

## FABRICACIÓN DE CEMENTO. EFECTO INVERNADERO

### Interés de la situación planteada

Son demasiados los procesos químicos industriales en los que, además de obtenerse la sustancia o sustancias deseadas, se producen emisiones de gases contaminantes, que muchas veces degradan seriamente la atmósfera y causan efectos negativos tanto en el medio natural como en la salud de las personas. Para evitar estas emisiones a la atmósfera, diferentes organismos competentes han planteado normativas para la regulación y control de las actividades potencialmente contaminantes.

Por este motivo las empresas, no solo han de prever las cantidades de reactivos necesarios para obtener los productos deseados en los procesos que se realizan en sus instalaciones, sino que también deben realizar los cálculos estequiométricos oportunos para determinar la cantidad de gases contaminantes que eventualmente van a emitir. En el siguiente problema se aborda un ejemplo de proceso industrial en el que, al mismo tiempo que se obtiene un producto fundamental para la sociedad actual, se está emitiendo a la atmósfera una excesiva cantidad de gases perjudiciales, en este caso,  $\text{CO}_2$ , que es el principal agente causante del aumento del efecto invernadero.

**9. Uno de los usos más importantes del óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), conocido en la construcción como “cal viva”, es la producción de cemento, un material cuyo contenido en  $\text{CaO}$  es superior al 60%. La cal viva, por su parte, se obtiene en un alto horno mediante la calcinación de caliza (un mineral cuya riqueza en carbonato de calcio es del orden del 76%). En este proceso, que requiere temperaturas en torno a los 1000 °C, el carbonato de calcio se descompone en óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ):**



**Suponiendo que en la Unión Europea se calcinen anualmente 200.000.000 de toneladas de caliza, averigua cuántas toneladas de  $\text{CO}_2$  se emiten a la atmósfera debido a este proceso**

El cemento está relacionado directamente con la construcción y su producción constituye un índice claro del desarrollo de cualquier país. La parte negativa de la fabricación de cemento la constituye el elevado impacto medioambiental que provoca por diversos motivos. En primer lugar, la piedra caliza es un recurso natural no renovable. Por otra parte, en el proceso al que se la somete se produce  $\text{CO}_2$ , que es el principal agente causante del incremento del efecto invernadero. Además, la emisión de  $\text{CO}_2$  se produce no solo en la reacción de descomposición del carbonato de calcio de la caliza sino también a partir de la combustión de los combustibles fósiles utilizados habitualmente para obtener la energía necesaria con la que llevar a cabo el proceso completo de fabricación. Finalmente, no se puede ignorar el impacto que todo este proceso tiene en el medio natural y en la salud de las personas, debido a la proliferación de grandes canteras y a la liberación al aire de ingentes cantidades de polvo y otros contaminantes. No obstante, el cemento va a seguir utilizándose mientras se siga construyendo, por lo que es necesario tomar las medidas necesarias (ahorro, eficiencia, innovaciones tecnológicas, uso de energías limpias, regeneración del entorno...) para limitar todo lo posible dicho impacto.

Respecto a la pregunta que se nos plantea en el problema, podemos pensar que la masa de  $\text{CO}_2$  obtenida va a depender de la masa de carbonato de calcio que se descomponga (la cual, depende a su vez de la masa de caliza y de su riqueza en carbonato de calcio). Así pues, cuanto mayor sea la masa de caliza utilizada y mayor sea su riqueza, mayor será también la masa de  $\text{CO}_2$  que se producirá. Podemos imaginar alguna situación límite obvia, como, por ejemplo, que, si la riqueza en carbonato de calcio fuese 0, la masa de  $\text{CO}_2$  obtenida a partir de dicho compuesto, también lo sería.

Según la ecuación química correspondiente al proceso, el número de moles de  $\text{CO}_2$  que se producirá cuando se descomponga un número determinado de moles de  $\text{CaCO}_3$ , no puede ser cualquiera, sino que deberá cumplirse que:

$$\frac{n_{\text{CO}_2}}{n_{\text{CaCO}_3}} = \frac{1}{1}$$

Es decir, el número de moles de  $\text{CO}_2$  que se produzcan será el mismo que el número de moles de  $\text{CaCO}_3$  que se descompongan. De acuerdo con ello, una forma de resolver el problema puede ser determinar los moles de  $\text{CaCO}_3$  que se descomponen.

En lo que sigue, supondremos que el rendimiento del proceso es del 100 %

Conocido el número de moles de  $\text{CO}_2$ , podemos obtener la masa correspondiente a dichos moles aplicando la expresión que relaciona ambas magnitudes:

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} \rightarrow m_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} \quad (1) \quad (M_{\text{CO}_2} \text{ es la masa molar del } \text{CO}_2)$$

Para calcular el número de moles de carbonato de calcio hemos de saber primero qué masa hay de dicho compuesto en la masa total de caliza que se calcina. Esto puede hacerse a través de la riqueza  $r$  (en tanto por cien) de modo que:

$$m_{\text{CaCO}_3} = \frac{r}{100} \cdot m_{\text{caliza}} \rightarrow n_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}} = \frac{r \cdot m_{\text{caliza}}}{100 \cdot M_{\text{CaCO}_3}}$$

