

Transporte, Distribución y Logística Energética

Bloque I. Transporte, Distribución y Logística de Combustibles

TEMA 1. ASPECTOS GENERALES



Juan Carcedo Haya

DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

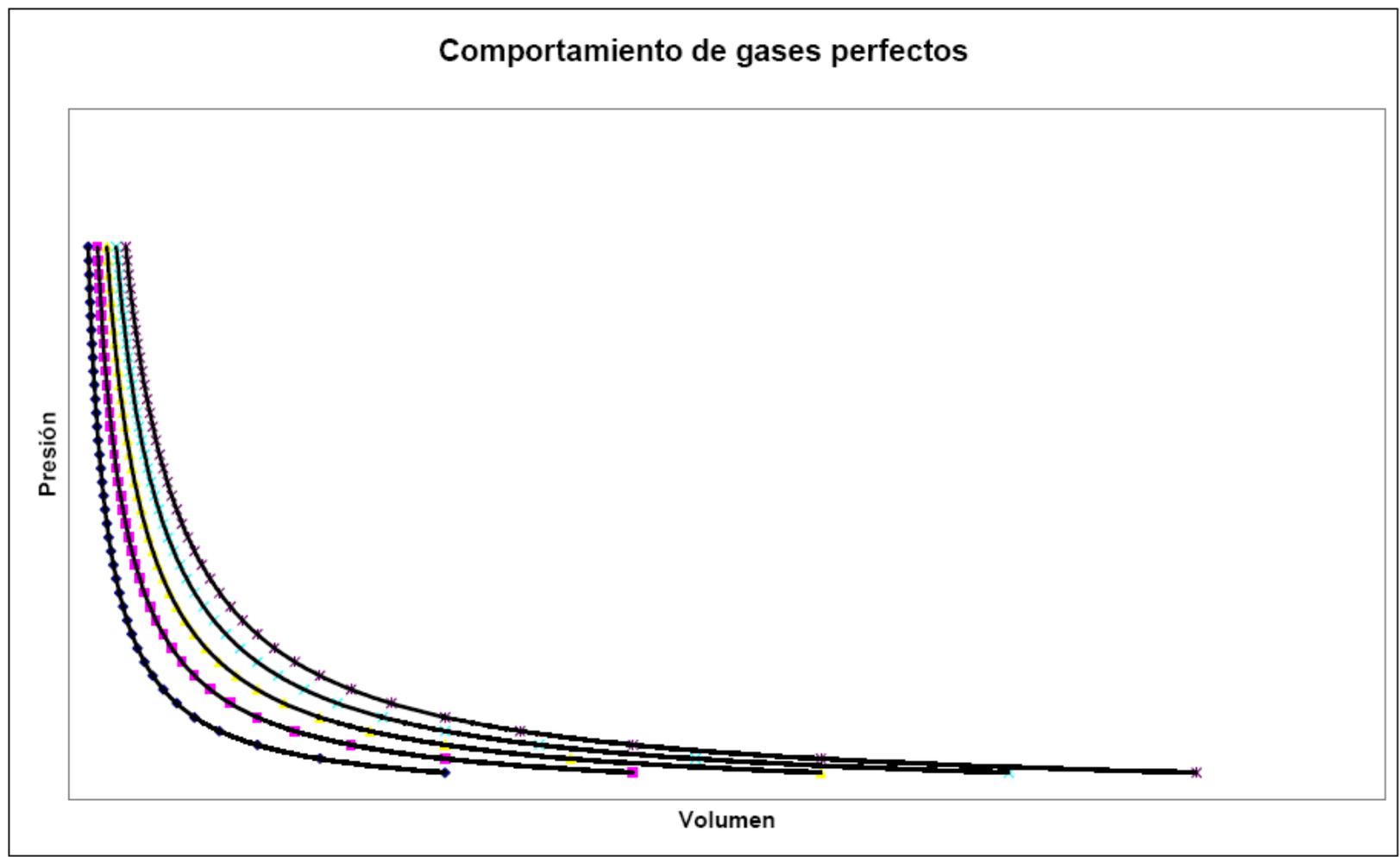


CONTENIDO

1. Aspectos generales
2. El gas natural
3. Los gases licuados del petróleo
4. Cálculo de instalaciones
5. Logística de los combustibles

$$p \cdot v = R \cdot T$$

Comportamiento de gases perfectos



En los gases reales hay interacciones entre moléculas; además éstas ocupan un cierto volumen, por lo que no cumplen la ecuación de estado anterior.

