

# Tratamiento de los gases de combustión por haces electrónicos: Purificación del aire

*Normas ambientales más estrictas exigen un sistema que elimine simultáneamente el SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> procedentes del quemado de combustibles*

**E**n el transcurso de los últimos cinco años han ocurrido muchas novedades que permiten establecer las premisas económicas y ambientales de lo que podría ser una tecnología de las radiaciones oportuna: el tratamiento mediante haces electrónicos para la eliminación de los contaminantes procedentes de los gases de combustión.

- Los estudios han indicado que el transporte atmosférico de contaminantes como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) está más difundido de lo que se pensaba.

- Se considera que las emisiones de NO<sub>x</sub> contribuyen a la lluvia ácida en igual proporción que las de SO<sub>2</sub>, hecho que está dando lugar a la creación de sistemas que eliminen simultáneamente ambos gases.

- Muchos países han aprobado reglamentos más estrictos con relación a la calidad del aire que exigirán una mayor eficiencia en la eliminación.

- El uso de los subproductos de los sistemas de eliminación contribuirá en el futuro a resolver el problema de los desechos asociados a los lodos provenientes de muchos sistemas.

- En los últimos tres años, el tratamiento por haces electrónicos ha sido objeto de un intenso régimen de pruebas y se han introducido muchas mejoras respecto de su fiabilidad y requisitos energéticos.

Resulta fácil comprender por qué muchos países están comenzando a considerar la adopción de reglamentos más estrictos para eliminar el SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> en la fuente de las emisiones, ya que han reconocido que su transporte y conversión pueden ocurrir en la atmósfera. (Véase la figura de la página siguiente.) Las emisiones resultantes de la combustión de gases provenientes de una caldera pueden recorrer muchos kilómetros, y en su trayectoria experimentan numerosas conversiones, a medida que los aerosoles de SO<sub>2</sub> se transforman en ácido sulfúrico, y el aerosol de NO<sub>x</sub> en ácido nítrico, creándose así un desecho húmedo de ácidos sulfúrico y nítrico en la lluvia, la

aguanieve y la nieve. Actualmente, las deposiciones secas de los contaminantes originales recorren largas distancias desde la fuente.

En toda Europa, el Japón, los Estados Unidos, Asia y varios países de América Latina se han puesto en vigor reglamentos más rigurosos con respecto al medio ambiente. Se prevé que en el futuro se elaboren reglamentos cada vez más estrictos, en vista de la constante preocupación que suscitan los contaminantes de azufre y nitrógeno.

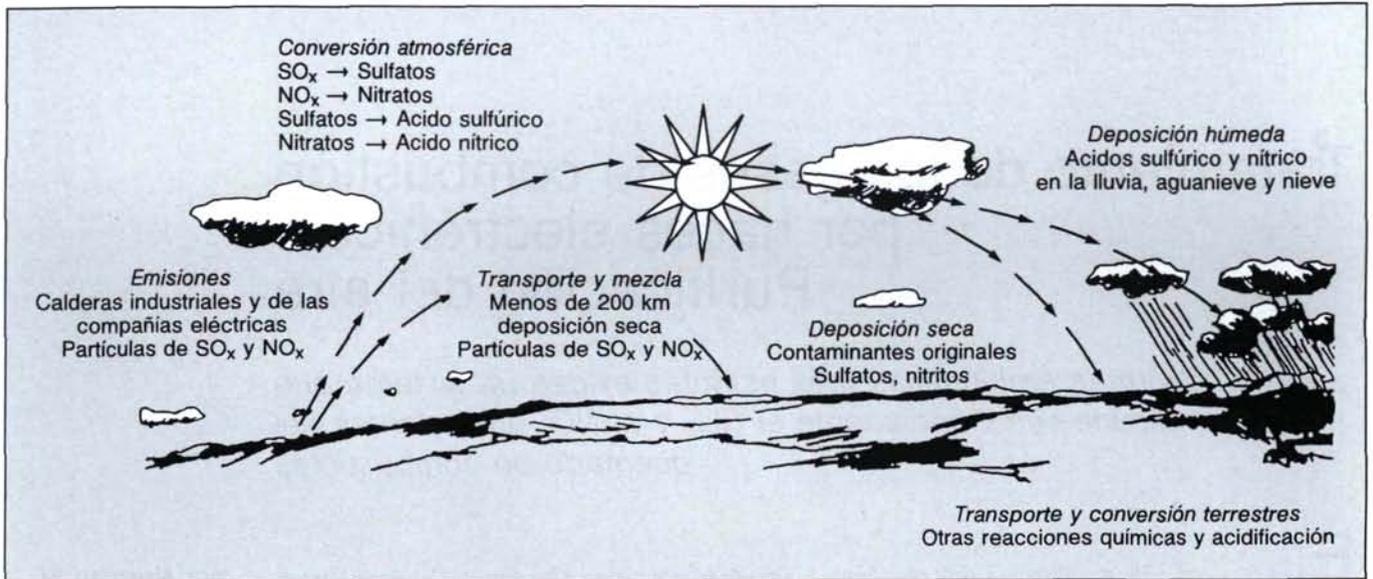
Se prevé además que para cumplir el objetivo de evitar la emisión de gases que afecten la capa de ozono se necesitarán normas de NO<sub>x</sub> más estrictas, como ya se observa en algunos de los nuevos reglamentos. Igualmente se prevé que se necesitarán sistemas simultáneos extraordinariamente eficientes para la eliminación del SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub>.

