

## ENERGÍA ELÉCTRICA. Central térmica

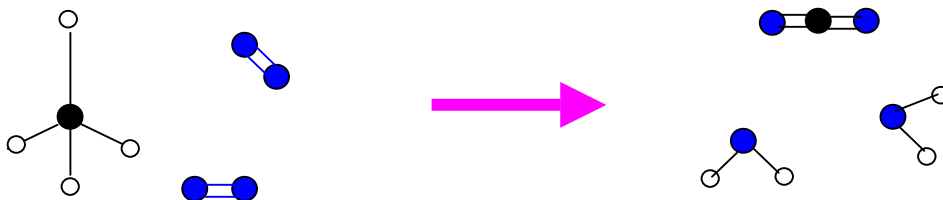
La central térmica de Castellón (Iberdrola) consta de dos bloques de 800 y 850 MW de energía eléctrica, y utiliza como combustible “gas natural”, procedente de Argelia. Sabiendo que, dicho gas natural tiene una densidad de  $0,78 \text{ Kg/m}^3$  y que su composición es del 92% de metano, 3,5% de etano y otros gases, se pide: . Si funciona durante 1 día generando una potencia eléctrica de 1000 MW y su rendimiento es del 58% (por ser de ciclo combinado); a) ¿Cómo se puede obtener energía del metano y demás combustibles fósiles?, b) ¿Cómo se genera la energía eléctrica a partir de la combustión del gas natural? c) ¿Cuántos metros cúbicos de gas se queman diariamente? d) ¿Cuántos Kg de  $\text{CO}_2$  se liberan a la atmósfera diariamente? e) Ventajas e inconvenientes de este tipo de centrales.

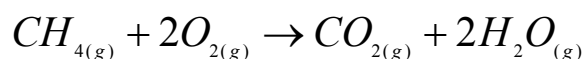
Datos: Entalpías de formación de los compuestos que intervienen

$$\Delta H_{f\text{CH}_4} = -74'87 \text{ KJ} / \text{mol} \quad \Delta H_{f\text{etano}} = -83'8 \text{ KJ} / \text{mol}$$

$$\Delta H_{f\text{aguavapor}} = -241'4 \text{ KJ} / \text{mol} \quad \Delta H_{f\text{CO}_2} = -393'13 \text{ KJ} / \text{mol}$$

Para contestar a la pregunta a) del problema de cómo podemos obtener energía del metano y de otros combustibles fósiles, debemos indicar que se trata de una energía química, acumulada en sus enlaces como energía potencial eléctrica, ya que en el metano y en los demás combustibles fósiles, esta energía es mucho mayor que en la acumulada en los enlaces de los productos resultado de su combustión que son el  $\text{H}_2\text{O}$  y el  $\text{CO}_2$  . Se trata pues de hacerlos reaccionar con el oxígeno del aire, para que los hidrocarburos fósiles nos proporcionen energía en forma gases (agua y dióxido de carbono) con moléculas a elevadísima velocidad, lo que significa, gases a elevada temperatura.





Para averiguar la energía que se libera en ruptura de unos enlaces y formación de otros más estables, se ha elaborado **por convenio**, una entalpía de formación de todos los compuestos químicos, en condiciones estándar de presión y temperatura (25°C y 1 at de presión) partiendo del convenio siguiente: Todos los elementos, en su forma más estable (estado alotrópico) en condiciones estándar de presión y temperatura, tienen una entalpía de formación igual a cero. De esta forma, para averiguar las entalpías de formación de los compuestos químicos, se determina experimentalmente, la entalpía involucrada en los procesos de formación de los mismos (energía desprendida o absorbida en forma de calor a P constante) a partir de los elementos que los constituyen. Así, una vez conocidas todas las entalpías de formación de todos los compuestos químicos de manera comparable, podemos conocer la entalpía (energía que se pone de manifiesto en forma de calor a P constante) correspondiente a cualquier reacción química, que calcularemos de la siguiente forma:

$$\Delta H_{reacción}^0 = \sum \Delta H_{productos}^0 - \sum \Delta H_{reactivos}^0$$