Algunas ecuaciones de estado más o menos aproximadas son:

- Ecuación de Van der Waals:
$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT$$

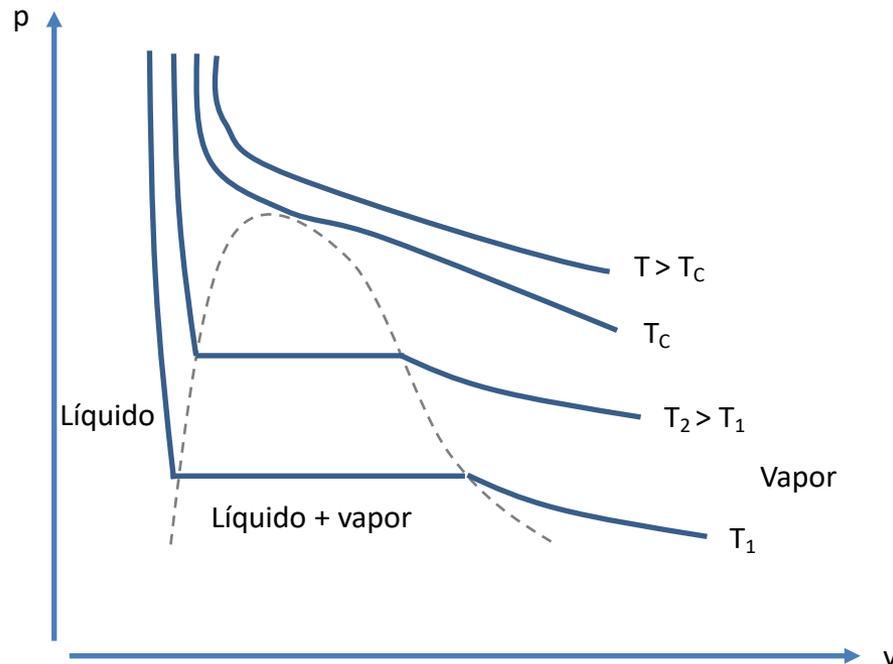
- Ecuación de Dieterici:
$$p \cdot e^{\frac{a}{vRT}} (v - b) = RT$$

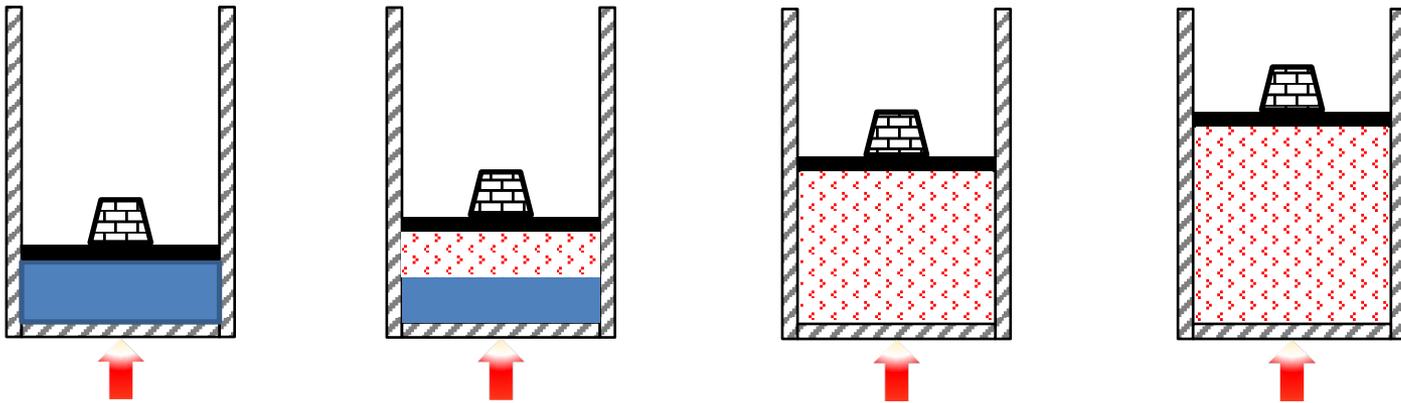
- Ecuación de Berthelot:
$$\left(p + \frac{a}{T \cdot v^2} \right) (v - b) = RT$$

A bajas presiones, los gases reales se comportan aproximadamente como gases ideales.

