

Emisiones de dióxido de azufre (SO₂): Origen, características y disminución

Mario König



Importancia del SO₂ en el contexto de la PDA



DECRETO 49 (2016):

PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LAS COMUNAS DE TALCA Y MAULE

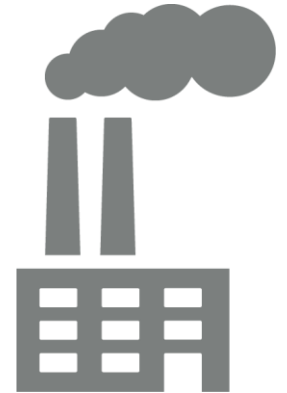
Capítulo 1 artículo 1 párrafo 6:

„Es importante señalar, que el material particulado fino (MP2,5) puede ser emitido directamente al aire, lo que se conoce como material particulado fino primario, o puede formarse por reacciones químicas entre contaminantes gaseosos precursores de material particulado, tales como SO₂ y NO_x principalmente, que se conoce como material particulado fino secundario. El material particulado fino secundario se forma tanto por la condensación de gases enfriados después de su emisión, que se añaden a partículas ya existentes y se van combinando entre sí para formar conglomerados de mayor tamaño, como también mediante la formación de gotas de nubes o neblina, a las cuales los gases condensados sirven de núcleos.”

Origen de emisiones de SO₂



- Las emisiones de azufre pueden surgir de procesos naturales como erupciones volcánicas o la quema de combustibles sulfurados o la tostación de minerales sulfurados para la extracción de metales.
- El contenido de azufre en el combustible y las emisiones de SO₂ están correlacionados.
- Combustibles sulfurados:
 - Combustibles fósiles: carbón, petróleo (fuelóleo), gasolina
 - Biomasa: biogás, biomasa sólida no leñosa, leña
- Contenido de azufre en distintos combustibles:
 - Carbón: tiene el mayor contenido de azufre (0,4% hasta 3%).
 - Fuelóleo pesado máx. 1%, fuelóleo bajo en azufre máx. 0,1% (UE).
 - Gasolina: está limitado a un máximo de 50 ppm en Chile.
 - Biogás: el sulfuro de hidrógeno se elimina para evitar daños en el motor.
 - Biomasa sólida: Residuos agrícolas hasta 0,3%, leña 0,01% hasta 0,05%

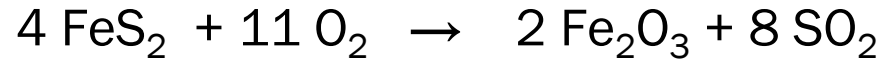


Formación de SO₂

- Durante la combustión:



- Oxidación de sulfuros metálicos:

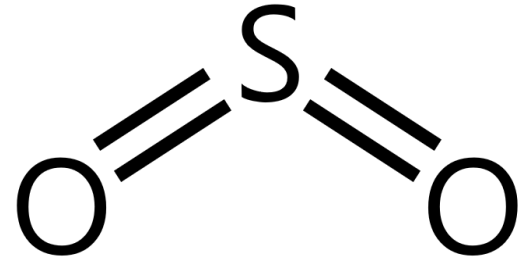


- Formación de sulfuro de hidrógeno a través de la degradación microbiana de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (biogás), oxidación de H₂S:



Características del dióxido de azufre

- Anhídrido del ácido sulfuroso H_2SO_3
- Gas tóxico e incoloro que irrita las membranas mucosas
- Tiene un olor acre y un sabor agrio
- Soluble en agua, forma ácido sulfuroso con agua
- Fórmula molecular: SO_2
- Masa molar: 64,066 g/mol
- Punto de ebullición: $-10\text{ }^\circ\text{C}$
- Punto de fusión: $-72\text{ }^\circ\text{C}$



Efectos del SO₂ en la salud

- El dióxido de azufre es un gas ácido irritante y afecta principalmente a las membranas mucosas de las vías respiratorias y los ojos. El efecto puede aumentar significativamente si el SO₂ se convierte en sulfato o ácido sulfúrico.
- En concentraciones más elevadas, el SO₂ provoca irritaciones locales graves: conjuntivitis dolorosa, aumento de la secreción nasal, tos y aumento de la expectoración (flema). La bronquitis y la traqueítis (inflamación de la tráquea) también pueden ser provocadas como efecto directo sobre las vías respiratorias.
- Las altas concentraciones de SO₂ son muy problemáticas para las personas con vías respiratorias dañadas y para las personas enfermas y ancianas con un sistema cardiovascular debilitado.



