A decorative graphic consisting of a thin yellow circle. A thick black left square bracket is positioned on the left side of the circle. A thick yellow right square bracket is positioned on the right side of the circle. A horizontal bar with a gradient from olive green on the left to white on the right is overlaid across the middle of the circle.

# Gas Natural

- Caracterización
- Ciclos Combinados

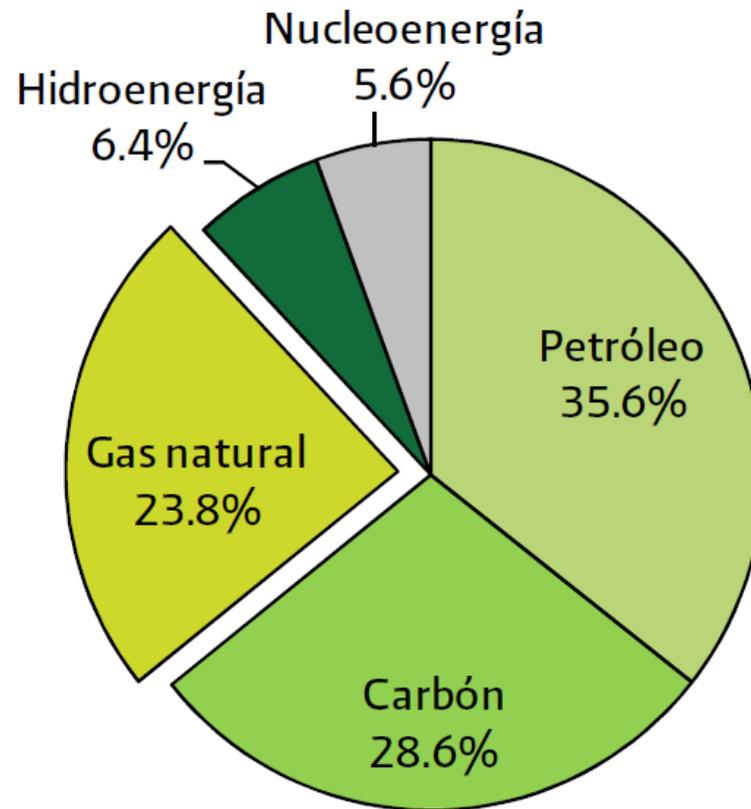
# [ Descripción ]

---

- El Gas Natural (GN) es un gas combustible que se encuentra en la naturaleza en reservas subterráneas en rocas porosas
- Consiste en una mezcla de hidrocarburos, principalmente metano, y otros más pesados.

# [ Importancia del Gas Natural ]

- El gas natural constituye la tercera fuente de energía, después del petróleo y el carbón



# [ Clasificación por origen ]

---

Dependiendo su origen se clasifica en:

- Gas asociado: Es el que se extrae junto con el petróleo y contiene grandes cantidades de hidrocarburos, como etano, propano, butano y naftas.
- Gas no asociado: Es el que se encuentra en depósitos que no contienen petróleo crudo

# [ Composición del Gas Natural ]

Componente	Fórmula	Gas No Asociado	Gas Asociado
Metano	CH <sub>4</sub>	95-98 %	60-80 %
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1-3 %	10-20 %
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.5-1 %	5-12 %
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.2-0.5 %	2-5 %
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.2-0.5 %	1-3 %
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0-8 %	0-8 %
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0-5 %	0-5 %
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0-5 %	0-5 %
Otros	A, He, Ne, Xe	trazas	trazas

# [ Clasificación por composición ]

- Gas amargo: Contiene derivados del azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos, sulfuros y disulfuros)
- Gas dulce: Libre de derivados del azufre, se obtiene generalmente al endulzar el gas amargo utilizando solventes químicos o físicos, o adsorbentes

# [ Clasificación por composición ]

- Gas húmedo: Contiene cantidades importante de hidrocarburos más pesados que el metano, es el gas asociado
- Gas seco: Contiene cantidades menores de otro hidrocarburos, es el gas no asociado

# [ Clasificación por composición ]

Denominación Estándar	Gas Dulce Seco	Gas Amargo Seco	Gas Dulce Húmedo	Gas Amargo Húmedo
Componente	<i>Gas No Asociado</i>		<i>Gas Asociado</i>	
<b>Etano</b>	<b>&lt;10%</b>	<b>&lt;10%</b>	<b>&gt;10%</b>	<b>&gt;10%</b>
<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>&lt;1%</b>	<b>&gt;1%</b>	<b>&lt;1%</b>	<b>&gt;1%</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>&lt;2%</b>	<b>&gt;2%</b>	<b>&lt;2%</b>	<b>&gt;2%</b>

# [Procesamiento del Gas Natural]

---

- El Gas Natural tiene que procesarse para poder cumplir con estándares de calidad
- Los estándares son especificados por las compañías de transmisión y distribución, las cuales varían dependiendo del diseño del sistema de ductos y de las necesidades del mercado que se quiere atender

# [ Requerimientos ]

- Los estándares especifican:
  - El poder calorífico del gas (en México, debe ser entre 34 y 40 MJ/m<sup>3</sup>)
  - La ausencia de partículas sólidas y agua líquida, para prevenir erosión y corrosión de los gasoductos)
  - Los porcentajes máximos de componentes como el H<sub>2</sub>S, N, mercaptanos y vapor de agua
  - Índice de Wobbe: Es la relación del poder calorífico superior con respecto a la raíz cuadrada de la densidad relativa:

