



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTA DE INGENIERIA
EAP DE INGENIERIA QUIMICA



**Foro Regional: 'Gas Natural - Propiedades y
Uso - Proyectos Presentes y Futuros'**

GAS NATURAL PROPIEDADES Y USOS

Ing. Juan Heraldo Viloche Bazán

jhvilo@yahoo.es

Cel. 952977927 #057601



Reservas del yacimiento

Reservas probadas y probables del yacimiento de CAMISEA (TCFs)

8.0 TCF ← **OTROS (lotes 57 y 58)**

4.0 TCF ← **PAGORENI (lote 56,
para proyecto de
exportación de LNG)**

13.0 TCF ← **CAMISEA (lote 88)**

En total son 25 TCFs

1 TCF

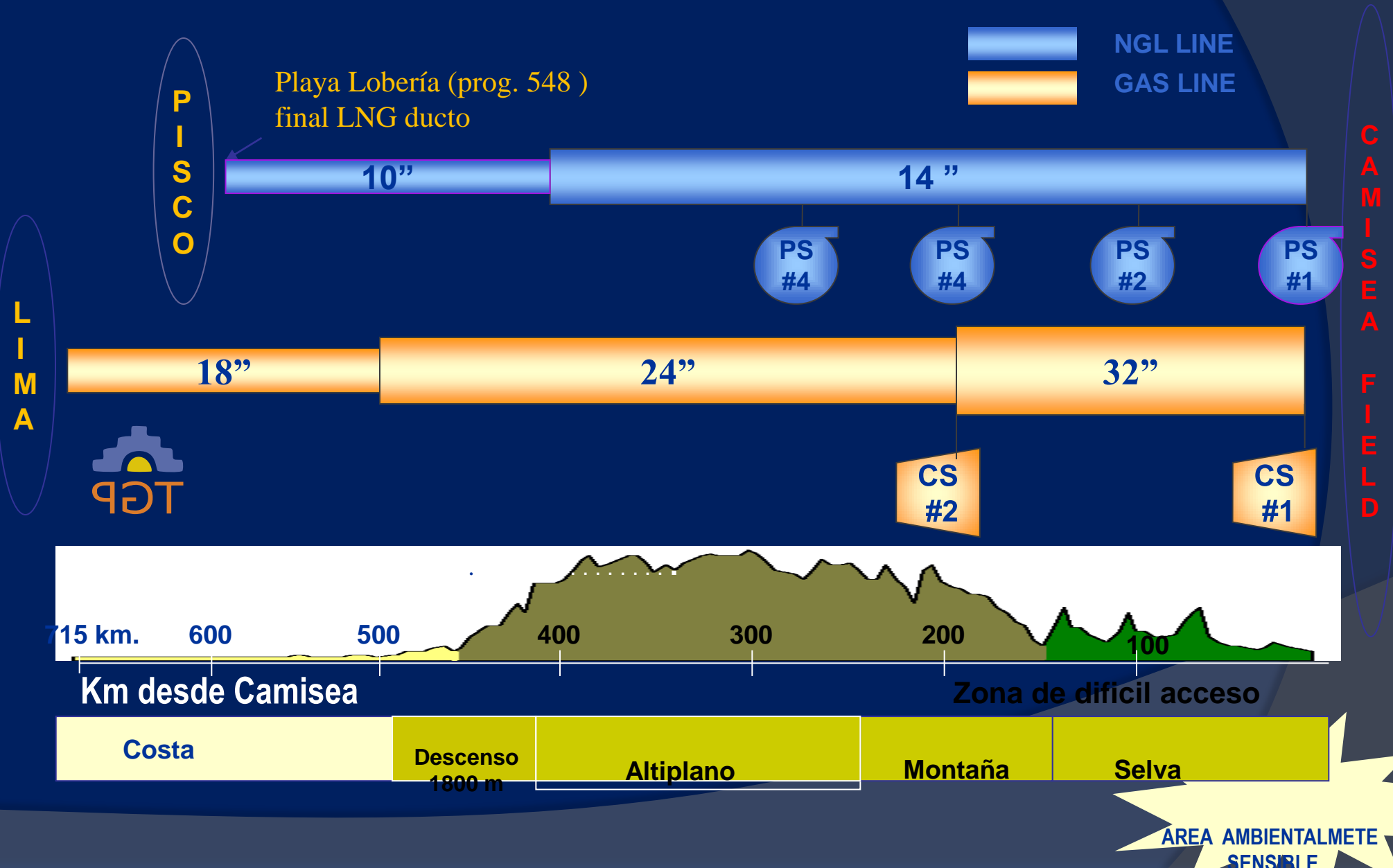
= 1 Tera de pies cúbicos

**= 1 Trillon americano de pies
cúbicos**

= 1 millar de millar de millon

Fuente: Osinerming, Ministerio de Energía y Minas