Que en el caso concreto de nuestra reacción de combustión del metano sería:

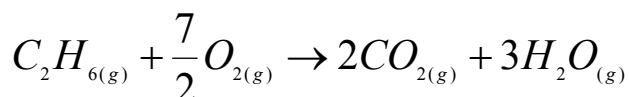
$$\Delta H_{reacción}^0 = \Delta H_{CO_2}^0 + 2\Delta H_{H_2O}^0 - (\Delta H_{CH_4}^0 + 2\Delta H_{O_2}^0) = -393'13 - 2(-241'4) - (-74'87 - 2(0)) = -801KJ / mol$$

Esta sería la energía que obtendremos cuando se “quema” un mol de metano. Si se tratara de etano  $C_2H_{6(g)}$  la energía sería:

$$\Delta H_{reacción}^0 = 2\Delta H_{CO_2}^0 + 3\Delta H_{H_2O}^0 - (\Delta H_{C_2H_6}^0 + \frac{7}{2}\Delta H_{O_2}^0)$$

$$\Delta H_{reacción}^0 = 2(-393'13) + 3(-241'4) - ((-83'8) + \frac{7}{2}(0)) = -1426'66KJ / mol$$

Ya que la reacción de combustión de etano será:



En un metro cúbico de gas natural en condiciones normales de P y T, hay una cantidad de moles de gas que será:

$$\text{moles} = \frac{1000}{22'4} = 44'64$$

(ya que, en condiciones normales de P y T, **un mol de cualquier gas, ocupa 22'4 litros.**)

De estas moles de gas, el 92% serán de metano, el 3'5% de etano, y el 4'5% de gases restantes (propano, butano...) ya que consideramos los tantos por ciento en volumen. Luego en un metro cúbico de gas hay un n° de moles de metano de

$$44'64 \times 0'92 = 41'07 \text{ moles de metano}$$

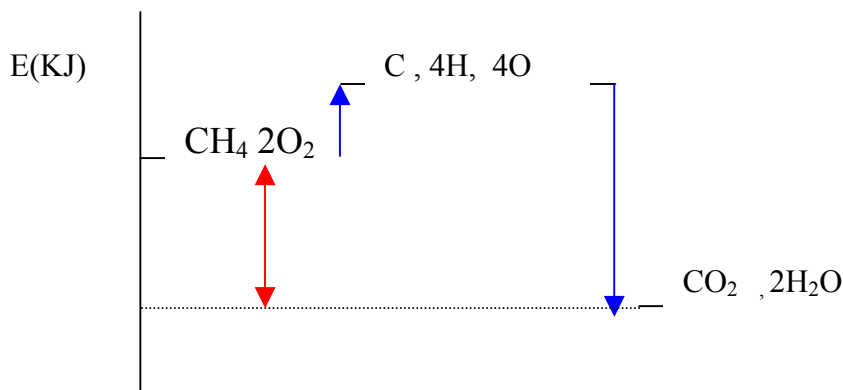
$$44'64 \times 0'035 = 1.56 \text{ moles de etano, y el resto (2'01 moles) de otros gases.}$$

Luego, si quemamos un metro cúbico de gas y suponiendo que las 2'01 moles de gases restantes al combinarse con el oxígeno del aire suponen aproximadamente 2381 KJ/mol ( ya que el calor de combustión del propano es 2041 KJ/mol, y el del butano 2655 KJ/mol), obtendremos una cantidad de energía de:

$$E = 41'07 \text{ moles.}(-801 \text{ KJ} / \text{mol}) + 1'56 \text{ moles.}(-1426'66 \text{ KJ} / \text{mol}) + 2'01 \text{ moles}(-2381 \text{ KJ} / \text{mol}) = -39908 \text{ KJ} = -9547 \text{ Kcal}$$

En los demás combustibles fósiles (petróleo, gasolina, carbón, butano ...), ocurrirá lo mismo : al producirse la reacción de los hidrocarburos que los constituyen con el oxígeno del aire (combustión), se rompen unos enlaces químicos y se forman los existentes en los “productos de reacción” que son el H<sub>2</sub>O<sub>(v)</sub> y el CO<sub>2(g)</sub>. Esto supone un gran desprendimiento de energía, que calcularemos de la misma forma que hemos hecho en la combustión del gas natural.

