



**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU**  
CONSEJO DEPARTAMENTAL DE LA LIBERTAD  
**CAPITULO DE INGENIERIA QUIMICA**

**CURSO**

# **DISEÑO Y OPERACIÓN DE PLANTAS DE GAS NATURAL LICUEFACTADO (GNL)**

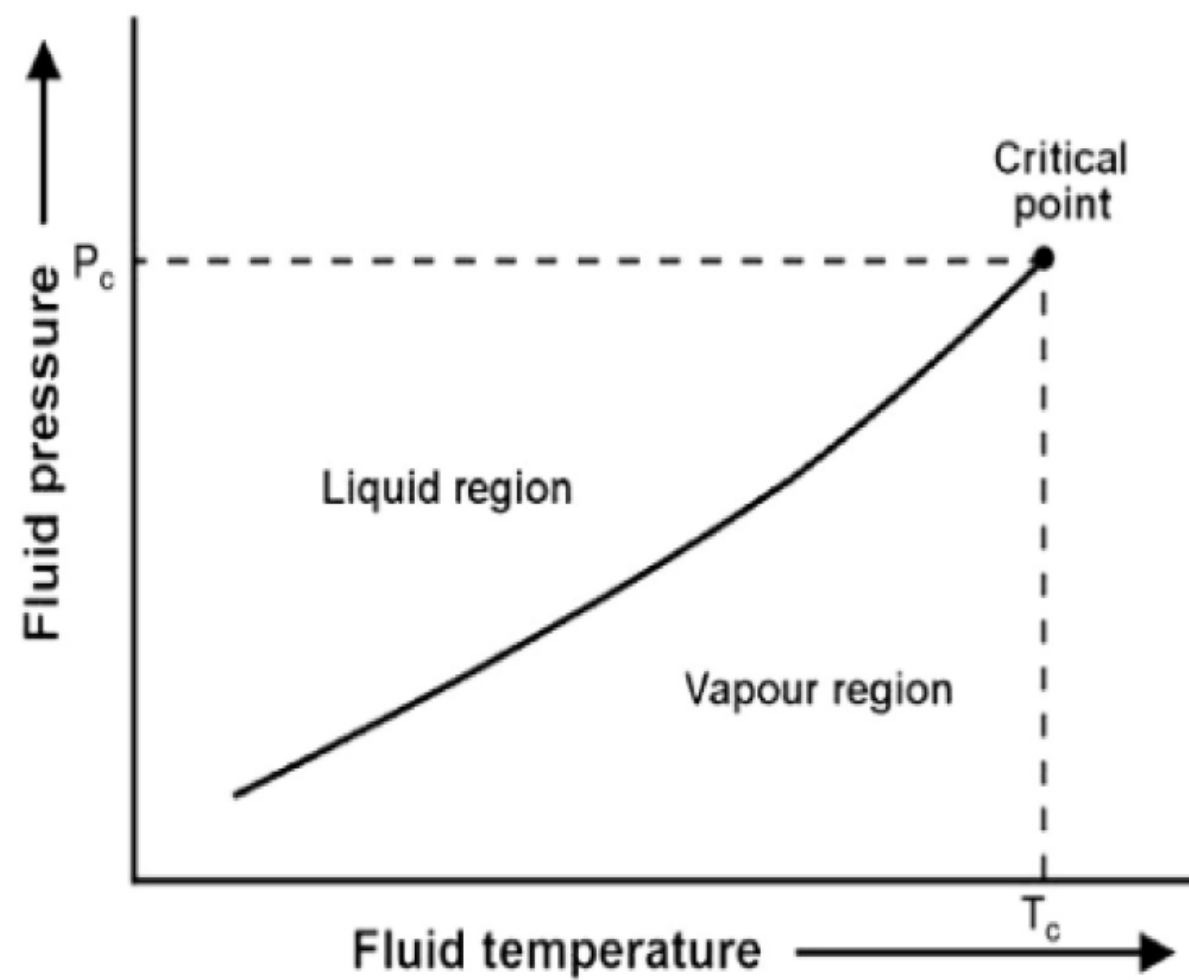
**SESIÓN 2**

**PROPIEDADES Y USO DEL GNL**

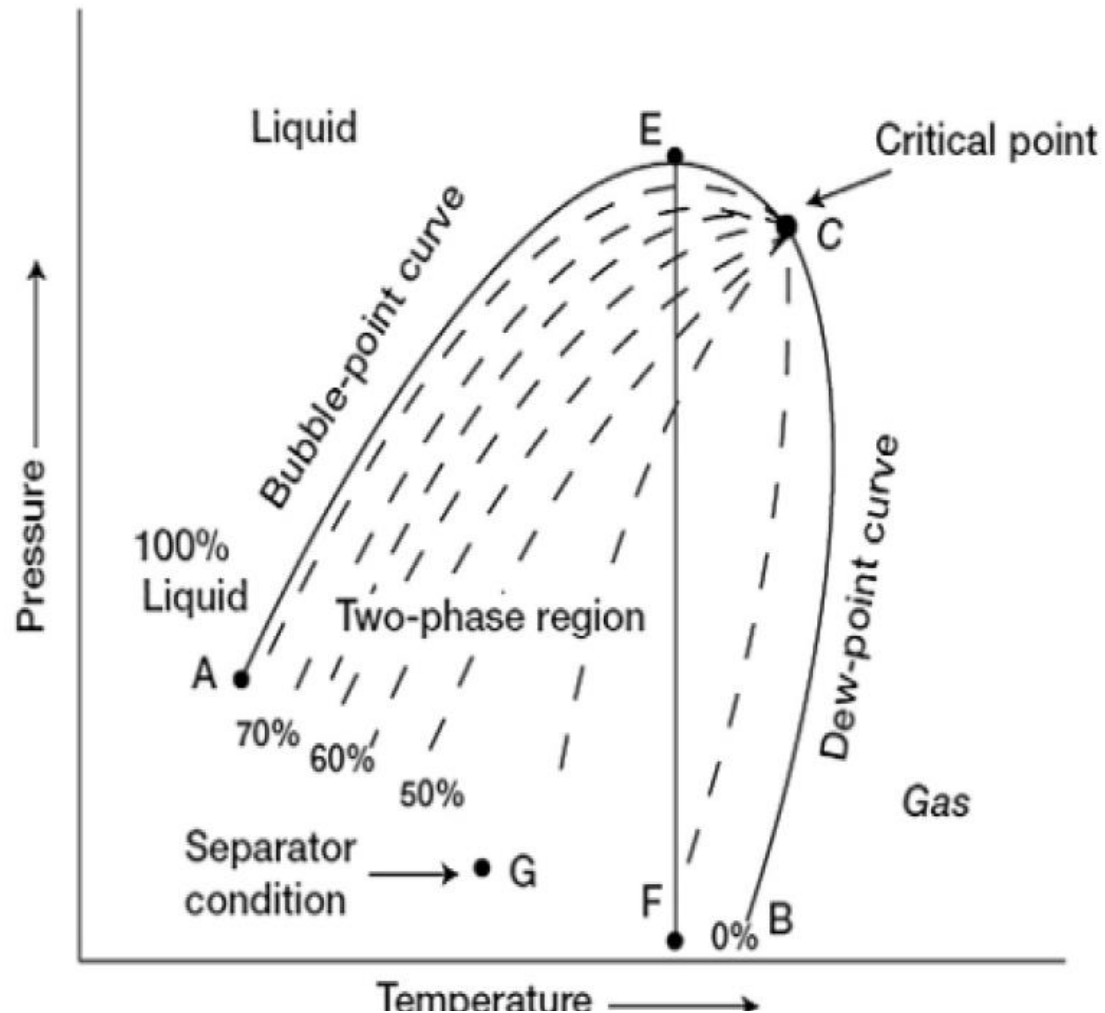
**Dr. Ing. Juan Israel Ortiz Guevara**



El **nitrógeno líquido** es nitrógeno puro en estado líquido a una temperatura igual o menor a su temperatura de ebullición, que es de  $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  a una presión de una atmósfera. El nitrógeno líquido es incoloro e inodoro.