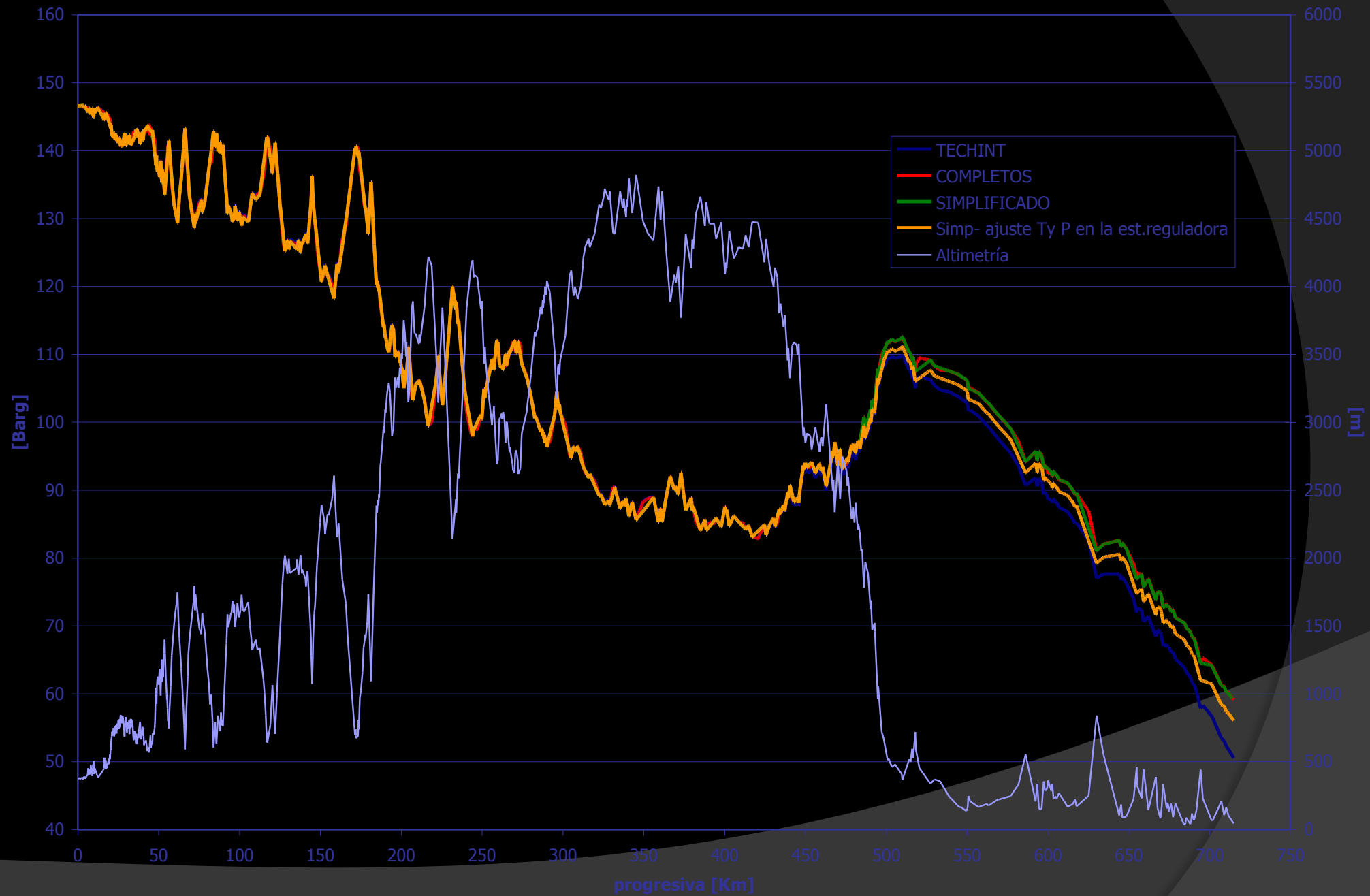
Camisea - Esquema del Sistema de Transporte



Perfil de elevación del terreno - condiciones de diseño



Perfiles de Presiones - (diseño)

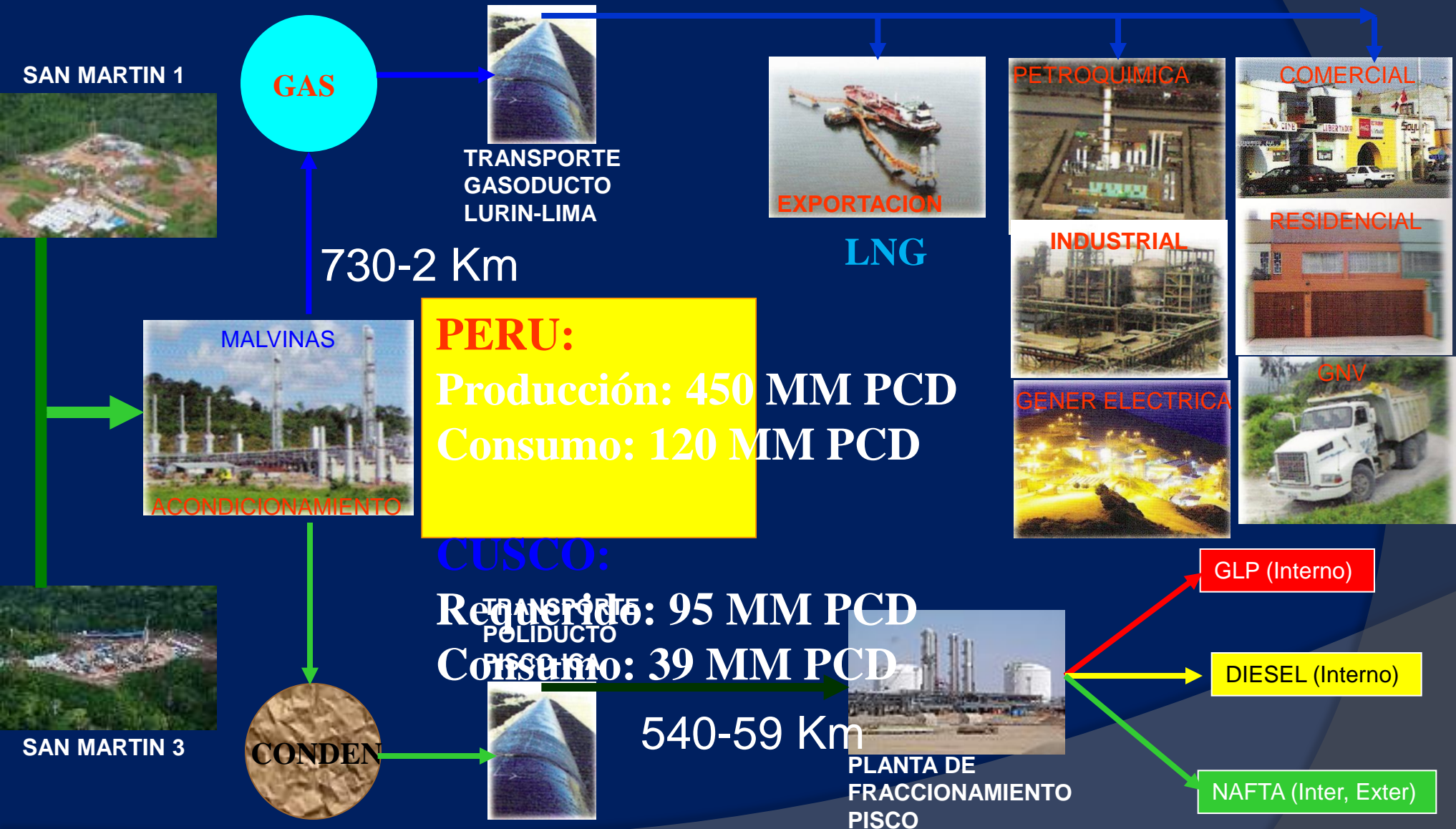


Perfiles de Temperatura - (diseño)



¿Cómo se procesa el gas natural?

- El GN una vez extraído de los reservorios se somete a un proceso de separación, obteniendo:
- **Gas natural seco** (metano y etano) que se transporta por gasoductos a los centros de consumo.
- **Líquidos de gas natural** (propano, butano, pentano y mas pesados) que se transporta por poliductos hasta una planta de fraccionamiento PISCO
- **Otros componentes** : Agua, azufre y otras impurezas que no tiene valor comercial.





