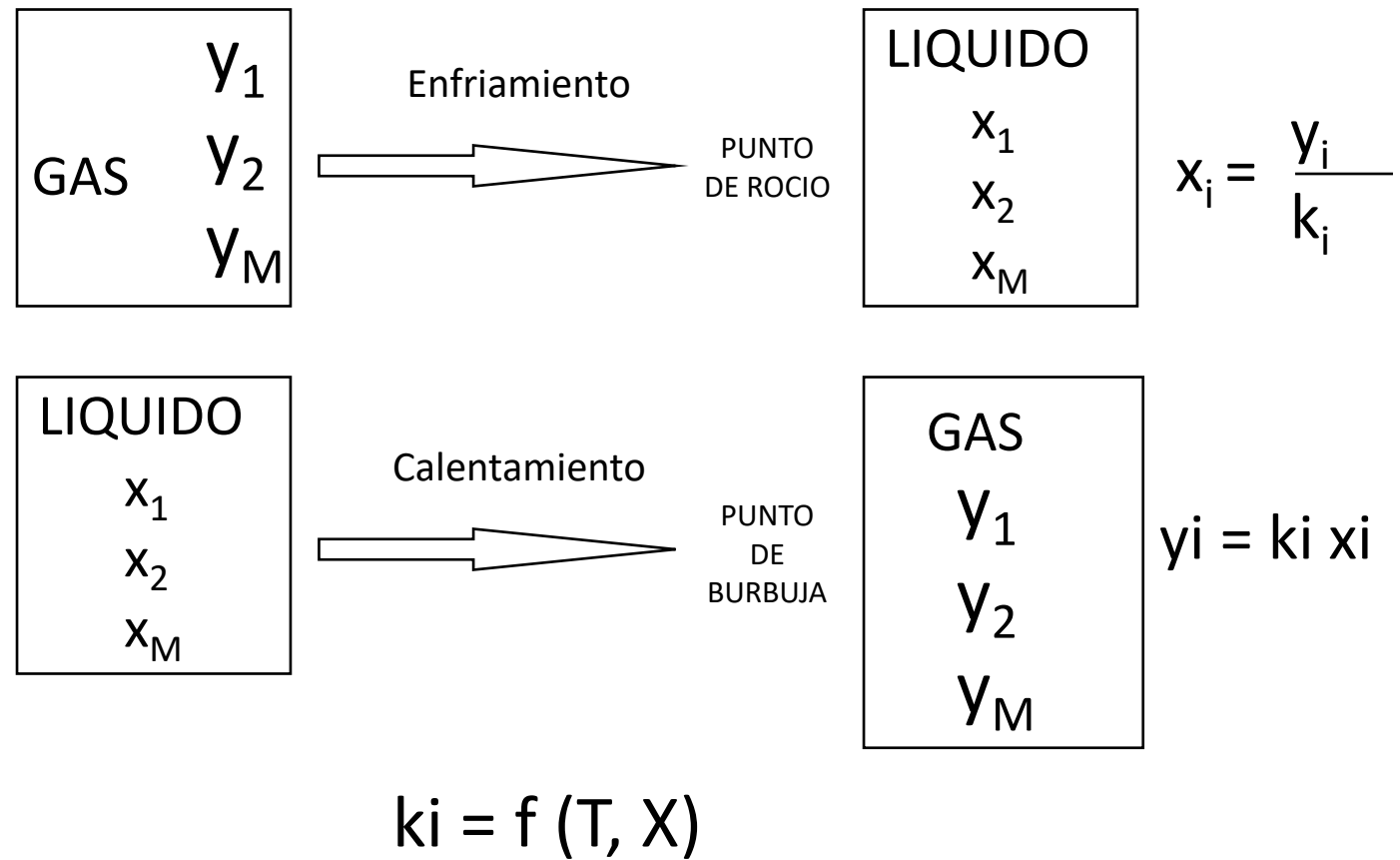
## Ley de Henry:

