

Combustibles Sólidos

- Naturales

Carbones

- Antracitas (86-92% CF)
- Hulla bituminosa
- Hulla sub-bituminosa
- Lignitos
- Turbas
- Grafitos

Orden descendente
de Carbono Fijo



- Alquitranes
- Maderas
- Vegetales secos

- Fabricados

- Aglomerados de hulla o lignitos (Briquetas).
- Coque (destilación seca de la hulla: coque de gas o de alto horno)
- Carbón vegetal
- Breas de hulla o de petróleo.
- Residuos sólidos urbanos e industriales

Combustibles Sólidos

<i>Naturales</i>	Carbones	Antracitas (PCS 31 500 kJ/kg) Hulla bituminosa (PCS 27 000 - 34 000 kJ/kg) Hulla sub-bituminosa (PCS 19 000 - 32 000 kJ/kg) Lignitos (PCS < 20 000 kJ/kg) Turbas Grafitos
		Alquitrans o betunes (PCS 38 000 - 42 000 kJ/kg) Maderas (PCS 8000 - 17 000 kJ/kg) Vegetales secos
<i>Fabricados</i>		Aglomerados de hulla y lignitos (briquetas) (PCS 20000 - 38000kJ/kg) Coque Carbón vegetal Breas de hulla o de petróleo Residuos sólidos industriales y urbanos (PCS 800 - 4000 kJ/kg)

Combustibles Líquidos

- **Naturales**
Petróleo y aceites minerales (ligeros o pesados según densidad)
- **Fabricados**
Naftas, gasolinas, gasoil, fuel-oil, queroseno.
Residuos líquidos industriales (lejías negras, aceites usados y mezclados)
Biocombustibles

Combustibles Gases

- **Naturales**
Gas Natural (metano, etano, propano, aire, otros gases)
- **Fabricados**
Gas de alto horno (CO)
Gas de Gasógeno
Gas de Coque
Gas de refinería (GLP) (comercializan etano, propano, butano y aire propanado).
Residuos industriales y urbanos: metano

Clasificación general de los combustibles

Sólidos carbonos	Antracita	80% de C mínimo
	Semiantracita	75% de C mínimo
	Carbones bituminosos	65 - 40% de C
	Carbones sub-bituminoso	35 - 40% de C
	Lignito	30% de C
Líquidos derivados del petróleo	Gasolina	Hidrocarburos entre C_4 y C_{10}
	Turbo-combustibles	Hidrocarburos entre C_{10} y C_{14}
	Gasóleo	Hidrocarburos entre C_{14} y C_{20} Variedades A, B y C
	Fuel oil	Clases nº 1 y nº 2
Gaseosos	1ª familia (23.860 < W < 31.395 kJ/m ³ N)	Gases manufacturados: Gas ciudad
	2ª familia (41.274 < W < 57.976 kJ/m ³ N)	Gas Natural y cualquier mezcla de gases (principalmente aire propanado o butanado)
	3ª familia (77.441 < W < 93.385 kJ/m ³ N)	Comprende los gases licuados del petróleo, los GLPs: propano, propano metalúrgico y butano.

Combustibles Fósiles

Propiedades y características

- **Poder calorífico**: cantidad de energía liberada en forma de calor que puede desarrollarse por la combustión de la unidad de combustible
- Contenido en **humedad** (agua)
- Composición y contenido en **impurezas** (cenizas)
- Densidad, viscosidad y coeficiente de dilatación (almacenaje y transporte) → Líquidos
- Entalpía de vaporización → Líquidos
- Presión de vapor → Gaseosos
- Límites de ignición, autoinflamación y extinción → Gaseosos
- Toxicidad y compatibilidad con otros materiales
- Contenido en Azufre

Combustibles Fósiles

Propiedades y características

- **Carbón:** granulometría y contenido en humedad y cenizas
- **Fuel-Oil:** precalentamiento inicial para que fluya
- UN ALTO CONTENIDO EN AZUFRE, IMPOSIBILIDAD SU USO POR CONTAMINACIÓN
- **GLP:** depósitos a presión y ventilación de seguridad
- **Gas Natural:** Problemas en el almacenaje (depósitos criogénicos) y requiere un alto coste de infraestructura para canalizaciones

El Carbón

- junto a la madera (biomasa) y los residuos sólidos conforman los **Combustibles Sólidos**
- Papel primordial en el pasado. Hoy está desplazado por combustibles líquidos y gaseosos
- Cobra importancia gracias a las nuevas tecnología de **hidrogenación** y **gasificación**, permitiendo obtener combustibles líquidos y gaseosos a partir de la forma sólida
- Usado para la combustión en grandes centrales de producción eléctrica

El Carbón

Análisis elemental

Análisis químico del combustible. Se obtiene el contenido en peso de cada distinto elemento químico que entra en la composición del combustible.