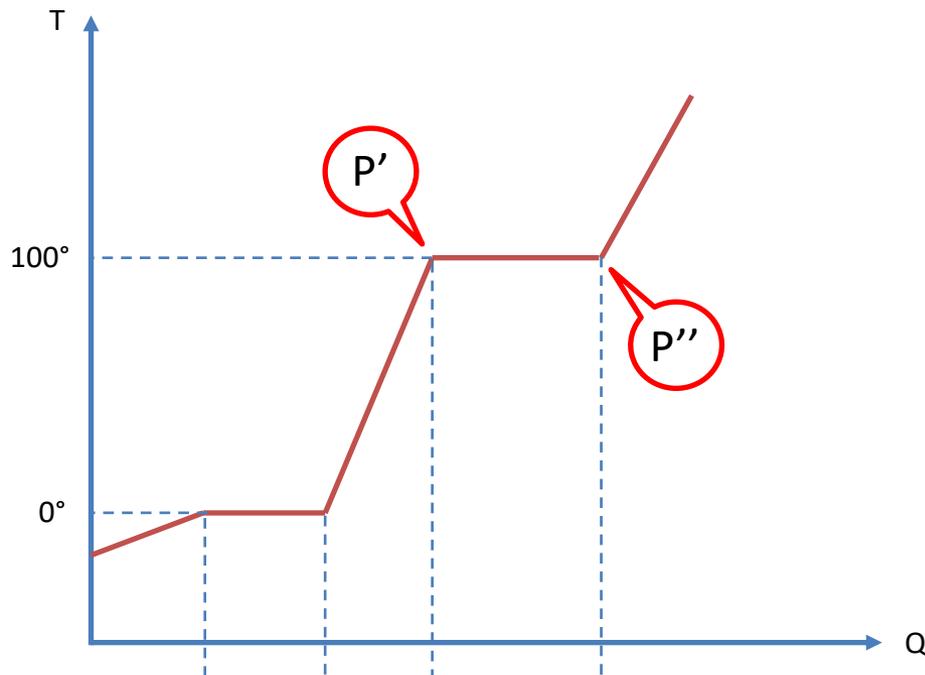
La siguiente figura muestra el comportamiento del vapor de agua. Se aprecia claramente la diferencia entre las isothermas de este gas real y las del gas perfecto.

El vapor de **agua** NO se comporta como un gas ideal.





Proceso de vaporización por adición de calor a presión constante. El líquido hierve a mayor temperatura a medida que aumenta la presión.



- Hasta P' : Líquido subenfriado.
- P' : Líquido saturado ó vapor saturado húmedo.
- P'' : Vapor saturado seco.
- Desde P'' : Vapor recalentado ó sobrecalentado.