$$y_i = k_i * x_i$$

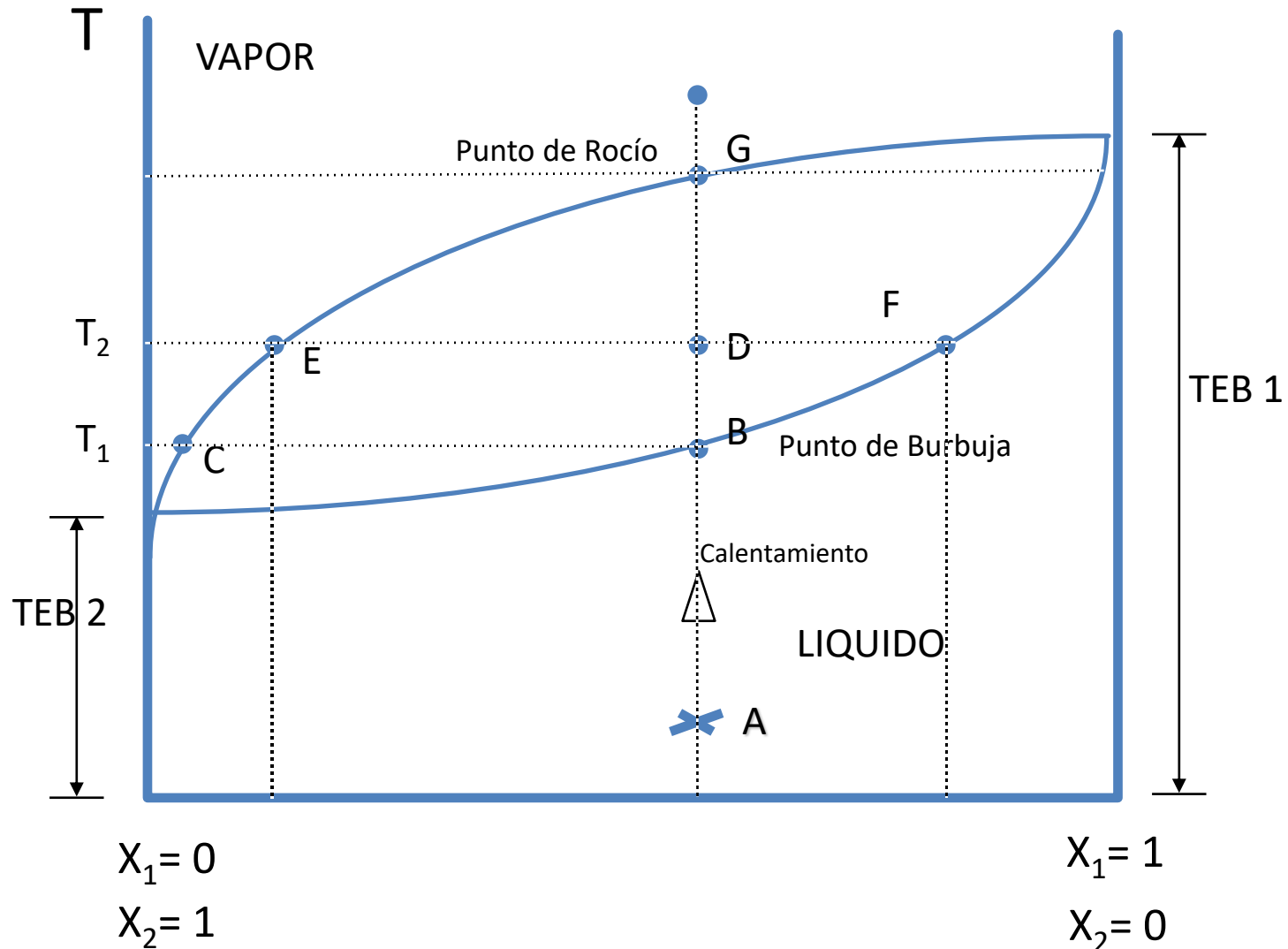
$$y_i = (p_i / P) x_i$$

$k_i$ : Constante de equilibrio, que depende de la presión y la temperatura, y también de la naturaleza y proporción de los demás componentes distintos del i considerado. Coeficiente Experimental