Contenido en elementos no combustibles

- Humedad
 - o humedad libre, superficial, añadida o primera fracción de humedad
Desaparece mediante secado al aire a la temperatura ambiente ($\leq 45^{\circ}\text{C}$)
 - o humedad intersticial, higroscópica, humedad en los poros o segunda fracción de humedad
No se evapora al secar al aire ambiente - Necesaria una temperatura entre $105-110^{\circ}\text{C}$
- Cenizas (contiene elementos no-combustibles, distintos del agua)

Contenido en elementos químicos

- Carbono total (ISO 625-1975)
- Hidrógeno (ISO 625-1975)
- Azufre (UNE 32-008 y 32-009)
- Nitrógeno (UNE 32-013)
- Oxígeno (se obtiene por diferencia)

Resultados del Análisis

• Tipos de análisis referido a (en fracciones másicas):

- Como se recibe (y) $c + h + s + n + o + a + w = 1$ (w = humedad libre)
- Como se quema (y) $c' + h' + s' + n' + o' + a' = 1$
- Base seca (y') $c'' + h'' + s'' + n'' + o'' = 1$
- Base sin cenizas (y^a) $c''' + h''' + s''' + n''' + o''' = 1$
- Material combustible (y'') $c'' + h'' + s'' + n'' + o'' = 1$

• Fórmula de Parr (agrupa el material que no arderá):

$$\text{Materia mineral} = w + 1,08 \cdot a + 0,55 \cdot s$$

• Relaciones entre las fracciones másicas en distintas bases (haciendo $y=c, h, s, n, o, a, \text{ ó } w$)

$$y' = \frac{y}{1-w}$$

$$y^a = \frac{y}{1-a}$$

$$y'' = \frac{y}{1-w-a}$$

ANÁLISIS INMEDIATO

Análisis inmediato

Es un análisis simplificado, que consiste en separar la humedad total, w_t , el contenido en combustibles Volátiles, V , el Carbono Fijo, CF , y las cenizas, a .

$$w_t + V + CF + a = 1$$

Relación *aproximada* entre el % de volátiles y el análisis elemental:

$$V = 1061 \cdot h_L - 124 \cdot c + 84,15$$

Contenido *aproximado* de Hidrógeno y Carbono a partir de los volátiles (en %) y del PCS (kJ/kg):

$$c = (PCS/71000) - (V/462) + 0,434$$

$$h = (PCS/607000) + (V/1450) - 0,0286$$

Normas relativas de procedimientos

- Norma UNE 32-102. Partes 1 y 2.
Lignitos duros, hullas y antracitas. Toma y preparación de muestras.
- Norma UNE 32-001.
Hulla y antracita. Determinación de la humedad total.
- Norma UNE 32-019.
Combustibles minerales sólidos. Determinación del contenido en materiales volátiles.
- Norma UNE 32-004.
Determinación de las cenizas.

Procedimiento

- 1) **Humedad total (libre [al aire <45°C] +higroscópica [105°-110°C, 100'-150'], m_1)**

$$w_t = \text{Humedad Total} = \frac{m - m_1}{m}$$

- 2) **Volátiles (C, H₂ y otros gases) [calentar sin O₂ 7' a 925°C, resto = m_2]**

$$V = \text{Indice volátiles} = \frac{m_1 - m_2}{m}$$

- 3) **Cenizas [resto m_3 , al incinerar a 825°C el residuo m_2] ≠ contenido en ceniza aparente**

- 4) **Carbono fijo [$m_2 - m_3$] $CF = \text{Carbono fijo} = \frac{m_2 - m_3}{m}$**

Dependencia del contenido en materia volátil

- La velocidad de combustión
- La longitud de la llama
- El tamaño de partícula adecuado para la combustión
- Sólo con un aumento del 20% en volátiles, el Poder Calorífico aumenta adecuadamente. Contenidos más elevados, el Poder calorífico decrece.

PODER CALORÍFICO

- Energía liberada de la reacción de combustión (oxidación) de una unidad de combustible en forma de energía térmica, elevando fuertemente la temperatura
- Poder Calorífico Superior **P_{CS}** e Inferior **P_{CI}**
- **Métodos de determinación del poder calorífico**
 - Analíticos → composición elemental + calores de reacción de reactivos
 - Empíricos o experimentales (**Calorímetros**)
- **Fórmulas empíricas**
 - Dulong
 - Fórmula derivada de Dulong
 - Mendeleyev
 - Fórmula de Vondracek (I)
 - Fórmula de Vondracek (II)
 - Fórmula de Goutal
 - Fórmula de Schuster