Campamento

Adsorbedor de Carbón activado
Unidad de Deshidratación del Gas

Unidad de Retiro de Gas Acido
(CO₂)

Servicios
Generales

Generación Eléctrica

Unidad de Recepción del Gas: Malvinas - Pisco

Almacenamiento
de LNG

Unidad de
Refrigeración
y Licuefacción

Almacenamiento
de Refrigerantes

Instalaciones
Marinas

Antorchas

Capacidad inicial de la planta:

625 MMPCD

SAN MARTIN 1



MALVINAS



35 MBD

ACONDICIONAMIENTO

SAN MARTIN 3



PROPANO, BUTANO

6 500 MBD



ALMACENAJE REFRIGERADO

GLP

19%
2.2 MMB
100 MM\$

EEUU



EL SALVADOR ECUADOR



PROPANO, BUTANO

50% 9 500 MBD



TANQUES PRESURIZADOS

GLP

27%



CAMIONES

PERU

PLANTA DE
FRACCIONAMIENTO
PISCO: 30/08/04

TOPPING
50%

DIESEL: 10%

2 500 MBD



ALMACENAJE ATMOSFERICO

DIESEL

7%



CAMIONES

NAFTA VIRGEN: 40%

16 500 MBD



NAFTA

47%
5.8 MMB
290 MM\$

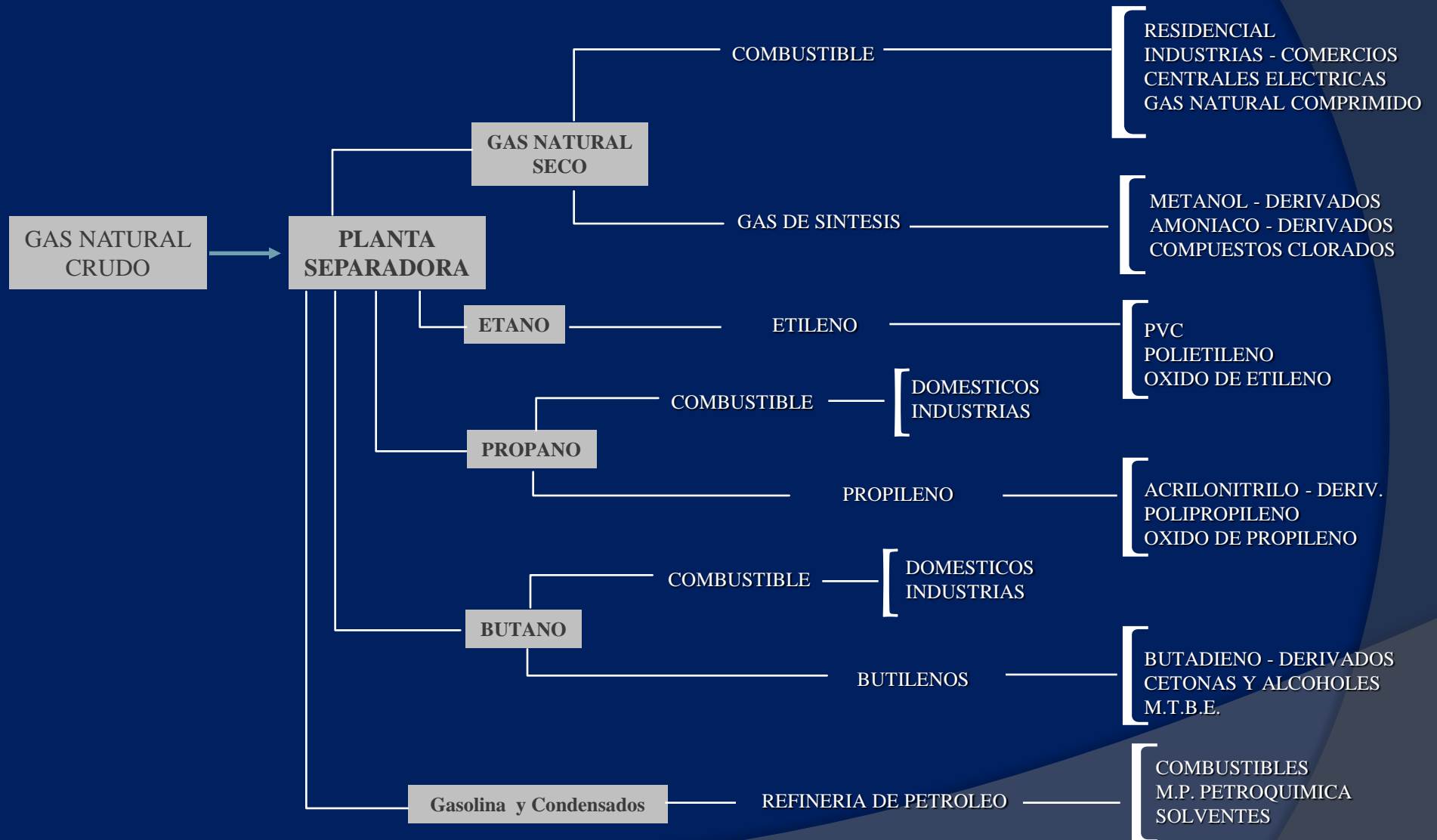
EEUU



EL SALVADOR ECUADOR



UTILIZACION DEL GAS NATURAL



La composición

<i>Componente</i>	<i>Nomenclatura(%)</i>	<i>Composición</i>	<i>Estado Natural</i>
Metano	(CH ₄)	95,08	gas
Etano	(C ₂ H ₆)	2,14	gas
Propano	(C ₃ H ₈)	0,29	gas licuable
Butano	(C ₄ H ₁₀)	0,11	gas licuable
Pentano	(C ₅ H ₁₂)	0,04	líquido
Hexano	(C ₆ H ₁₄)	0,01	líquido
Nitrógeno	(N ₂)	1,94	gas
Gas carbónico	(CO ₂)	0,39	gas

Impurezas: helio, oxígeno, vapor de agua, H₂S

Densidad relativa : 0,65

Poder calorífico : 9,032 kcal/m³

C_p (presión Cte) : 8,57 cal/mol.°C

C_v (volumen Cte) : 6,56 cal/mol. .°C

¿QUE VENTAJAS OFRECE EL GAS NATURAL?