# EQUILIBRIO LÍQUIDO - VAPOR



# EQUILIBRIO LÍQUIDO - VAPOR: Sistemas Binarios



$$k_1(T_1) = \frac{y_C}{x_B}$$

$$k_1(T_2) = \frac{y_E}{x_F}$$

Componente X1

A:	$f_v = 0$	$f_l = 0,6$
B:	$f_v = 0,05$	$f_l = 0,6$
D:	$f_v = 0,15$	$f_l = 0,8$
G:	$f_v = 0,6$	$f_l = 0,98$
H:	$f_v = 0,6$	$f_l = 0$

Componente X2

A:	$f_v = 0$	$f_l = 0,4$
B:	$f_v = 0,95$	$f_l = 0,4$
D:	$f_v = 0,85$	$f_l = 0,2$
G:	$f_v = 0,4$	$f_l = 0,02$
H:	$f_v = 0,4$	$f_l = 0$

## ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS

Recuperar del Gas Natural, el **etano**, el **propano** y el **butano**, en estado líquido, tiene como objetivo principal dar mayor valor económico al Gas.

Esto dependerá de los precios relativos de cada uno de esos componentes, si se los vende en la corriente gaseosa o si se los vende líquidos.

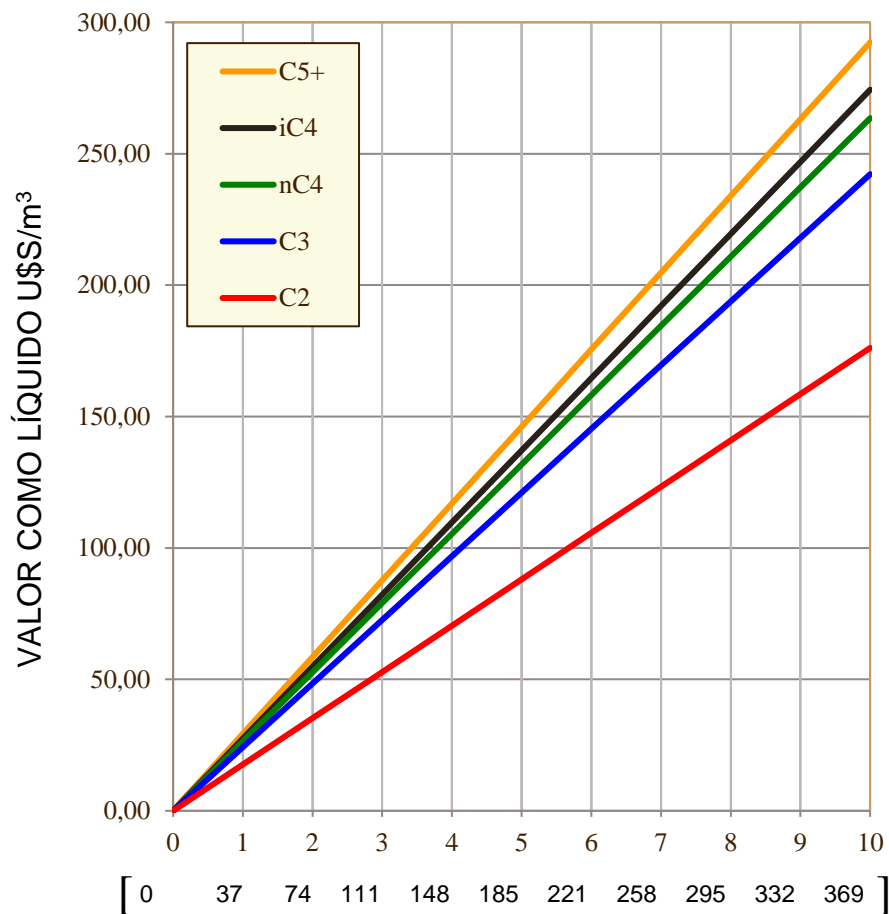
Nota: El valor de una corriente de gas se expresa generalmente en **U\$S/MMBTU**. El valor de dichos componentes vendidos como líquido se expresan generalmente en **U\$S/ton**.