PODER CALORÍFICO

Basadas en el análisis elemental

Fórmula de Dulong (para bajo contenido en V)

$$PCS = 33900 \cdot c + 143000 \cdot \left(h - \frac{o}{8}\right) + 10500 \cdot s \quad [kJ / kg]$$

$$Pci = Pcs - 2500 \cdot w_{HH} = Pcs - 2500 (9h + w) \quad \text{kJ/kg comb. tcsq}$$

$$w_{HH} = (9h + w): \text{humedad total en humos}$$

Fórmula derivada de Dulong

$$PCI = 33100 \cdot c + 120600 \cdot \left(h - \frac{o}{8}\right) + 9600 \cdot s - 2500 \cdot w_{HH} \quad [kJ / kg]$$

Fórmula de Vondracek (I) (carbones con V medio y alto)

$$PCS'' = [32900 + 3700 \cdot (1 - c'')^{1/4}] \cdot c'' + 90000 \cdot (h'' - 0,1 \cdot o'') + 10500 \cdot s'' \quad [kJ / kg]$$

Fórmula de Vondracek (II) (carbones con 0,45 ≤ c'' ≤ 0,90)

$$PCS'' = [37300 - 2600 \cdot c''] \cdot c'' + 113000 \cdot (h'' - 0,1 \cdot o'') + 10500 \cdot s'' \quad [kJ / kg]$$

PODER CALORÍFICO

Basadas en el análisis inmediato

Fórmula de Goutal
(valores aprox)

$$PCS = 4,1868 \cdot (82 \cdot CF + \alpha \cdot V) \quad [kJ / kg]$$

α = poder calorífico superior de los volátiles en kcal/kg, dividido por 100

Valores de α en la fórmula de GOUTAL, donde $V'' = 100 \cdot V / (V + CF)$

V''	5	10	15	20	25	30	35	40	55
α	150	130	117	109	103	96	89	80	70

Fórmula de Schuster

$$PCS'' = 33500 + V'' \cdot (293 - 6,91 \cdot V'') \quad [kJ / kg]$$

$$PCS = PCS'' \cdot (1 - w - a) \quad [kJ / kg]$$

Mayor precisión, se usa el **factor de Schaff, f**

$$Pcs = Pcs'' \cdot (1 - w - f \cdot a) \quad \text{kJ/kg comb tcsq}$$

Estudio de las cenizas

Residuo resultante de la combustión completa de un combustible

cenizas inherentes (materia sólido no combustible, contenida en el combustible)

cenizas adventicias (proceden de materiales minerales estériles mezclado con el combustible y añadidas en el proceso de extracción)

Constituidas por minerales complejos [dominan generalmente los silicatos hidratados (arcillas y esquistos) y los carbonatos (de calcio, hierro, etc.), con menores cantidades de sulfuros (piritas) y de sulfatos, así como de sales alcalinas]

Pueden diferenciarse en:

- materia mineral de constitución → parte de los tejidos vegetales
- materia mineral de depósito → sedimentos y esqueletos depositados en formación
- materia mineral de extracción

El % materia mineral en el análisis de un carbón < al real (del 10 al 12%).

Causa ⇒ en la combustión, las materias minerales pierden sus constituyentes volátiles o combustibles, (agua de hidratación de las arcillas y esquistos, dióxido de carbono de los carbonatos, azufre de los sulfuros minerales).

Estudio de las cenizas: Propiedades

Fusibilidad o temperatura de fusión de las cenizas (importante en lechos fluidos)

Poder aglutinante ⇒ para juzgar la capacidad del carbón para mantenerse sobre la parrilla el tiempo suficiente para su apropiada combustión

Problemas a consecuencia de la presencia de cenizas

- Reduce el Poder Calorífico efectivo del combustible, y por tanto, se reduce el rendimiento térmico.
- Dificultan el contacto entre el combustible y el comburente.
- Pueden atacar las paredes refractarias de los hogares.
En hogares de parrilla:
 - Reducen el tiro.
 - Causan una combustión irregular.
 - Pueden estropear la parrilla.
- Aumenta la proporción de inquemados
- Aumenta el desgaste de haces tubulares, molinos, ventiladores, ...
- Aumenta los gastos de eliminación de polvo y escoria
- Disminuye la capacidad de las parrillas

Otras propiedades características

-Temperatura de inflamación

Representa la menor temperatura a la que se inflaman los vapores emitidos por el carbón al ponerlo en contacto con una llama que si es retirada no hace posible mantener la combustión

-Temperatura de ignición

Representa la temperatura, superior a la de inflamación, a la que la llama originada por la llama originada por la combustión de los vapores inflamables es duradera y persistente

Propiedades físicas:

- Dureza
- Abrasividad
- Resistencia a la compresión
- Cohesión, friabilidad y fragilidad
- Triturabilidad, molturabilidad o grindabilidad
- Finura de molienda