$$W = \frac{H_s}{\sqrt{\rho}}$$

En México: 43.0-47.5

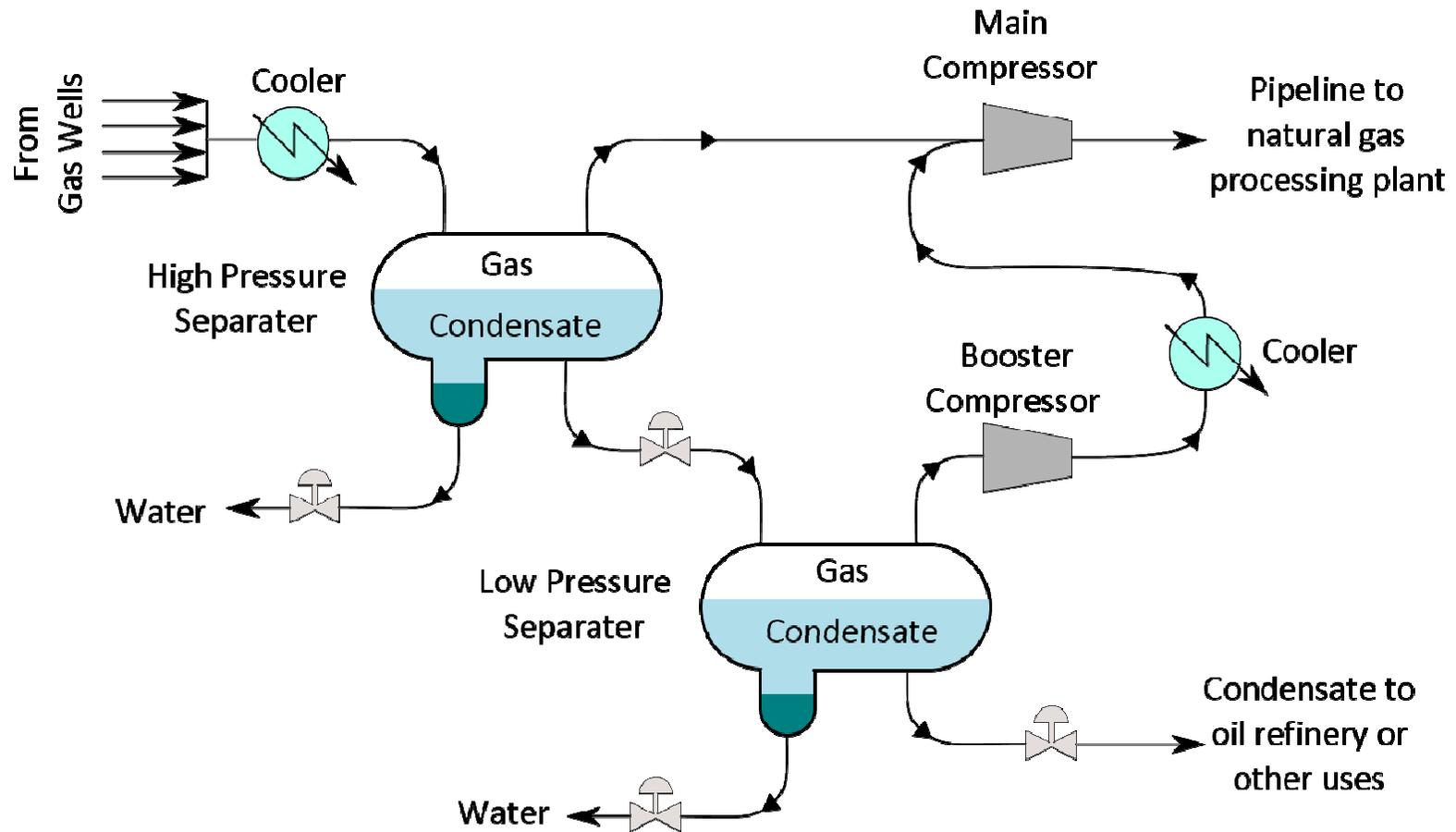
# Etapa 1 – Remoción de Condensados y agua

- Remoción de condensados y agua líquida
  - Los condensados son llamados también gasolina natural, porque se compone de hidrocarburos cuyo punto de ebullición está en el rango de la gasolina

Su composición puede ser:

- $H_2S$
  - Mercaptanos
  - $CO_2$
  - Alcanos (de entre 2 y 12 átomos de carbono)
  - Ciclohexano ( $C_6H_{12}$ )
  - Aromáticos (benceno, tolueno, xileno, etilbenceno)
- Los condensados se envían usualmente a una refinería de petróleo y el agua desecha

# [ Etapa 1 ]

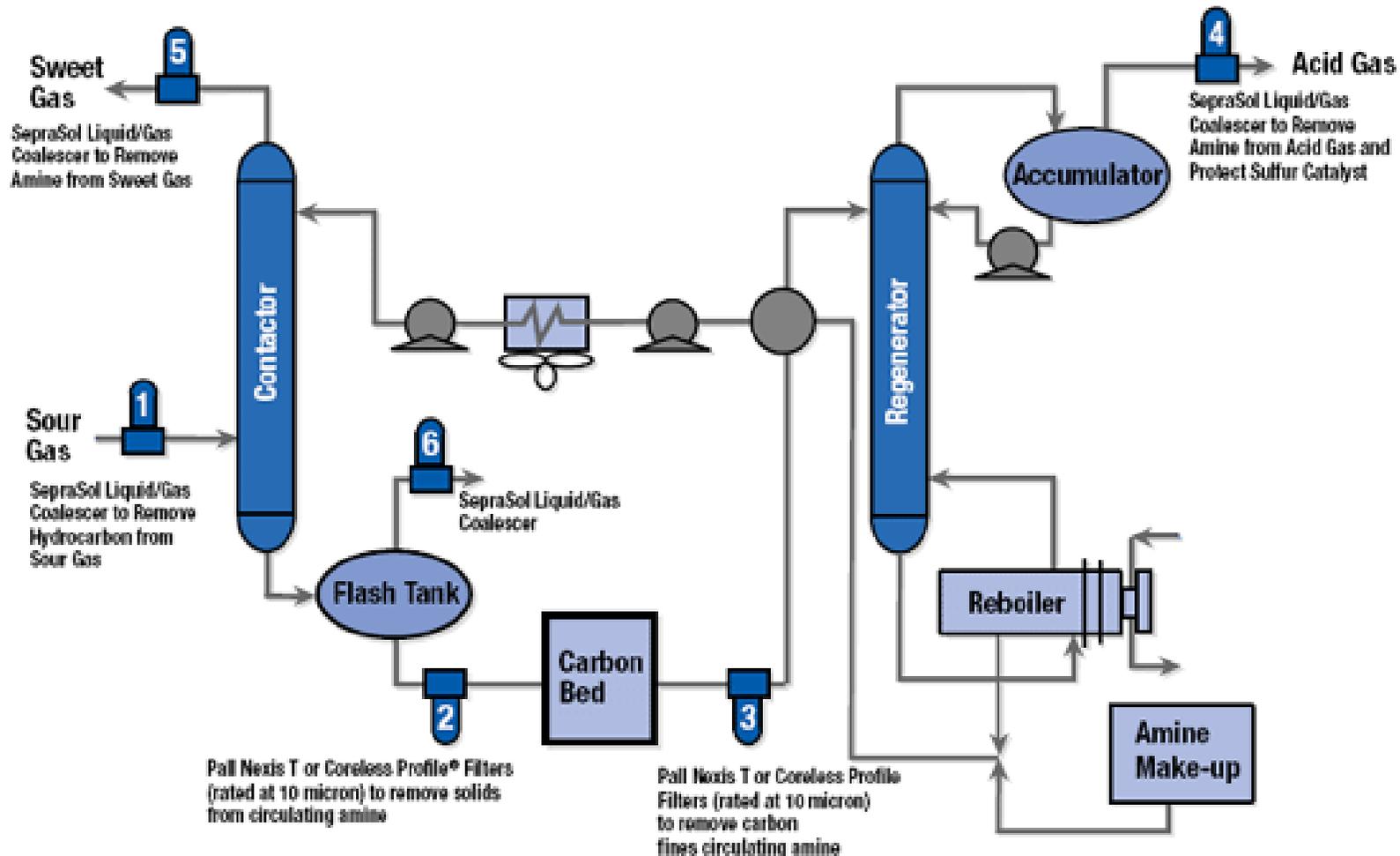


# [ Etapa 2 – Endulzamiento ]

- El endulzamiento se hace con el fin de remover el  $H_2S$  y el  $CO_2$  del GN, se llama así porque se remueven los olores amargos y sucios)
- Se llaman gases ácidos, porque en presencia de agua forman ácidos
- Existen varios procesos:
  - Tratamiento de gas con aminas
  - Proceso Benfield
  - Unidad PSA
- Los productos de éste proceso, son gas dulce húmedo y gases ácidos