Medidas para reducir el SO₂ de combustión



Medidas primarias para evitar las emisiones de azufre

- Reducción del contenido de azufre en el combustible mediante la eliminación de los compuestos de azufre antes de la combustión:
 - Hidrodesulfuración de productos petrolíferos (reacción de los compuestos de azufre con hidrógeno)
 - Filtros de carbón activado para la desulfuración del biogás (antes de combustión)
 - Uso moderado de fertilizantes con bajo contenido en azufre en los cultivos
 - Lixiviación de residuos biogénicos (paja arrastrada por la lluvia)
 - Mezcla con combustibles bajos en azufre para reducir el contenido total en el combustible
- No es posible aplicar medidas primarias a la tecnología de la planta de combustión.

Medidas secundarias para la reducción las emisiones de azufre

- Incineradores modernos como centrales eléctricas y las plantas de incineración de residuos tienen plantas de desulfuración y desnitrificación
- El SO₂ puede separarse de una corriente de gas mediante adsorción física o química en sólidos o mediante absorción química en un líquido. Existen numerosos procesos de desulfuración.

Medidas para reducir el SO₂ de combustión



Desulfuración de gases de escape

no regenerable

húmedo

- Oxidación forzada de la caliza
- Oxidación inhibida de la caliza
- Calcio
- Calcio mejorado con magnesio
- Agua del mar

seco

- Secado por pulverización de calcio
- Inyección de absorbente en conductos
- Inyección de absorbente en horno
- Lecho fluidizado circulante

regenerable

húmedo

- Sulfitos de sodio
- Óxido de magnesio
- Carbonato sódico
- Aminas

seco

- Carbón activado

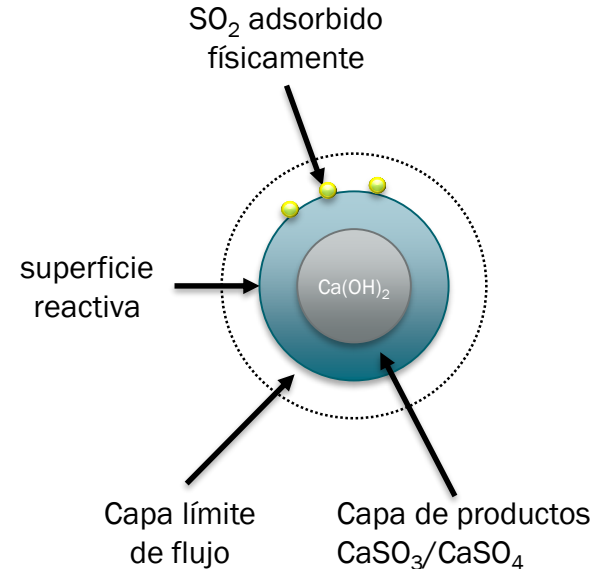
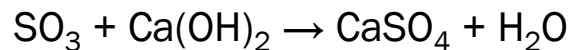
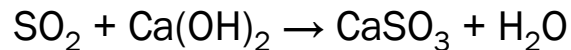
Sorción seca

Adsorción física

- Los contaminantes gaseosos se unen a la superficie de los poros de pequeñas partículas sólidas por fuerzas de Vander-Waals y fuerzas dipolares.

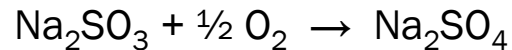
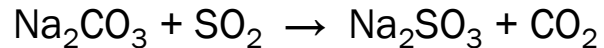
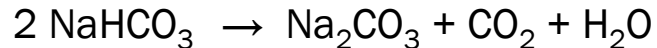
Adsorción química

- Se produce una reacción entre el contaminante y el adsorbente en la superficie de los poros. Un ejemplo es la adsorción de azufre sobre hidróxido de calcio.