En la actualidad, las tecnologías convencionales para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> se utilizan básicamente con el carbón de bajo contenido de azufre que se quema en el Japón y Europa. Estos sistemas se conocen con el nombre de desulfuración de los gases de combustión (DGC) por vía húmeda, y de reducción catalítica selectiva (RCS), que es el

por Norman W. Frank y Vitomir Markovic



El Sr. Frank es Presidente de la Ebara Environmental Corporation radicada en Greensburg, Pensilvania, Estados Unidos de América, y el Sr. Markovic es funcionario de la División de Ciencias Físicas y Químicas del OIEA.



### Procesos del transporte atmosférico

sistema para la eliminación de  $NO_x$  más difundido, aunque no se ha demostrado su uso con el carbón de alto contenido de azufre. La DGC y la RCS son sistemas que requieren dos tecnologías diferentes integradas en un proceso de reducción de la contaminación de las calderas.

Por tanto, es importante que se creen sistemas que utilicen una tecnología singular para satisfacer las necesidades que plantea en el futuro la eliminación *simultánea* del  $SO_2$  y el  $NO_x$  provenientes del carbón y el petróleo con alto y bajo contenido de azufre.

El tratamiento por haces electrónicos se inserta muy bien en esta categoría, ya que es un sistema que utiliza la misma tecnología básica para eliminar simultáneamente ambos contaminantes. (Véase el diagrama.) Las centrales de demostración del Japón, Alemania, los Estados Unidos y Polonia han demostrado que la eficiencia total del sistema para la eliminación de  $SO_2$  suele exceder del 95%, y alcanza entre el 80% y el 85% para la eliminación del  $NO_x$ . Ese grado de eficiencia satisface los requisitos reglamentarios más estrictos.

La eliminación del  $NO_x$  requiere más energía que la del  $SO_2$ , y para reducir ese consumo de energía se han efectuado numerosos estudios sobre la técnica conocida como irradiación de zona. Para esos mismos fines se han realizado, y se siguen realizando actualmente pruebas cuyos resultados han demostrado que con la irradiación de zona se puede lograr ahorros de energía del 20% al 30%, lo que colocaría al sistema en una posición muy competitiva con otras tecnologías combinadas. Se continuará trabajando para reducir la cantidad de energía que requiere el sistema.

En varios países se han construido instalaciones de prueba de haces electrónicos y centrales de demostración, y siguen funcionando cuatro instalaciones de prueba que están siendo explotadas por el Instituto Japonés de Investigaciones sobre la Energía Atómica (JAERI) en Takasaki, Japón; el Instituto de Química y Tecnología Nucleares en Varsovia; el KFK en Karlsruhe, Alemania; y Ebara en Fujisawa,