# Tratamiento con aminas

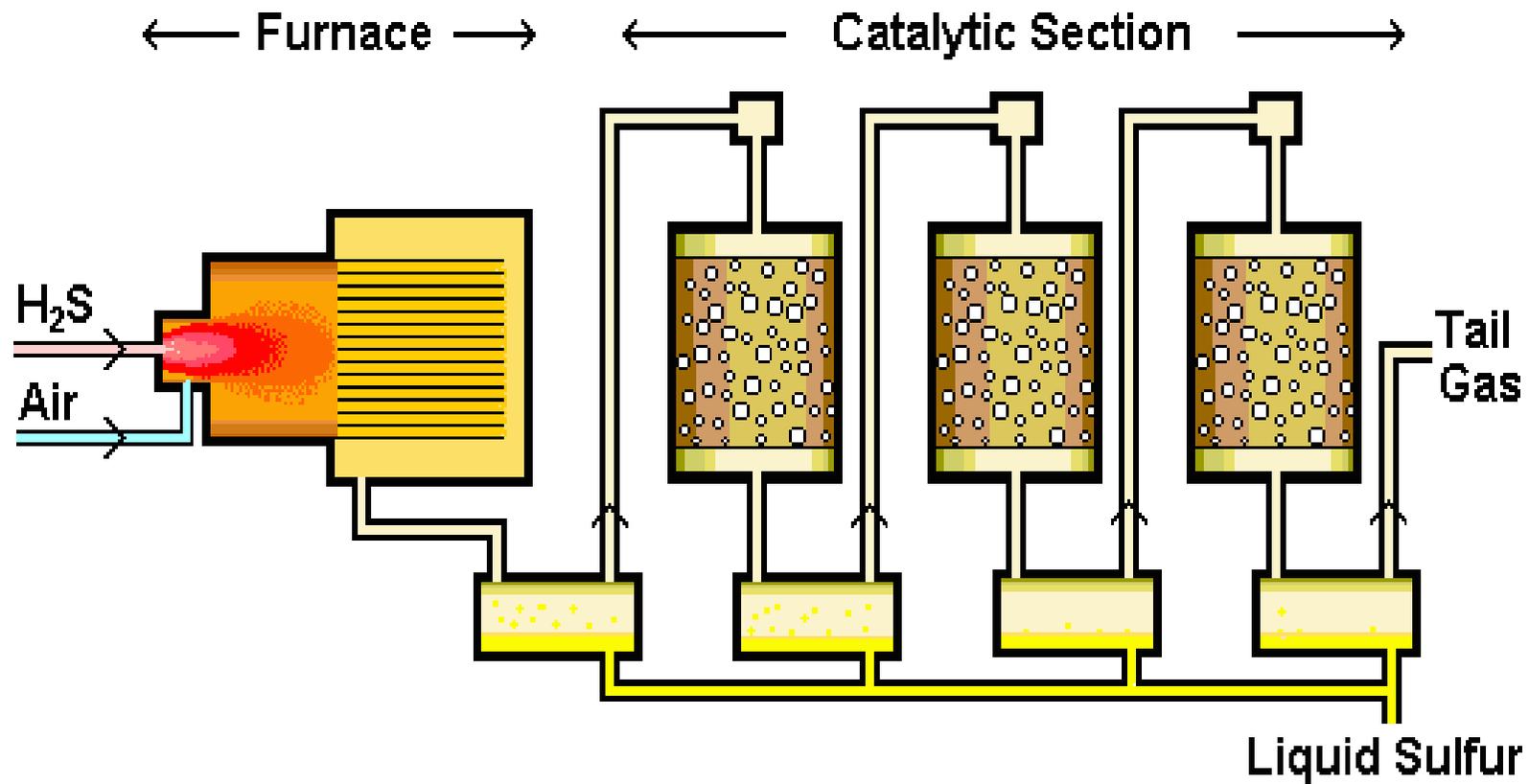
## Amine Sweetening Unit



## Etapa 3 – Recuperación del azufre

- El gas ácido compuesto de  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CO}_2$  proveniente del proceso de endulzamiento, se envía a una unidad de recuperación de azufre
- En esta unidad alrededor de entre 90 y 97% del  $\text{H}_2\text{S}$  contenido en el gas, es convertido en azufre elemental o en ácido sulfúrico
  - El proceso Claus es el más común para recuperar azufre
  - El proceso de contacto y el proceso WPA se utilizan para recuperar ácido sulfúrico

# [ Proceso Claus ]



# [ Limpieza del gas de residual ]

- El gas producto de la unidad recuperadora de azufre, contiene de un 3 a un 10% de  $H_2S$
- Existen varios procesos que continúan la recuperación de azufre y envían el resto de vuelta a la unidad recuperadora de azufre:
  - Proceso Scot
  - Proceso Clauspol

Son procesos derivados del Proceso Claus que ayudan a recuperar más azufre.

# [ Incinerador ]

---

- El gas producto de los procesos anteriores de limpieza, aún contiene entre 0.3 y 1% de  $H_2S$
- Se envía a una unidad incineradora para convertirlo en  $SO_2$  que es menos contaminante
- Este incinerador es indispensable en toda planta de endulzamiento

## Etapa 4 – Deshidratación y remoción de mercurio

- Se remueve el vapor de agua mediante alguno de los siguientes procesos:
  - Unidad de glicol – Líquido desecante que adsorbe el agua por contacto, usualmente trietilen glicol
  - Unidad PSA – Se utiliza un adsorbente sólido, como la zeolita que es un silicato de aluminio

# [ Remoción de mercurio ]

---

- La remoción del mercurio se lleva a cabo mediante:
  - Carbón activado
  - Tamiz molecular
    - Es un material que contiene poros pequeños de tamaño preciso y uniforme, usado como agente adsorbente, funciona como un filtro pero que opera a nivel molecular atrapando el mercurio, que es venenoso y perjudicial para las tuberías de aluminio.

