

Tratamiento de los gases de combustión por haces electrónicos

Informe sobre el uso de la irradiación para proteger el medio ambiente

por Vitomir Markovic

El uso creciente del carbón en las centrales eléctricas y la industria genera graves problemas ambientales debido a la liberación de gases tóxicos, dióxido de azufre (SO_2) y óxido de nitrógeno (NO_x) en la atmósfera. El efecto inmediato y a largo plazo en forma de "lluvia ácida" crea un problema ambiental de una amplia escala geográfica, lo que ocasiona problemas y controversias internacionales.

Las normas y los reglamentos nacionales sobre los límites de emisión se están haciendo cada vez más estrictos, ya que han aumentado el interés en la protección del medio ambiente y la presión internacional por reducir y eliminar el efecto devastador de la lluvia ácida. En algunos países se están invirtiendo cuantiosas sumas en tecnologías que reducen la contaminación de la atmósfera por los gases de combustión.

La nueva tecnología del tratamiento por haces electrónicos ha demostrado sus posibilidades para:

- Mejorar la calidad de la atmósfera y eliminar los problemas vinculados a la lluvia ácida, reduciendo la emisión de SO_2/NO_x en un proceso de etapa única.

- Transformar los componentes tóxicos de los gases de combustión en un derivado de valor comercial como fertilizante agrícola o acondicionador de suelos.

La tecnología de tratamiento por irradiación es fiable y sencilla de instalar, utilizar y controlar, y ofrece seguridad al personal que la explota y al medio ambiente. Su funcionamiento no produce *ningún tipo de radiactividad* y cuando se desactiva, no queda *ninguna radiación residual*.

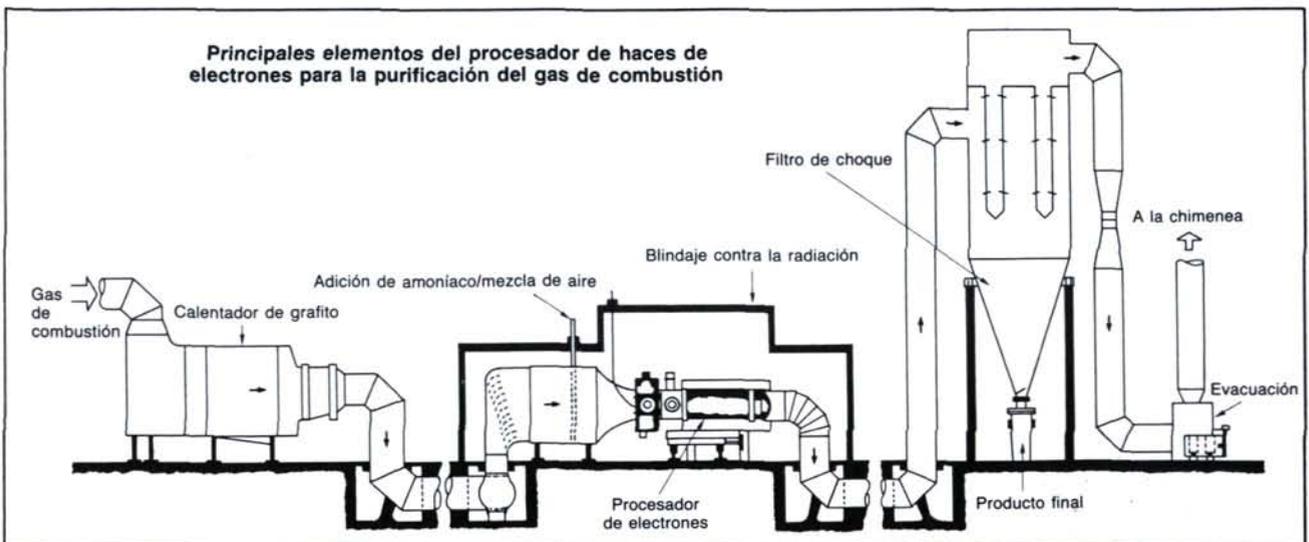
Eliminación convencional de SO_2 y NO_x

La técnica convencional en que se emplea el equipo conocido como purificador elimina con eficacia el SO_2 de los gases de combustión. Con todo, los procesos de eliminación del SO_2 por vía seca, semi-seca o a base de cal, producen derivados *sin ningún valor comercial* que plantean otros problemas adicionales de evacuación de desechos. El proceso de cal húmeda con oxidación forzada produce como derivado yeso de valor comercial, aunque existe cierta incertidumbre en cuanto al posible tamaño del mercado.

