

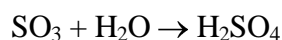
**El fuel que se emplea en una central térmica contiene un 0'8 % en peso de azufre. Suponiendo que todo el azufre reacciona con el oxígeno para dar dióxido de azufre y que en la central citada se queman al día 40 toneladas de fuel ¿cuántos litros de dióxido de azufre gaseoso (medidos a 730 mm de Hg y 120 °C) salen por la chimenea diariamente?**

### *Interés del problema*

Al quemar un combustible como el fuel (mezcla de hidrocarburos pesados procedentes del petróleo) siempre se producen gases con efectos contaminantes. Uno de ellos es el CO<sub>2</sub> (que contribuye a aumentar el efecto invernadero) que resulta de la combustión de los hidrocarburos y otro el SO<sub>2</sub> debido a la combinación del azufre que contiene el fuel (como impureza) con el oxígeno del aire. Este último gas, contribuye a que se produzca el fenómeno de las lluvias ácidas<sup>1</sup> que afecta gravemente a diversas zonas boscosas (especialmente del norte de Europa).

En general, casi todas las emisiones de SO<sub>2</sub> a la atmósfera son debidas a la utilización industrial de combustibles fósiles (con un contenido variable de azufre como impureza) fundamentalmente en la industria, el transporte y la calefacción. Solo una mínima parte se debe a otras causas como, por ejemplo, la actividad de los volcanes.

Uno de los problemas causados por el SO<sub>2</sub> es que en la atmósfera se oxida a SO<sub>3</sub> y éste último reacciona con el vapor de agua presente en aire dando ácido sulfúrico según:



Este ácido sulfúrico forma una especie de niebla que cuando llueve cae al suelo destruyendo la vegetación, modificando la acidez de suelos, ríos y lagos, y deteriorando muchos monumentos.

### *Planteamiento e hipótesis*

En este problema nos limitaremos a estudiar la producción de gas SO<sub>2</sub> cuando se quema completamente una cierta masa de azufre procedente de un combustible fósil, como el fuel, en un ambiente atmosférico cuya presión y temperatura son conocidas.

En el caso que se nos plantea, podemos pensar que, en principio, el volumen "V" de SO<sub>2</sub> buscado va a depender de algunos factores como: la masa total "m" de fuel que se utilice cada día, la riqueza porcentual "r" que tenga dicha masa en azufre, así como la presión "P" y la temperatura "T" a las que se mida dicho volumen. Todo ello puede expresarse mediante la ecuación:

$V = V(m, r, P, T)$ , en la que r es el porcentaje (%) en masa de azufre en el fuel.

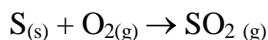
Cabe esperar que se obtenga un volumen de gas SO<sub>2</sub> mayor, cuanto mayor sea la masa de fuel y la riqueza en azufre de éste. En cuanto a la influencia de la presión y la temperatura, conviene tener en cuenta que una modificación de sus valores, de acuerdo con la ecuación de los gases, puede alterar el volumen V del SO<sub>2</sub> obtenido, pero eso no afectará a su masa o a su cantidad de sustancia (mientras no se cambie la masa de fuel utilizada o la riqueza en azufre de la misma). Así mismo, es obvio que si r fuera 0 no se obtendría ningún volumen de SO<sub>2</sub>, porque ello querría decir que el fuel utilizado no contenía nada de azufre.

---

<sup>1</sup> Los enunciados de muchos problemas también pueden redactarse de manera que ofrezcan la posibilidad de referirse (de forma funcional, no forzada) a aspectos importantes en los que se muestre las relaciones entre ciencia-tecnología, sociedad y ambiente, como en este caso con la lluvia ácida.

**Estrategia de resolución y resolución**

La ecuación ajustada que representa la combustión del azufre viene dada por:



Según dicha ecuación el número de moles de  $\text{SO}_2$  que se producirá cuando reaccione un número determinado de moles de azufre puro, no puede ser cualquiera, sino que deberá cumplirse que:

$$\frac{n_{\text{SO}_2}}{n_s} = \frac{1}{1}$$

Es decir, el número de moles de  $\text{SO}_2$  que se produzcan será el mismo que el número de moles de S que se quemen. De acuerdo con ello, una forma de resolver el problema puede ser determinar los moles de S que se queman y, a continuación, obtener el volumen que ocuparían el mismo número de moles de  $\text{SO}_2$  (en las condiciones de presión y temperatura que se indican en el enunciado).

Para calcular el número de moles de azufre,  $n_s$ , hemos de saber primero qué masa de azufre puro,  $m_s$  hay en la masa total  $m$  de fuel que se quema. Eso puede hacerse fácilmente a través de la riqueza,  $r$  (en tanto por cien), de modo que:

$$m_s = \frac{r}{100} \cdot m, \text{ con lo que } n_s = \frac{m_s}{M_s} = \frac{r \cdot m}{M_s \cdot 100}$$

Según hemos razonado antes, el número de moles de moléculas de  $\text{SO}_2$  producido ha de coincidir con el número de moles de azufre S que se queman, es decir:  $n_{\text{SO}_2} = n_s$ , por tanto, podemos escribir que:

$$n_{\text{SO}_2} = \frac{r \cdot m}{M_s \cdot 100}$$

El volumen ocupado por los moles anteriores no podrá ser cualquiera, sino que será aquel que cumpla la ecuación de los gases perfectos:  $PV = nRT$ . Por tanto:

$$V_{\text{SO}_2} = \frac{n_{\text{SO}_2} \cdot R \cdot T}{P}, \text{ de donde } V_{\text{SO}_2} = \frac{r \cdot m \cdot R \cdot T}{M_s \cdot P \cdot 100}$$