- ⦿ **Comodidad:** Al ser una energía de suministro continuo esta siempre
- ⦿ **Disponibilidad** en la cantidad y en el momento que se le necesite.
- ⦿ **Limpieza:** El gas natural es menos contaminante que los combustibles sólidos y líquidos. **es el más limpio de los combustibles gaseosos.**
- ⦿ **ECOLOGICO:** produce menos CO₂ (reduciendo así el **efecto invernadero**), menos impurezas, como por ejemplo azufre (disminuye la lluvia ácida), además de no generar humos. Genera menos partículas sólidas en los gases de la combustión (**Oscurecimiento de la tierra**).
- ⦿ **Seguridad:** El **GN** a diferencia de otros gases combustibles, es más ligero que el aire, por lo que, de producirse alguna fuga, se disipa rápidamente en la atmósfera. Únicamente, se requiere tener buena ventilación.
- ⦿ **Economía:** Es la energía de suministro continuo más barata.

CALIDAD DEL GAS NATURAL

IMPUREZAS Y CONTAMINANTES

Norma Técnica Peruana NTP 111.00203

PCS: 8450 a 10300

- Vapor de Agua (H_2O) **Agua < 65 mg/Sm³**
- Dióxido de Carbono (CO_2) **CO_2 < 3,5% Vol**
- Inertes totales(N_2+CO_2) **Inertes < 6% Vol**
- Sulfuro de Hidrógeno (SH_2) **SH_2 < 3mg/Sm³**
- Otros Compuestos de Azufre **Azufre Total <15mg/Sm³**
- (COS , RSH , etc.)
- Hidrocarburos Condensables (HC)
- Partículas Sólidas y Líquidas

Libre de arena, polvos, gomas, aceites y glicol

APLICACIONES

SECTOR	COMBUSTIBLE QUE PUEDE SUSTITUIR	APLICACIÓN PROCESO
Industrial	Carbón	Fundición de metales Hornos de fusión Secado
	Fuel oil	Industria del cemento Industria de alimentos
	Gas licuado	Generación de vapor Tratamientos térmicos temple y recocido de metales
	Kerosene	Cogeneración Cámaras de combustión producción petroquímica
	Leña	Sistema de calefacción
Generación Eléctrica	Carbón	Centrales térmicas
	fuel oil	Cogeneración eléctrica
Comercial	carbón	aire acondicionado
	gas de ciudad	cocción/ preparación de alimentos
	gas licuado	agua caliente
		calefacción central
Residencial	Kerosene	cocina
	Gas licuado	calefacción
	leña	agua caliente
		aire acondicionado
Transporte	gasolina	Taxis
	diesel	buses

Propiedades del GAS NATURAL

- ⊙ *Fuente energética de origen fósil.*
- ⊙ *Producto incoloro, inodoro y no tóxico.*
- ⊙ *Es más ligero que el aire (densidad relativa <1)*
- ⊙ *Licua a temperatura inferior a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$*
- ⊙ *Relación volumétrica GN/GNL: ~ 600*
- *PCS entre 9.000 y 10.000 kcal/m³ (38 a 42 MJ/m³)*
- *PCI aproximadamente el 90% del PCS*
- *Peso específico 0,75 kg/m³ (en CS P y T)*
- *Densidad relativa del orden de 0,6*

LAS PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

Poder Calorífico:

Cantidad de calor liberada en la combustión completa en aire de la unidad de masa de un combustible: [kJ/kg] o [kcal/kg] ([BTU/lb]).

Para los gases se mide por unidad de volumen en condiciones de referencia de 15°C y 1 Atmósfera, siendo entonces las unidades [kJ/m³_s] o [kcal/m³_s] ([BTU/ft³ Std]).

Superior (PCS) es aquel que incluye el calor de condensación del vapor de agua de los gases de la combustión.

Inferior (PCI) no incluye el calor absorbido por el agua producida en la combustión, que en forma de vapor se lleva como calor de vaporización.

PODER CALORIFICO BRUTO DE LOS GASES

Es el calor desprendido por la combustión completa a 15.56°C (60°F) y 14.696 psia

$$H = \sum_{i=1}^n X_i H_i = X_1 H_1 + X_2 H_2 + X_3 H_3 + X_{n-1} H_{n-1} \dots X_n H_n$$

X_i = fracción molar de cada componente

H_i = poder calorífico ideal c/comp a la condiciones de referencia

$$H_r = \frac{H}{Z}$$

H = poder calorífico ideal, BTU/pc

H_r = poder calorífico real, BTU/pc

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

¿Por qué es importante medir el PC del GN

- ⦿ Beneficios o dificultades económicas del GN
- ⦿ La determinación de la E del GN se ha convertido en parte integral del negocio y distribución en el mercado
- ⦿ El MBTU se usa después de 1978 cuando la *natural Gas Policy Act* cambio de KPC a MBTU



LAS PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

Caloría:

Es la cant. de **Q** necesaria para calentar un (1) gramo de agua pura, desde catorce grados Celsius y cinco décimos (14,5°C) hasta quince grados Celsius y cinco décimos (15,5°C), a una presión absoluta constante de 1 atmósfera.

Calor Específico

Cant. de **Q** que es necesario entregar a la unidad de masa de un producto para aumentar su temperatura de 14,5°C a 15,5°C (Se mide en [kJ/kg°C] o [kcal/kg°C] ([BTU/lb°F]).

Densidad Absoluta y Relativa:

Entendemos por densidad absoluta a la masa de un producto contenida en la unidad de volumen, medida en condiciones de standard o de referencia [kg/m³].

Si bien existen dispositivos capaces de medir la densidad absoluta de un gas, los más sencillos y de uso habitual miden la densidad relativa al aire, por ello el carácter adimensional comúnmente utilizado para esta propiedad, también llamada gravedad específica.

Índice de Wobbe:

$$I.W. = \frac{PCS}{\sqrt{\text{densidad relativa}}}$$

Determina el grado de intercambiabilidad entre gases combustibles

LAS PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

La International Gas Union (IGU) clasifica los gases combustibles en 3 familias según su I.W. (MJ/Nm³)

● 1era familia 17,8 – 35,8 2da 35.8 - 71.5 3era 71.5 - 87.2

PARAMETROS DE MEDICION Y CONTROL

Unidad de volumen de gas:

La unidad de volumen del gas natural, para los fines de la medición, es el metro cúbico standard [Sm³ medido a 15°C (288,15 Kelvin) de temperatura y 101,325 kPa (1,01325 Bar o 1 Atmósfera) de presión.