CALOR NECESARIO EN EL PROCESO

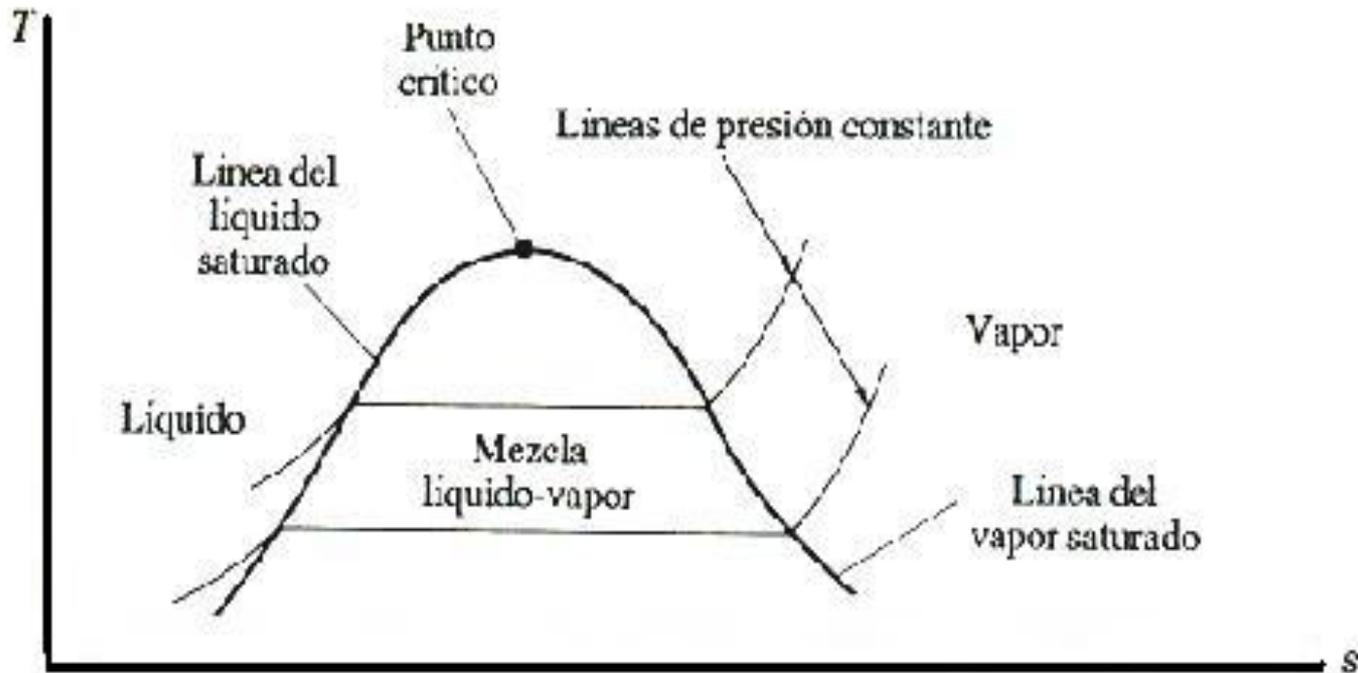
Hielo -20°C a hielo 0°C : 42 kJ/kg

Hielo 0°C a agua 0°C : 335 kJ/kg

Agua 0°C a agua 100°C : 420 kJ/kg

Agua 100°C a vapor 100°C : 2260 kJ/kg

A medida que aumenta la presión, se reduce el calor de vaporización.



1. CONSTANTES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AGUA HUMEDO

Presión sat	Temp. sat.	Volumen	Volumen	Entalpía	Entalpía	Entalpía	Entropía	Entropía	Entropía
bar	°C	v' (dm ³ /kg)	v'' (dm ³ /kg)	h' (kJ/kg)	h'' (kJ/kg)	$r_{\{1-v\}}$ (kJ/kg)	s' (kJ/kg·K)	s'' (kJ/kg·K)	D (kJ/kg·K)
0,0061	0,00	1,0002	206288,00	0,0	2500,8	2500,8	0,000	9,155	9,155
0,0061	1,00	1,0002	206146,00	0,0	2500,8	2500,8	0,000	9,155	9,155
0,0070	2,00	1,0001	179907,00	8,4	2496,0	2487,6	0,031	9,102	9,071

2. CONSTANTES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AGUA RECALENTADO

v = volumen específico en (dm³/kg)

h = entalpía específica en (kJ/kg)

s = entropía específica en (kJ/kg·K)

T(°C)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
p(bar)=0,01 ; Ts= 6,98°C															
v)	1,0002	149097	172192	195277	218357	241436	264514	287591	310661	333737	356813	379889	402965	426041	449117
h)	0	2595	2689	2784	2880	2978	3077	3178	3280	3384	3489	3597	3706	3816	3929
s)	0	9,241	9,512	9,751	9,966	10,163	10,344	10,512	10,67	10,819	10,96	11,094	11,223	11,346	11,465

1. ASPECTOS GENERALES

SUSTANCIA	FÓRMULA	T _E (°C)	T _C (°C)	PODER CAL. (kJ/kg)
Metano	CH ₄	-161	-82	55.125
Etano	C ₂ H ₆	-88	32	51.130
Propano	C ₃ H ₈	-42	97	50.000
Butano	C ₄ H ₁₀	-0,5	152	49.310
Pentano	C ₅ H ₁₂	36	197	48.430

- Gas natural
- Gases licuados del petróleo (GLP)
- Gases manufacturados (gas ciudad, gas de hulla, gas de agua...)