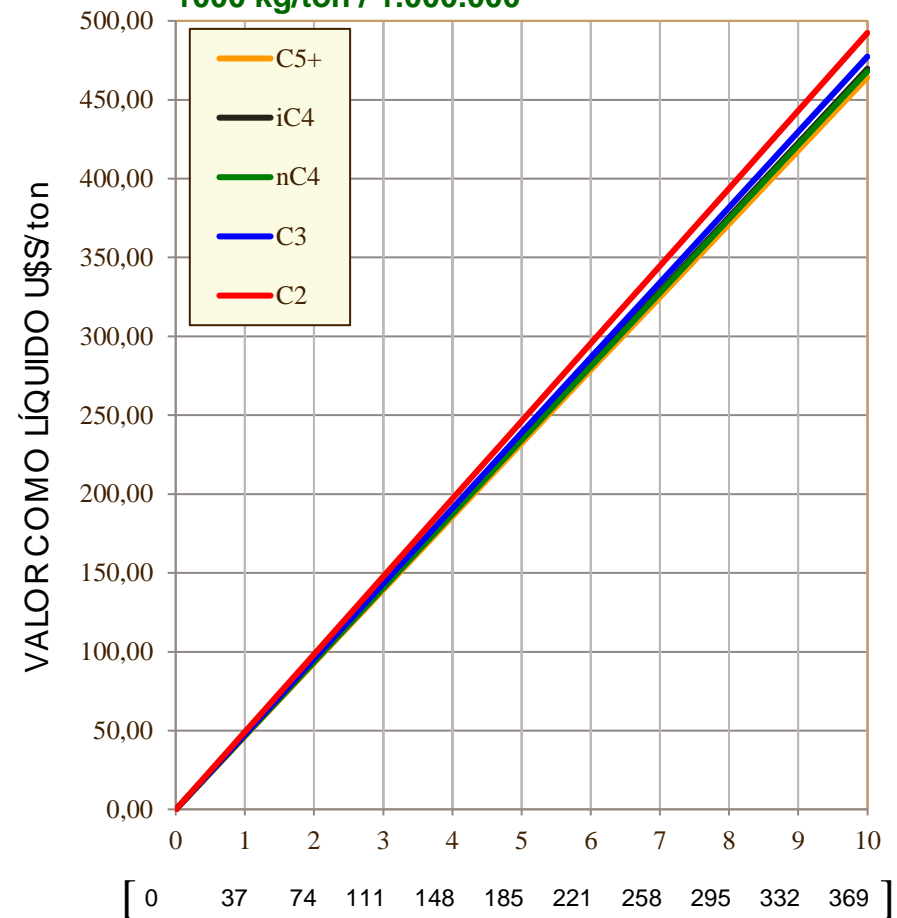
# RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL

## EQUIVALENCIA VALOR GAS vs. VALOR LIQUIDO

$$\text{U\$/m}^3 = \text{U\$/ton} * \text{kg/m}^3 * 1 \text{ ton}/1000 \text{ kg}$$



$$\text{U\$/ton} = \text{U\$/MMBTU} * \text{BTU/kcal} * \text{kcal/kg} * 1000 \text{ kg/ton} / 1.000.000$$



VALOR COMO GAS U\\$/MMBTU [U\\$/Mil Sm<sup>3</sup> @ 9.300 kcal/Sm<sup>3</sup>]

# ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS

## RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL CASO 1: AJUSTE DE PUNTO DE ROCÍO Y ESTABILIZACIÓN DE GASOLINA

CAUDAL DE ALIMENTACIÓN	1.000.000	Sm3/día
Precio del Gas de Venta	4,50	U\$/millón de Btu
Precio del Etano	250	U\$/ton
Precio del LPG	250	U\$/ton
Precio de la Gasolina	250	U\$/m3
Régimen de Producción	350	días/año