El volumen de gas entregado a los fines de la facturación y en conformidad con la Ley N° 24.076 – Marco Regulatorio de la Industria del Gas, será la cantidad de metros cúbicos en condiciones standard multiplicada por el poder calorífico superior de gas entregado, expresado en Kcal/9.300

PARAMETROS DE MEDICION Y CONTROL

Presión:

como la fuerza ejercida por un fluido, por unidad de área de la superficie que lo encierra.

La medición de la presión nos ayuda a definir el estado del fluido y a determinar el trabajo hecho sobre un fluido o por el fluido, si hay movimiento de éste.

Las unidades [Bar] y el [kg/cm²], [psi], [atm], [mmHg], [Pascal]

Las unidades son los grados Kelvin [°K] y los grados Centígrado [°C], grados Fahrenheit [°F] y los Rankine [°R]; según sea el origen del sistema de medidas utilizado.

Temperatura:

La temperatura de un cuerpo es un estado térmico, considerado con referencia a su posibilidad de transmitir calor a otro cuerpo.

Mediante el empleo de distintas sustancias termométricas se puede individualizar el estado térmico de una sustancia, mediante la indicación de un número relacionado con una determinada escala de temperatura.

Mediante el empleo de distintas sustancias termométricas se puede individualizar el estado térmico de una sustancia, mediante la indicación de un número relacionado con una determinada escala de temperatura.

FACTOR DE COMPRESIBILIDAD:

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

A presiones bajas y temperaturas normales las diferencias son pequeños, pero a altas presiones las diferencias son mayores.

Por lo tanto se introduce mediante la introducción de un factor de corrección, que se denomina Factor de Compresibilidad (Z).

El factor Z depende de la 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: $Z = V_r / V_p$.

PARAMETROS DE MEDICION Y CONTROL

Caudal

Es una medida de la cantidad de fluido en movimiento, circulando por un conducto, en la unidad de tiempo.

La cantidad medida generalmente es el volumen de un gas en condiciones standard de presión y temperatura, o bien el volumen de un líquido.

Las unidades comúnmente utilizadas son el metro cúbico standard por hora [$\text{m}^3_{\text{s}}/\text{h}$] y por día [$\text{m}^3_{\text{s}}/\text{d}$], aunque existen otras como el pie cúbico standard por hora [SFC/h]; según sea el sistema de medidas utilizado.

Combustión del Gas Natural

Familias de gases combustibles

● Primera familia: GAS MANUFACTURADO (BAJO PCS)

- gases manufacturados de hulla o coke.
- PCS entre 4000 y 6000 kcal/m³ (16-25 MJ/m³).
- Composición típica 50% H₂, 20% CO₂, 20% CH₄, 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/m³ (38-42 MJ/m³).
- Metano: Punto de fusión -182 °C, Punto de ebullición -161,5 °C
- Densidad respecto al aire: ~ 0,6. Peso de 1m³: ~ 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/Nm³ (95-125 MJ/Nm³).
- Densidad respecto al aire: de 1,5 a 2. Peso de 1m³: entre 1,9 a 2,6 kg
- Tensión de vapor: entre 1.434 y 483 kPa a 37,8 °C

REACCION DE *Combustión del GN*

Reacción química de oxidación en la que un combustible interacciona con un comburente (O_2) \rightarrow Calor, (CO_2) y (H_2O).

COMBUSTIBLE

REACCION

PRODUCTOS



1era familia



Combustible

+



Comburente

\rightarrow



+ Calor



2da familia



Combustible

+



Comburente

\rightarrow



+ Calor



3era familia



Combustible

+



Comburente

\rightarrow



+ Calor

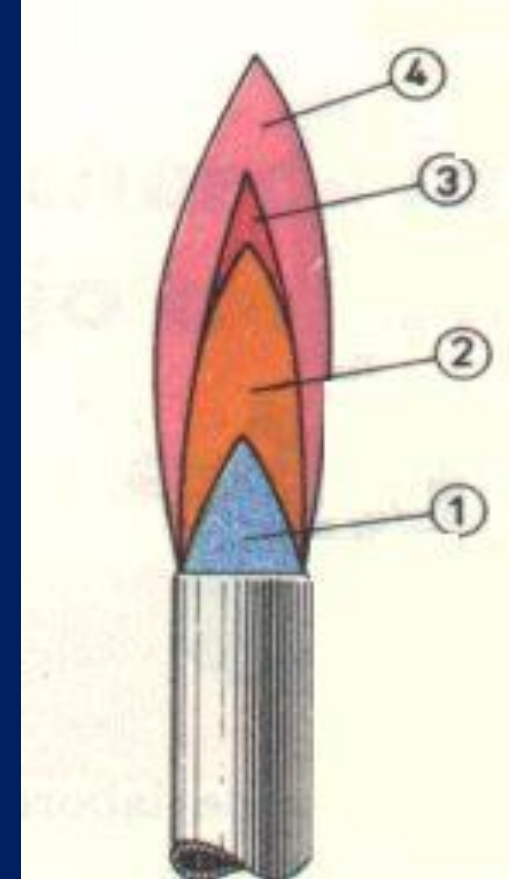
Combustión del GN

- **COMBUSTIBLE:** Son sustancias que puede proporcionar energía calorífica apta para producir trabajo mecánico, estas sustancias contienen energía químicamente almacenada. Esta energía proviene de las fuerzas que mantienen unidos a los átomos que componen al combustible y se libera e forma de luz y calor.
- **COMBURENTE:** Es el material que hace entrar a un combustible en combustión, el comburente esencial en toda combustión es el Oxígeno, sin este sería casi imposible llevar a cabo una combustión.
- **La combustión completa** (con exceso O_2) produce H_2O y CO_2 , una llama poco luminosa y de **gran poder calorífico**.
- **La combustión incompleta** (con defecto O_2) produce además de H_2O y CO_2 , CO y otros productos intermedios, da origen a llamas de **bajo poder calorífico** y altamente luminosas (debido a la incandescencia de las partículas de carbono que se producen).

La Llama

Las llamas se originan en las reacciones muy exotérmicas de combustión y están constituidas por mezclas de gases incandescentes. Son las fuentes más comunes de calor intenso.

En general, la reacción de combustión se transmite a un región de la masa gaseosa a partir de un punto de ignición; al proseguir la propagación, la mezcla reaccionante va diluyendose, la reacción cesa gradualmente y la llama queda limitada a una zona del espacio.