PROPIEDADES

- Poder calorífico inferior (PCI)
- Poder calorífico superior (PCS)
- Índice de Wobbe (UNE 60.002)
- Poder comburívoro
- Poder fumígeno
- ...

- Poder calorífico inferior (PCI)

Cantidad de calor producido por la combustión completa de una unidad de masa o volumen de gas, sin que condense el vapor de agua contenido en los productos de la combustión.

-Poder calorífico superior (PCS)

Cantidad de calor producido por la combustión completa de una unidad de masa o volumen de gas, suponiendo que condensa el vapor de agua contenido en los productos de la combustión.

PCI de algunos gases combustibles:

- Gas natural: 12 kWh/m³(n)
- Gas propano: 25 kWh/m³(n)
- Gas butano: 33 kWh/m³(n)

	MJ	te	kcal	kWh
MJ	1	0,2389	238,9	0,2778
te	4,186	1	10 ³	1,163
kcal	4,186.10 ⁻³	10 ⁻³	1	1,163.10 ⁻³
kWh	3,6	0,86	860	1

DENSIDAD RELATIVA

- Gas natural: 0,55
- Gas propano: 1,5
- Gas butano: 2

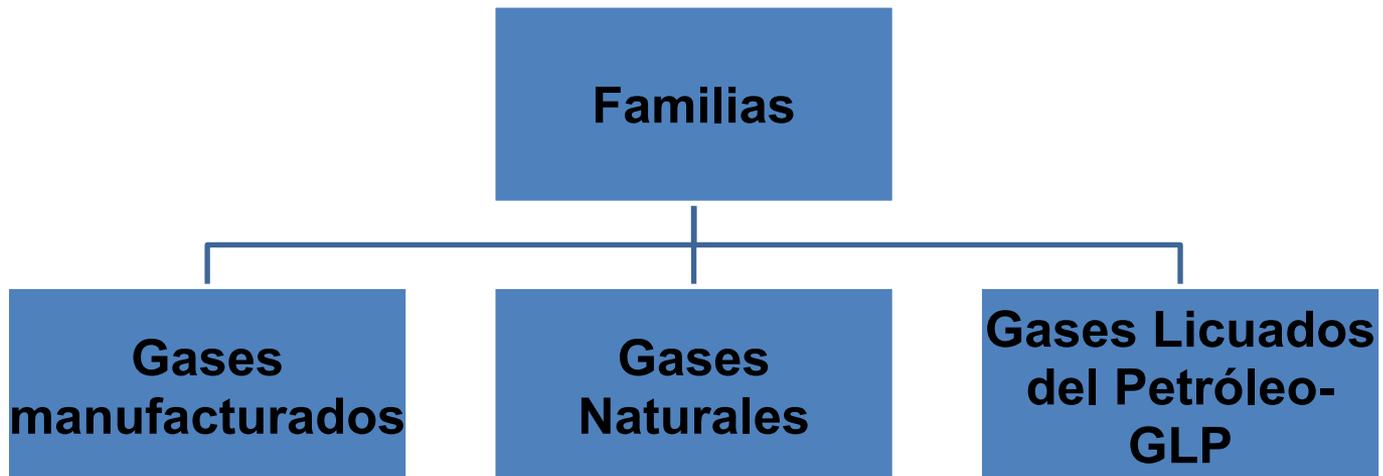
$$W = \frac{\text{P.C.S.}}{\sqrt{D_R}}$$