Norma ASTM D 388-92a

Clasificación ASTM D 388-92 de los carbones según su rango ^A

Clase	Grupo	CF ¹		V ¹		Pcs ²				Carácter aglomerante	
		Límites del carbono fijo (base seca sin cenizas)		Límites de materia volátil (base seca sin cenizas)		Límites del poder calorífico superior (con humedad ¹ sin cenizas)					
		%		%		Btu/lb		kJ/kg ¹			
		Igual o mayor que	Menor que	Igual o mayor que	Menor que	Igual o mayor que	Menor que	Igual o mayor que	Menor que		
Antracita	Meta-antracita	98	2						No aglomerante
	Antracita	92	98	2	8						
Bituminosa	Semiantracita ³	86	92	8	14						Comúnmente aglomerante ¹
	Carbón bituminoso, bajo en volátiles	78	86	14	22						
	Carbón bituminoso, medio en volátiles	69	78	22	31						
	Carbón bituminoso, alto en volátiles A	...	69	31	...	14.000 ¹		32.564			
	Carbón bituminoso, alto en volátiles B	...	...	...	...	13.000 ¹	14.000	30.238	32.564	
	Carbón bituminoso, alto en volátiles C	...	...	...	...	11.500	13.000	26.749	30.238	
Sub-bituminosa	Subbituminosa A	10.500	11.500	24.423	26.749		Comúnmente aglomerante ¹ Aglomerante
	Subbituminosa B	...	...	...	...	9.500	10.500	22.097	24.423	
	Subbituminosa C	...	...	...	...	8.300	9.500	19.306	22.097	
Lignítica	Lignito A	6.300	8.300	14.654	19.306		No aglomerante
	Lignito B	...	...	...	...	...	...	6.300	14.654	

(¹) Para convertir BTU/lb a kJ/kg multiplicar por 2,326.

Norma UNE 9-205-87

Esta norma unifica *critérios* sobre términos y/o conceptos aplicables a los cálculos relativos de la combustión

Esta norma presupone la *combustión completa del combustible* con un volumen de oxígeno en el aire de combustión superior al estequiométrico.

El *Poder Calorífico de un combustible* queda definido por el número de unidades de calor liberadas por la unidad de masa o de volumen del combustible, quemada en un calorímetro en condiciones previamente establecidas. Valores utilizados:

Poder calorífico Superior	Pcs'
Poder calorífico Inferior	Pci'
Poder calorífico según se quema	Pcq
Poder calorífico útil	Pcu

Norma UNE 9-205-87

Poder calorífico Superior Pcs'

Cantidad total de calor de un combustible, incluyendo el calor latente del agua formada por la combustión del hidrógeno contenido en dicho combustible seco.

Poder calorífico Inferior Pci'

Cantidad de calor que resulta al restar del poder calorífico superior, el calor latente del agua formada por la combustión del hidrógeno contenido en dicho combustible seco.

Poder calorífico según se quema Pcq

Cantidad de calor correspondiente al combustible seco contenido en 1 kg de combustible tcsq expresado en kcal en las condiciones en que se introduce en el hogar de combustión.

Poder calorífico útil Pcu

Cantidad de calor que resulta al restar del Pcq el calor necesario para evaporar, en la combustión, la humedad del combustible según se quema.

Intercambiabilidad de carbones

Diseño de instalación \Rightarrow se parte de un **combustible de diseño**



Determina el diseño de:

- la caldera
- Equipos auxiliares como molinos, ventiladores y sistemas de limpieza de gases

Instalaciones \Rightarrow **vida útil elevada** (25 años o más) \Rightarrow Posible necesidad de utilizar carbones distintos al de diseño

Carbón \Rightarrow **no es un compuesto químico bien definido**

Para evaluar a priori un posible cambio \Rightarrow estudiar una serie de propiedades

Las propiedades de los carbones pueden variar en un amplio rango,

- Pcs de 8.000 a 30.000 kJ/kg
- Contenidos de humedad, cenizas y volátiles pueden variar del 5 al 40%
- Azufre, del 0,1 al 7%

Si combustible parece razonablemente similar, se realizan pruebas en la instalación para ver si se detectan problemas de operación

Intercambiabilidad de carbones

Propiedades principales que se comprueban

- **Rango del carbón:** se pueden considerar intercambiables carbones del mismo rango o similar, o bien una mezcla de carbones cuyo análisis corresponda con un rango similar
- **PC similar** \Rightarrow la cantidad de combustible necesaria \Rightarrow dimensionamiento del sistema de transporte y tratamiento del combustible y distribución espacial de temperaturas en el hogar
- **Similar % volátiles** \Rightarrow facilidad de ignición del carbón y con las características de la llama
- **% cenizas** \Rightarrow que sea posible la evacuación de la misma por el sistema existente
- **Humedad** \Rightarrow influencia en el funcionamiento del sistema de molineta y en la capacidad de secado del combustible
- **Triturabilidad del carbón** \Rightarrow facilidad para ser molido
- **Temperatura fusión de cenizas** \Rightarrow cenizas y escorias al fundirse producen ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor
- **Propiedades eléctricas de la ceniza** \Rightarrow Si ceniza es de alta resistividad, problemas si el sistema de limpieza de gases es un precipitador electrostático
- **% S** \Rightarrow debe estar en un rango tal que la emisión de SO_2 cumpla con la normativa vigente, con los equipos de limpieza de gases disponibles. Si aumenta el contenido de azufre también puede reducirse la temperatura de rocío ácido, y, si en el circuito de recuperación de calor se alcanzan temperaturas lo suficientemente bajas, puede condensar ácido sulfúrico \Rightarrow problemas de corrosión