Pressure—temperature phase behavior of pure component ( $P_c$ ).



Pressure—temperature diagram for a typical natural gas mixture.

## **METANO - CH<sub>4</sub>**

**Masa molecular: 16,04 g/mol**  
**Punto triple: Temperatura: 90,7 K (-182,5 °C)**  
**Presión: 117 mbar**

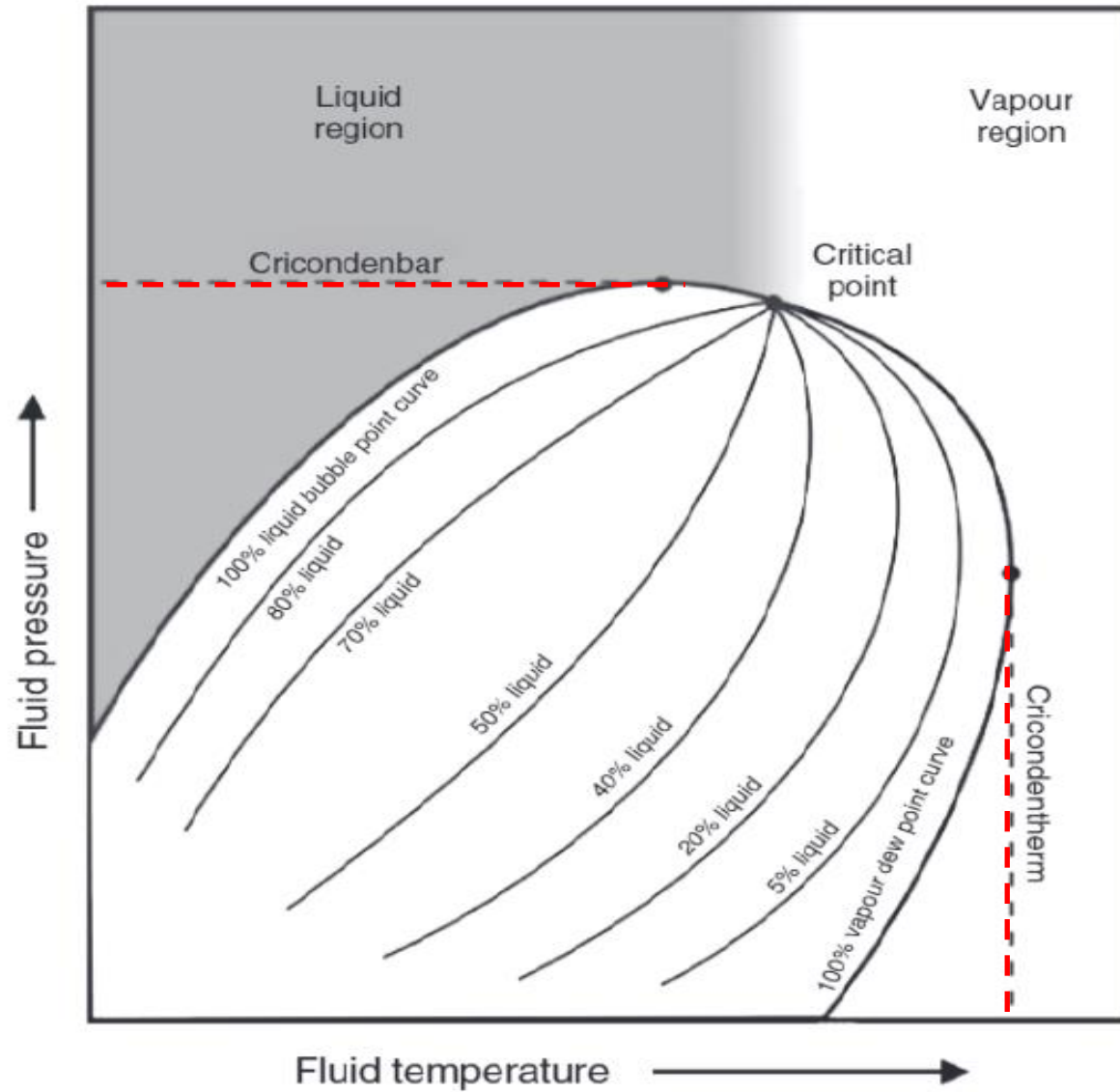
**Calor latente de fusión: 58,3 kJ/kg**

**Punto de ebullición a 1013 mbar:**

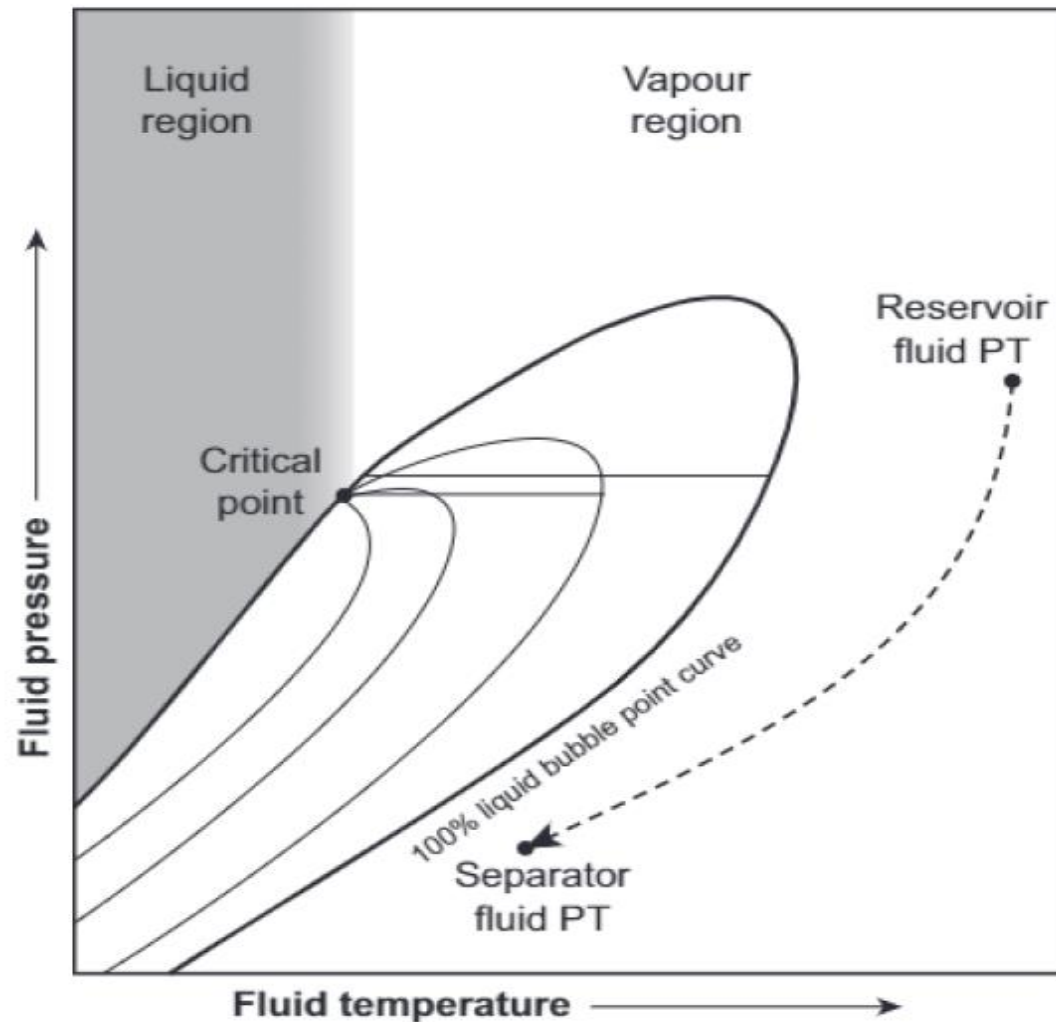
**Temperatura: 111,6 K (-161,5°C)**

**Calor latente de ebullición: 510 KJ/kg**

**Punto crítico: Temperatura: 190,5 K (-82,6 °C)**  
**Presión: 46,04 bar .**



Pressure-temperature phase diagram for multicomponent system.  $P_c$ , pure component.