Índice de Wobbe

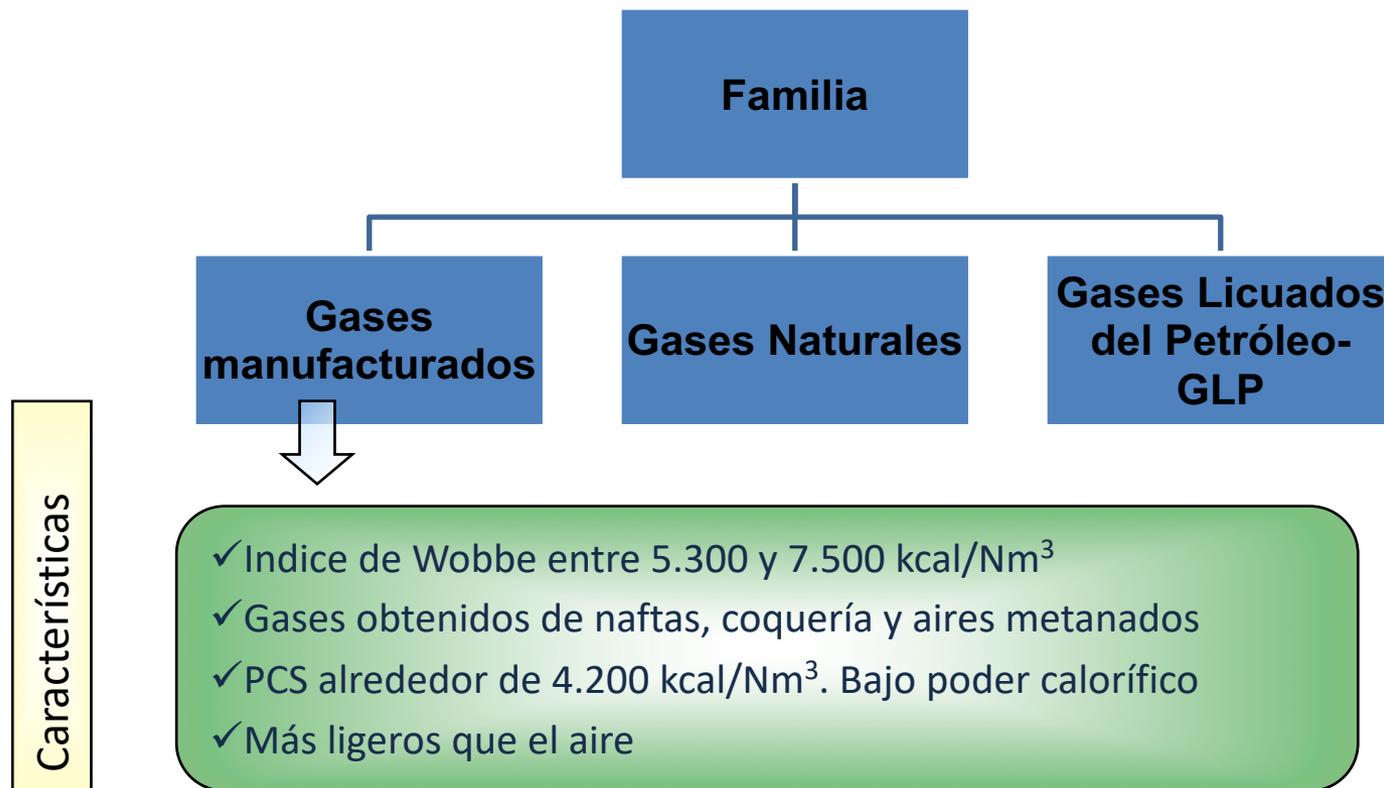
ÍNDICE DE WOBBE

Se define como el cociente entre el PCS de un gas y la raíz cuadrada de su densidad relativa.

