



TEMA 2: CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS

Caracterización

Los residuos son materiales sobrantes y, por tanto, en el caso de los procesos industriales, puede reflejar una falta de rendimiento o ineficacia del proceso.

La actividad industrial genera una cantidad de residuos con incidencia en el entorno natural: aire, agua, suelo.

En algunos casos presentan un potencial riesgo para la salud y el medio ambiente por lo que se hace necesaria su adecuada caracterización.

Clasificación

Podemos identificar tres grandes grupos:

- **Los residuos inertes o residuos no peligrosos**, no presentan grandes riesgos para el medio ambiente. Estos residuos se pueden depositar, verter o almacenar sin tratamiento previo y solamente se deberán gestionar adecuadamente para no perturbar el espacio físico del entorno del almacenamiento. El material orgánico o el de la construcción (Residuos de la construcción y demolición (RCD)), muy importantes por su volumen, son ejemplos de residuos inertes, i.e. los escombros, chatarras, vidrios, etc..
- **Los residuos industriales asimilables a residuos urbanos**, tienen una composición fundamentalmente orgánica, lo que permite su tratamiento con el uso de tecnologías similares a las empleadas en los procesos de tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Se generan, principalmente, en los sectores de la alimentación, cartón, textiles, maderas, etc.
- **Los residuos especiales o también llamados Peligrosos**, se generan, principalmente, en actividades industriales. Poseen un alto potencial contaminante para el medio ambiente.

Análisis Elemental

El *análisis elemental* permite determinar el contenido por elementos químicos de un combustible, pero solamente aquellos que supondrán un aporte calorífico en las reacciones de combustión.

Así, el análisis elemental incluye el porcentaje en peso de C, H, S, N, cenizas, humedad (pérdida de peso a 105 °C, para combustibles sólidos) y agua combinada (equivalencia de oxígeno).

En algunos casos, se deben analizar otros elementos que puedan influir en el proceso de combustión o puedan resultar problemáticos en cuanto a las emisiones o los efectos medioambientales que causan (como los halógenos o los metales).

La cantidad de oxígeno presente en los combustibles reduce el poder calorífico, sin embargo contribuye a reducir las necesidades de aire de combustión.

El contenido de nitrógeno y azufre tiene un impacto directo en los efectos derivados de la lluvia ácida.

Análisis Elemental

Ejemplo	N (%)	C (%)	S (%)	H (%)	O (%)
Astillas de castaño	0,23	45,30	0,17	6,10	48,20
Hojas de castaño	2,21	47,82	0,27	6,24	43,46
Corteza de eucalipto	1,69	46,53	0,30	5,87	45,61
Astillas de eucalipto	0,14	44,77	0,15	6,33	48,60
Ramas de kiwi	1,06	46,41	2,44	6,09	43,99
Ramas de roble	2,87	48,26	0,33	6,28	42,26
Hojas de roble	3,04	46,90	0,38	5,47	44,20
Astillas de pino	0,09	48,15	0,28	5,59	45,90
Astillas de madera	0,13	42,20	0,27	5,51	51,88
Pellets de madera	0,60	46,79	0,32	6,13	46,15
Aserrín de madera	0,12	45,97	0,24	5,13	48,53

Análisis Inmediato

El *análisis inmediato* determina parámetros que afectan tanto a la combustión como a la pirólisis, son:

- La humedad (calentamiento hasta 105 °C) (%M).
- El contenido en volátiles (calentamiento durante 7 minutos a 950 °C) (%VM).
- El residuo que permanece a esta temperatura constituye las cenizas (%A).
- El carbono fijo (%FC).

El efecto de la humedad juega un papel fundamental en el poder calorífico del combustible.

Análisis Inmediato

Ejemplo	M (%)	A (%)	VM (%)	FC (%)
Astillas de castaño	9,83	1,30	78,20	20,50
Hojas de castaño	8,20	4,90	72,41	22,70
Corteza de eucalipto	8,60	6,20	77,00	16,80
Astillas de eucalipto	11,00	1,90	79,00	19,10
Ramas de kiwi	8,20	4,50	74,00	21,50
Ramas de roble	8,20	4,20	78,40	17,40
Hojas de roble	9,10	3,80	72,00	24,20
Astillas de pino	10,25	0,60	81,60	17,80
Astillas de madera	25,60	1,50	68,60	29,90
Pellets de madera	7,70	1,30	82,00	17,10
Aserrín de madera	9,20	0,60	83,00	16,40

Poder Calorífico

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que produce un combustible por unidad de masa.

El **Poder Calorífico Superior (PCS)** es el calor que desprende 1 kilo de combustible completamente seco, contando con el calor latente de vaporización del agua formada por la combustión del hidrógeno (si lo hubiere).

En los procesos industriales no se aprovecha el calor de condensación del vapor, puesto que los gases se evacúan a una temperatura superior al punto de rocío. En la práctica se usa el **Poder Calorífico Inferior (PCI)**.

Por todo ello, es el calor de la combustión que no aprovecha la energía de condensación del agua. El PCS aprovecha esta energía y, por tanto, con la misma cantidad de combustible, se genera más calor.

La cantidad de oxígeno presente en los combustibles reduce el poder calorífico, sin embargo contribuye a reducir las necesidades de aire de combustión.

Humedad

El contenido de humedad se define como la cantidad de agua presente en el residuo, expresada como un porcentaje del peso. Éste es el factor más crítico, ya que determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión.

Cuando se valoriza un residuo, primero se necesita evaporar el agua, antes de que el calor esté disponible y, por eso, cuanto más alto sea el contenido de humedad, menos poder calorífico, e.g. humedad incorporada en residuos de Neumáticos Fuera de Uso (NFU).

La humedad es un factor importante en la gestión energética de los residuos, a modo de ejemplo el fango de *EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales Urbanas)* después de deshidratación, posee una cantidad de agua del 75%.

Poder Calorífico

A partir de este análisis elemental o inmediato existen diversas fórmulas, e.g. Dulong, que permiten aproximarse al poder calorífico de un residuo o combustible.

Ejemplo de ecuación:
$$\text{PCS (kJ/kg)} = 33823 c + 144000 (h - o/8) + 9293 s$$
$$\text{PCI (kJ/kg)} = \text{PCS} - 2501 (9h+w)$$

Por lo general, la composición se expresa en fracciones másicas (c , h , s , o , w : 0/1 en C, H, S, O y agua (w), respectivamente).

	C (%)	H (%)	O (%) – N (%)	Volátiles (%)	PCS (kcal/kg)
Madera	48-50	4-6	42-46	85	3500-4700
Turba	60	6	32-42	80	4000
Lignito	70-80	6-8	12-24	60	6700-7500
Antracita	94-97	1-2	2	3-8	8000-9000

English concept section

- **Heating value**

It is the amount of heat released during the combustion of a specified amount of it.

- **Proximate and ultimate analysis**

Ultimate analysis tests produce more comprehensive results than the proximate analyses.

Proximate analysis of a fuel examines the chemical composition.

Ultimate analysis is dependent on quantitative analysis of various elements present in the residue.

Lecturas Recomendadas para el Contenido de este Módulo

- Castells, X. E. (2012). Tratamiento y valorización energética de residuos. Ediciones Díaz de Santos.