- 1.- Cono frío: no llega oxígeno
- 2.- Cono de reducción: poco oxígeno
- 3.- Cono de oxidación: abundancia de oxígeno
- 4.- Zona de fusión: alcanza los 1.500 °C

La Llama

- ✓ **Llama Redutora:** cuando hay (voluntariamente o involuntariamente) baja relación comburente/combustible, siendo productos de la combustión el monóxido de carbono (CO) y/o el hidrógeno (H₂), gerando una atmosfera protetora contra la oxidación.
- ✓ **Llama Ligeramente Oxidante:** es una llama prácticamente neutra, donde el tenor de O₂ en los productos de la combustión es del orden de 1 a 2% (o sea un exceso de aire de combustión de 5 a 10% por encima de las proporciones estequiométricas), para garantizar la quema total del gas (siempre existe presencia de trazas de CO, del orden de ppm).
- ✓ **Llama Oxidante:** cuando hay suficiente exceso de aire de combustión (por exemplo, para obtener una atmosfera con 7% de O₂, en los productos de la combustión, es necesario practicar un exceso de aire de combustión del orden del 50%) . Algunas aplicaciones exigen una atmosfera oxidante, cuando se necesita garantir la quema del material a incinerar o la no-reducción de óxidos metálicos.

La Llama (continuación)

- **Temperatura Adiabática de Llama:** es la que obtendría en la combustión en un sistema térmicamente aislado, donde todo el calor liberado en la quema fuera utilizado para el calentamiento de los productos de la combustión.

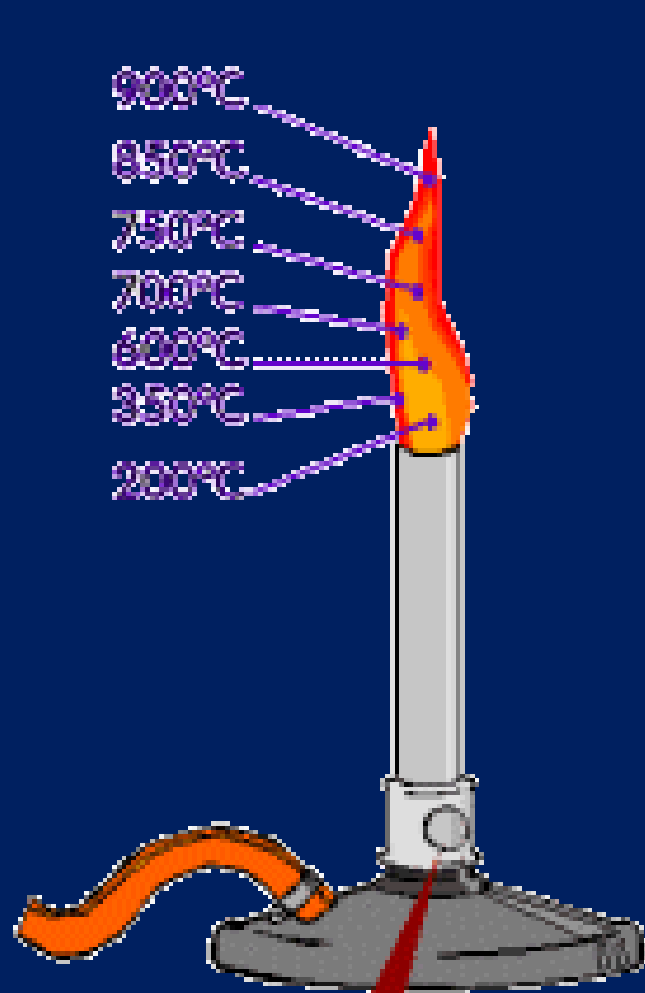
En realidad, la temperatura efectiva de llama es inferior a la temperatura adiabática, ya que el calor se propaga y solo parte del mismo es utilizado para el calentamiento de los productos de la combustión.

GAS a 20°C	COMBURENTE a 20°C	
	Aire (°C)	Oxígeno (°C)
Metano	1957	2810
Etano	1960	-
Propano	1980	2820
Butano	1970	-
Hidrógeno	2045	2660
Acetileno	2400	3100

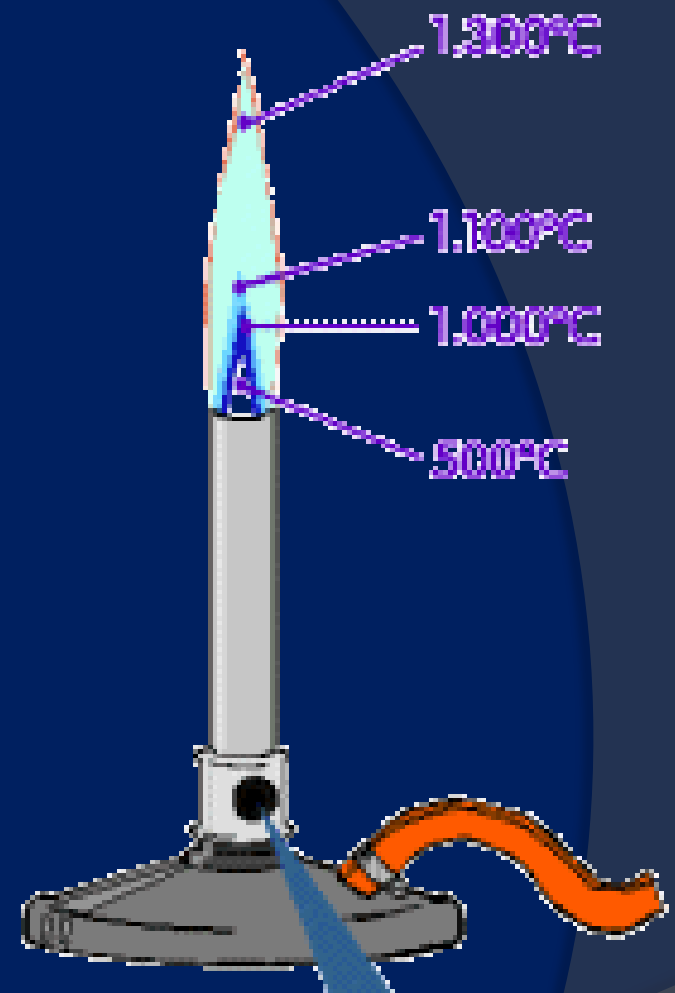
TEMPERATURA DE LLAMA ADIABATICA

- ⊙ $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- ⊙ $\Delta H_r^T = 0 = \Delta H_r^0 + \int_{T_0}^{T_a} \Delta C_{Pr}$
- ⊙ $\Delta H_r^0 = (\Delta H_r^0)_P - (\Delta H_r^0)_R$
- ⊙ $C_{pi} = a + b * T + c * T^2$
- ⊙ $\Delta C_{pr} = \Delta a + \Delta b * T + \Delta c * T^2$
- ⊙ Δ # Temperatura de llama adiabatica CH4 con 100% de exceso de aire
- ⊙ $f(T) = 253748.84 - 131 * T - 0.02020348 * T * T + 0.00000199068 * T * T * T$
- ⊙ $G = 253748.84 - 131 * T - 0.02020348 * T * T + T * T * T * 0.00000199068$
- ⊙ $T(0) = 298$
- ⊙ $T(\text{min}) = 1000$
- ⊙ $T(\text{max}) = 2500$