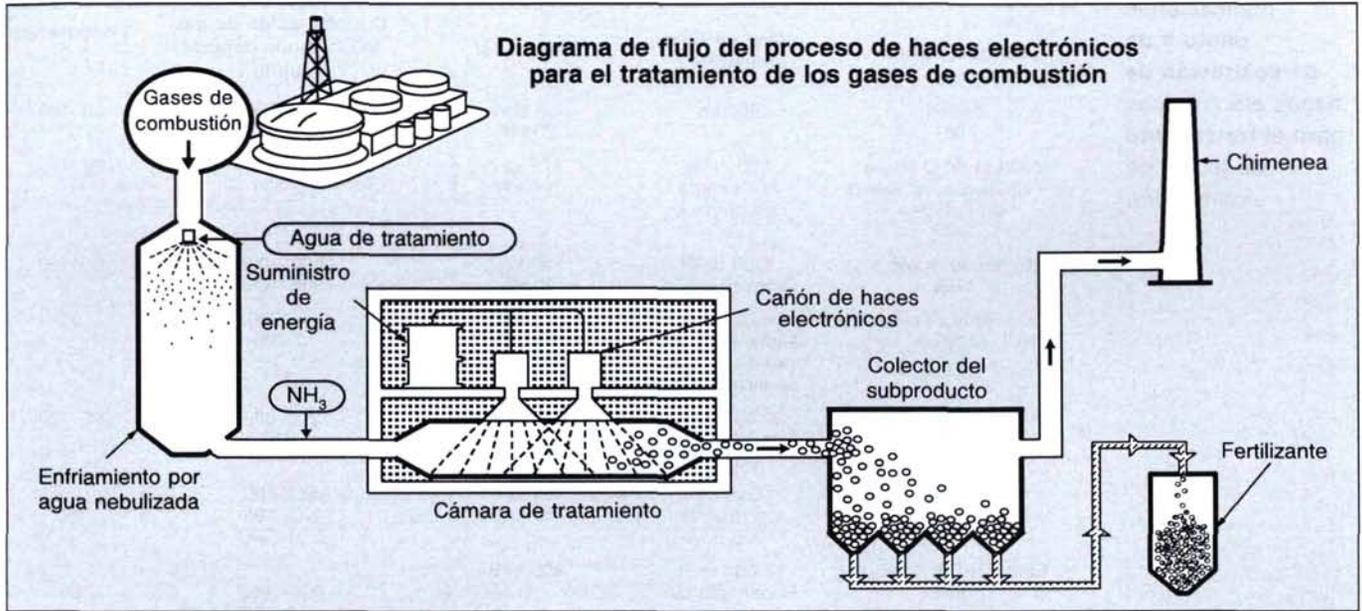
Japón. En estas instalaciones de prueba se aplican programas para mejorar el proceso y reducir las necesidades de energía.

En los últimos años se han alcanzado muchos logros notables en las distintas instalaciones de investigación y en las centrales piloto:

- Se ha confirmado el balance másico tanto del nitrógeno como del azufre con el descubrimiento de que alrededor del 22% del nitrógeno se libera en forma de  $N_2O$ .
- Se han estudiado y ensayado configuraciones de conductos, para disponer de varios tipos que se adapten a distintas condiciones.
- Se ha probado y confirmado que la irradiación de zona reduce considerablemente las necesidades energéticas.
- Se han analizado y ensayado distintos métodos para evitar la acumulación de subproductos y la obstrucción de los conductos, lo que permitirá la explotación a largo plazo del proceso.
- Las pruebas realizadas con bajas concentraciones de  $NO_x$  en los gases han arrojado buenos resultados.
- Prosiguen las pruebas sobre la eliminación de compuestos orgánicos volátiles.
- Se siguen haciendo ensayos con los gases provenientes de incineradores, lo que ha proporcionado valiosa información sobre la eliminación de otros contaminantes como el ácido clorhídrico (ClH).
- En un reciente informe del Electric Power Research Institute (EPRI) de los Estados Unidos se considera el proceso de haces electrónicos como uno de los futuros sistemas de eliminación simultánea de  $SO_2$  y  $NO_x$ .
- Los aceleradores de haces electrónicos existentes han evolucionado hasta alcanzar mayores tamaños (300 y 400 kilovatios) con un buen margen de fiabilidad para su aplicación inmediata.

La United States Defense Nuclear Agency está desarrollando un acelerador para reducir la contaminación atmosférica cuyo tamaño oscila entre 0,8 y 1,8 megavatios.