**La temperatura del reservorio está muy por encima de la cricondentherm. Por esto se trata de mantener la presión del reservorio, para no disminuir la producción de líquidos**

A typical dry gas fluid's phase behavior is shown in [Figure 2.8](#). The reservoir temperature is well above the cricondentherm. During production, the fluids are reduced in temperature and pressure.

The temperature–pressure path followed during production does not penetrate the phase envelope, resulting in the production of gas at the surface with no associated liquid phase.

Clearly, it would be possible to produce some liquids if the pressure is maintained at a higher level. In practice, the stock tank pressures are usually high enough for some liquids to be produced

Compound	Chemical Composition	Symbol (for calculations)	Molecular Weight	Critical Pressure (psi)	Critical Temp. (R)
Methane	CH <sub>4</sub>	C <sub>1</sub>	16.04	673	344
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub>	30.07	709	550
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub>	44.09	618	666
iso-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>4</sub>	58.12	530	733
n- Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-C <sub>4</sub>	58.12	551	766
iso-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	i-C <sub>5</sub>	72.15	482	830
n-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	n-C <sub>5</sub>	72.15	485	847
n-Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	n-C <sub>6</sub>	86.17	434	915
n-Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	n-C <sub>7</sub>	100.2	397	973
n-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	n-C <sub>8</sub>	114.2	361	1024
Nitrogen	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	28.02	492	227
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	44.01	1,072	548
Hydrogen Sulfide	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	34.08	1,306	673



**El punto de ebullición** del GNL varía con su composición, por lo general  $-162\text{ C}$  ( $-259\text{ F}$ ).

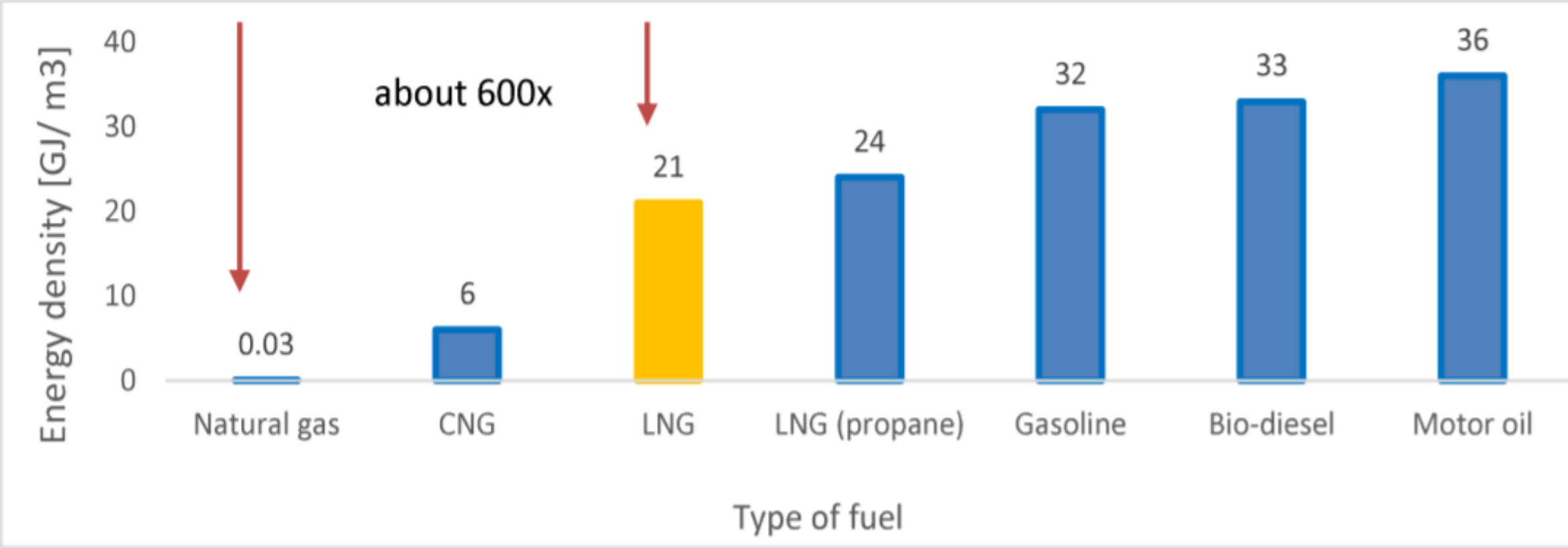
**La densidad del GNL** normalmente se encuentra entre  $430\text{ a }470\text{ kg / m}^3$  ( $3,5\text{ a }4\text{ lb / gal}$ ), Que es menos de la mitad de la densidad del agua.



**El GNL tiene una densidad de energía 600 veces mayor (21 GJ / m<sup>3</sup>) que el gas normal sin comprimir (0.03 GJ / m<sup>3</sup>) y la densidad energética del GNL por 1 m<sup>3</sup> es tres veces mayor que la densidad energética del GNC (6 GJ / m<sup>3</sup>). Esto sustenta el transporte como GNL.**

**Pero es aproximadamente 1/3 menor en relación a los combustibles tradicionales gasolina o diesel (con densidades de energía de 32 y 36 GJ / m<sup>3</sup> respectivamente).**