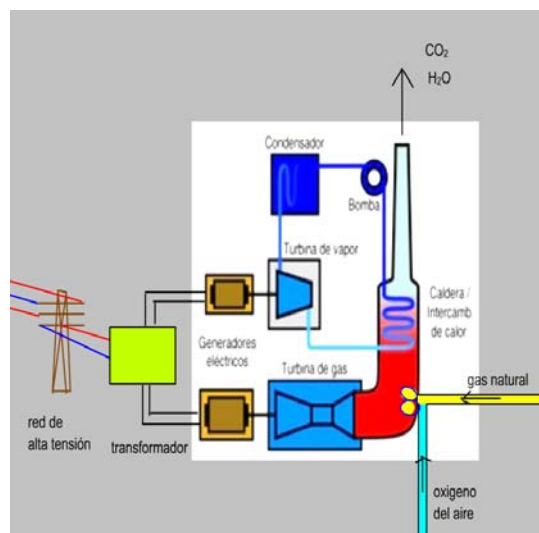
En resumen : la combustión del metano supone, la ruptura de 4 enlaces CH, y la ruptura de el doble enlace en las moléculas de oxígeno, para, una vez separados los átomos, producirse la formación de los enlaces entre el O e H (en el H<sub>2</sub>O) y la de los dobles enlaces entre el C y el O en el CO<sub>2</sub>.



En el apartado b) nos piden cómo podemos obtener energía eléctrica a partir de los KJ obtenidos en la combustión de un metro cúbico de gas natural. Los gases resultado de la combustión ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ) están a elevada temperatura ( $1500^\circ\text{C}$ ) lo cual supone que sus moléculas llevan una enorme velocidad (lo que les supone energía cinética). Con estos gases a elevada T, podemos (en las centrales térmicas de **ciclo combinado**) mover una TURBINA DE GAS y, en un cambiador de energía en forma de calor, **vaporizar agua** y obtener vapor de agua a elevada P y T (para llenar de agua la turbina de vapor, es necesario utilizar “bombas” hasta elevar el agua líquida al depósito dentro de la caldera). con la que mover una TURBINA DE VAPOR. Ambas TURBINAS, mueven ALTERNADORES en los que la energía cinética de rotación proporcionada por las turbinas se transforma en energía eléctrica (se obtiene corriente eléctrica alterna). Posteriormente esta corriente alterna obtenida, para su transporte, se eleva su tensión hasta  $400.000\text{V}$  en TRANSFORMADORES.

Después de mover la primera TURBINA, los “gases resultado de la combustión” pasan de nuevo a la caldera.

El esquema de una central térmica será el siguiente.



En el apartado c) nos piden los metros cúbicos de gas que se consumen diariamente, si nuestra central está generando  $1000\text{ MW}$  de energía eléctrica y su rendimiento es del  $40\%$ . Este último rendimiento supone que la energía térmica generada en la combustión del “gas natural” debe ser de:

$$Pot_{\text{termica}} = \frac{1000}{0,58} = 1724\text{ MW}$$

$$Energia_{\text{termica}} = 1724\text{ MW} \cdot 10^6 \frac{\text{W}}{\text{MW}} \cdot 24\text{ h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 1,49 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