La eliminación de los gases de NO_x se realiza mediante un proceso independiente denominado reducción selectiva catalítica (SCR), en que se utiliza reactivo de amoníaco para transformar los óxidos de nitrógeno en nitrógeno atmosférico.

Aún no se han elaborado métodos químicos fiables para la eliminación simultánea del SO_2 y del NO_x en un proceso de etapa única.

El Sr. Markovic es funcionario de la Sección de Química y Aplicaciones Industriales de la División de Ciencias Físicas y Químicas del OIEA. Su examen se basa en gran medida en la información suministrada en la reunión de consultores del OIEA "Tratamiento de los gases de combustión por haces electrónicos", celebrada en Karlsruhe (República Federal de Alemania), del 27 al 29 de octubre de 1986.



Tratamiento de los gases de combustión por irradiación

La irradiación de alta energía ioniza y excita las moléculas y los átomos lo que da lugar a la formación de radicales libres, iones y moléculas muy reactivas en estado de excitación. Estas pueden reaccionar entre sí, con el oxígeno y el agua presentes en el sistema, o bien con algún componente químico que se añade intencionalmente al sistema, lo que da productos que pueden precipitarse y reunirse por medios adecuados. Estos procesos se han utilizado como base para el purificador de gases por haces electrónicos creado por primera vez por la Ebara Manufacturing Corporation del Japón. El proceso se comprobó a nivel de laboratorio de 1970 a 1974 y a escala experimental durante 1977 y 1978, primero en la modalidad discontinua y más tarde en un aparato reactor continuo. La planta experimental (con una capacidad de 10 000 metros cúbicos de nitrógeno por hora) se construyó y ensayó en la Nippon Steel Works en cooperación con Ebara y el Establecimiento de Investigación en Radioquímica de Takasaki del Instituto Japonés de Investigaciones sobre la Energía Atómica (JAERI).

Con el apoyo del Departamento de Energía de los Estados Unidos, Ebara ha desarrollado además un proceso para la purificación de gases de combustión por haces electrónicos. Este denominado "proceso Ebara" se basa en la irradiación de los gases de combustión provenientes de calderas de combustible de carbón o hidrocarburos en presencia de amoníaco. Como resultado de ello, los gases de SO₂ y NO_x se eliminan simultáneamente con una gran eficiencia fácilmente controlada, que puede alcanzar el 100% en el caso del SO₂ y del 85% al 90% para el NO_x. Además, su derivado (90% de sulfato y nitrato de amonio) tiene valor comercial y puede emplearse como fertilizante o acondicionador de suelos en general.

Este proceso se está comprobando en una planta experimental de demostración a gran escala (PDU) instalada en la Indianapolis Power and Light Company de Indianápolis, Indiana (Estados Unidos). La PDU, que comenzó a funcionar en 1985, tiene como propósito principal demostrar la viabilidad del proceso y analizar el subproducto desde el punto de vista de su aprovechamiento como fertilizante para la agricultura.

Otra planta de demostración se está ensayando actualmente por Badenwerk AG, Karlsruhe (República Federal de Alemania). La planta comenzó a funcionar en diciembre de 1985. (Véase foto anexa).

Los resultados más importantes logrados por estas plantas de demostración son los siguientes:

- Prueba de que el proceso de haces electrónicos resulta apropiado para purificar los gases de combustión.
- Prueba de que el proceso puede eliminar más del 90% del SO₂ y hasta el 90% del NO_x de los gases de combustión generados por la combustión de carbón de bajo y alto contenido de azufre.
- Prueba de que el equipo comercial de haces electrónicos puede emplearse en condiciones de seguridad y con una alta fiabilidad en el entorno de la central eléctrica.

Las actuales plantas de demostración se han comprobado con caudales de gas de combustión equivalente a 3 o 5 MW de energía eléctrica. Existe la opinión generalizada de que resulta técnica y económicamente viable

ampliar el proceso a una escala de 10 a 20 veces superior.