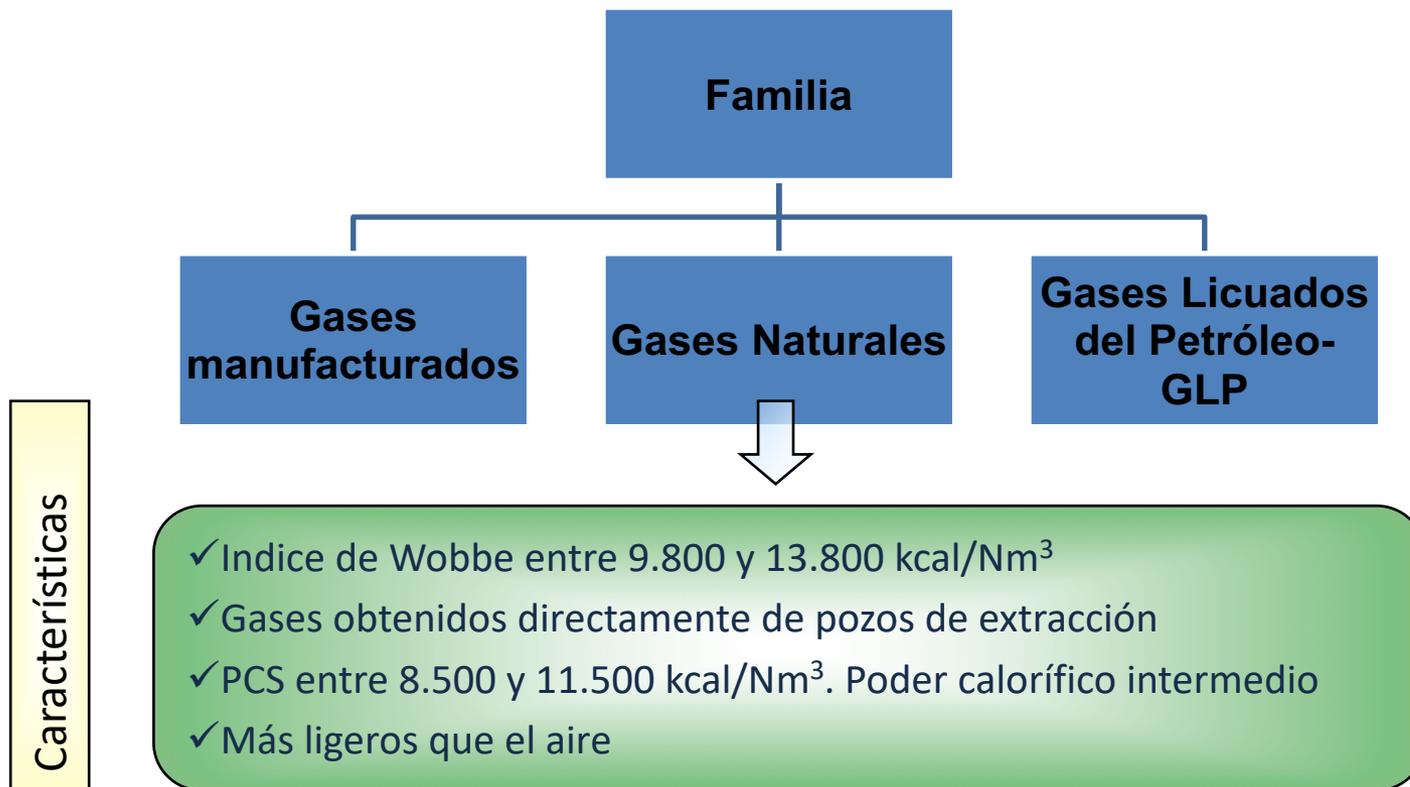
En función de este valor, la norma UNE 60.002 clasifica los gases combustibles en tres familias.



