Apuntes

Temas Avanzados de Recursos Energéticos

Temas 1 a 5

Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

ETSI Minas y Energía

Hugo Torres Orejudo

Noviembre 2026

Elaborado con IA a partir del material de la asignatura. Material no oficial.

Índice general

1 Combustibles y aplicaciones **2**
1.1 Propiedades . . . 2
1.2 Gas natural . . . 2
1.3 Aplicaciones . . . 2

2 Tratamiento del gas natural **3**
2.1 Licuación . . . 3

3 Refino de combustibles **3**

4 Logística de hidrocarburos **4**
4.1 Cadena del GNL . . . 4
4.2 Almacenamiento y evaporación . . . 4
4.3 Transporte y distribución . . . 5

5 Presente y futuro **5**

6 Fórmulas útiles **5**

Resumen

Resumen de la cadena de valor de los hidrocarburos tal y como la recorre la asignatura: combustibles y sus propiedades, tratamiento del gas natural y licuación, refino, logística (gas natural licuado, almacenamiento y transporte) y perspectivas. Es material de apoyo general: no resuelve los trabajos evaluables de la asignatura.

1 Combustibles y aplicaciones

1.1 Propiedades

- **Poder calorífico superior** (PCS, con el agua de combustión condensada) e **inferior** (PCI, con el agua en vapor). En gas natural la diferencia es de un 10 %. En España el gas se factura en kWh de PCS.
- **Densidad relativa** respecto al aire $d = M/28{,}96$.
- **Índice de Wobbe** $W = PCS/\sqrt{d}$: mide la intercambiabilidad de gases en un quemador (a igual presión e inyector, la potencia térmica es proporcional a W). Dos gases con Wobbe parecido son intercambiables.
- Para líquidos: densidad (API en crudos), viscosidad, punto de inflamación, contenido de azufre, número de octano o cetano.

1.2 Gas natural

Mayoritariamente metano, con etano, propano, butanos y más pesados (condensados), y no hidrocarburos: CO_2, N_2, H_2S, agua, mercurio. Se clasifica en seco o húmedo, dulce o ácido. Además del gas convencional existen el gas de esquisto, el metano de carbón y el gas de arenas compactas, con pozos mucho menos productivos y de vida corta.

1.3 Aplicaciones

Generación eléctrica (ciclos combinados y cogeneración), calor industrial, usos residenciales, materia prima petroquímica (amoniaco, metanol, hidrógeno) y transporte (GNL y GNC para camiones y barcos).

2 Tratamiento del gas natural

Antes de transportarlo por gasoducto o licuarlo hay que acondicionar el gas:

1. **Separación** de líquidos y *slugs* en la llegada (*slug catcher*).
2. **Eliminación de gases ácidos** (CO_2 y H_2S) por absorción con aminas; el CO_2 se puede reinyectar en formaciones geológicas.
3. **Deshidratación** con glicol o tamices moleculares, para evitar hidratos y congelación.
4. **Eliminación de mercurio**, que ataca el aluminio de los intercambiadores criogénicos.
5. **Extracción de líquidos del gas natural** (etano, GLP, condensado), con valor propio.
6. **Rechazo de nitrógeno** cuando el gas tiene mucho N_2.

2.1 Licuación

El GNL ocupa unas 600 veces menos que el gas en condiciones normales, a unos $-162\,^{\circ}\mathrm{C}$ y presión atmosférica. Para enfriarlo se usan ciclos de refrigeración en serie:

- **Cascada**: varios ciclos con refrigerantes puros (propano, etileno o etano, metano), cada uno enfriando hasta su nivel de temperatura. Simple de operar y flexible.
- **Refrigerante mixto** (C3-MR y variantes): una mezcla que se evapora en un rango de temperaturas y sigue mejor la curva de enfriamiento del gas, con menos irreversibilidad.

Para modelar un ciclo: fijar la temperatura necesaria al final del tren, calcular el caudal de gas, y para cada ciclo elegir la presión del compresor, la de la válvula (que fija la temperatura de evaporación unos grados por debajo de la corriente que se quiere enfriar, siempre por encima de la atmosférica por seguridad) y el caudal de refrigerante con el balance del intercambiador. El consumo específico de una planta grande ronda los 0,25–0,35 kWh por kg de GNL.

3 Refino de combustibles

Una refinería separa y transforma el crudo en productos:

- **Separación**: destilación atmosférica (gases, naftas, queroseno, gasóleo, residuo) y a vacío del residuo.
- **Conversión**: craqueo catalítico (FCC), hidrocraqueo, coquización y reducción de viscosidad para convertir fracciones pesadas en ligeras.
- **Mejora**: reformado catalítico (octano e hidrógeno), isomerización, alquilación.
- **Tratamiento**: hidrodesulfuración para cumplir las especificaciones de azufre.