Las ventajas del proceso de haces electrónicos en comparación con los procesos químicos pueden resumirse de la manera siguiente:

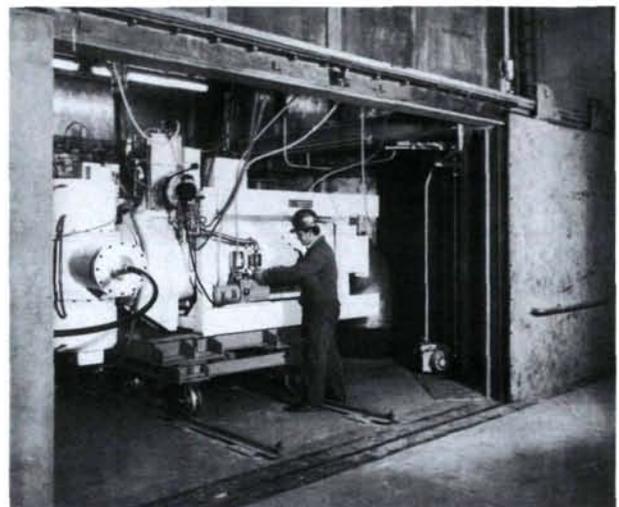
- Elimina simultáneamente el SO₂ y el NO_x en una etapa única, con un solo elemento de equipo y con un solo reactivo.
- Puede satisfacer los requisitos más estrictos en cuanto a eficiencia de eliminación.
- No produce ningún desecho que tenga que ser evacuado.
- Es un proceso por vía seca (bajo costo de mantenimiento).
- No requiere recalentamiento del gas de combustión.
- Es sencillo y seguro de operar y mantener.

Las desventajas más importantes son:

- Alto costo del amoníaco añadido en el proceso, que puede ser prohibitivo para algunos países (en especial si hay que importarlo).
- Posibilidad limitada para el uso del subproducto como fertilizante, en particular en zonas de suelos fundamentalmente ácidos.

Los aceleradores de haces electrónicos en la gama de energía de 300 a 800 kilovoltios (kV) se utilizan como fuentes de irradiación para el tratamiento de los gases de combustión. Para esta aplicación es probable que no se requieran niveles superiores de energía, ya que la penetración de los electrones en los gases es suficientemente alta con energías inferiores a 1000 kV. Asimismo, la experiencia ha demostrado que la distribución de dosis y la falta de homogeneidad no plantean un serio problema. En lo que concierne a los aceleradores de haces electrónicos, los problemas principales que hay que resolver son la fiabilidad, la eficiencia de transformación de la energía y la disponibilidad de unidades de potencia superior. La tecnología de fabricación del acelerador de haces electrónicos se halla actualmente en un estado en que los requisitos de eficiencia industrial armonizan con la fiabilidad del funcionamiento. Los niveles de energía y potencia de los aceleradores con que

Este acelerador de electrones de demostración se halla en Badenwerk AG, Karlsruhe (República Federal de Alemania). Obsérvese la cabina blindada. (Cortesía de Badenwerk AG)



se cuenta en la actualidad están en la gama de 300 kV/300–500 kilovatios (kW), y 600–800 kV/120–240 kW. Estos valores son adecuados en las configuraciones de módulos múltiples para calderas de baja a mediana potencia (hasta aproximadamente 100 MW(e)). El aumento a una escala superior requeriría un gran número de aceleradores o la creación de unidades de potencia muy alta (1000 kW o más).

Eficacia en función de los costos del proceso de haces electrónicos

En un estudio exhaustivo efectuado en los Estados Unidos en 1983, se llegó a la conclusión de que el proce-

so de haces electrónicos es marginalmente competitivo con los purificadores convencionales para la desulfuración de los gases de combustión. Los factores decisivos son el costo del amoníaco y el valor comercial del subproducto, los cuales pueden variar significativamente de un país a otro. No obstante, se llegó a la conclusión de que si es preciso eliminar tanto el SO₂ como el NO_x, el proceso de haces electrónicos resulta muy competitivo si se combina con procesos químicos convencionales.

Las plantas de demostración de los Estados Unidos y la República Federal de Alemania han confirmado la viabilidad económica del proceso y han generado una cantidad suficiente de datos que se pueden evaluar desde el punto de vista económico.

La contaminación de la atmósfera por los gases de combustión—"lluvia ácida"

Desde hace tiempo se ha reconocido que la emisión en la atmósfera de gases SO₂ y NO_x provenientes de las calderas de carbón y petróleo de las centrales eléctricas y las instalaciones industriales ha sido una de las principales fuentes de contaminación ambiental. Los efectos pueden ser inmediatos en una zona limitada, y puede provocar enfermedades respiratorias crónicas, problemas cardiopulmonares, y el deterioro del medio ambiente. (Se ha estimado que en los Estados Unidos la contaminación de la atmósfera podría provocar aproximadamente 10 000 muertes y unos 25 millones de casos de enfermedades respiratorias al año.)