ALMACENAMIENTO, PREPARACIÓN Y TRANSPORTE DEL CARBÓN

Etapas necesarias a efectuar en la planta :

- **Recepción** del combustible
 - **Almacenamiento** el combustible
 - **Acondicionamiento técnico** (de granulometría, temperatura) requerido por el quemador con objeto de conseguir una combustión lo más optimizada posible
- ⇒ **Almacenar con reservas suficientes** para funcionamiento normal de la instalación

Si la instalación trabaja en forma continua **prever:**

- ⇒ el consumo nocturno y el del fin de semana
- ⇒ variaciones que se producen en el consumo en el periodo de funcionamiento

Transporte ⇒ parte importante del coste total del combustible

Las grandes instalaciones consumidoras de carbón se ubican próximas a las minas, con medios de comunicación adecuados

ALMACENAMIENTO, PREPARACIÓN Y TRANSPORTE DEL CARBÓN

Descarga ⇒ operación sencilla cuando el carbón está seco

- ⇒ **Si humedad superficial es alta** ⇒ utilizar atizadores por la parte superior de la carga
- ⇒ **Si humedad alta y temperatura muy baja** ⇒ el carbón se puede congelar, convirtiéndose en una masa compacta

Pueden emplearse:

- Sistemas de calentamiento, que utilizan vapor, aceite caliente, etc.
- Sistemas mecánicos, como:
 - Barra de cizalla, que se eleva mecánicamente y se deja caer libremente sobre la masa de carbón para quebrarla
 - Se transmite una acción vibratoria al vehículo de transporte con el mismo objeto

- ⇒ **Si humedad alta y temperatura es alta**, un viento fuerte puede arrastrar los finos de carbón, para evitarlo se emplean pulverizadores de aceite a fin de fijarlos al resto del carbón. Los aceites empleados no influyen en la combustión

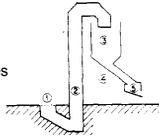
Grado de mecanización de la instalación ⇒ Tamaño de la planta + Razones económicas

ALMACENAMIENTO, PREPARACIÓN Y TRANSPORTE DEL CARBÓN

Plantas pequeñas \Rightarrow cintas transportadoras ó tornillos sin fin

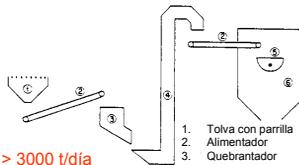
Plantas consumo > 10 t/día \Rightarrow es necesaria la mecanización total, constituida por :

Si existe un molino de combustible \Rightarrow es necesario un separador magnético



1. Tolva de entrada, con parrilla.
2. Elevador.
3. Silo.
4. Alimentador.
5. Tolva alimentación hogar

En plantas más grandes



1. Tolva con parrilla
2. Alimentador
3. Quebrantador
4. Elevador
5. Transportador de tornillo
6. Silo de compartimento

En plantas muy grandes con consumos > 3000 t/día
 \Rightarrow la misma instalación + una báscula

ALMACENAMIENTO, PREPARACIÓN Y TRANSPORTE DEL CARBÓN

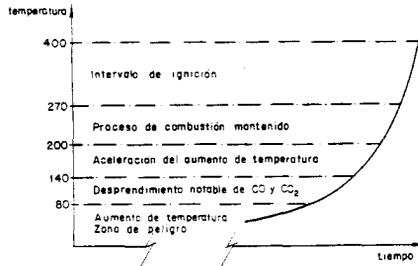
En grandes instalaciones consumidoras, el carbón no pasa directamente a los silos de almacenamiento, sino que se *almacena en el exterior*, sometido a la acción de los agentes atmosféricos.