**Figure 2. Energy sensity**



*Source: [www.igg.pl](http://www.igg.pl) (access: 01.11.2019)*

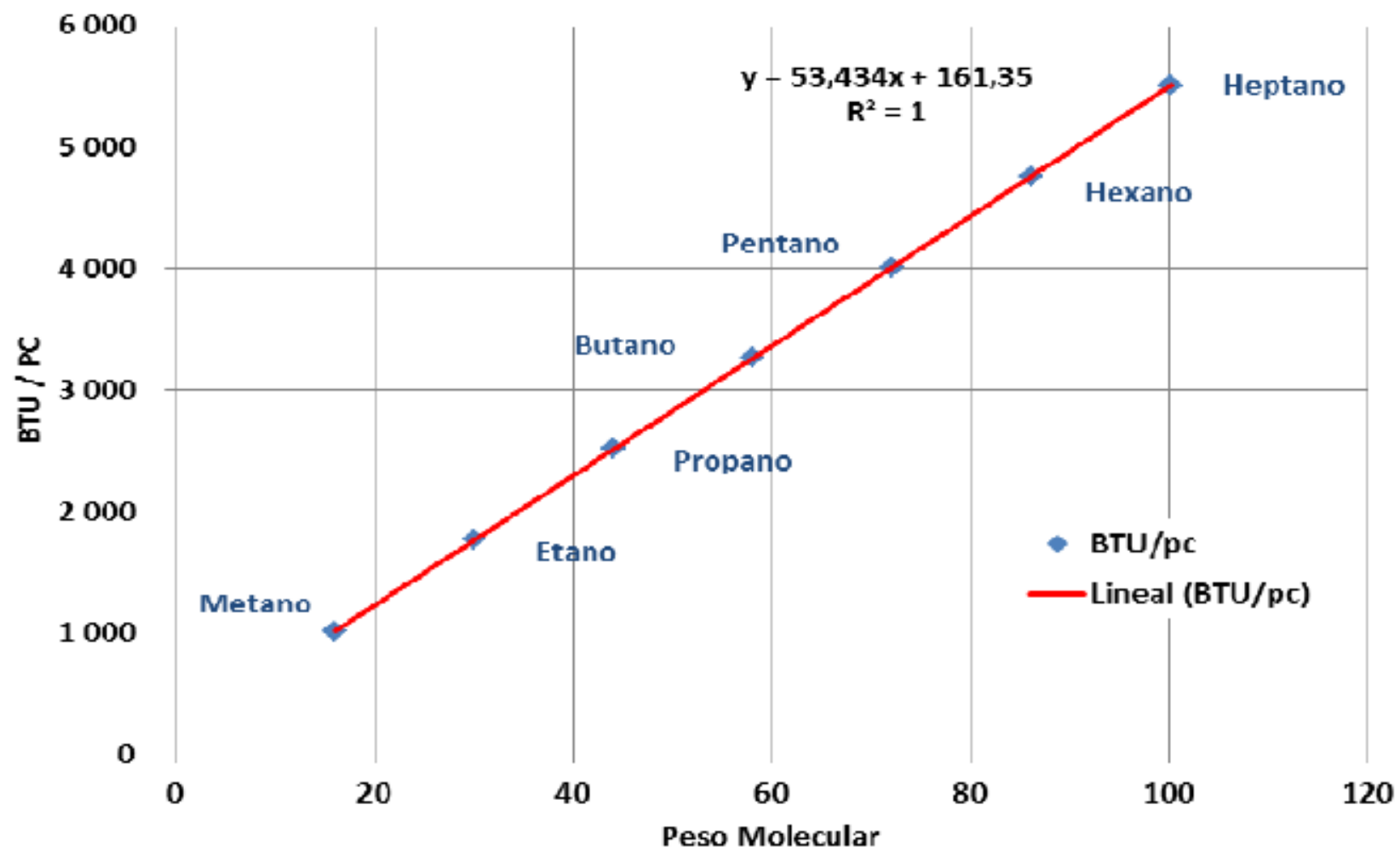
**El GNL es mucho más ecológico que otros combustibles fósiles.**

La emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de energía es igual a **56 kg CO<sub>2</sub> / GJ**, lo que significa que la combustión de gas natural emite casi un **50% menos de CO<sub>2</sub> que la combustión de combustibles fósiles** (carbón y lignito), cuyos factores de emisión son 94 y 109 kg CO<sub>2</sub> / GJ respectivamente.

El gas natural también es considerablemente más respetuoso con el medio ambiente respecto a los combustibles líquidos (gasolina y diésel), cuyos valores de referencia son 69 (20% +) y 73 kgCO<sub>2</sub> / GJ (25% +).

Estas características hacen más atractivo el uso de GNL con fines energéticos, principalmente en países que están tratando de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero..

### Poder Calorífico Superior



Composición del Gas Natural Seco de Camisea						
Nombre	Fórmula	Peso Molecular	Gravedad Específica	Poder Calorífico		Participación
				BTU/pc	BTU / Lb	Volumen
Metano	C1H4	16,0	55,4%	1 012	23 860	88,367%
Etano	C2H6	30,1	103,8%	1 772	22 301	10,420%
Propano	C3H8	44,1	152,3%	2 522	21 642	0,169%
Butano	C4H10	58,1	200,7%	3 268	21 278	0,011%
Pentano	C5H12	72,2	249,1%	4 017		0,002%
Hexano	C6H14	86,2	297,6%	4 765		0,001%
Heptano	C7H16	100,2	346,0%	5 514		0,001%
Nitrógeno	N2	28,0	96,7%			0,787%
Dióxido de Carbono	CO2	44,0	152,0%			0,242%
Aire		29,0	100,0%			
Camisea		17,7	61,2%	1 083	23 447	100,000%

**EL PODER CALORÍFICO DE CAMISEA ES:**  
**1,083 MILLÓN BTU / MILLAR PC**  
**1,083 X 1,055 X 35,315 = 40,3 GJ / MIL M3**

# Poder Calorífico y Equivalencias

- Gas Natural (Metano + Etano): 4,0 GJ / 100 m<sup>3</sup>
  - 1m<sup>3</sup> Metano Líquido (LNG) = 593 m<sup>3</sup> Metano Gas
  - 1 barril Metano Líquido = 94 m<sup>3</sup> Metano Gas
  - 1 barril Metano Líquido = 4,0 GJ
- GLP (Propano + Butano): 4,2 GJ/bl
- Gasolina: 5,5 GJ/bl
- Diesel: 6,1 GJ/bl
- ¿A cuantos m<sup>3</sup> de GN equivale un Balón de GLP?
  - Tener en cuenta:
    - 1 barril (bl) = 42 galones (gl)
    - 1 galón de GLP pesa 2 kg.

## Equivalencia GLP y GN

$$1 \text{ balón GLP} = 10 \text{ kg} = 10 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ gl}}{2 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ bl}}{42 \text{ gl}} \times \frac{4.2 \text{ GJ}}{\text{bl}}$$

$$1 \text{ balón GLP} = \frac{10 \times 4.2}{2 \times 42} \text{ GJ} = 0.5 \text{ GJ}$$

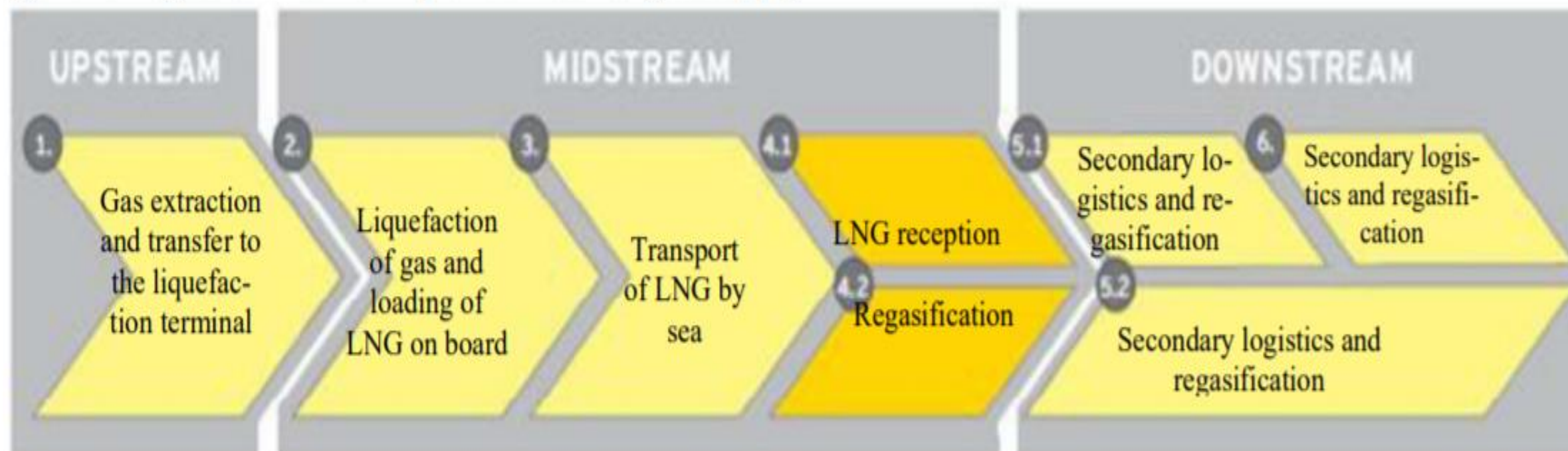
$$1000 \text{ m}^3 \text{ GN} = 40 \text{ GJ}$$

$$1 \text{ balón GLP} = 0.5 \text{ GJ} \times \frac{1000 \text{ m}^3 \text{ GN}}{40 \text{ GJ}} = \frac{500 \text{ m}^3 \text{ GN}}{40}$$

$$1 \text{ balón GLP} = 12.5 \text{ m}^3 \text{ GN}$$



**Figure 4. Logistics chain of liquefied natural gas supply**



*Source: Own calculations based on the data available: "Wpływ terminalu LNG na rozwój społeczno-gospodarczy w Polsce i w województwie zachodniopomorskim". Ernst & Young Global Ltd. Warszawa 2013.*

