

## **4.- COMPUESTOS DE AZUFRE**

Los principales compuestos de azufre en la atmósfera son  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y las sales del ácido sulfúrico.

### **4.1.- Dióxido de azufre.-**

#### **➤ Propiedades**

El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro y no inflamable, con unos puntos de fusión y ebullición respectivos de  $-75,5\text{ °C}$  y  $-10,0\text{ °C}$ . Presenta un olor acre e irritante a concentraciones superiores a 3 ppm.

Es 2,2 veces más pesado que el aire, a pesar de lo cual se desplaza rápidamente en la atmósfera. Es un gas estable.

El  $\text{SO}_2$  es muy soluble en agua (11,3 g en  $100\text{ cm}^3$  a  $20\text{ °C}$ ) . La disolución contiene los iones  $\text{SO}_3\text{H}^-$  y  $\text{SO}_3^{-2}$  por lo que es conductora de la corriente eléctrica.

En contaminación atmosférica, la propiedad más notable del  $\text{SO}_2$  es su poder reductor, sufriendo la acción de oxidantes diversos ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{PbO}_2$ ) y la propia acción del oxígeno atmosférico.

#### **b) Fuentes de emisión.**

##### **➤ Fuentes naturales**

Los gases volcánicos contribuyen con alrededor de un 20% al total de  $\text{SO}_2$  , de la atmósfera.

##### **➤ Fuentes artificiales:**

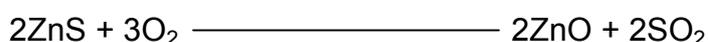
Producción energética y térmica, derivado del consumo de combustibles que contienen azufre. El S es un elemento que se encuentra presente en diversas proporciones en una gran parte de los combustibles fósiles, tanto sólidos como líquidos.

El azufre de los combustibles, procede del azufre presente en las proteínas de la materia viva (plantas y organismos marinos) que existieron en el pasado y que al fosilizarse dieron origen al combustible. El azufre de las proteínas sobrevivió al proceso de carbonización y se convirtió en una parte del combustible resultante.

Los combustibles líquidos y gaseosos, no presentan los mismos problemas de emisión de SO<sub>2</sub>, que el carbón, pues la mayor parte del azufre nocivo se elimina durante el procesamiento del gas natural y durante el refinado del petróleo. De ahí, que los vehículos, con sus carburantes de petróleo refinado, no constituya una fuente grave de contaminación de SO<sub>2</sub>. La tecnología disponible para la eliminación del azufre depende del estado gaseoso o líquido del carburante, y no es fácilmente transferible a los sólidos. En la actualidad se está investigando mucho con el fin de descubrir formas económicas y efectivas de eliminar el azufre del carbón.

- Procesos de elaboración industrial. -La contaminación industrial por SO<sub>2</sub> procede a menudo de las operaciones de fundición, porque muchos elementos útiles se presentan normalmente en forma de sulfuros. Las gangas sulfurosas, por ejemplo, constituyen fuentes de cobre (CuFeS<sub>2</sub> y Cu<sub>2</sub>S), Cinc (ZnS) y plomo (PbS). La mayor parte de las gangas sulfurosas se concentran y luego se tuestan en presencia de aire, con el fin de convertir los sulfuros en óxidos, que se reducen con mayor facilidad.

Algunas reacciones típicas de esta categoría son:





### ➤ Concentraciones medias

Los niveles medios de inmisión de  $\text{SO}_2$  presentan variaciones estacionales, siendo muy superiores en el período invernal, por el mayor consumo de combustibles.

En los últimos años, se ha registrado una disminución de estos niveles, a causa de la disminución del contenido en azufre de los combustibles utilizados.

### Destino del $\text{SO}_2$ atmosférico

Cuando se estudia la repercusión en el mundo de los contaminantes atmosféricos, es importante identificar el destino de cada especie en la atmósfera. Para explicar, por ejemplo, las concentraciones de contaminantes observados en el mundo, debemos saber cuanto tiempo permanecen en la atmósfera una especie antes de ser eliminada o transformada en una especie diferente por reacción química.

El destino de  $\text{SO}_2$  en la atmósfera es su oxidación o su deposición. La oxidación puede tener por vía homogénea o heterogénea (acuosa o en partículas) siendo más efectiva la oxidación heterogénea.