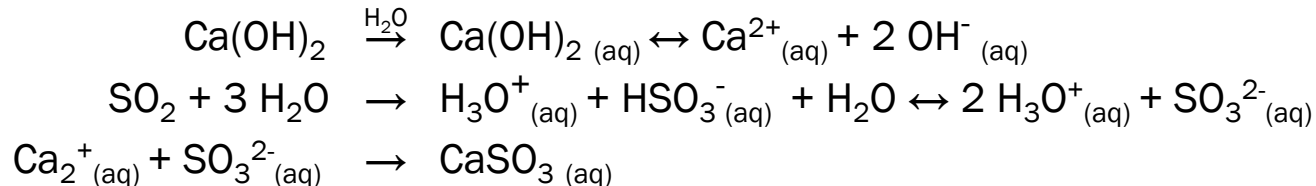
Adsorción seca con bicarbonato de sodio

- El bicarbonato de sodio (NaHCO_3) permite la aplicación de una técnica puramente seca, ya que permite obtener un buen resultado de reducción para HCl y SO_2 a temperaturas comparativamente altas e independientemente de la humedad de los gases.
- A temperaturas $> 140^\circ\text{C}$, el bicarbonato de sodio se descompone en carbonato de sodio (NaCO_3), dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O):



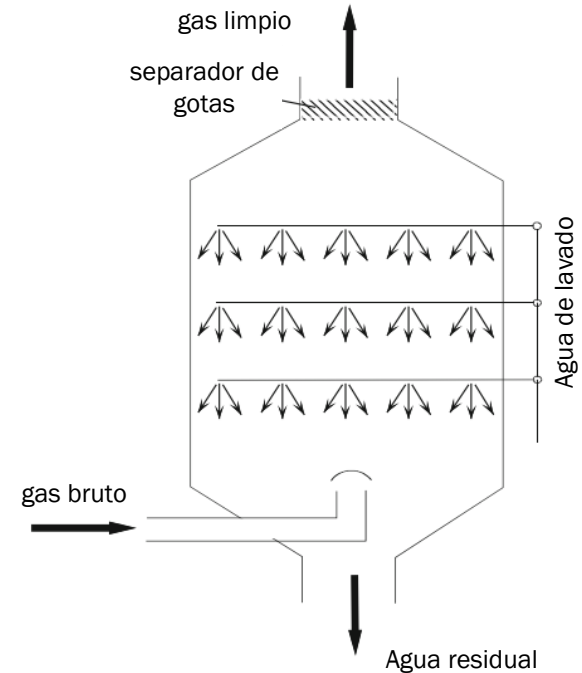
Sorción seca condicionada con hidróxido de calcio

- La deposición sobre el calcio se ve mejorada por una capa de hidrato que se forma alrededor (y dentro de los poros) de las partículas de calcio y resulta del H₂O contenido en los gases.
- Los procesos de absorción y adsorción se desarrollan en paralelo.
- El aumento de la temperatura de los gases de combustión provoca una reducción de la separación del SO₂ debido a la reducción de la humedad → aumento de la humedad relativa mediante la reducción de la temperatura de los gases de combustión a 130 - 150 °C.
- La reducción de la temperatura o el aumento de la humedad relativa pueden realizarse mediante un economizador o una torre de refrigeración.



Absorción con separador de gotas (Scrubber)

- Los gases de escape se conducen en contracorriente a un flujo de agua de lavado desde abajo hacia arriba.
- La separación de los contaminantes gaseosos (SO_2 o HCl) se produce por absorción en las gotas de agua.
- Se produce una solución salina de lavado que se recircula y después se purifica por neutralización.
- Los aditivos alcalinos pueden aumentar la eficacia de la separación.
- Más caros que los procesos en seco, pero pueden conseguirse altas eficiencias de separación.



- Concentraciones relevantes de SO_2 en los gases de combustión procedentes de la combustión de combustibles fósiles y biomasa no leñosa.
- El SO_2 es un precursor del $\text{MP}_{2,5}$ y un gas tóxico que puede causar daños a la salud.
- Existen varios métodos para la desulfuración de gases de escape: secos, semi-secos y húmedos, generativos y no generativos.
- En la sorción seca condicionada con hidróxido de calcio los procesos de absorción y adsorción se desarrollan en paralelo con una buena reducción del SO_2 en el intervalo de temperaturas de 130 - 150 °C.
- Los sorbentes a base de calcio son los más utilizados porque son baratos y suficientemente eficaces; el hidróxido de sodio es más caro, pero presenta varias ventajas en cuanto a las condiciones de los gases de escape y la tasa de captura.



Smart Bioenergy – Innovations for a sustainable future

Contact:

Mario König

Tel.: +49 341 2434 569

E-Mail: mario.koenig@dbfz.de

**DBFZ Deutsches
Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH**

Torgauer Straße 116

D-04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434-112

E-Mail: info@dbfz.de

www.dbfz.de