(En la ecuación anterior,  $M_{\text{CaCO}_3}$  es la masa molar del  $\text{CaCO}_3$ )

Según hemos razonado antes, el número de moles de  $\text{CO}_2$  producido ha de coincidir con el número de moles de  $\text{CaCO}_3$ , es decir:  $n_{\text{CaCO}_3} = n_{\text{CO}_2}$

Por tanto, podemos escribir que:

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{r \cdot m_{\text{caliza}}}{100 \cdot M_{\text{CaCO}_3}} \quad (2)$$

Y sustituyendo la expresión (2) en la (1) anterior, obtenemos:

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{r \cdot m_{\text{caliza}}}{100 \cdot M_{\text{CaCO}_3}} \cdot M_{\text{CO}_2}$$

Si analizamos el resultado anterior, nos daremos cuenta de que, además de ser dimensionalmente homogéneo, se cumplen las hipótesis y casos límite considerados, ya que, como puede observarse, cuanto mayor sea la masa de caliza y su riqueza, mayor será la masa de  $\text{CO}_2$  que se producirá y además si  $r$  fuese nula, también lo sería la masa de  $\text{CO}_2$ .

Sustituyendo valores numéricos:

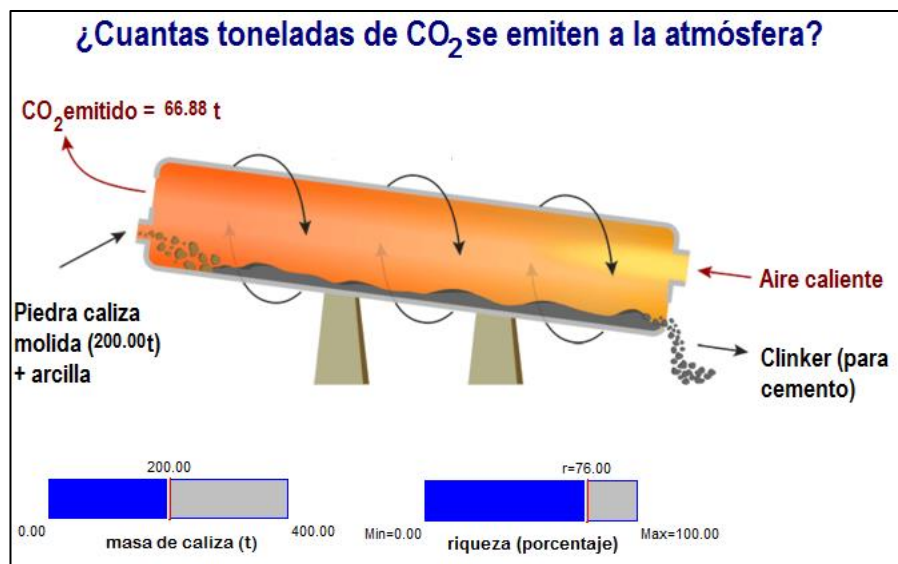
$$m_{CO_2} = \frac{76 \cdot 2 \cdot 10^{14}}{100 \cdot 100} \cdot 44 = 6'688 \cdot 10^{13} \text{ g} = 6'688 \cdot 10^7 \text{ t}$$

El resultado obtenido (más de 66 millones de toneladas), solo refleja el CO<sub>2</sub> emitido por la descomposición del carbonato de calcio. A este valor habría que añadir en realidad la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por la descomposición de otros carbonatos presentes en la caliza. Tampoco debe olvidarse el CO<sub>2</sub> producido en la quema de fuel y otros combustibles fósiles que permitirán obtener la energía necesaria para el proceso, desde la extracción de la materia prima de la cantera hasta todos los pasos siguientes que darán lugar a la obtención del cemento. Según la Agencia Internacional de la Energía, la industria del cemento y de la cal es responsable, aproximadamente, del 8% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>.

### Refuerzo

Para reforzar los conceptos involucrados en este problema, se puede usar una animación *Modellus* que hemos elaborado sobre él. En la pantalla de dicha animación se muestra esquemáticamente una parte del proceso tecnológico que suele usarse para obtener cemento: la que tiene lugar en un horno (en este caso rotatorio) en el que por un extremo se introduce piedra caliza (mayoritariamente formada por CaO<sub>3</sub>) y arcilla, y, por el otro extremo, se inyecta aire muy caliente. Dentro del horno se produce la reacción que hemos estudiado en este problema, dando lugar a CO<sub>2</sub>, que se emite a la atmósfera y CaO, que, mezclado con la arcilla y con otros componentes minoritarios, forma el llamado Clinker: un producto en forma de gránulos de entre 0'5 y 25 mm, que es el principal componente del cemento.

La animación incluye dos controladores manuales con los que los estudiantes pueden modificar la masa de piedra caliza molida (expresada en toneladas) y su riqueza (expresada como porcentaje de CaCO<sub>3</sub>). Considerando ambos valores, obtiene la masa de CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera como producto de la reacción de calcinación del carbonato de calcio (recordemos que, además, hay que considerar que se emite dióxido de carbono también a causa de la descomposición de otros carbonatos presentes en la caliza y, también, por la quema de fuel y otros combustibles fósiles). La siguiente imagen corresponde al caso en el que los datos coinciden con los que hemos usado en este problema.



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>