# Etapa 5 – Rechazo de nitrógeno

- Existen tres métodos básicos para remover el nitrógeno del gas natural:
  - Destilación criogénica
  - Adsorción
  - Separación por membranas

El más común es la destilación criogénica

# Proceso criogénico

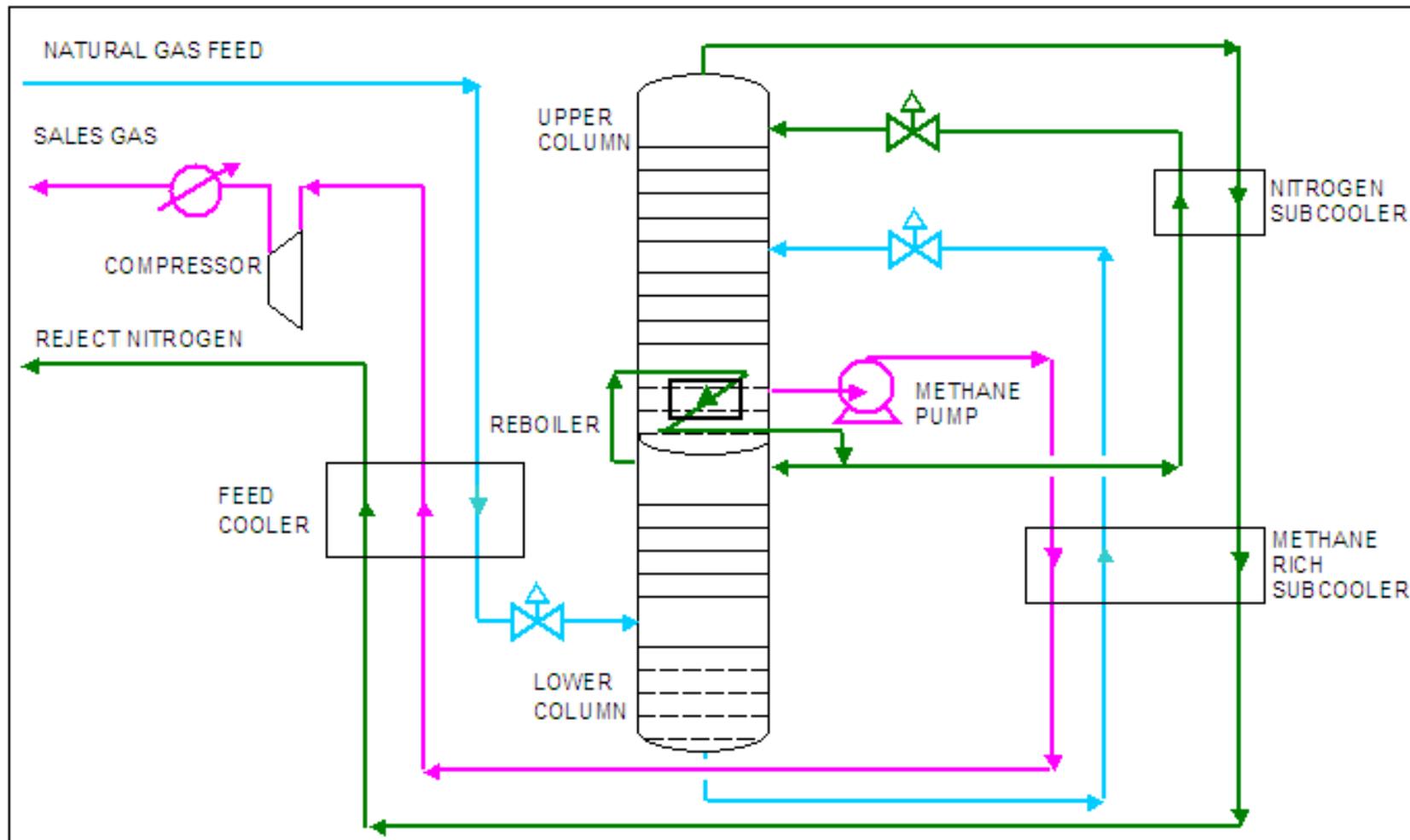


Fig. 1 Double Column Process Scheme (High Nitrogen in Feed Gas)

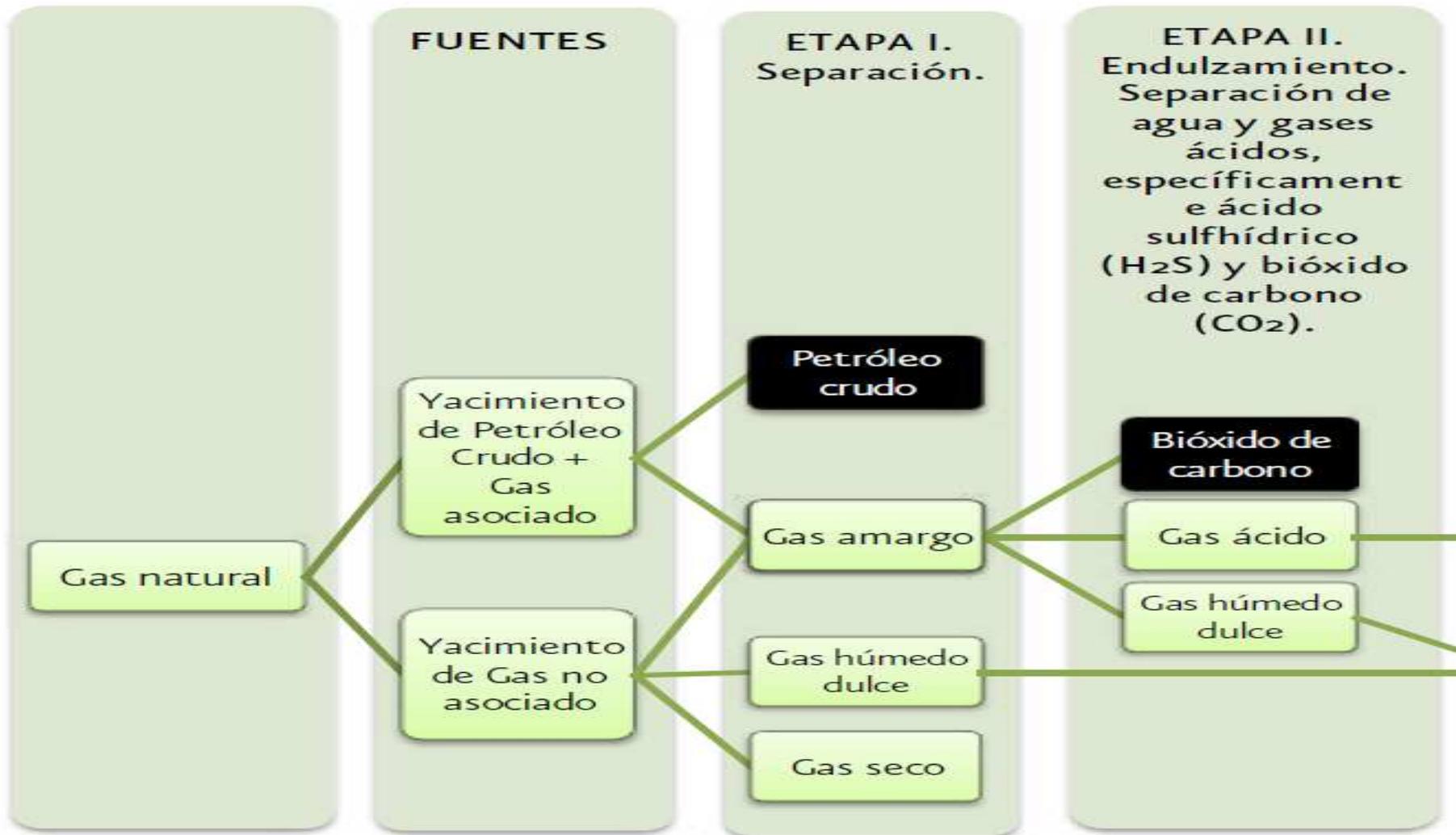
## Etapa 5 – Recuperación de los líquidos del GN