Cambios que pueden afectar al carbón almacenado:

- Pérdida en el valor térmico con reducción del valor de coquización
- Reducción del tamaño medio de las partículas
- Aumento de la temperatura de ignición
- Pérdidas por combustión espontánea
- Pérdidas por erosión del viento y del agua

OXIDACIÓN DEL CARBÓN

Oxidación SUPERFICIAL, al estar expuesto al aire, por absorción de oxígeno, acompañada de un **desprendimiento de calor** y **aumento de temperatura**, debida a una **reacción exotérmica en cadena**, aunque hay evidencias de que la acción de las bacterias produce también la elevación de temperatura



OXIDACIÓN DEL CARBÓN

Existe una **temperatura crítica**, (entre 50 y 80°C), a partir de la cual la temperatura sigue creciendo de una manera rápida e irreversible, hasta producir la **combustión espontánea**

Depende de:

- 1) tipo de carbón
- 2) tamaño de éste y del área superficial
- 3) la temperatura ambiente
- 4) los constituyentes del carbón (piritas, cenizas, humedad)
- 5) la duración del almacenamiento

GASIFICACION DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS

Proceso termo-químico por el que se transforma el Carbón en gas combustible mediante la oxidación parcial con aire, oxígeno y/o vapor de agua

Proceso con defecto de oxígeno \Rightarrow Gas combustible (CO y H₂) conservando la mayor parte de su poder calorífico inicial

Desde principios del s. XIX usado para producir gas ciudad y empleado para calefacción e iluminación. Recientemente, ha suscitado interés su aplicación en la generación de electricidad en ciclos combinados



Posibilita el uso del carbón como combustible en centrales de ciclo combinado de forma limpia y eficiente

ETAPAS DE LA GASIFICACIÓN

PIRÓLISIS

Secado y posterior calentamiento, en atmósfera reductora, para desprender volátiles, hasta el punto de producir la descomposición térmica del carbón

Carbón + CALOR $\left\{ \begin{array}{l} \text{CHAR (residuo carbonoso)} \\ \text{Líquidos (alquitranes y aceites)} \\ \text{Gases (CO, H}_2\text{, CO}_2\text{, CH}_4\text{, SH}_2\text{, NH}_3\text{, N}_2\text{, C}_n\text{H}_m\text{)} \end{array} \right.$

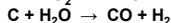
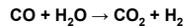
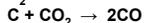
COMBUSTIÓN

Los gases originados se queman, consumiendo la mayor parte del O₂ de alimentación produciendo una reacción EXOTÉRMICA y produciendo el calor necesario para las reacciones de gasificación

Además, el CHAR reacciona parcialmente con el O₂ produciendo nuevos gases

GASIFICACIÓN

SIN OXIGENO, se producen reacciones entre los gases de combustión, generando CO y H₂



Composición final determinado por la reacción de equilibrio agua-gas, dependiendo de las condiciones P-T, que dependen de los equilibrios establecidos según el combustible y agentes gasificantes iniciales

ETAPAS DE LA GASIFICACIÓN

A elevadas temperaturas, las concentraciones de H₂O y CO₂ disminuyen, aumentando las de CO y H₂

A elevadas presiones, disminuyen las concentraciones de CO y H₂, aumentando la de H₂O, e invariable CO₂

A baja temperatura se producen cantidades apreciables de CH₄ y combustibles líquidos (alquitranes, aceites y fenoles)

Contaminantes producidos

Debido a las condiciones reductoras en que se produce la gasificación, el Azufre se convierte en H₂S y COS y no en SO₂

El Nitrógeno se convierte en NH₃ y HCN

La **ventaja** del proceso de gasificación está en que estos agentes contaminantes pueden eliminarse con facilidad a través de procesos de lavado con agua o mediante la absorción con disolventes

BALANCE ENERGÉTICO DE LA GASIFICACIÓN

En las diferentes etapas del proceso de gasificación se producen gran número de reacciones químicas y desprendiendo del calor necesario aprovechable

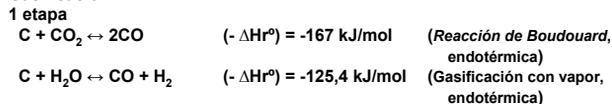
Pirólisis



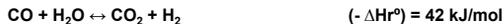
Combustión



Gasificación



2 etapa



BALANCE ENERGÉTICO DE LA GASIFICACIÓN

75% del PC del carbón \Rightarrow Poder Calorífico del gas de síntesis

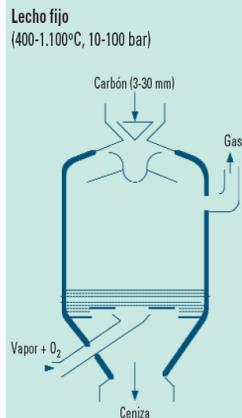
15% del total recuperado al enfriar el gas mediante la producción de vapor \Rightarrow Calor Sensible en el gas de síntesis

10% en Pérdidas de calor en el residuo sólido (escoria y cenizas) y Pérdidas al ambiente