Sustituyendo los valores que proporciona el enunciado se obtiene:  $V_{\text{SO}_2} = 335.503'6$  litros

**Análisis del resultado**

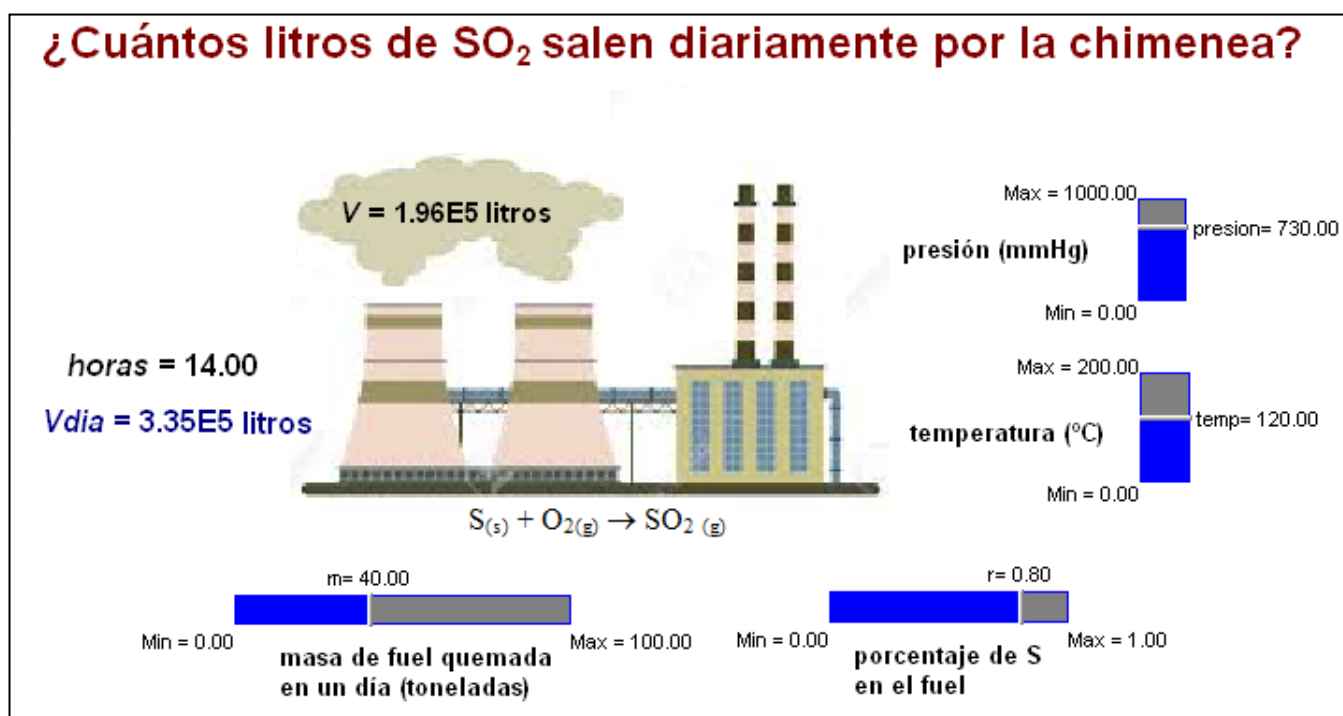
Conviene, en primer lugar constatar que el resultado literal del problema es dimensionalmente homogéneo ( $\text{L}^3$  en ambos miembros).

En segundo lugar, vemos que se cumplen todas las hipótesis que habíamos planteado. Concretamente, para una presión y temperaturas dadas, se constata que, cuanto mayor sean los valores de la masa de fuel ( $m$ ) que se queme y/o de su riqueza en azufre ( $r$ ), mayor será el número de moles de  $\text{SO}_2$  que se produzcan y, en consecuencia, el volumen ocupado por los mismos. También podemos observar que si  $r$  fuera 0, el volumen de  $\text{SO}_2$ , como es lógico, también lo sería.

**Refuerzo:**

Para reforzar los conceptos involucrados en este problema, hemos elaborado una animación *Modellus*, que simula el transcurso de un día, durante el cual va aumentando la nube de gas y se van contabilizando los litros de dióxido de azufre que emite la chimenea. En la pantalla se incluyen cuatro controladores manuales, con los que los alumnos pueden poner a prueba sus hipótesis, modificando los siguientes parámetros: la masa de fuel quemada en un día, el porcentaje de azufre en dicho fuel, la temperatura y la presión del dióxido gaseoso que forma la nube.

La imagen adjunta muestra el estado que presenta la pantalla si, partiendo de los datos que hemos adoptado en esta resolución, se detiene la animación justamente cuando han transcurrido 14 de las 24 horas del día.



La animación y el programa para hacerla correr están disponibles en la página “Web de Materiales para la Enseñanza y la Divulgación de la Física”, de la Sección Local de Alicante de la RSEF

<http://rsefalicante.umh.es/fisica.htm>