La Llama



ENTRADA
DE
AIRE
CERRADA



ENTRADA
DE
AIRE
ABIERTA

Velocidad de Llama

- La determinación de la velocidad de llama, también llamada velocidad de ignición, es un proceso experimental y los valores encontrados dependen de las condiciones de testeo y de los métodos de medición.
- Hay gases de baja velocidad (como el GLP y el gas natural) y gases de alta velocidad (como el acetileno y el hidrógeno). También podemos constatar que la velocidad de llama aumenta significativamente en la combustión con oxígeno puro.
- La velocidad de llama es una característica muy importante para el diseño de las bocas de los quemadores.

GAS	COMBURENTE	
	Aire	Oxígeno
	(m/seg)	(m/seg)
Metano	0,4	3,9
Propano	0,45 / 0,5	3,3 / 3,9
Butano	0,35	3,3
Acetileno	1,46	7,6
Hidrógeno	2,66	14,35

Temperatura de Autoignición

- La temperatura mínima de autoignición es la temperatura límite, a partir de la cual un combustible en presencia de un comburente se inflama espontáneamente (sin la existencia de una llama piloto o una chispa).
- Es muy importante para establecer las condiciones de protección en el interior de una cámara de combustión.

GAS	COMBURENTE	
	Aire (°C)	Oxígeno (°C)
Metano	580	555
Etano	515	-
Propano	480	470
Butano	420	285
Monóxido de carbono	630	-
Hidrógeno	570	560
Acetileno	305	296

Límites de Inflamabilidad

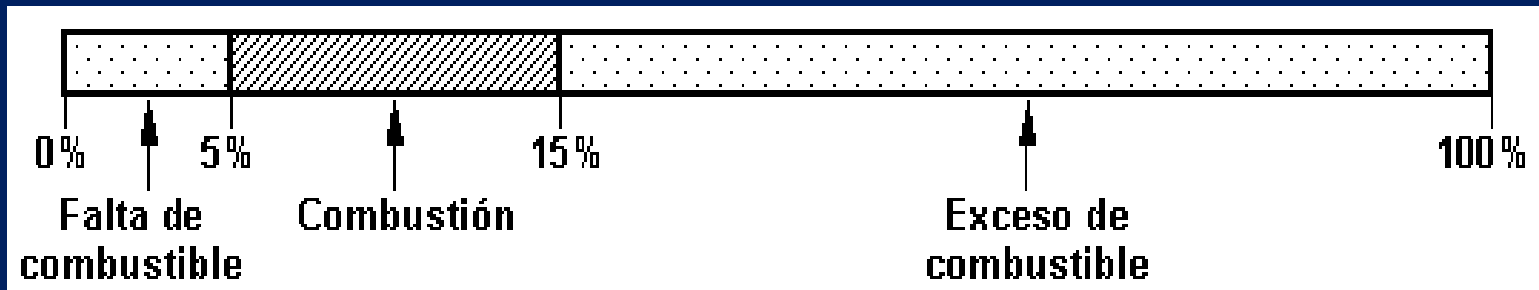
- Los límites de inflamabilidad, o campo de inflamabilidad o de explosividad, definen un rango de proporciones de mezcla combustible-comburente en los cuales se inflamará cuando sea sometida a una condición de ignición.
- Por debajo del límite inferior de inflamabilidad la mezcla es llamada pobre (en combustible) y no se inflama. Por encima del límite superior de inflamabilidad la mezcla es llamada rica y tampoco se inflama.
- Por lo tanto, la inflamación del gas natural depende de los límites de inflamabilidad, la temperatura de autoignición y la mínima energía para su inflamación.

GAS	COMBURENTE			
	Aire		Oxígeno	
Límites >>	Inf. (%)	Sup. (%)	Inf. (%)	Sup. (%)
Metano	5	15	5	60
Etano	3	12,4	3	66
Eteno (etileno)	2,7	36	2,9	80
Propano	2,8	9,5	2,3	45
Propeno (propileno)	2	11,1	2,1	52,8
Butano	1,8	8,4	1,8	40
Monóxido de carbono	12	75	-	-
Hidrógeno	4	75	4	94
Acetileno	2,2	80 / 85(*)	2,8	93

(*)Valores que presentan divergencia en diferentes literaturas

Límites de Inflamabilidad

- Para el gas natural, el (LII) limite inferior de inflamabilidad es del 5% y el (LSI) limite superior de inflamabilidad es del 15%. Entre ambos limites se encuentra toda la mezcla inflamable, cuando además coincide con una energía de activación.
- Si a presión atmosférica la temperatura aumenta el LII se reduce, en cambio el LSI aumenta. Si a temperatura constante varia la presión, tenemos:



Presión	1,013 bar	7 bar	14 bar	21 bar	100 bar
LII	5%	4,98%	4,93%	4,90%	4,60%
LIS	15%	18%	24%	32%	50%

