

## COMBUSTIÓN DEL FUEL Y LLUVIA ÁCIDA

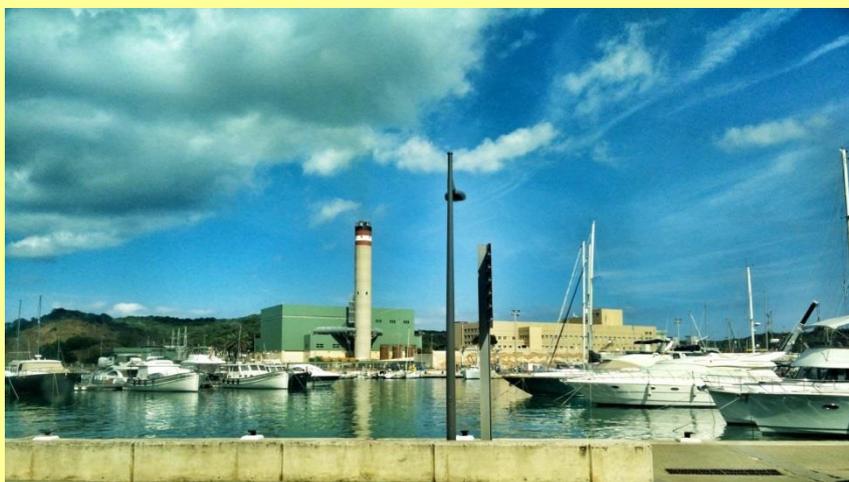
### Interés de la situación planteada

El dióxido de azufre es un gas de origen principalmente antropogénico, que se origina sobre todo en la combustión de carburantes fósiles que contienen azufre. Una vez liberado, reacciona con el agua de la atmósfera produciendo ácido sulfúrico, que genera efectos devastadores en muchos elementos arquitectónicos (por ejemplo, en estatuas y columnas de monumentos históricos) y también sobre la naturaleza (agricultura, bosques, suelos, aguas...), lo que tiene un impacto indudable en el medio ambiente y la salud.

Con el objetivo de minimizar los daños y proteger la salud humana y la de los ecosistemas, las autoridades han establecido unos valores límite para los vertidos de dióxido de azufre<sup>1</sup>. Esto obliga a las empresas a limpiar sus combustibles para quitarles la mayor cantidad de azufre posible, lo que supone un gasto adicional. El problema que deben afrontar, por tanto, es conocer la cantidad de  $\text{SO}_2$  que se produce diariamente en una empresa determinada para evitar exceder los valores límite autorizados y provocar un exceso de contaminación.

*Suponed que sois los encargados de una empresa que genera gases entre los que se encuentra el dióxido de azufre. ¿Cómo podríais determinar la cantidad diaria de este gas que se vierte a la atmósfera para evitar la correspondiente multa en caso de incumplimiento de la ley?*

**7. El fuel que se emplea en una central térmica<sup>2</sup> 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, se pide:**



Autor: [madbutt83](#)

**¿Cuántos litros de dióxido de azufre gaseoso (medidos a 730 mm de Hg y 120 °C) salen por la chimenea diariamente?**

<sup>1</sup> <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/dioxido-azufre.html>

<sup>2</sup> La fotografía del enunciado corresponde a la central térmica de Mahón en Mallorca (España).

*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> (el gas que más contribuye al aumento del efecto invernadero) que resulta de la combustión de los hidrocarburos, y otro es el SO<sub>2</sub> producido mediante 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>3</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 cae al suelo cuando llueve afectando a 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.

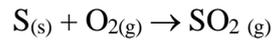
Cabe esperar que se obtenga un volumen de gas SO<sub>2</sub> mayor, cuanto mayor sea la masa de fuel y la riqueza en azufre de éste. En cuanto a la influencia de la presión y la temperatura, conviene tener en cuenta que una modificación de sus valores, de acuerdo con la ecuación de los gases, puede alterar 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.

*Estrategias de resolución y resolución*

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

---

<sup>3</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.



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 queman. 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 (en tanto por cien)  $r$  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 átomos 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 de  $\text{SO}_2$  que acabamos de calcular 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 de resultados*

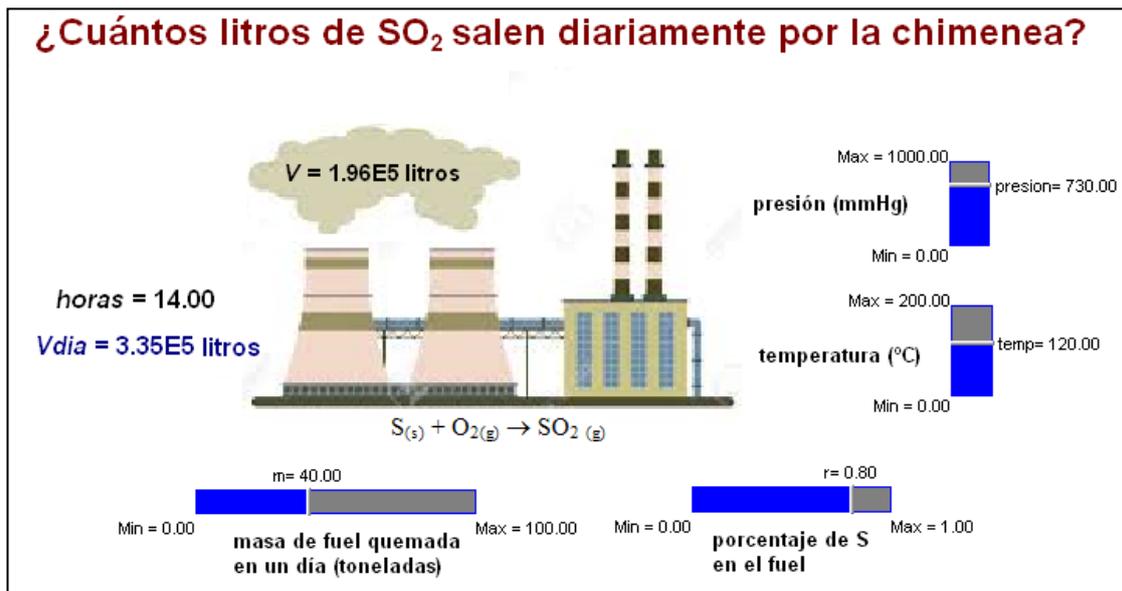
Conviene constatar, en primer lugar, que el resultado literal del problema es dimensionalmente homogéneo (litros en ambos lados de la igualdad).

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 de azufre 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>