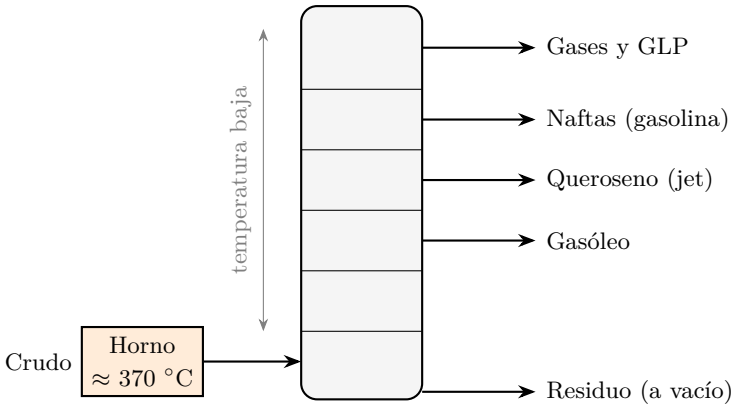


Figura 1. Destilación atmosférica. El crudo calentado entra por la parte baja. Las fracciones más ligeras suben y se extraen más arriba, y el residuo pesado sale por el fondo.

La complejidad de la refinería (índice de Nelson) indica cuánto residuo puede convertir en productos de valor. Los simuladores de procesos (Aspen Plus, HYSYS) se usan para balances de materia y energía de estas unidades.

4 Logística de hidrocarburos

4.1 Cadena del GNL

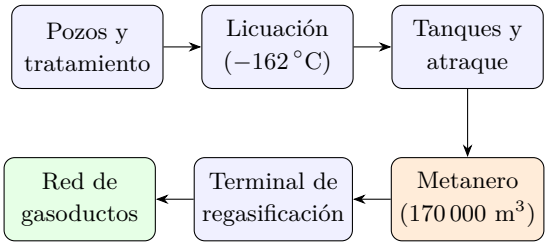


Figura 2. Cadena del GNL. El gas se enfría hasta −162 °C para reducir su volumen unas 600 veces y poder transportarlo en barco.

Pozos y tratamiento → planta de licuación (trenes) → tanques de almacenamiento y atraque → metaneros (normalmente de unos 170 000–180 000 m^3) → terminal de regasificación → red de gasoductos. Parte del gas se desvía al mercado doméstico y parte se consume como combustible en la propia planta.

4.2 Almacenamiento y evaporación

Aunque los tanques están muy aislados, entra calor y se evapora una pequeña fracción del GNL cada día (*boil-off*, del orden del 0,05–0,15 % diario). Ese gas se recomprime y se aprovecha como combustible o se relicúa.

4.3 Transporte y distribución

Gasoductos a alta presión con estaciones de compresión, buques metaneros, cisternas de GNL para plantas satélite y estaciones de servicio, y almacenamientos subterráneos estratégicos. En España, el gestor técnico del sistema gasista es Enagás; las reservas estratégicas de productos petrolíferos las gestiona CORES.

5 Presente y futuro

El gas natural se ve como combustible de transición; el GNL da flexibilidad de suministro (diversificación de orígenes) pero con precios ligados a los mercados globales. Retos y tendencias: emisiones de metano en la cadena, captura de CO_2, hidrógeno y su mezcla en redes, biometano, biocombustibles avanzados y combustibles sintéticos. Fuentes recomendadas: Statistical Review of World Energy, World Energy Outlook de la AIE, informes de la IGU y del GIIGNL, Enagás, CORES y Sedigás.

6 Fórmulas útiles

Fórmulas clave

$$PCS_{mezcla} = \sum x_i\, PCS_i \qquad d = \frac{M}{28{,}96} \qquad W = \frac{PCS}{\sqrt{d}} \qquad 1\,\text{kWh} = 3{,}6\,\text{MJ}$$

$$\rho_{gas,n} = \frac{M}{22{,}414}\ \text{kg/m}^3\text{(n)} \qquad \text{Relación de volumen GNL/gas} = \rho_{GNL}/\rho_{gas,n} \approx 600$$

Boil-off: $\dot{m} = BOR{\cdot}V{\cdot}\rho_{GNL}$ por día Potencia de licuación = consumo específico$\cdot\dot{m}_{GNL}$