GAS NATURAL: Un Combustible Limpio

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

Niveles de Emisión de Combustibles Fósiles

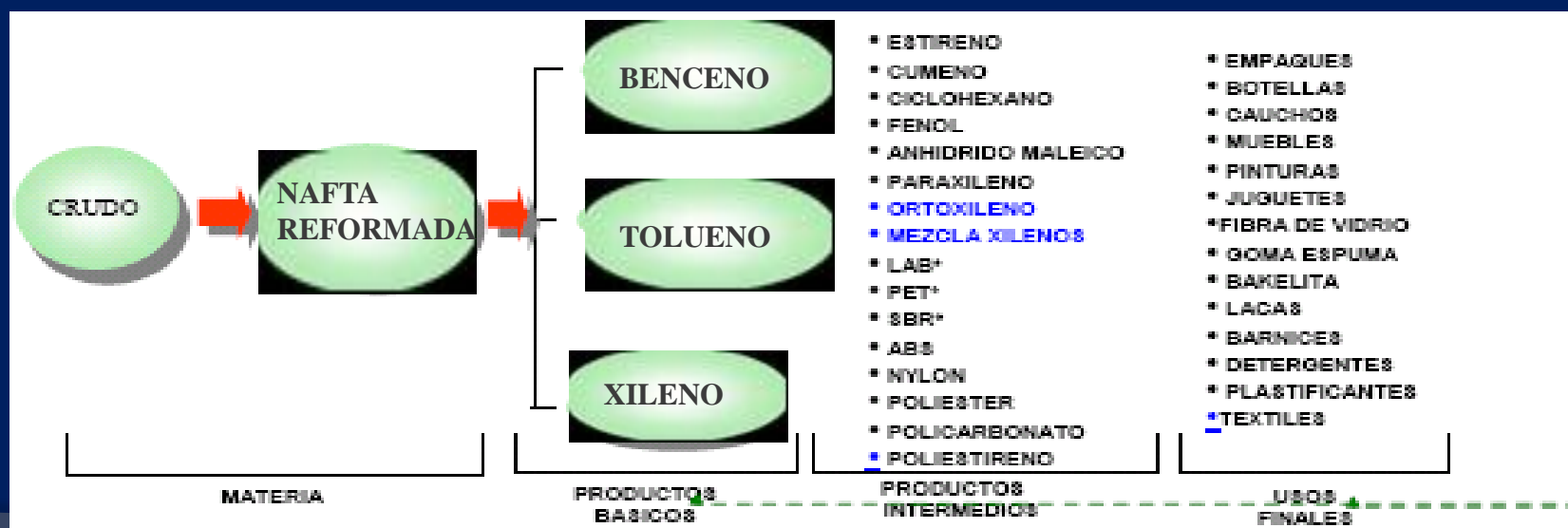
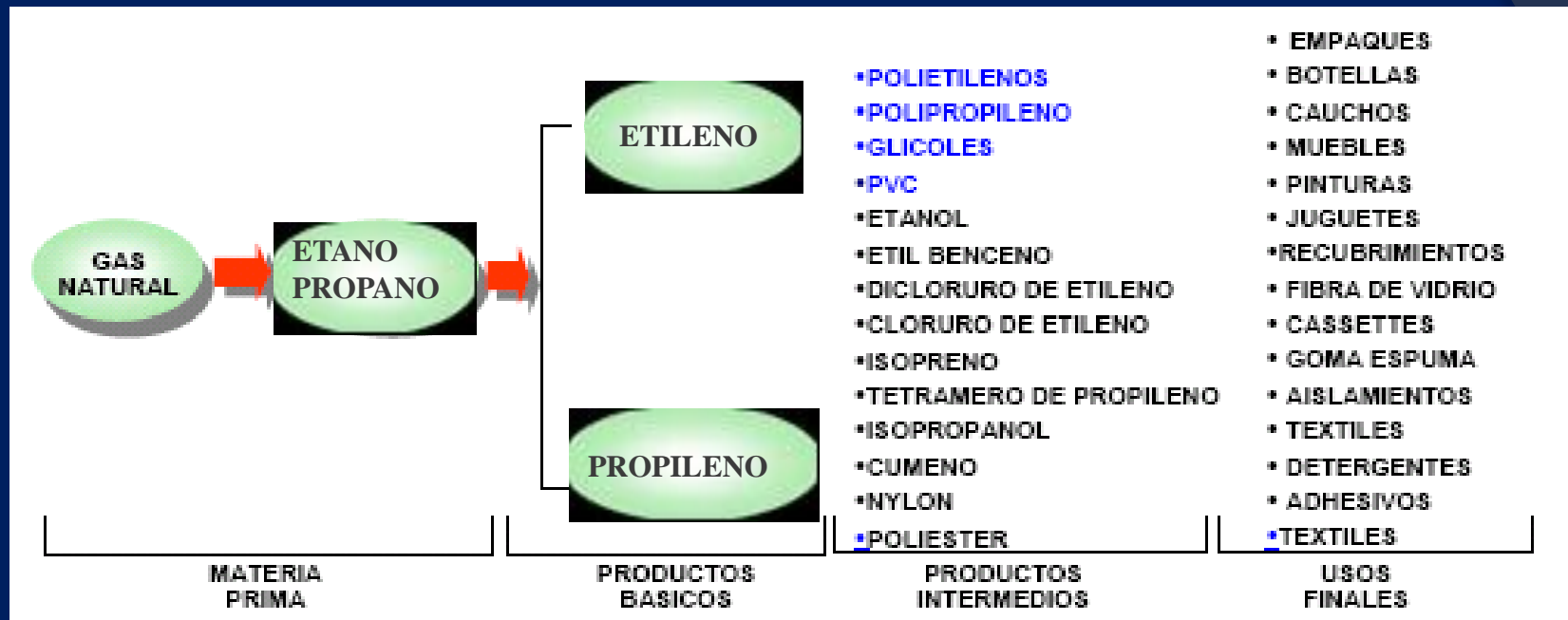
Libras por Mil millones Btu de *Entrada* de Energía

Contaminante	Gas natural	Petróleo	Carbón
Anhídrido carbónico	117	164	208
Monóxido de carbono	40	33	208
Óxidos de nitrógeno	92	448	457
Dióxido de azufre	1	1,122	2,591
Partículas	7	84	2,744
Mercurio	0.000	0.007	0.016

Fuente: EIA - los Problemas del Gas Natural y sus Tendencias

PETROQUIMICA

DEFINICION



INVERSIONES

Planta de	Producto Final	Capacidad (TM / año)	Inversión (MM US\$)
Amoniaco	Amoniaco	340000	250
Ácido Fosfórico – Fosfato Diamónico	Fosfato Diamónico	1400000	300
Ácido Nítrico – Nitrato de Amonio	Nitrato de Amonio	136000	60
Amoniaco – Úrea	Urea	592000	460
PE-PP	Polímeros	300000	500

CONSUMOS DE GAS NATURAL PARA LOS DIFERENTES PRODUCTOS RATIOS



39883,83 PC/TM
Para 1000 TM/d
Requiere en 25 años
0,339 TCF



TM UREA/ TM NH3
0,5666



TM DAP / TM NH3
0,2575



TM AN / TM NH3
0.441



TM AS / TM NH3
0.1478

CONSUMOS DE GAS NATURAL PARA LOS DIFERENTES PRODUCTOS RATIOS

Polietileno
PE

Polipropileno
PP

Planta de
Polimerización
de Etileno



Planta de
Polimerización
de Propileno

Etileno

Propileno

150 MMPCD GN
Aprox. 188 000 TM/a
240 MMPCD GN
Aprox. 300 000 TM/a



Etano

GRACIAS