La deposición del  $\text{SO}_2$  puede ser seca o húmeda. La seca comprende la absorción del  $\text{SO}_2$  en el agua y la adsorción en materiales y la incorporación al metabolismo de plantas. La deposición seca del  $\text{SO}_2$  es muy efectiva. La deposición húmeda incluye la incorporación del  $\text{SO}_2$  a nubes o el arrastre por agua de lluvia.

La retención en nubes incluye todos los procesos que tienen lugar en el interior de las nubes y que contribuyen a la eliminación de diversas especies

atmosféricas; mientras que el arrastre por agua de lluvia consiste en el proceso de eliminación directo de estas mismas especies, por la caída de la precipitación.

#### **4.2.- Trióxido de azufre**

##### ➤ Propiedades

Es un gas incoloro y muy reactivo que puede condensarse fácilmente hasta formar un líquido (Punto de ebullición = 44,8 °C). En condiciones normales no se encuentra  $\text{SO}_3$  en la atmósfera debido a que reacciona rápidamente, con la humedad, formando  $\text{SO}_4\text{H}_2$

Altamente oxidante, es reducido por el hidrógeno y el platino.

##### b) Fuentes de emisión

La combustión de cualquier sustancia que contenga azufre, producirá  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ . La cantidad relativa de óxidos superior e inferior formados no depende demasiado de la cantidad de oxígeno presente (a diferencia de los óxidos de carbono). El dióxido siempre se forma en cantidades superiores en las condiciones de cualquier combustión. La cantidad de  $\text{SO}_3$  producida depende de las condiciones de la reacción, especialmente de la temperatura y oscila entre el 1% y el 10% de los óxidos de azufre producidos.

Su origen principalmente está en dos causas:

- Oxidación homogénea del  $\text{SO}_2$
- Descomposición de los sulfatos presentes en los combustibles.

De ellas, la oxidación homogénea del  $\text{SO}_2$  es la principal, por lo que podemos considerar el  $\text{SO}_3$  como contaminante secundario.

### 4.3.- Sulfuro de hidrógeno

a) Fuentes de emisión:

➤ Naturales

- Descomposición de materia orgánica.- Los pantanos, turberas y lodazales de marea son particularmente emisores de  $\text{SH}_2$
- Erupciones volcánicas.- La actividad volcánica genera cierta cantidad de  $\text{H}_2\text{S}$ , pero a nivel mundial es despreciable si se compara con los procesos de descomposición biológica.

➤ Artificiales.-

- Combustiones mal regladas.- Cuando la combustión se efectúa con defecto de oxígeno, el azufre de los combustibles fósiles se transforma en  $\text{SH}_2$ , al mismo tiempo que el carbono en  $\text{CO}$ .
- Procesos industriales.- Tales como procesado Kraft del papel, plantas de agua residuales, hornos de coquización y fabricación de acero.

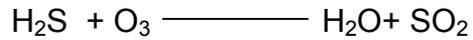
#### Destino del $\text{H}_2\text{S}$ atmosférico

El  $\text{H}_2\text{S}$  es emitido a la atmósfera por fuentes naturales en grandes cantidades. El  $\text{SH}_2$  se oxida rápidamente a  $\text{SO}_2$ . De hecho, de todas las moléculas de  $\text{SO}_2$  presentes en el aire en un momento determinado, hasta un 80% fueron inicialmente emitidas bajo forma de  $\text{H}_2\text{S}$  y luego transformadas en  $\text{SO}_2$

El  $\text{SH}_2$  puede ser oxidado por el oxígeno atómico y molecular y por el ozono.

El ozono es tanto un componente natural de la estratosfera como un componente de las atmósferas urbanas.

La reacción de oxidación del H<sub>2</sub>S , considerada como la más importante es la que ocurre entre H<sub>2</sub>S y O<sub>3</sub>



Esta reacción es muy lenta en fase gaseosa, pero puede ser mucho más rápida en la superficie de las partículas presentes en el aire. Se estima que la vida de 1 ppb de SH<sub>2</sub> expuesto a 0,05 ppm de O<sub>3</sub> en presencia de 15000 partículas/cm<sup>3</sup> es de 2 h.

El ritmo de oxidación del SH<sub>2</sub> en gotitas de niebla o nubes es muy rápida.

En general, la vida de una molécula de SH<sub>2</sub> antes de transformarse en SO<sub>2</sub> es del orden de algunas horas.