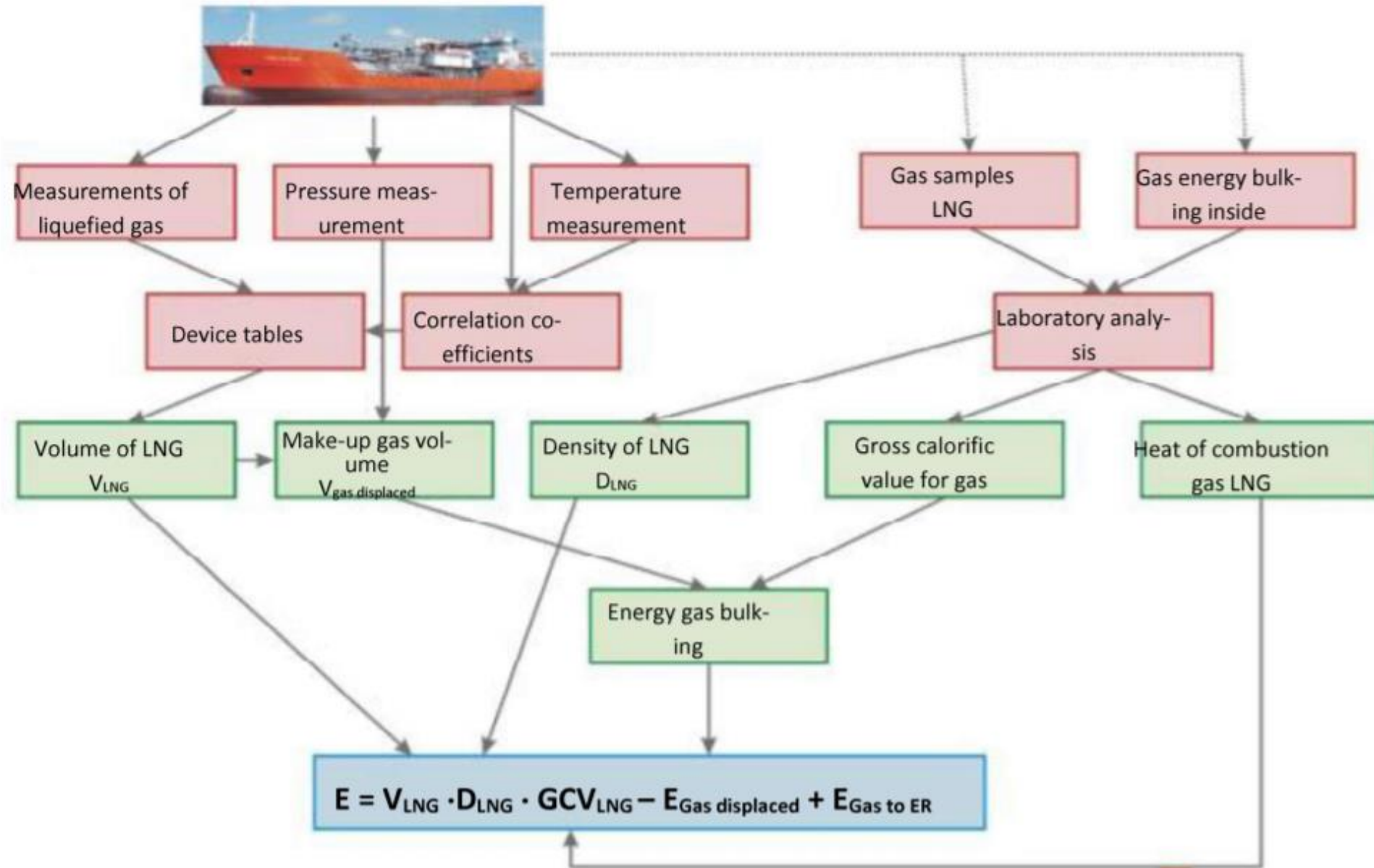
## **SE VENDEN BTUS's**

**Para calcular el valor energético final del lote descargado en un B/T metanero, el cálculo de la densidad de GNL se realiza de acuerdo con el algoritmo ISO 6578, el cálculo del poder calorífico bruto del gas que llena la cámara del gas portador (BOG) se realiza de acuerdo con el algoritmo ISO 6976, el cálculo del poder calorífico bruto de GNL de acuerdo con el algoritmo en ISO 6578.**

**En líquidos es más sencillo. Se corrige a estándar con tablas.**

ISO 6578:2017 specifies the calculation procedure to convert the volume of liquefied petroleum gas (LPG) and liquefied natural gas (LNG) under the conditions at the time of measurement to the equivalent volume of liquid or vapour at the standard condition, i.e. 15 °C and 101,325 kPaA,

**Figure 5. Scheme determination of the LNG energy transferred**



Source: Own calculations based on the data available: GIIGNL 2015

- **Los límites de inflamabilidad son 5 por ciento y 15 por ciento por volumen en aire.** Fuera de este rango, la mezcla de metano / aire no es inflamable.
- Si la concentración excede su límite superior, no puede arder porque hay muy poco oxígeno presente. Esta situación existe, por ejemplo, en un tanque de almacenamiento cerrado y seguro donde el vapor.
- **Cuando la concentración está por debajo del límite inferior, no puede arder porque hay muy poco metano presente.** Un ejemplo es la fuga de pequeñas cantidades de GNL en un área bien ventilada. El vapor de GNL se mezclará rápidamente con el aire y se disipará a menos del 5 por ciento de concentración.

## **La industria del GNL tiene un excelente historial de seguridad:**

1. La industria se ha desarrollado para garantizar operaciones seguras y protegidas, desde la ingeniería hasta la competencia técnica del personal.
2. Las propiedades físicas y químicas del GNL se comprenden bien y los diseños de las plantas están bien probados a lo largo de muchos años de funcionamiento.
3. Los estándares y regulaciones que se han desarrollado para la industria del GNL garantizan la seguridad y están evolucionando y mejorando continuamente.



## Frequently Used Conversions for Natural Gas and LNG

	Billion Cubic Meters of Natural Gas	Billion Cubic Feet of Natural Gas	Million Tons of LNG	Trillion Btu
To:				
From:	Multiply By			
1 Billion Cubic Meters of Natural Gas	1	35.315	0.76	38.847
1 Billion Cubic Feet of Natural Gas	0.028	1	0.022	1.100
1 Million Tons of LNG	1.136	46.467	1	51.114
1 Trillion Btu	0.026	0.909	0.02	1

### Typical Liquid-Vapor Natural Gas and LNG Conversions\*

	Liquid Measures			Vapor Measures		Heat Measure
	Metric Ton LNG	Cubic Meter LNG	Cubic Foot LNG	Cubic Meter Natural Gas	Cubic Foot Natural Gas	Btu*
<b>To:</b>						
<b>From:</b>	Multiply By					
1 Metric Ton LNG	1	2.193	77.445	1,316	46,467	51,113,806
1 Cubic Meter LNG	0.456	1	35.315	600	21,189	23,307,900
1 Cubic Foot LNG	0.0129	0.0283	1	16.99	600	660,000
1 Cubic Meter Natural Gas	0.00076	0.001667	0.058858	1	35.315	38,847
1 Cubic Foot Natural Gas	0.000022	0.000047	0.001667	0.02832	1	1,100

#### Conversion Factors

1million metric tons/year = 1.316 billion cubic meters/year (gas) = 127.3 million cubic feet/day (gas)