- Se utiliza otra destilación criogénica, para obtener:
  - Etano
  - Propano
  - Isobutano
  - n-Butano
  - Pentanos

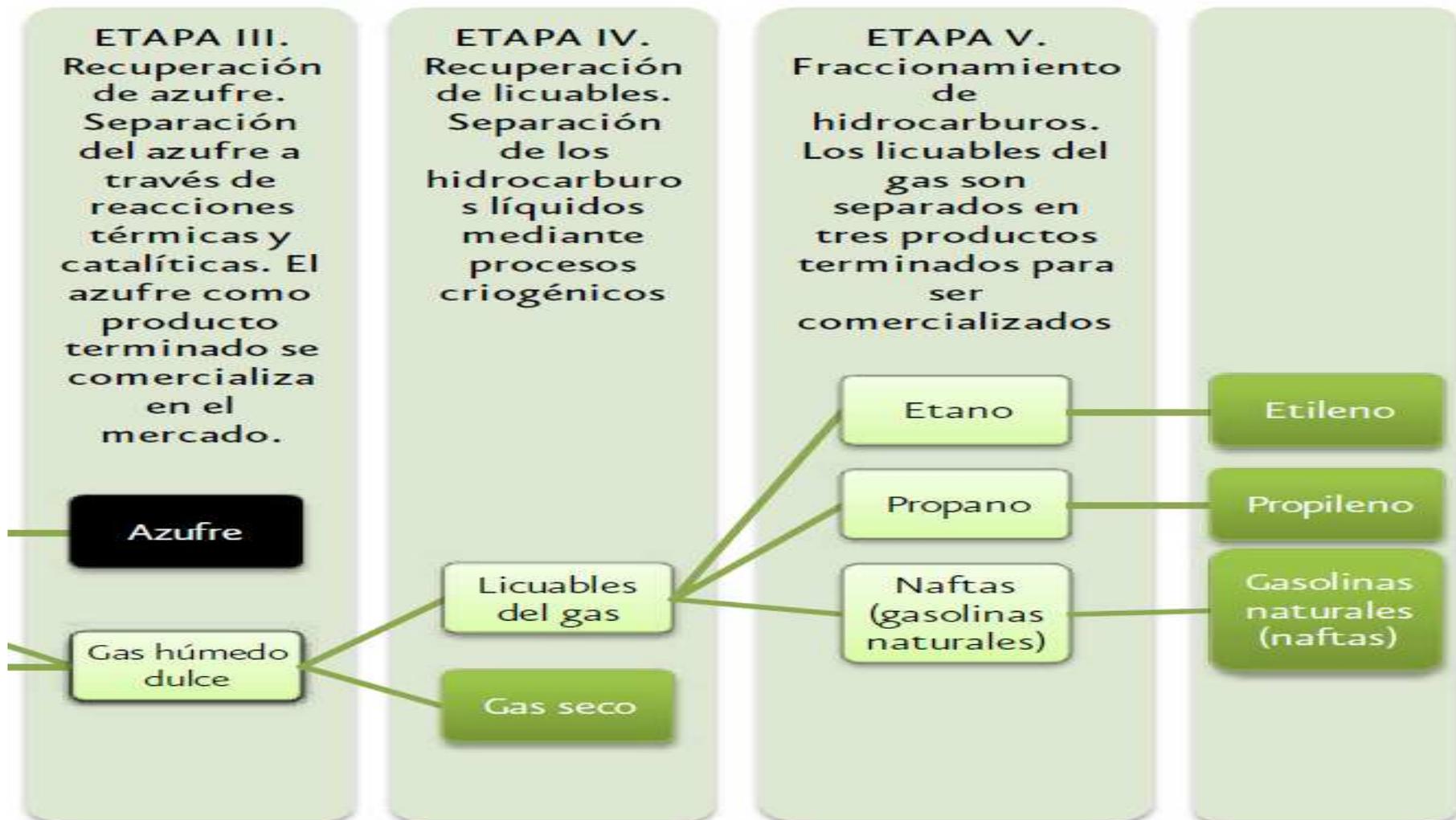
# [ Separación criogénica ]

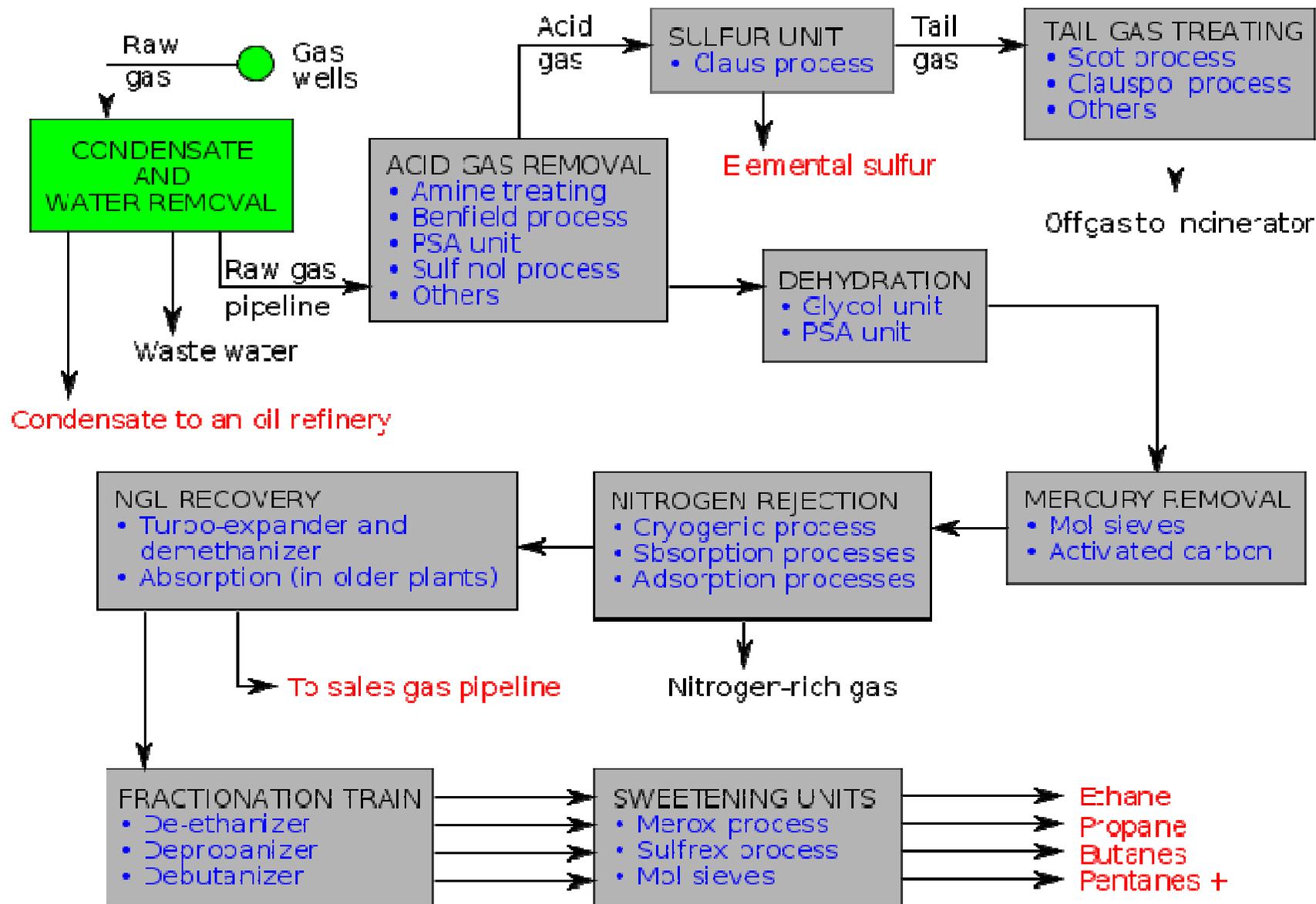
Componente	Temp. Ebullición [°C]	Producto
Neopentano	36.07	<i>Líquidos Gas Natural (NGL)</i>
Isopentano	27.85	
n-Butano	-0.5	<i>Gas L.P.</i>
Isobutano	-11.72	
Propano	-42.04	
Etano	-88.6	<i>Gas Natural Licuado (LNG)</i>
Metano	-161.49	