TECNOLOGIAS DE GASIFICACIÓN

LECHO FIJO

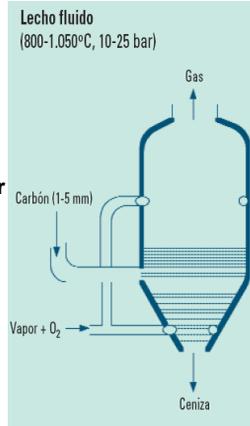
- * Alimentación superior con Carbón seco, descenso lento y reaccionando en contracorriente para producir el gas de síntesis
- * Sucesión progresiva de las etapas de secado, calentamiento, pirólisis, gasificación y combustión
- * Gas a 400-500°C con importantes cantidades de alquitranes y aceites



TECNOLOGIAS DE GASIFICACIÓN

LECHO FLUIDO

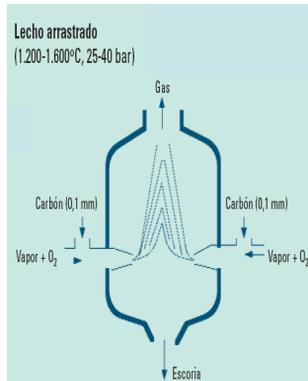
- * Proceso en suspensión con un flujo ascendente de gas
- * Gas a 800-1200°C, punto inferior a la fusión de las cenizas, para descargarlas en forma seca o aglomerada



TECNOLOGIAS DE GASIFICACIÓN

LECHO ARRASTRADO

- * Proceso en paralelo: Carbón y agentes gasificantes en la misma dirección
- * Alimentación con Carbón pulverizado (seco – húmedo) a elevada velocidad
- * Gas a 1200-1600°C, y cenizas fundidas



APLICACIONES

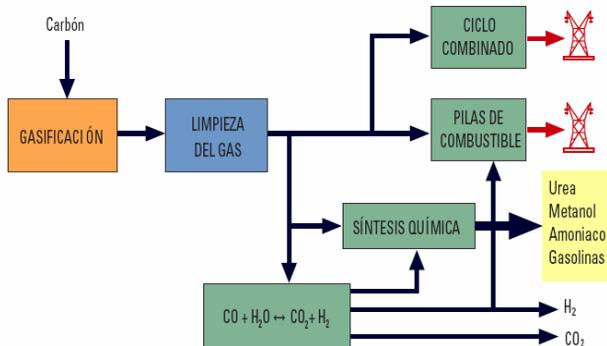
La gasificación permite transformar combustibles sólidos, de bajo valor y potencialmente contaminantes, en un gas de síntesis limpio, que por su facilidad en el transporte, presión, composición y contenido energético presenta múltiples aplicaciones

* **ELECTRICIDAD**, de forma limpia y altamente eficiente, mediante la Gasificación Integrada en Ciclo Combinado (GICC)

* **PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO**, para pilas de combustible para aplicación en automoción y producción de electricidad

* **PRODUCTOS QUÍMICOS DE SÍNTESIS**, obtención de amoníaco, urea, metanol, y es posible la obtención directa de gasolinas mediante el proceso Fischer-Tropsch

APLICACIONES



TECNOLOGÍA GICC

La tecnología GICC permite el uso de combustibles sólidos (carbón, coque de petróleo, biomasa, residuos) o líquidos en una central térmica con una elevada eficiencia y unos beneficios medioambientales considerables.

Integra tres tecnologías:

Planta de Fraccionamiento de Aire (ASU) ⇒ obtención de aire enriquecido con O₂, agente oxidante, mediante la destilación del aire en condiciones criogénicas

Gasificación del combustible que será limpiado adecuadamente de partículas sólidas y contaminantes

Proceso de combustión en una turbina de gas de un ciclo combinado

TECNOLOGÍA GICC: INTEGRACIÓN

La tecnología GICC permite la integración entre las diversas tecnologías que confirman esta tecnología

Integración de los sistemas agua-vapor de la Isla de Gasificación y del Ciclo Combinado.

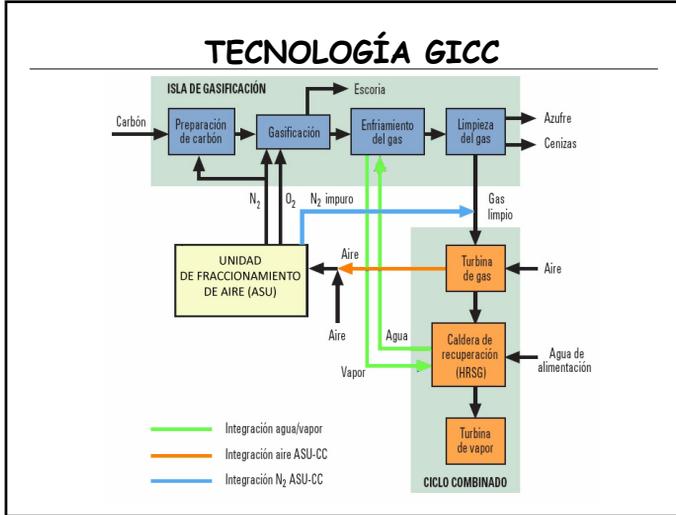
El agua de alimentación de calderas se precalienta en una sección de recuperación del ciclo combinado (HRSG) y se envía a Gasificación, donde se produce vapor saturado por intercambio de calor con el gas crudo. Este vapor saturado se exporta a la HRSG, para su sobrecalentamiento y expansión en la turbina de vapor, generando electricidad adicional

Integración de la parte del Nitrógeno entre ASU y Ciclo Combinado.