1billion cubic meters/year (gas) = 0.760 million metric tons/year (LNG or gas) = 96.8 mcf/day (gas)

1million cubic feet/day (gas) = 10.34 million cubic meters/year (gas) = 7,855 metric tons/year (LNG or gas)(US DOE/FE-0489, 2005)



API	American Petroleum Institute crude grade	$API = (141.5 / \text{Specific gravity}) - 131.5$
BI	Barrel (of oil)	Spec gravity = $141.5 / (API + 131.5)$ kg/l 1 BI = 42 Gallons 1 BI = 159 liters 1 BI equiv. to 5487 scf = 147 scm gas
Bpd	Barrel per day	1 Bpd $\approx$ 50 tons/tons per year
BTU	British thermal unit	1 BTU = 0.293 Wh = 1,055 kJ
Cal	Calorie	1 Cal = 4,187 J (Joules)
MMscf	Million standard cubic feet	1 MMscf = 23.8 TOE $\approx$ 174 barrels
psi	Pounds per square inch	1 psi = 6.9 kPa = 0.069 atm
Scf	Standard cubic feet (of gas) defined by energy, not a normalized volume	1 scf = 1000 BTU = 252 kcal = 293 Wh = 1,055 MJ $\approx$ 0.0268 scm
Scm	Standard cubic meter (of gas, also Ncm) Defined by energy content	1 Scm = 39 MJ = 10.8 kWh 1 Scm $\approx$ 37.33 Scf (not a volume conv.) 1 Scm $\approx$ 1.122 kg
TOE	Tons oil equivalent  Range 6.6 - 8 barrels at API range 8 - 52	1 TOE = 1000 kg = 1 Ton (metric) oil 1 TOE = 1 Tone oil (US) 1 TOE $\approx$ 7.33 Barrels (at 33 API) 1 TOE $\approx$ 42.9 GJ = 11,9 MWh 1 TOE $\approx$ 40.6 MMBTU 1 TOE $\approx$ 1.51 ton of coal 1 TOE $\approx$ 0.79 ton LNG 1 TOE $\approx$ 1,125 Scm = 42,000 Scf
kWh	Kilowatt hour = 1000 joules * 3600 S	1 kWh = 3.6 MJ = 860 kcal = 3,413 BTU

Conversion Factor Tables

Velocity  
(Length/unit of time)

ft/sec	ft/min	Miles/hr (U.S. Statute)	m/sec	m/min	km/hr
1	60	0.6818182	0.3048	18.288	1.09728
0.01666667	1	0.01136364	$5.08 \times 10^{-3}$	0.3048	0.018288
1.466667	88	1	0.44704	26.8224	1.609344
3.280840	196.8504	2.236936	1	60	3.6
0.05468066	3.280840	0.03728227	0.016667	1	0.06
0.9113444	54.68066	0.6213712	0.2777778	16.66667	1

Energy

Ft-lbf	Kg-meter	Btu (IT)	Kilo-calorie (IT)	Hp-hr	Kilowatt-hr	joule (J)
1	0.1382550	$1.285068 \times 10^{-3}$	$3.238316 \times 10^{-4}$	$5.050505 \times 10^{-7}$	$3.766161 \times 10^{-7}$	1.355818
7.233014	1	$9.294911 \times 10^{-3}$	$2.342278 \times 10^{-3}$	$3.653037 \times 10^{-6}$	$2.724070 \times 10^{-6}$	9.806650
778.1692	107.5858	1	0.2519958	$3.930148 \times 10^{-4}$	$2.930711 \times 10^{-4}$	1055.056
3088.025	426.9348	3.968321	1	$1.559609 \times 10^{-3}$	$1.163 \times 10^{-3}$	4186.8
1980000	273744.8	2544.434	641.1865	1	0.7456999	2684520.
2655224	367097.8	3412.142	859.8452	1.341022	1	3600000.
0.7375621	0.1019716	$9.478171 \times 10^{-4}$	$2.388459 \times 10^{-4}$	$3.725061 \times 10^{-7}$	$2.777778 \times 10^{-7}$	1

### Weight per unit of area, pressure

kgf/cm <sup>2</sup>	kPa	lbf/in <sup>2</sup>	Mm mercury (0°C)	in. mercury (32°F)	in. water (39.2°F)	atmospheres (standard)	Millibars
1	98.06650	14.22334	735.561	28.9591	393.712	0.9678411	980.6650
0.01019716	1	0.1450377	7.50064	0.295301	4.01474	0.009869233	10
0.07030695	6.894757	1	51.7151	2.03603	27.6807	0.06804596	68.94757
0.00135951	0.133322	0.0193367	1	0.0393701	0.535253	0.00131579	1.33322
0.0345315	3.38638	0.491153	25.4	1	13.5954	0.0334210	33.8638
0.00253993	0.249082	0.0361263	1.86827	0.0735541	1	0.00245825	2.49082
1.033227	101.3250	14.69595	760.002	29.9213	406.794	1	1013.250
0.001019716	0.1	0.01450377	0.750064	0.0295301	0.401474	9.869233 x 10 <sup>-4</sup>	1

### Values of the Gas Constant R in PV = nRT

Basis of units listed below is 22.4140 liters at 0°C and 1 atm for the volume of 1 g mole. All other values calculated from conversion factors listed in tables.

n	Temperature	Pressure	Volume	R	n	Temperature	Energy	R
gm mol	K	atm	liter	0.082 057 477	gm mol	K	calorie	1.985 9
gm mol	K	atm	cm <sup>3</sup>	82.057	gm mol	K	joule	8.314 5
gm mol	K	mm Hg	liter	62.364				
gm mol	K	bar	liter	0.083 145	lb mol	°R	Btu	1.985 9
gm mol	K	kg/cm <sup>2</sup>	liter	0.084 784	lb mol	°R	hp-hr	0.000 780 48
gm mol	K	kPa	m <sup>3</sup>	0.008 314 5	lb mol	°R	Kw-hr	0.000 582 00
lb mol	°R	atm	ft <sup>3</sup>	0.730 24	lb mol	°R	ft-lb	1 545.3
lb mol	°R	in.Hg	ft <sup>3</sup>	21.850				
lb mol	°R	mm Hg	ft <sup>3</sup>	554.98	k mol	K	joule	8 314.5
lb mol	°R	lb/in <sup>2</sup>	ft <sup>3</sup>	10.732				
lb mol	°R	lb/ft <sup>2</sup>	ft <sup>3</sup>	1 545.3				
lb mol	K	atm	ft <sup>3</sup>	1.3144				
lb mol	K	mm Hg	ft <sup>3</sup>	998.97				
k mol	K	kPa	m <sup>3</sup>	8.3145				
k mol	K	bar	m <sup>3</sup>	0.083 145				

# Energía - Equivalencias

Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP)

1 TEP

Kilo Calorías (Kcal)

10 Millones  
Kcal

Giga Joule (GJ)

42 GJ

Millón de BTU (MBTU)

40 Millón  
BTU

Tonelada de Carbón de Piedra

1.5 Ton

Tonelada de Lignito

3.0 Ton

Electricidad (MWh)