# [ Etapas de procesamiento GN ]



# [ Etapas de procesamiento GN ]





# [ Transporte y Almacenamiento ]

- Gasoductos
  - Económicos, respecto al transporte terrestre
  - Principal medio de transporte en EUA y la Unión Europea
  - Imprácticos para transporte intercontinental

# [ Transporte y Almacenamiento ]

- Gas Natural Licuado (LNG)
  - Buques tanque
  - Opción competitiva para países fuera de las regiones geográficas naturales



# [ Gas Natural Licuado ]

---

- El Gas Natural es licuado en plantas de licuefacción, reduciendo su temperatura a  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  a presión atmosférica.
- Las impurezas admitidas son mucho menores que para el gas con calidad de gasoducto
- Se necesitan una remoción más agresiva de agua, nitrógeno y  $\text{CO}_2$

# [ Proceso de licuefacción ]

---

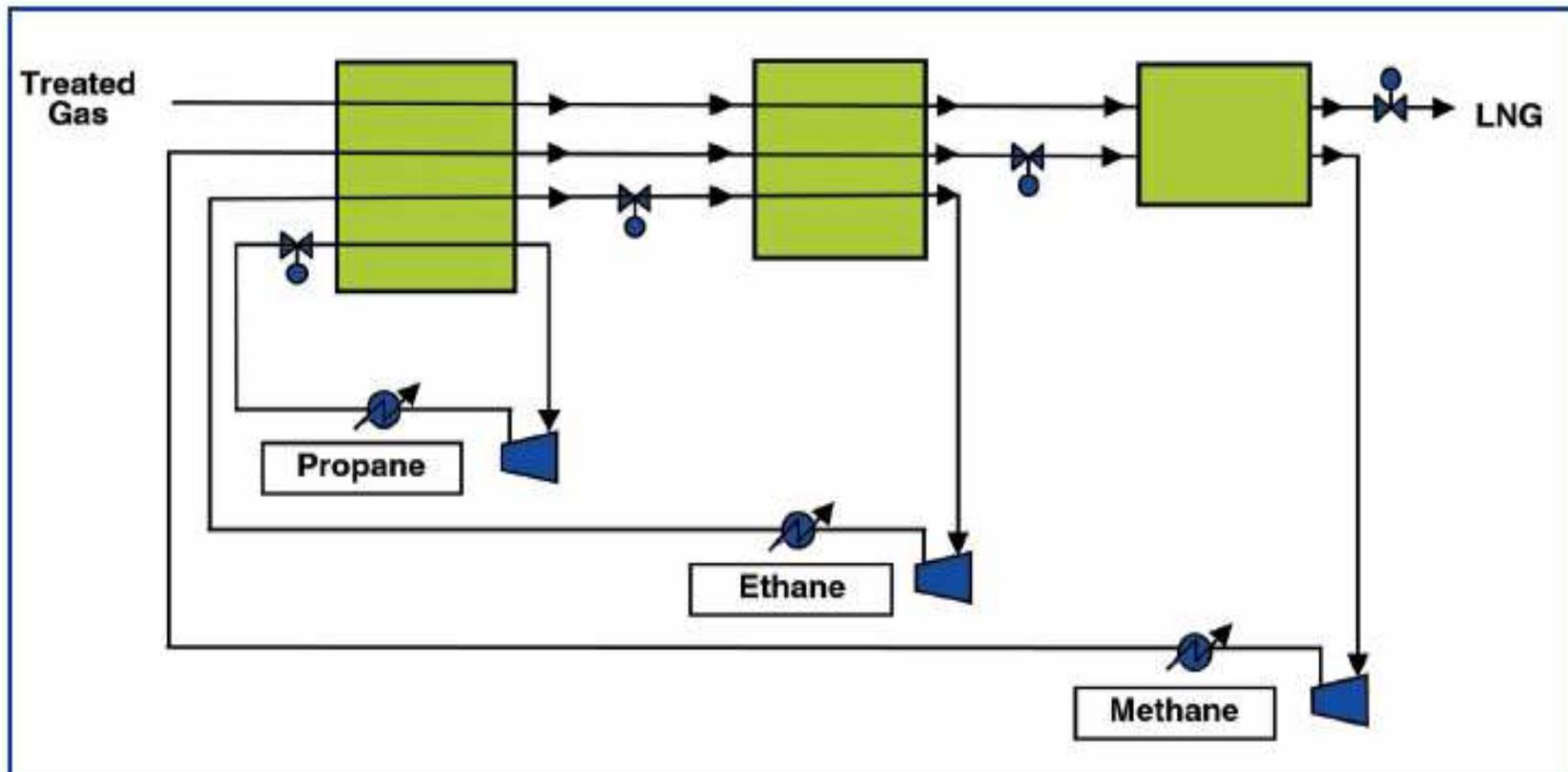
- Existen 4 procesos disponibles:
  - APCI,
  - Cascada. Diseñado por ConocoPhillips
  - Shell DMR
  - Ciclo refrigerante de Linde

# [ Proceso de enfriamiento ]

---

- El gas dulce seco con menos del 0.1% de pentanos e hidrocarburos mas pesados, se enfría en una sección criogénica hasta  $-160^{\circ}\text{C}$ , donde se licua por completo
- El gas licuado producido se almacena en tanques a presión atmosférica para su transportación