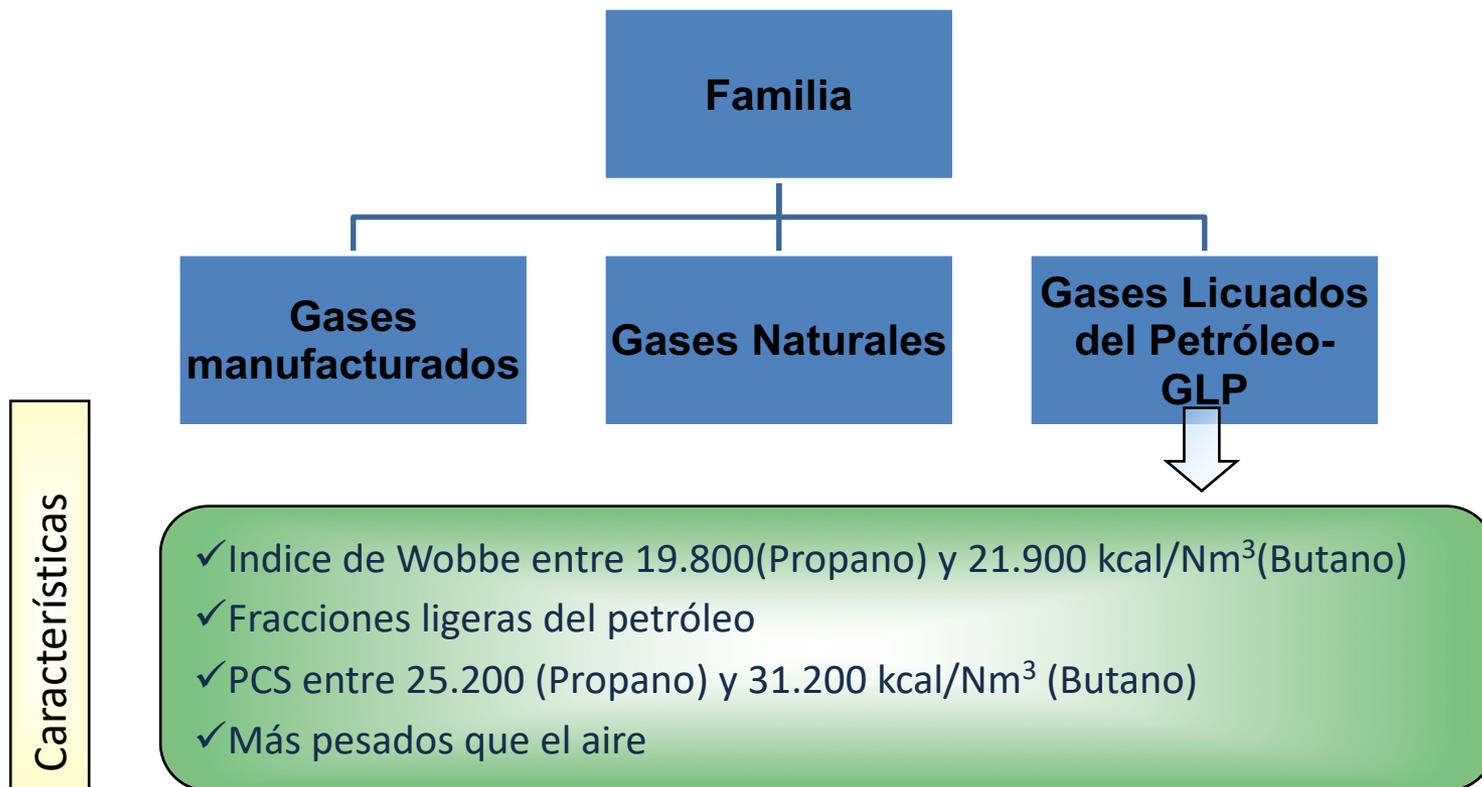
ÍNDICE DE WOBBE – PRIMERA FAMILIA



ÍNDICE DE WOBBE – SEGUNDA FAMILIA



ÍNDICE DE WOBBE – TERCERA FAMILIA



PODER COMBURÍVORO: Cantidad de aire necesaria para la combustión de 1 m³ de gas.

Combustible	Aire teórico (m ³)
Gas natural	9,3
Butano	31
Propano	23,9

PODER FUMÍGENO: Cantidad de gases de combustión producidos por la combustión estequiométrica de 1 m³ de gas.

	Gas natural	Gas propano
P. comburívoro	0,95 m ³ (n)/kWh	0,94 m ³ (n)/kWh
P. fumígeno	1,05 m ³ (n)/kWh	1,02 m ³ (n)/kWh

COMPOSICIÓN DE LOS GASES COMBUSTIBLES

Composición fundamental de los gases combustibles, [%]

	Gas Natural	Propano	Butano
Metano	89	0	0
Etano	5	0,5	0,5
Propano	2,5	87,5	9
Butano	1	5,5	59,5
Isobutano	0	6,5	31

CONDICIONES DE REFERENCIA

La cantidad de materia, y por lo tanto de energía, contenida en un volumen dado de gas depende de las condiciones de presión y temperatura a las que éste se encuentre, ya que se trata de un fluido compresible.

CONDICIONES NORMALES

- Presión absoluta: 1,01325 bar
- Temperatura: 273,15 K (0°C)

CONDICIONES ESTÁNDAR

- Presión absoluta: 1,01325 bar
- Temperatura: 288,15 K (15°C)

Densidad (kg/m^3), a 1,013 bar y temperatura de ebullición

	Gas Natural	Propano	Butano
Líquido	422,62	582	601,4
Gas	1,819	2,423	2,7

Volumen específico (m^3/kg), a 1,013 bar y temperatura de ebullición

	Gas Natural	Propano	Butano
Líquido	0,002366	0,001718	0,001662
Gas	0,549752	0,412711	0,370370

Relación de volúmenes en transporte de GNL: 600 aprox.