Como cada metro cúbico de gas proporciona **39908 KJ** de energía, los metros cúbicos que debes quemarse de gas natural serán:

$$\text{Volumen} - \text{gas} = \frac{1'49 \cdot 10^{14} \text{ J}}{39908 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}} = 3733587 \text{ m}^3$$

En el apartado d) nos piden, cuántos Kg de CO<sub>2</sub> se liberan a la atmósfera diariamente. Para contestar a ello, como se queman diariamente **3.733.587 m<sup>3</sup>** de gas natural, y su densidad es del **0'78 Kg/m<sup>3</sup>**, los **Kg de gas natural quemados serán:**

$$\text{masa} - \text{gas} = 3733587 \text{ m}^3 \cdot 0'78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 2912198 \text{ Kg}$$

y, el n° de moles de gas quemadas en un día será:

$$n^\circ - \text{moles} = \frac{3'7336 \cdot 10^9 \text{ litros}}{22'4 \frac{\text{litros}}{\text{mol}}} = 1'67 \cdot 10^8 \text{ moles} - \text{gas} - \text{natural}$$

de las cuales el 92% será de metano, el 3'5% de etano y el resto de propano, butano.. y otros gases, con lo que, el n° de moles de CO<sub>2</sub>, procedentes de la combustión del metano será:

$$n^\circ - \text{moles} \text{CO}_2 = 1'67 \cdot 10^8 \cdot 0'92 = 1'53 \cdot 10^8 \text{ moles}$$

Y el n° de moles de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión del etano C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> será:

$$n^\circ - \text{moles} \text{CO}_2 = 1'67 \cdot 10^8 \cdot 0'035 \cdot 2 = 1'17 \cdot 10^7 \text{ moles}$$

Y, el n° de moles de CO<sub>2</sub> procedentes de la combustión del propano, butano... aproximadamente será:

$$n^\circ - \text{moles} \text{CO}_2 = 1'67 \cdot 10^8 \cdot 0'045 \cdot 3'5 = 2'63 \cdot 10^7 \text{ moles}$$

Luego, el n° total de moles de CO<sub>2</sub> lanzadas a la atmósfera en un día será:

$$\text{N}^\circ \text{ de moles de CO}_2 = 1'53 \cdot 10^8 + 0'117 \cdot 10^8 + 0'263 \cdot 10^8 = 1'91 \cdot 10^8 \text{ moles}$$

Como la masa molecular del CO<sub>2</sub> es de **44 gramos/mol**, el n° de Kg de CO<sub>2</sub> lanzados a la atmósfera será :

$$\text{masa} - \text{CO}_2 = 1'91 \cdot 10^8 \text{ moles} \cdot 44 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \cdot 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{gr}} = 8'404 \cdot 10^6 \text{ Kg}$$

En resumen, la central térmica, funcionando durante un día y suministrando una potencia de 1000 MW eléctricos, lanza a la atmósfera **8404 toneladas de CO<sub>2</sub>**, así como de otros gases contaminantes como los óxidos de nitrógeno NO<sub>2</sub>.

La bibliografía apunta que, las centrales térmicas de ciclo combinado, emiten a la atmósfera con una cantidad de CO<sub>2</sub> de 0'35 Kg/KW.h producido de energía eléctrica. En nuestro caso, trabajando la central con una potencia de 1000 MW durante un día, produce 2'4 · 10<sup>7</sup> KW.h, con lo que debería lanzar a la atmósfera durante 1 día 8400 toneladas de CO<sub>2</sub>. En nuestro caso nos da una mayor cantidad quizás por haber considerado que los gases restantes del gas natural (además de metano y etano) son propano y butano, que producen, por mol quemada, 3 y 4 moles de CO<sub>2</sub>.

