

## XI. CONCLUSIONES

### 11.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los agentes contaminantes que producen alteraciones al medio ambiente se generan principalmente como desechos de las actividades que realiza el hombre para satisfacer sus necesidades.
- Una mayor regulación y normas más estrictas sobre las emisiones garantizan una tendencia hacia el equilibrio ecológico.
- En nuestro país, es común que no se le dé tratamiento a los gases de proceso y, la investigación sobre sistemas descontaminantes de gases de combustión es aún incipiente.
- La combustión en procesos industriales, de carbón y de petróleo que contienen impurezas de azufre, principalmente en la generación de energía eléctrica y fábricas, desprende el contaminante  $\text{SO}_2$  en grandes cantidades.
- Conociendo previamente la composición del combustible, y por medio de un análisis de Orsat, entre otros, es posible determinar, estequiométricamente, la composición de los gases provenientes de la combustión.
- Los productos de la combustión generalmente contienen anhídrido carbónico,  $\text{CO}_2$ ; óxido de carbono,  $\text{CO}$ ; oxígeno, nitrógeno, carbono libre, vapor de agua, anhídrido sulfuroso,  $\text{SO}_2$ ; cenizas y compuestos hidrocarbonados.
- En la práctica, las proporciones estequiométricas no dan lugar a una reacción de combustión completa; por ello, es necesario agregar una cantidad adicional o exceso de aire, a fin de lograr la oxidación total del combustible; evitando así la generación de óxidos de carbono, hidrógeno e hidrocarburos saturados.
- Entre los distintos agentes contaminantes del aire, clasificados como partículas,  $\text{CO}$ , hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, la eliminación del  $\text{SO}_2$  y de los  $\text{NO}_x$  de los gases producto de combustión, son un aspecto ecológico importante.
- Los efectos de la contaminación del aire son de tipo físico, químico y biológico, que afectan a los seres humanos, animales, vegetales y materiales; pero quizá debido al alto costo que implica la reducción de compuestos contaminantes, en nuestro país no se lleva a cabo un buen control de éstos.

Para el control de las emisiones gaseosas, existen cuatro operaciones unitarias de la ingeniería química que pueden ser utilizadas: absorción, adsorción, combustión y condensación, y algunas operaciones mecánicas como separación, filtración, etc.

- Es necesario encontrar dispositivos o sistemas que permitan, de manera económica, discretizar la contaminación de los gases de combustión. En este sentido, se realizó el diseño y la construcción de un sistema de lavado y purificado de gases de combustión, consistente, principalmente, de dos columnas de absorción y un filtro de adsorción.
- Por medio de una separación por absorción en columnas empacadas, es posible realizar la transferencia de materia de los compuestos indeseables de los gases de combustión ( $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ ) hacia la fase líquida, con la consiguiente discretización de la contaminación.
- De acuerdo al procedimiento general de diseño de columnas absorbedoras, se determinó emplear dos torres empacadas con anillos de Pall, así como las condiciones a las que puede trabajar el equipo (flujos adecuados y grado de eliminación de contaminantes) de acuerdo a la altura y diámetro de las torres, trabajando básicamente a presión atmosférica y 25 °C.
- Se sugiere agregar al sistema un método de tratamiento del agua residual, ya sea químico o biológico, para minimizar más el problema ecológico.
- Se propone integrar al sistema un filtro de carbón activado, cuya función adsorbadora permita lograr una limpieza y purificación más completa de los gases de combustión, mediante la separación de sólidos y la adsorción de compuestos orgánicos.
- El diseño de la torre empacada con carbón activado es un trabajo a desarrollar a futuro, en el que se demostrará el efecto químico y físico de esta torre, así como la determinación de las propiedades de los catalizadores sólidos, con la correspondiente obtención de parámetros de operación.
- La planta piloto de lavado y purificación de gases construida en el laboratorio de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora, se sujeta, en lo posible, al diseño; quedando aún pendiente la adquisición del equipo de instrumentación.
- La función principal de la planta piloto será la de llevar a cabo experimentación e investigación de variables y parámetros fisicoquímicos, que arrojen información sobre la aplicación de este sistema a nivel industrial, además de que permitirá desarrollar prácticas en laboratorio de: absorción, adsorción, transferencia de calor y mecánica de fluidos, entre otras.
- A fin de realizar un escalamiento confiable a nivel industrial de la información obtenida, se propone apoyar el diseño y la operación de la planta piloto con técnicas de simulación.

La validez del diseño del sistema quedará comprobada cuando se realicen las pruebas experimentales, una vez que se concluya la construcción.

- El sistema presenta la oportunidad de integrar equipo que funcione como un nuevo proceso, como cristalización, evaporación y electrólisis, lo cual ampliaría sus aplicaciones.

## 11.2 ACLARACIONES Y CONSIDERACIONES

- Se determinó la composición de los gases de combustión por estequiometría, productos de la reacción de oxidación de un combustible residual de composición conocida. Se supuso combustión completa, añadiendo un 10 % de exceso de aire. Los productos fueron:  $\text{CO}_2$ , agua, oxígeno, nitrógeno y  $\text{SO}_2$ .
- En el sistema de enfriamiento se bajará la temperatura de los gases a un punto inferior a la temperatura de rocío del vapor de agua contenido en la mezcla, por lo que ocurrirá la condensación de éste. Considerando como sistema de enfriamiento el empleo de un intercambiador de calor con purga, los gases saldrán de éste casi secos.
- Para los cálculos del diseño de las columnas absorbedoras se considera la composición en base seca de los gases de combustión.
- Para propósitos de cálculo, se consideró la absorción de un sólo componente, el  $\text{SO}_2$ , debido a la baja solubilidad que presentan los demás componentes de la mezcla gaseosa en el agua.
- El flujo de circulación del agua se determinó para 1.5 veces el mínimo.
- En el balance de materia no se consideraron fugas de los fluidos ni pérdidas de agua por evaporación o arrastre. Tampoco se tomó en cuenta el aire que entra por la rejilla al soplador, ya que no se conoce su cantidad y además, el aire será "inerte" en esa parte del proceso.
- El diseño de las columnas absorbedoras se ajustó a las características de los materiales con los que inicialmente se contaba, es decir, material de empaque y dimensiones de la torre.
- La construcción se realizó de acuerdo a las posibilidades del laboratorio del Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora.

- La instrumentación que se propone es la mínima necesaria, quedando susceptible a incluir instrumentos adicionales.
- El sistema de instrumentación propuesto permitirá enviar las señales registradas por los sensores del proceso hacia un software de adquisición de datos por computadora.
- El costo total de la planta piloto no se determinó, pero con el auxilio de la simulación se puede lograr una optimización en los costos.