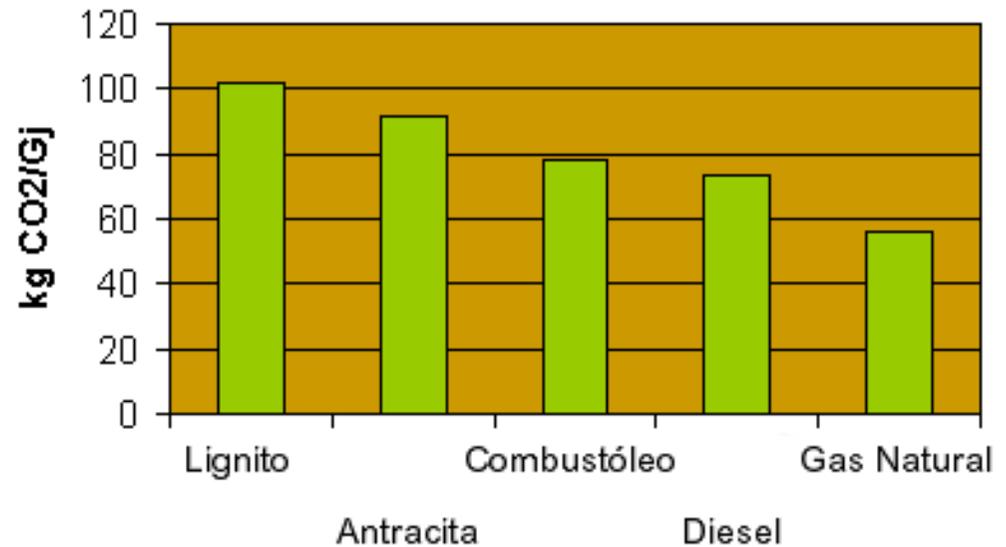
# [ Proceso Cascada ]



# [ GN y Medio Ambiente ]

- El gas natural es el combustible fósil con menor impacto medioambiental, incluyendo las etapas de extracción, elaboración, transporte y consumo de uso final

Emisión de CO2 en la combustión



# [ Emisiones del Gas Natural ]

- Emisiones de CO<sub>2</sub>
  - 40-50% menores que las del carbón
  - 25-30% menores que las del combustóleo
- Emisiones de NO<sub>x</sub>
  - Dos veces menores que el carbón
  - Dos veces y media menores que el combustóleo
- Emisiones de SO<sub>2</sub>
  - 150 veces menores que el diesel
  - Entre 70 y 1500 veces menos que el carbón
  - 2500 veces menos que el combustóleo

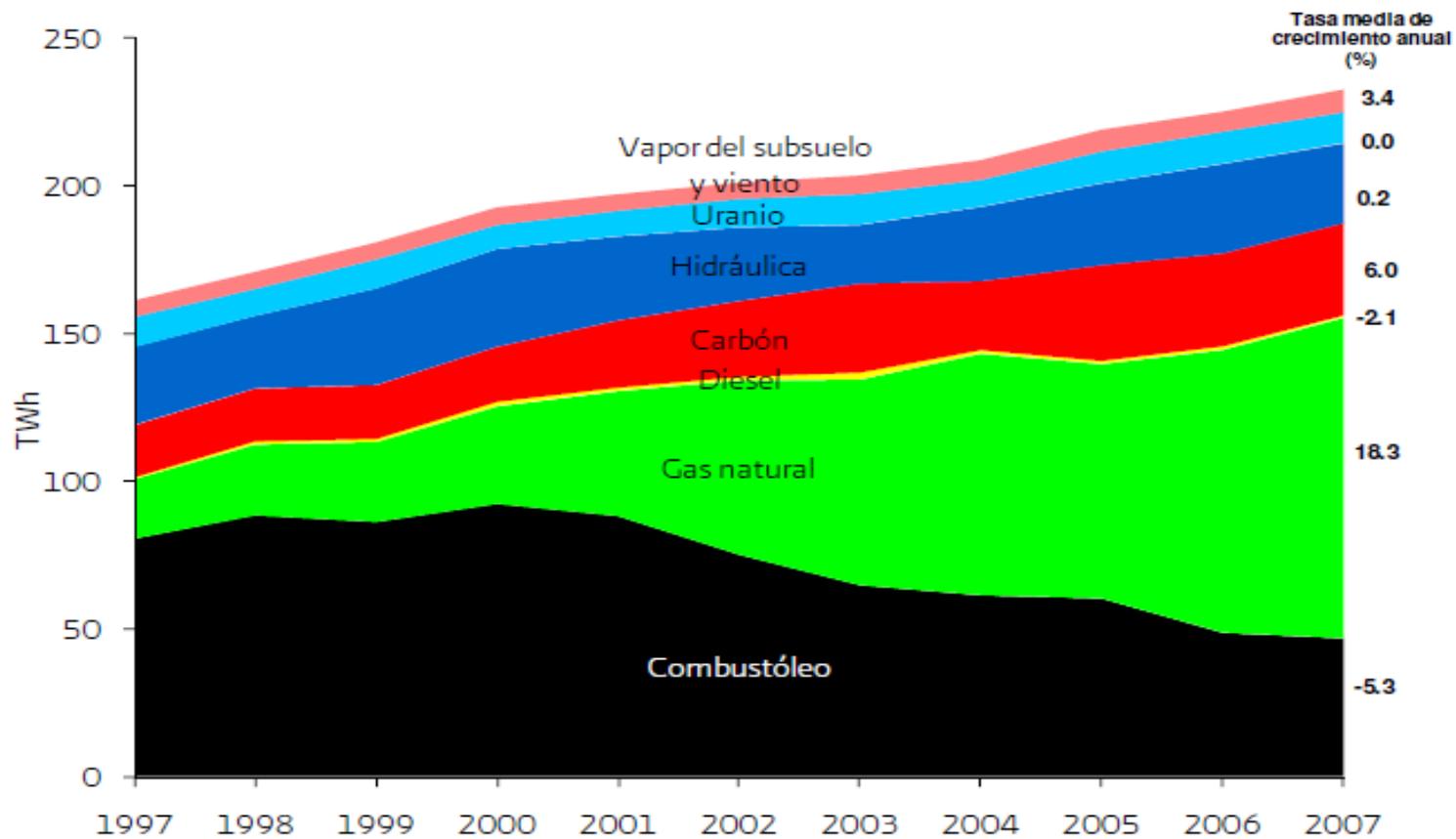
# [ Gas Natural ]

---

- Principales usos:
  - Doméstico
    - Para cocinar
    - Calefacción
  - Industrial
    - Calor para fundición (vidrio, metal)
    - Generación de electricidad