GAL/10<sup>3</sup>SCF ALIM: 2,01

DATOS

RESULTADOS

COMP.	MW	GAL/10 <sup>3</sup> SFC	TON/DÍA (2)	PCS Kcal/Sm3	%MOLAR (3)	% RECUPERACIÓN				CANTIDADES RECUPERADAS (por millón Sm3/d)			
						GAS	ETANO	LPG	GASOLINA	GAS Sm3/día	ETANO ton/día	LPG ton/día	GASOLINA ton/día
N2	28			-	0,30	100,00	-	-	-	3.000	-	-	-
CO2	44			-	0,70	100,00	-	-	-	7.000	-	-	-
C1	16			8.989	87,70	100,00	-	-	-	877.000	-	-	-
C2	30		12,70	15.748	5,00	100,00	-	-	-	50.000	-	-	-
C3	44	27	18,60	22.392	3,00	100,00	-	-	-	30.000	-	-	-
iC4	58	33	24,50	28.940	1,00	98,00	-	-	2,00	9.800	-	-	0,49
nC4	58	31	24,50	29.032	0,60	92,00	-	-	8,00	5.520	-	-	1,18
iC5	72	37	30,50	35.605	0,50	35,00	-	-	65,00	1.750	-	-	9,91
nC5	72	36	30,50	35.676	0,40	25,00	-	-	75,00	1.000	-	-	9,15
C6	86	41	36,50	42.324	0,50	10,00	-	-	90,00	500	-	-	16,43
C7(1)	114	51	48,30	55.611	0,30	1,00	-	-	99,00	30	-	-	14,35
100,00										985.600	-	-	51,50
													76,86

PRODUCCIÓN:					VENTA (DOL/AÑO)	
GAS:	985.600	Sm3/día	PCS:	10.052	Kcal/Sm3	61.791.186
			MW:	18,65		
ETANO:	-	ton/día				-
LPG:	-	ton/día				-
GASOLINA:	76,9	m3/día				6.725.563
TOTAL						68.516.749

# ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS

## RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS DEL GAS NATURAL CASO 2: OBTENCIÓN DE LPG Y GASOLINA

CAUDAL DE ALIMENTACIÓN	1.000.000	Sm3/día
Precio del Gas de Venta	4,50	U\$/millón de Btu
Precio del Etano	250	U\$/ton
Precio del LPG	250	U\$/ton
Precio de la Gasolina	250	U\$/m3
Régimen de Producción	350	días/año

GAL/10<sup>3</sup>SCF ALIM: 2,01

DATOS RESULTADOS

COMP.	MW	GAL/10 <sup>3</sup> SFC	TON/DÍA (2)	PCS Kcal/Sm3	%MOLAR (3)	% RECUPERACIÓN				CANTIDADES RECUPERADAS (por millón Sm3/d)			
						GAS	ETANO	LPG	GASOLINA	GAS Sm3/día	ETANO ton/día	LPG ton/día	GASOLINA ton/día
N2	28			-	0,30	100,00	-	-	-	3.000	-	-	-
CO2	44			-	0,70	100,00	-	-	-	7.000	-	-	-
C1	16			8.989	87,70	100,00	-	-	-	877.000	-	-	-
C2	30		12,70	15.748	5,00	100,00	-	-	-	50.000	-	-	-
C3	44	27	18,60	22.392	3,00	2,00	-	98,00	-	600	-	54,68	-
iC4	58	33	24,50	28.940	1,00	-	-	100,00	-	-	-	24,50	-
nC4	58	31	24,50	29.032	0,60	-	-	98,00	2,00	-	-	14,41	0,29
iC5	72	37	30,50	35.605	0,50	-	-	-	100,00	-	-	-	15,25
nC5	72	36	30,50	35.676	0,40	-	-	-	100,00	-	-	-	12,20
C6	86	41	36,50	42.324	0,50	-	-	-	100,00	-	-	-	18,25
C7(1)	114	51	48,30	55.611	0,30	-	-	-	100,00	-	-	-	14,49
100,00										937.600	-	93,59	60,48
													90,27

PRODUCCIÓN:				VENTA (DOL/AÑO)	
GAS:	937.600	Sm3/día	PCS:	9.262	Kcal/Sm3
ETANO:	-	ton/día	MW:	17,01	
LPG:	93,6	ton/día			
GASOLINA:	90,3	m3/día			
TOTAL					70.251.437

# ECONOMÍA DE LA RECUPERACIÓN DE LÍQUIDOS

## VENTA ANUAL (millones de dólares) Para distintos escenarios de Precios de Gas y Líquidos

Precio GAS U\$\$/MMBtu	Precio Líq: Bajos			Precio Líq: Altos		
	APR	LPG	Dif. Anual	APR	LPG	Dif. Anual
2,5	41,1	46,2	5,1	43,7	52,6	8,9
4,5	68,5	70,2	1,7	71,2	76,7	5,5
7,5	109,7	106,4	-3,3	112,4	112,8	0,4