12 MWh

1 Kcal = 4.1868 KJ

1,000 PC GAS = 1MMBTU

**1 BOE = 5,8 × MM BTU**

1 TEP = 6.29 Barriles

1 TEP = 36.48 MM BTU

1 BOE = 5.8 MPC GAS

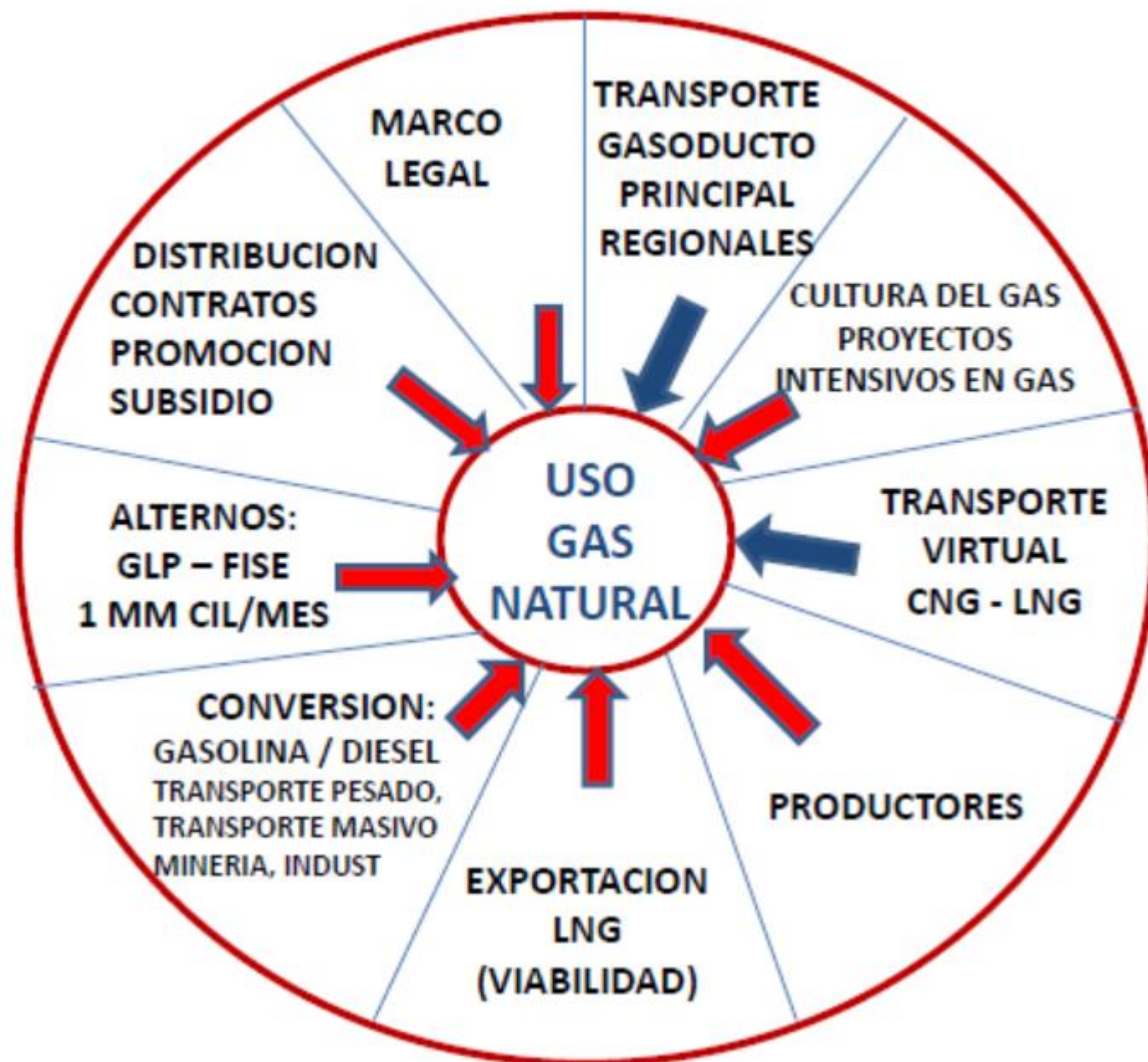
1 TEP = 36.48 MPC GAS

437.78 MPC GAS = 12 MWh

0.43778 MMPC GAS = 12 MWh

1 MWh = 0.0364 MM PC GAS

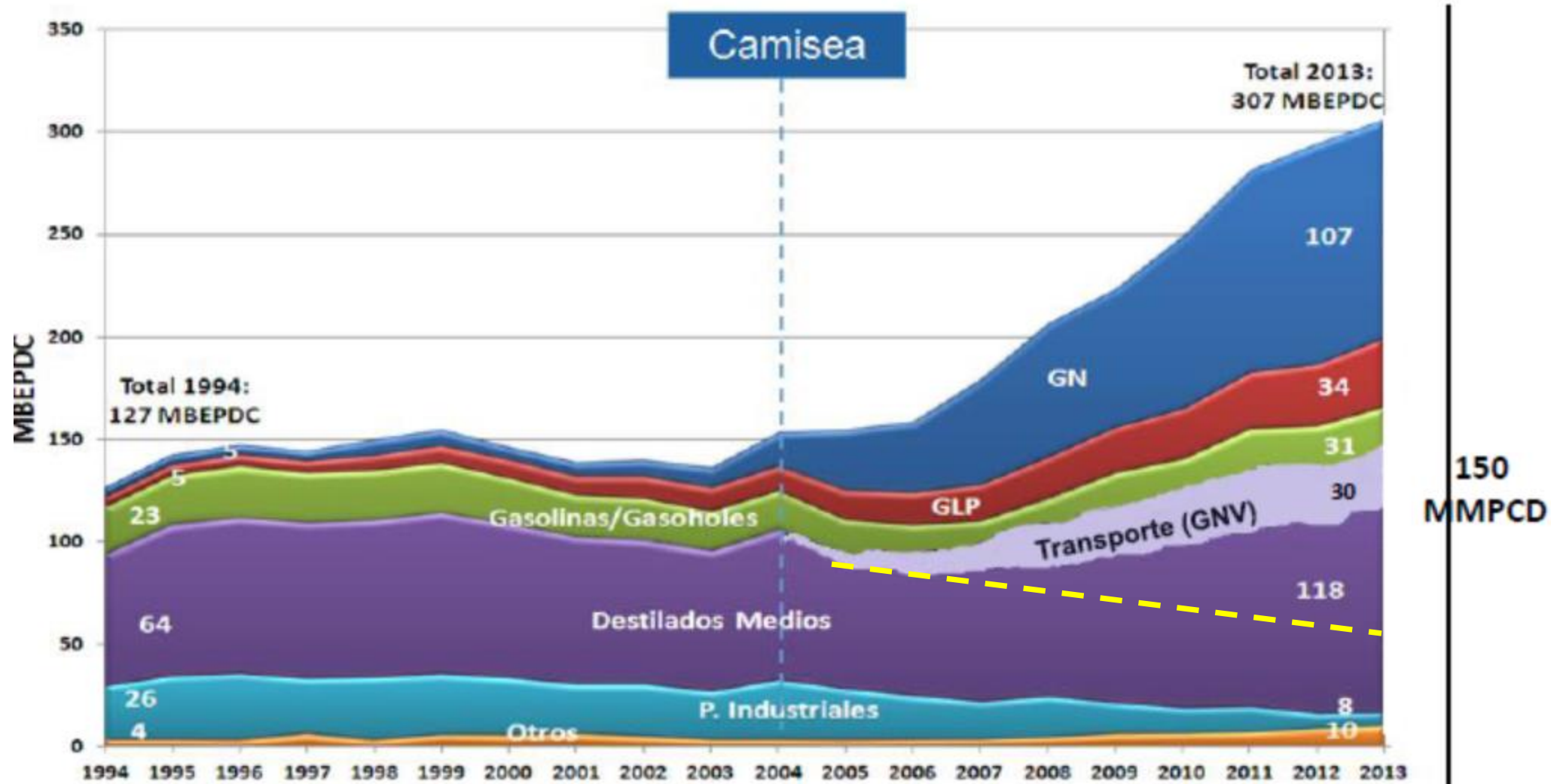
## IMPULSORES DE MASIFICACION DEL GAS NATURAL - ACTUALIDAD





# Evolución de la demanda nacional de combustibles líquidos y gas natural

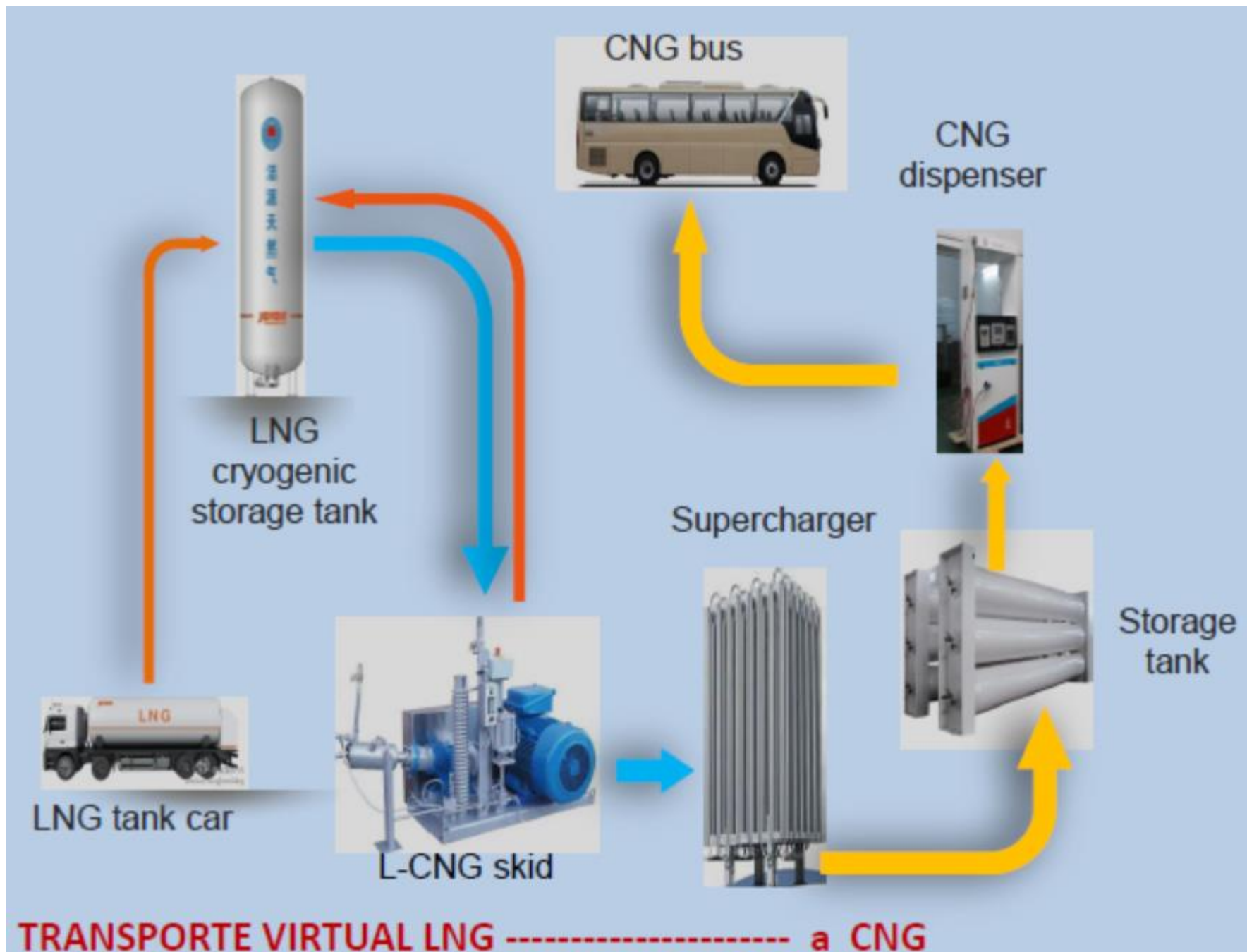
En el Perú, la demanda de Gas Natural se ha incrementado de forma sostenida desde el 2004.





# LNG para TRANSPORTE PESADO







**Cambio de Diesel 2 a LNG en Minería**

## PRECIO DEL LNG

$$P_{BP} = P_{MI} - C_T - C_L - C_E - C_R,$$

$P_{BP}$ : Precio en boca de pozo,<sup>11</sup>

$P_{MI}$ : Precio del marcador internacional,

$C_T$ : Costo de transporte del gas hasta la planta de licuefacción,

$C_L$ : Costo de planta de licuefacción,

$C_E$ : Costo de transporte por buque,

$C_R$ : Costo de planta de regasificación.





**LNG EN JAPON**

**JAPON DEMANDA USO RESIDENCIAL: 600 MMPCD**  
**PERU DEMANDA TOTAL: 600 MMPCD**

# Colombia: testearon el primer bus biarticulado a gas natural del mundo

February 22, 2017



movilidad, tanto de los pasajeros como para el conductor. El motor cumple no solo la normatividad internacional Euro 6, sino que emite un 70% menos de lo exigido por la misma. Además, genera un ahorro de más del 25% frente al diesel.



## Mientras crece la demanda, lanzan nueva norma de bunkering de GNL



Algunos barcos del norte de Europa han utilizado GNL como combustible durante más de una década, con un historial de seguridad extremadamente bueno. Pero mientras estos buques se extienden a otras partes del mundo, y mientras su demanda aumenta, también ha aumentado la demanda de suministro de GNL práctico, rentable y eficiente, por lo que hubo una necesidad (...)



## Texas: proyecto de ley alienta uso del GNV en flota estatal



Brooks Landgraf (R-Odessa), presentó el Proyecto de Ley "Texas Fuels", para aprovechar los fondos restringidos exclusivamente con fines de reducción de emisiones para promover el uso de combustibles a base de gas natural en vehículos de la flota estatal.