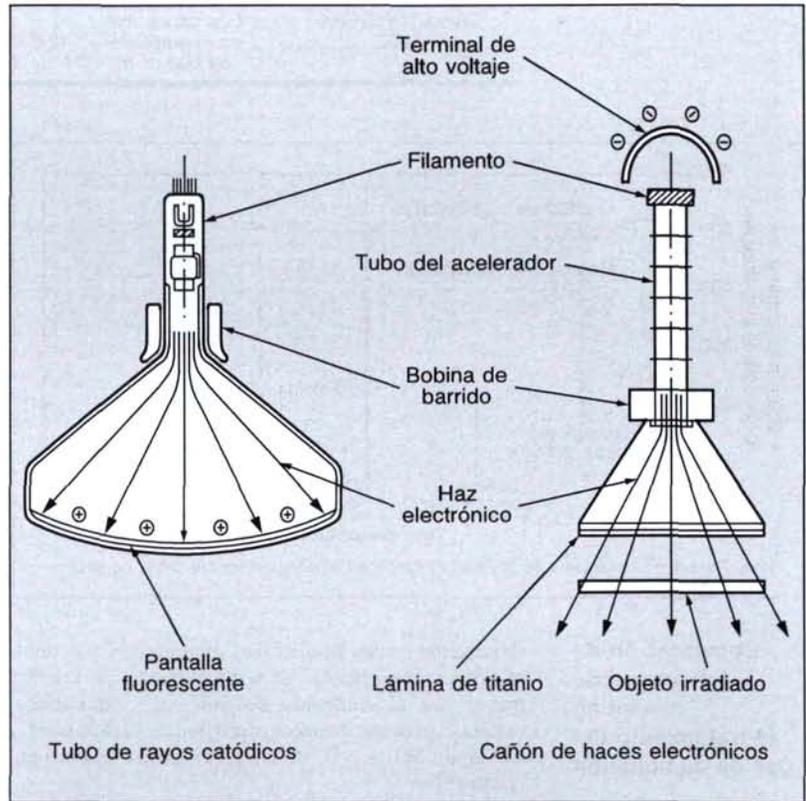
Se ha estudiado el aspecto económico del proceso en relación con diversos tipos de combustible de



**El proceso de haces electrónicos:  
Ni  $\text{NO}_x$  ni  $\text{SO}_2$**

El proceso de haces electrónicos que es, en esencia, un proceso de lavado en seco, elimina al mismo tiempo dos contaminantes —  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ — provenientes de los gases de combustión. Antes de pasar al enfriador por nebulización, el gas de combustión se limpia de cenizas volátiles mediante una técnica estándar. A continuación el gas pasa por el enfriador por nebulización donde disminuye su temperatura, y aumenta la humedad con el agua de tratamiento. El gas pasa después por la cámara de tratamiento donde se irradia con haces electrónicos de alta energía en presencia de una cantidad casi estequiométrica de amoníaco añadida al gas de combustión antes de llegar a la zona de irradiación. El  $\text{SO}_2$  y el  $\text{NO}_x$  se convierten en sus respectivos ácidos que se transforman posteriormente en sulfato de amonio y en sulfato-nitrato de amonio. Estos ácidos se recuperan entonces con un precipitador electrostático. El subproducto es un fertilizante útil que puede utilizarse en la agricultura. Los gases menos contaminantes son entonces liberados en la atmósfera.

**A la derecha:** El acelerador que crea el haz electrónico es un equipo muy conocido por muchas personas. Por ejemplo, uno de sus modelos se utiliza en todo el mundo: el aparato de televisión. El acelerador es sólo un tubo de rayos catódicos más potente.



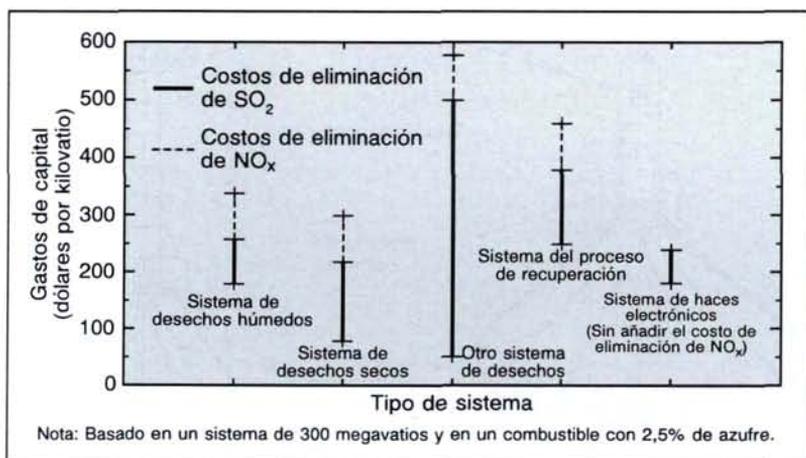
diferentes concentraciones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ . Parece probable que el sistema pueda obtenerse a un costo de instalación de unos 200 dólares por kilovatio. Del cálculo de los costos de los sistemas DGC convencionales existentes se desprende que el proceso de haces electrónicos resulta competitivo con los sistemas de eliminación de  $\text{SO}_2$  de que se dispone. Analizando el costo de un sistema de RSC para la eliminación de  $\text{NO}_x$ , que es aproximadamente de 80 dólares por kilovatio, podrá apreciarse que los costos de instalación del proceso de haces electróni-

cos previsto lo convierten en uno de los sistemas más económicos de instalar y de explotar en una central eléctrica. (Véase el gráfico de la página 10.)