APR: Ajuste de Punto de Rocío

Precio de Líquidos		Bajos	Altos
LPG	U\$\$/ton	250	350
Gasolina	U\$\$/m <sup>3</sup>	250	350

Costo (TIC) estimado (caudal de Gas: 1 millón m <sup>3</sup> /día)	millones U\$S
Planta de Ajuste de Punto de Rocío	20
Planta de LPG	70
Diferencia TIC entre planta LPG y APR	50

# CONVERSIÓN DE UNIDADES

PRESIÓN			
1	ata	1,033	kgf/cm <sup>2</sup>
1	bar	1,020	kgf/cm <sup>2</sup>
1	bar	14,5	psi
1	bar	100	kPa
TEMPERATURA			
	°F		°C x 1,8 + 32
	K		°C + 273,2
VOLUMEN			
1	m <sup>3</sup>	35,31	ft <sup>3</sup>
MASA			
1	kg	2,20	lb
ENERGÍA			
1	kcal	3,96	Btu
1	kcal	4,187	kJ
1	toe	10 <sup>7</sup>	kcal
POTENCIA			
1	kW	860	kcal/h
1	HP	0,746	W
CALOR ESPECÍFICO			
1	kcal/kg °C	1	Btu/lb °F
PRECIO			
1	U\$S / 10 <sup>6</sup> Btu	0,03689	U\$S /Nm <sup>3</sup> @ 9300 kcal/Nm <sup>3</sup>

# UNIDADES DE ENERGÍA

toe: toneladas métricas equivalentes de petróleo

boe: barriles equivalentes de petróleo

Cálculos							
1 toe	10.000	Kcal/kg					10.000.000 kcal/toe
1 toe	1,086	m <sup>3</sup> /toe	6,289	boe/m <sup>3</sup>			6,83 boe/toe
1 boe	6,83	boe/toe	10.000.000	kcal/toe	3,96	Btu/kcal	5,80 M Btu/boe
1 MSCM gas	9.000	kcal/SCM	10.000.000	kcal/toe			900,00 toe/MSCMgas
1 MSCF gas	6,83	boe/toe	900,00	toe/MSCMgas	35,31	SCF/SCM	174,01 boe/MSCF
<b>valores de PCS y densidad de petróleo y gas, para hacer la equivalencia</b>							

Resultados				
	toe	boe	MSCM	MSCF
toe	1	6,83	0,00111	0,03923
boe	0,1465	1		174,01
MSCM	900,00	0,20	1	35,31
MSCF	25,49	0,005747	0,02832	1

ver: American Physical Society, Energy Units <http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/energy/units.cfm>

NOTA: 1) Los valores base de la equivalencia son arbitrarios y hay distintos valores según sea la fuente (OECD/IEA, IIASA, etc)

2) M : 10<sup>6</sup>

# Caloria vs BTU

En el mundo hay tres tipos de calorías bien conocidas (en realidad hay varias más), a saber:

- La caloría a 15°C, es la definida como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 gr. de agua de 14,5 a 15,5°C a 1 atm, siendo la ITWM (International Committee for Weights and Measures) quien define su valor igual a 4,1855 Joules, en 1950.

$$1 \text{ kcal}_{15} = 3,96709 \text{ BTU}$$

- La caloría de vapor o internacional, definida por la ISTC (International Steam Table Conference) como la 1/860 veces el watt hora, = 4,1860 Joules. Luego con la adopción del sistema absoluto de unidades eléctricas cambió a 1/859.858 veces el watt hora, aproximadamente igual a 4,18674 Joules; y en la actualidad es igual a 4,1868 Joules (definido en la Fifth International Conference on the Properties of Steam, London-1956; por ser un valor divisible por 9 y que por lo tanto facilita sus conversiones).

$$1 \text{ kcal}_{IT} = 3,96832 \text{ BTU}$$

- La caloría termoquímica, definida por el NBS (U.S. Bureau of Standards) como exactamente igual a 4,184 Joules, en 1953. Muy utilizada en Europa.

$$1 \text{ kcal}_{th} = 3,96567 \text{ BTU}$$