## Shell says new LNG buyers want shorter, smaller contracts

LONDON (Reuters) — Royal Dutch Shell, the world's biggest liquefied natural gas (LNG) trader following its takeover of BG Group last year, said new LNG customers that will drive demand are looking for shorter and smaller contracts.



Photo Courtesy of Shell.

Shell expects much of new LNG demand to come from countries that want to replace declining domestic gas production — which has already happened in Egypt and Pakistan — and those countries that are looking at LNG to complement pipeline and domestically produced gas, like China or Morocco.

Shell said it sold LNG into six new markets in 2016, compared with a typical annual rate of 2-3 new national buyers, as countries like Egypt, Pakistan and Jordan chose to import more gas to meet domestic consumption needs.

The new buyers typically need more flexibility in their gas supplies due to uncertainty over demand evolution, meaning the historical contract structure of large volumes sold in multi-decade deals is changing.



## **HAM inauguró un nuevo punto de carga de GNL en el País Vasco**



La empresa de logística Transordizia y HAM llegaron a un acuerdo para la apertura de un nuevo surtidor de gas natural licuado en la localidad de Irún, en Guipúzcoa. La instalación ya está operativa y se encuentra situada en el recinto que la compañía de transporte internacional de vehículos industriales y autobuses tiene en Antxotxipi Kalea, 4 zaisa (...)

# Construyen moderna planta de licuefacción en Luisiana



Venture Global LNG, Inc. eligió a GE Oil & Gas como socio estratégico para ofrecer una solución de tecnología en toda la planta destinada a sus instalaciones de exportación de GNL en desarrollo en Luisiana. En virtud del acuerdo, GE Oil & Gas aprovechará tecnologías avanzadas de la amplia cartera de GE para ofrecer un sistema integral de (...)





## **2SESION 2 VIDEO EXPLICACION GNL DE CHILE**

<https://www.youtube.com/watch?v=gvM5jrjshww>





**COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU**  
CONSEJO DEPARTAMENTAL DE LA LIBERTAD  
**CAPITULO DE INGENIERIA QUIMICA**

**Centro de Estudiantes de  
Ingeniería Química - UNT**



**F I N**