El N₂ impuro, subproducto de la ASU, es comprimido y mezclado con el gas de síntesis para reducir las emisiones de NOx y aumentar la potencia en la turbina de gas

Integración lado aire entre ASU y Ciclo Combinado.

Podemos encontrarla de forma parcial o total, el aire comprimido que requiere la ASU es extraído del compresor de la turbina de gas



TECNOLOGÍA GICC: VENTAJAS

Mejor eficiencia que en otras tecnologías

Tecnología		Eficiencia bruta, %PCI	Eficiencia neta, %PCI
GICC (según proceso de gasificación)	ELCOGAS-Lecho arrastrado, seco	47,1%	42,2%
	SHELL (alim. seca)	48,3%	43,1%
	TEXACO (no integrado)	51,6%	41,2%
	E-GAS™	44,5%	39,2%
	MITSUBISHI-aire (año 2006)	48,0%	42,0%
PC , carbón pulverizado (con FGD, ESP y quemadores bajo NO _x)	Subcrítica (165 bar, 540°C)	37,5%	36,0%
	Supercrítica (240 bar, 565°C)	41,1%	39,6%
AFBC , combustión en lecho fluidizado atmosférico		37,5%	36,0%
CCGN , ciclo combinado de gas natural, tecnología F de turbina de gas		57,3%	56,0%

Tabla 3.3 Eficiencias actuales de tecnologías de centrales térmicas.

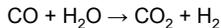
Posibilidades de mejora por la progresiva adaptación de las turbinas de gas a la aplicación

TECNOLOGÍA GICC: VENTAJAS

- **Beneficios Medioambientales**
 - Bajas emisiones de CO₂ y otros contaminantes
 - Menor consumo de recursos
 - Posibilidades de uso de las energías renovables mediante la **cogasificación**
- Los residuos sólidos generados son subproductos comerciales extraídos mediante filtros y/o lavados con agua antes de la combustión del gas
- Presenta un bajo consumo relativo de agua, la mitad que una planta convencional
- Emisión de menores cantidades de CO₂, mercurio y metales pesados que otros procesos basados en el Carbón

TECNOLOGÍA GICC: VENTAJAS

- El Azufre, como H₂S, es recuperado en un 99% y transformado en ácido sulfúrico o Azufre sólido para su venta
- No tienen emisiones de NOx, por su atmósfera reductora. Produce NH₃, eliminado mediante un proceso de lavado
- La captura del CO₂, producido por la reacción



para la producción de H₂, resulta más económica que la extracción en plantas convencionales de carbón pulverizado

TECNOLOGÍA GICC: VENTAJAS

Tecnología		Emisiones g/kWh				Subproductos/ Residuos sólidos, g/kWh (*)
		SO ₂	NO _x	Partículas	CO ₂	
GICC (según proceso de gasificación/ turbina de gas)	ELCOGAS / SIEMENS V94.3	0,07	0,40	0,02	727	
	SHELL / SIEMENS V94.2	0,10	0,05	0,02	712	
	TEXACO / GE 7E	0,13	0,35	0,02	745	Escoria: 21,0 Cenizas: 2,0 Azufre: 4,0
	E-GAS™ / GE 7FA	0,14	0,37	0,02	783	
	MTSUBISHI (2006, objetivos propuestos)	0,02	0,013 (con SCR)	0,01	730	
PC , carbón pulverizado	Subcrítica $\eta_{\text{gás}}=36,0\%$ FGD (90%), LNB (50%), ESP (99,2%)	2,50	2,30	0,30	852	Cenizas: 27,4 Yeso (FGD): 19,6
	Supercrítica $\eta_{\text{gás}}=39,6\%$ FGD (95%), SCR (95%), ESP (99,2%)	2,15	1,10	0,27	774	Cenizas: 25,0 Yeso (FGD): 18,8
AFBC Con filtros ciclónicos (96%) $\eta_{\text{gás}}=36,0\%$		1,40	0,80	0,10	852	Mezcla cenizas-yeso- caliza: 52,9
CCGN , $\eta_{\text{gás}}=56,0\%$ 0,007		0,54	0,02	350	—	

(*) Con combustibles similares en cuanto a contenido en cenizas y azufre.

Tabla 3.4 Emisiones y producción de residuos de diferentes tecnologías.