# Generación de electricidad

**Generación bruta en el servicio público por tipo de energético utilizado, 1997-2007 (TWh)**



# [ Ciclo Combinado ]

---

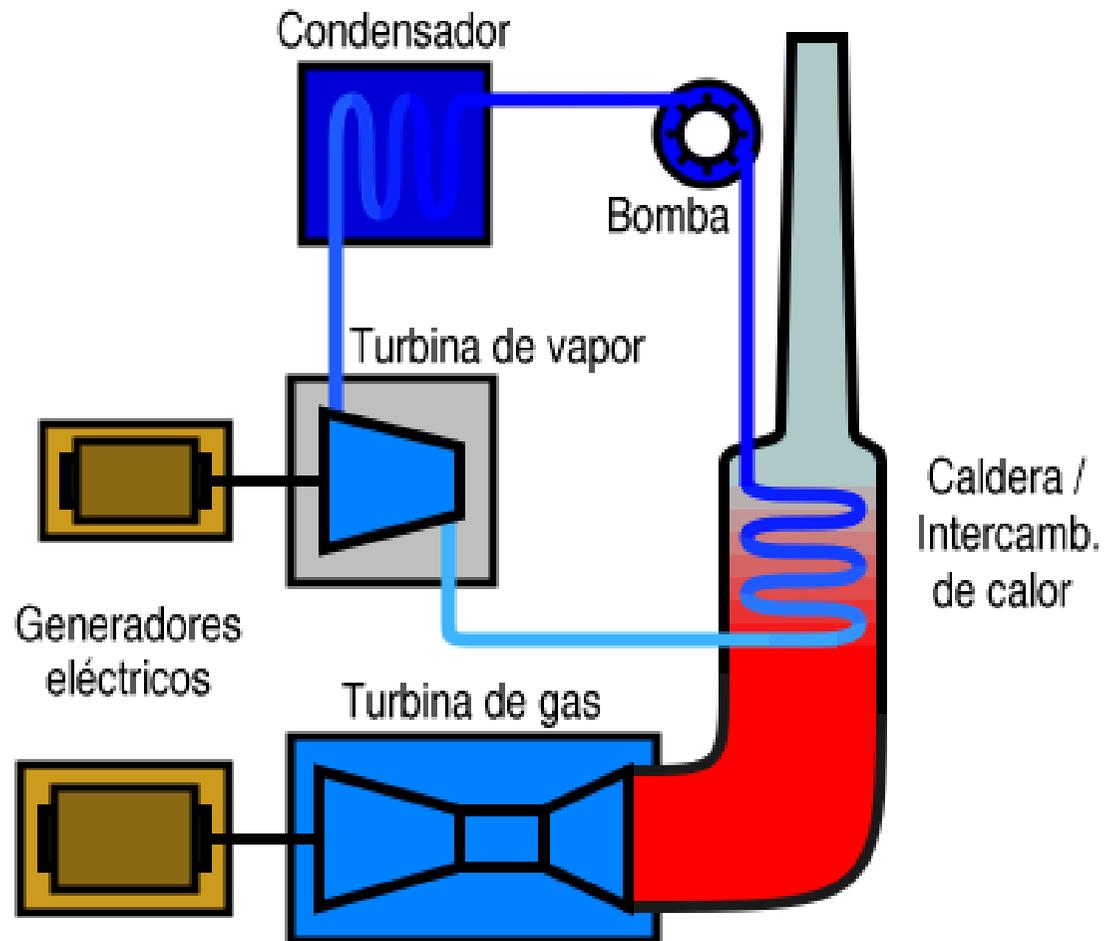
- Es una planta de generación de energía eléctrica que emplea más de un ciclo termodinámico
- En general, se describe como la combinación de una turbina de gas (Ciclo Brayton), un intercambiador de calor (IC) y una turbina de vapor (Ciclo Rankine) para la generación de energía eléctrica, si el vapor del IC se usa en un proceso industrial o para calefacción, recibe el nombre de cogeneración.

# [ Tipos de plantas ]

---

- CCGT (Ciclo combinado de Turbina de Gas)
  - Una turbina de gas genera electricidad, mientras que sus gases de desecho alimentan un intercambiador de calor, en donde se genera vapor que se suministra a una turbina de vapor.

# [ Diagrama simple ]



# [ Configuración ]

---

- Eje sencillo – Una turbina de gas y una de vapor – 1x1
  - Puede generar alrededor de 270 MW
- Multieje – Dos o más turbinas de gas y una turbina de vapor – 2x1 o 3x1
  - Una configuración 2x1 puede generar 540 MW

# [ Eficiencia ]

- El cálculo de la eficiencia de un CC se realiza de la siguiente forma:

$$\eta_{CC} = \eta_{TG} + (IC \times \eta_{IC} \times \eta_{TV})$$

Donde:

$\eta_{TG}$  = Eficiencia de la turbina de gas

$IC = 1 - \eta_{TG}$  (Calor en los gases de escape de la turbina de gas que entra al intercambiador de calor)

$\eta_{IC}$  = Eficiencia del intercambiador de calor

$\eta_{TV}$  = Eficiencia de la turbina de vapor

# [ Eficiencia ]

- Suponiendo una planta con los datos siguientes

$$\eta_{TG} = 33\%$$

$$IC = 1 - \eta_{TG} = 100 - 33 = 67\%$$

$$\eta_{IC} = 85\%$$

$$\eta_{TV} = 37\%$$

$$\eta_{CC} = \eta_{TG} + (IC \times \eta_{IC} \times \eta_{TV})$$

$$\eta_{CC} = 0.33 + (0.67 \times 0.85 \times 0.37)$$

$$\eta_{CC} = 0.54 = 54 \%$$

# [ Características adicionales ]

- Combustión adicional
  - Se quema gas natural directamente en el intercambiador de calor
  - La eficiencia disminuye
  - La capacidad adicional puede variar entre 20 y 50 MW en una configuración 1x1, pero puede ser importante en periodos de máxima demanda

# [ Alternativas ]

---

- **IGCC (Gasificación integrada en CC)**
  - Utiliza Gas Sintético en lugar de Gas Natural
  - Se lleva a cabo la transformación del carbón en gas sintético, también se pueden utilizar, derivados del petróleo o biomasa.
  - Se llama integrada, porque el proceso de gasificación ha sido optimizado para un Ciclo Combinado y se lleva a cabo en la misma planta.

# [ Bibliografía ]

- AIE “Manual de estadísticas energéticas 2007”
- Boyce, Meherwan P. “Handbook for cogeneration and combined cycle power plants”
- Energy Technology Expert “Efficiency of CC power plants”  
<http://energytechnologyexpert.com/energy-efficiency/how-to-calculate-overall-thermal-efficiency-of-combined-cycle-power-plants-a-sample-ccgt-presented/>
- Kidnay, “Fundamentals of Natural Gas Processing”
- Kumar, Sanjay “Gas Production Engineering”
- SENER “Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2008-2017”
- SENER “Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017”
- Shukri, “LNG Technology selection”,  
[http://www.fosterwheeler.com/publications/tech\\_papers/files/TariqLNG.pdf](http://www.fosterwheeler.com/publications/tech_papers/files/TariqLNG.pdf)

[ Gas Natural ]

---

GRACIAS