Los otros gases contaminantes como el NO<sub>2</sub>, se producen porque a esas elevadas temperaturas, el nitrógeno del aire puede reaccionar con el oxígeno produciendo óxidos de nitrógeno. En las centrales térmicas de gas natural **no se produce SO<sub>2</sub>** como gas contaminante, que puede producir "lluvia ácida", cosa que **sí ocurre** en las centrales térmicas que utilizan fuel o en las de carbón.

| Emisiones a la atmósfera de diferentes tecnologías de generación eléctrica         |              |                 |                 |                 |       |      |                  |            |         |
|--|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|------|------------------|------------|---------|
| Eficiencia energética y emisiones para diferentes tecnologías y combustibles g/kWh | Eficiencia % | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | COV's | CO   | N <sub>2</sub> O | Partículas | Cenizas |
|  |              |                 |                 |                 |       |      |                  |            |         |
| Fuelóleo Central térmica convencional  | 37           | 727             | 8,0             | 2,6             | 0,1   | 0,16 | 0,42             | 0,24       | 0,03    |
| Gas natural Central térmica convencional   | 38           | 482             | 0,01            | 1,0             | 0,01  | 0,01 | 0,19             | 0          | 0       |
| Carbón Central de lecho fluidizado   | 37           | 884             | 0,84            | 0,42            | n.d.  | n.d. | n.d.             | n.d.       | n.d.    |
| Carbón Central gasificación integrada ciclo combinado                              | 42           | 779             | 0,30            | 0,30            | n.d.  | n.d. | n.d.             | n.d.       | n.d.    |
| Gas natural Central de ciclo combinado   | 58           | 345             | 0               | 0,27            | 0     | 0    | 0,13             | 0          | 0       |

En el **apartado e)** del problema nos piden las ventajas y los inconvenientes de este tipo de centrales.

Como posibles ventajas tenemos:

- No producen residuos radiactivos.
- No emiten partículas como en las térmicas de C o de fuel.
- Fácilmente pueden variar su potencia ajustándose a las demandas de la demanda energética
- El precio del KW.h producido puede variar según el precio del mercado del gas natural pero, normalmente es mayor que el de la nucleares, pero menor que el de otras centrales alternativas como las eólicas.
- El proporcionar una potencia de 1000MW, supone que, puedan estar funcionando **simultáneamente** 166.665 neveras (0'15KW), 166.665 lavadoras (1.2KW), 166.665 lavavajillas (3'35KW), 166.665 microondas (1KW), 166.665 TV (0'125KW), 166.665 ordenadores (0.1KW), 10.000 bombillas de bajo consumo ...

- En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, las centrales térmicas de gas natural de ciclo combinado son las que presentan más ventajas, ya que su rendimiento puede llegar a ser del 58% y el combustible quemado es prácticamente metano. En el siguiente cuadro tenemos la emisión de Kg de CO<sub>2</sub> por KW.h de electricidad producido según los combustibles de la central térmica.

| <b>COMBUSTIBLE</b>          | <b>Emisión de CO<sub>2</sub><br/>Kg/KWh</b> |
|-----------------------------|---|
| Gas natural ciclo combinado | 0'35  |
| Gas natural                 | 0'44  |
| Fuelóleo                    | 0'71  |
| Biomasa (leña,madera)       | 0'82  |
| Carbón                      | 1'45  |

Como posibles inconvenientes:

- Emiten a la atmósfera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que aumenta el efecto invernadero del calentamiento global, aunque, como hemos visto, las térmicas de gas natural de elevado rendimiento (como el caso de las de ciclo combinado) es mucho menor que el de las térmicas de fuel y, sobre todo, de las de carbón.
- Emiten también a la atmósfera otros gases contaminante (NO<sub>2</sub> ), que pueden producir “lluvia ácida”. Pero estos vertidos son mucho menores que los que se producen en las centrales térmicas de carbón, fueloil o biomasa.
- Dependemos del suministro de gas natural procedente de otros países.
- Los combustibles fósiles (entre ellos el “gas natural”) pueden agotarse.

Nota: Agradecemos a D. Pablo Pirlés y Dña Noelia Pita, técnicos de la Central Térmica de Castellón, los datos que amablemente nos han proporcionado.