El efecto que se produce a largo plazo, a una gran escala geográfica, es consecuencia de la conversión fotoquímica de los gases tóxicos presentes en la atmósfera en ácido sulfúrico y nítrico, que descienden en forma de "lluvia ácida". La lluvia ácida produce como efecto ecológico la devastación de los bosques, de la flora del suelo, y la acidificación de los lagos. Se han dado a conocer graves daños en los bosques de los Estados Unidos y Europa (hay ejemplos típicos en la República Federal de Alemania, donde han quedado destruidas grandes zonas boscosas en las regiones del Rin septentrional/Westfalia y Baden Württemberg, por ejemplo). El problema no se limita al mundo industrializado. También se produce en los países en desarrollo que dependen en gran medida del uso del carbón para la generación de energía. Con frecuencia se tiene conocimiento de la existencia de lluvia ácida, por ejemplo, en la zona suroeste y en la costa oriental de China. En la India, muchas ciudades grandes y grandes extensiones de terreno se ven seriamente afectadas por la contaminación del aire.

La magnitud del problema, que no conoce fronteras, se ilustra mejor con las cifras relativas a las emisiones de gases. Una sola central eléctrica con una potencia de 500 MW puede consumir aproximadamente de 250 a 300 toneladas de carbón por hora. Según el contenido de azufre (que oscila entre 0,2% y el 2% e incluso hasta el 10%), la emisión de SO₂ podría ser del orden de decenas de toneladas por hora. Se ha estimado que en los Estados Unidos solamente, hasta 1990 las compañías eléctricas y las calderas de las industrias liberarán en la atmósfera más de 50 millones de toneladas de gases de SO₂ y NO_x anualmente.

Reglamento en materia de contaminación y posibilidades de mercado para las tecnologías de purificación de gases de combustión. Los reglamentos sobre los niveles admisibles de SO₂ y NO_x en los gases de combustión varían ampliamente según los países. El más estricto se aplica en la República Federal de Alemania (RFA) cuyo ejemplo siguen muchos países europeos. La legislación alemana exige que para mediados de

1988 todas las calderas con una potencia superior a 110 MW(e) se readapten a posteriori con sistemas de control de SO₂ (con un 85% de eficiencia de eliminación). Actualmente funcionan o se están instalando más de 100 unidades. Para 1993 otra categoría de calderas con potencia comprendida entre 35 y 110 MW(e) tendrá que cumplir el reglamento. En la RFA solamente, unas 370 calderas corresponden a esta categoría.

En 1984 se establecieron límites muy rigurosos sobre el NO_x en el país. En consecuencia, durante el período 1988–1990 varios centenares de unidades tendrán que readaptarse a posterior en lo que respecta a la capacidad de eliminación del NO_x.

En Austria, Suiza, Italia, los Países Bajos, Dinamarca, Finlandia, Suecia y la Comunidad Económica Europea se han impuesto o propuesto importantes reglamentos respecto de la eliminación de SO₂ y NO_x, lo que ha llevado a la adopción de medidas en todo el continente para reducir la contaminación ambiental.

El reglamento promulgado en los Estados Unidos respecto del SO₂ se orienta más hacia las nuevas fuentes que hacia las existentes, y los límites de NO_x se establecen de modo que pueda controlarse este gas en la caldera. La India y China también han introducido legislaciones que exigirán la instalación de sistemas para la eliminación de SO₂ y NO_x.

Las actuales legislaciones y tendencias crean un enorme mercado para las tecnologías capaces de controlar la concentración de componentes tóxicos en los gases de combustión.

Los países manifiestan creciente interés en el tratamiento por irradiación. El uso de la tecnología de tratamiento por irradiación para combatir la contaminación ambiental proveniente de las plantas de carbón y petróleo atrae cada vez más a los Estados Miembros del OIEA. Varios países han solicitado información al Organismo sobre el estado de desarrollo y las aplicaciones de esta tecnología. En consecuencia, se convocó a un grupo de expertos para evaluar la actual situación de la tecnología y recibir recomendaciones en cuanto a las medidas que el Organismo deberá adoptar en el futuro para su promoción y transferencia. Esta reunión de consultores sobre el tratamiento de los gases de combustión por haces electrónicos a la que asistieron 55 participantes de 13 Estados Miembros, se organizó y celebró en Karlsruhe (República Federal de Alemania), del 27 al 29 de octubre de 1986. Se prevé que el Organismo publique los trabajos presentados en la reunión. Las recomendaciones formuladas al OIEA en la reunión estuvieron asociadas a las actividades encaminadas a promover la difusión de información, la transferencia de tecnología, y el apoyo para la futura labor de investigación y desarrollo.