Otro hecho más importante aún es que ha quedado demostrado que el sistema resulta muy eficaz con combustibles de alto contenido de azufre. Los países que tienen petróleo crudo, carbón o lignito con alto contenido de azufre pueden utilizar con eficacia este sistema para generar electricidad y mantener además un mercado de exportación para los combustibles de calidad superior. Esto podría repercutir muy favo-

**Instalaciones piloto y de demostración de haces electrónicos para el tratamiento de gases de combustión**

Institución/Año	Nivel de flujo volumétrico	Acelerador	Concentración de gas SO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> sin depurar (ppm)	Temperatura (°C)
JAERI 1981	900 l/h	1,5 MeV 20 MA	1000/5000	80-150
Instituto de Química y Tecnología Nucleares de Varsovia 1989	400 m <sup>3</sup> /h Alimentada con petróleo	775 keV 5,4 kW	0-1200 0-400	60-150
Karlsruhe Agate II 1989	1000 m <sup>3</sup> /h Petróleo crudo	500 keV 50 kW	400-1000 300-1000	60-120
Ebara Fujisawa 1991	1500 m <sup>3</sup> /h Alimentada con petróleo y gas de incineración	500 keV 15 kW	0-1000 0-200	65
INCT/Kaweczyn Central eléctrica 1992	20 000 m <sup>3</sup> /h Alimentada con carbón	500-700 keV 2-50 kW	200-600 250	60-120
NKK-JAERI Ciudad Matsudo 1992	Gas de incineración 1000 m <sup>3</sup> /h	900 keV 15 kW	SO <sub>2</sub> -100 NO <sub>x</sub> -100 CIH-1000	150
Ebara-JAERI Chubu 1992	12 000 m <sup>3</sup> /h Alimentada con carbón	800 keV 36 kW x 3 cabezas (= 108 kW)	800-1000 150-300	65
Ebara-Tokyo-EPA 1992	Gas de escape en el autotunel 50 000 m <sup>3</sup> /h	500 keV 12,5 kW x 2 cabezas (= 25 kW)	NO <sub>x</sub> 0-5	Ambiental (20)



**Comparación de los gastos de capital en el tratamiento del gas de combustión**

rablemente en las condiciones ambientales y económicas de varios países. Ya se ha indicado que cuanto mayor sea el contenido de SO<sub>2</sub>, más económico resulta el proceso de haces electrónicos para la eliminación de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de los gases que se liberen en la atmósfera.

Los aceleradores de haces electrónicos han mejorado en fiabilidad y eficiencia a lo largo de los años, y muchos se utilizan actualmente en otras múltiples aplicaciones de tratamiento por irradiación, en las que los aceleradores actuales pueden alcanzar una potencia de 400 kilovatios por máquina. Se prevé que en el futuro se dispondrá de un acelerador convencional de tipo transformador de unos 800 kilovatios. Al mismo tiempo, podrían utilizarse los aceleradores del tipo de impulsos de hasta aproximadamente 2 megavatios que se están desarrollando. Las ventajas que ofrecería este tipo de acelerador serían su tamaño más compacto y su diseño modular, facto-

res que reducirían los costos de instalación y el blindaje.

El uso de aceleradores en las tecnologías de tratamiento por irradiación, como la depuración de los gases de combustión, es fiable y sencillo. Los sistemas son fáciles de instalar, utilizar y controlar, y ofrecen seguridad a los operadores y al medio ambiente. Durante su explotación no se produce radiactividad, y cuando el sistema se desactiva, no hay radiación residual.

Con la creciente atención que se presta a la protección y la descontaminación del medio ambiente, el proceso de haces electrónicos para el tratamiento de los gases de combustión está despertando interés en todo el mundo, dadas sus numerosas ventajas sobre los sistemas convencionales y sus grandes posibilidades de aplicación en el futuro. Además, los contaminantes se convierten en un útil fertilizante para la agricultura, y no en un desecho que requiere medidas de evacuación adicionales.

Ya está listo el proceso para la eliminación del SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> generados por los gases de la combustión y se prevé que su uso se generalice en los años venideros. Los actuales programas de investigación y desarrollo están propiciando muchas y nuevas mejoras e innovaciones en el tratamiento de los gases de la combustión y otras aplicaciones ambientales.