

*Dipl. Ing. Claus Fritze. Director de Ventas de la división de Control de la calidad del aire. Lechler GmbH (Alemania)*

*Pedro Martín. Ingeniero de Ventas y responsable del Departamento de Medio Ambiente. Lechler (España)*

# Eliminación de NOx en plantas de cemento mediante SNCR

*En este artículo se describen las capacidades de Lechler para proporcionar soluciones SNCR de alta eficiencia basadas en redes neuronales y se recogen también algunos resultados de instalaciones recientes. Además, se presentan resultados internos de CFD para analizar la influencia de diferentes parámetros de boquilla en la inyección del agente reductor. Finalmente, se presenta una solución para la inyección de agua amoniacal en hornos rotatorios para procesos húmedos.*

**C**on una normativa y un control de emisiones de gases cada vez más exigentes, las plantas cementeras se ven obligadas a actualizar sus sistemas de reducción de emisiones, como los SNCR y SCR. Las soluciones y tecnologías válidas hasta hace pocos años se van quedando obsoletas con los nuevos requerimientos, lo que ha generado que algunos fabricantes de equipos de control de emisiones vayan más allá y desarrollen nuevos sistemas más eficientes que incluye la dinámica de fluidos y el análisis computacional predictivo en continuo. Esta nueva tecnología permite al usuario actualizar su planta con una menor inversión y un resultado óptimo a medio y largo plazo.

## SNCR de alta eficiencia

Las tecnologías probadas para la reducción de las emisiones de NOx, además de las mediciones primarias, son la reducción catalítica selectiva (SCR) y el proceso de reducción no catalítica selectiva (SNCR).

La selección entre la tecnología SCR y la SNCR depende de los valores límite de emisión de amoníaco y de la línea de base (NH<sub>3</sub> en la alimentación de materias primas). Siempre que la línea de base sea alta y el valor límite de amoníaco sea bajo, la tecnología SCR es la mejor opción para la reducción de NOx, ya que la tecnología SNCR sólo puede añadir amoníaco al proceso.

Por otro lado, los costes de inversión de la tecnología SNCR son sustancialmente más bajos. En este sentido, Lechler y su socio de sistemas STEAG han demostrado que, con un denominado SNCR de alta eficiencia, el escape de amoníaco (amoníaco añadido por el SNCR) puede mantenerse a un nivel muy bajo, de modo que los requisitos legales pueden alcanzarse incluso sin una tecnología catalítica.

Este SNCR de alta eficiencia se caracteriza por los siguientes parámetros:

- Boquillas resistentes a la obstrucción con un alto impulso de salida para que haya una alta penetración del agente reductor en el flujo de gas.
- Lanzas controladas individualmente e instaladas en varios niveles diferentes para que el agente reductor pueda introducirse en el lugar óptimo que varía continuamente según el funcionamiento de la planta (tipo de combustible, modo compuesto/directo, alimentación de materia prima, etc.).
- Un enfoque inteligente de control avanzado de procesos (APC).

Este APC puede dividirse en dos pasos principales: un modelo adaptativo de emisión de NOx que incluye un pronóstico de NOx que permite calcular de antemano la cantidad necesaria de agente reductor NOx, y un modelo de distribución.

Las emisiones de NOx y NH<sub>3</sub> se miden normalmente en la chimenea de la fábrica de cemento. El tiempo de recorrido de los gases de combustión desde el lugar óptimo donde puede tener lugar la reacción SNCR, hasta el punto de medición del analizador de gases de emisión, puede ser de varios minutos. Por lo tanto, las mediciones en la chimenea sólo reflejan un estado histórico del proceso en comparación con la situación en la que tiene lugar el proceso SNCR.

El pronóstico de NOx, que se basa en redes neuronales, tiene en cuenta otros parámetros más rápidos del proceso de fabricación de cemento en forma de control de avance, de modo que el tiempo de retraso puede reducirse significativamente. Basándose en este pronóstico de NOx con varios controladores, se optimiza la cantidad del agente reductor, manteniendo al mismo tiempo los valores límites legales.

En el segundo paso, el algoritmo de distribución decide cómo se distribuye la cantidad calculada del agente reductor entre las lanzas individuales que se colocan en varios niveles diferentes. Teniendo en cuenta que el

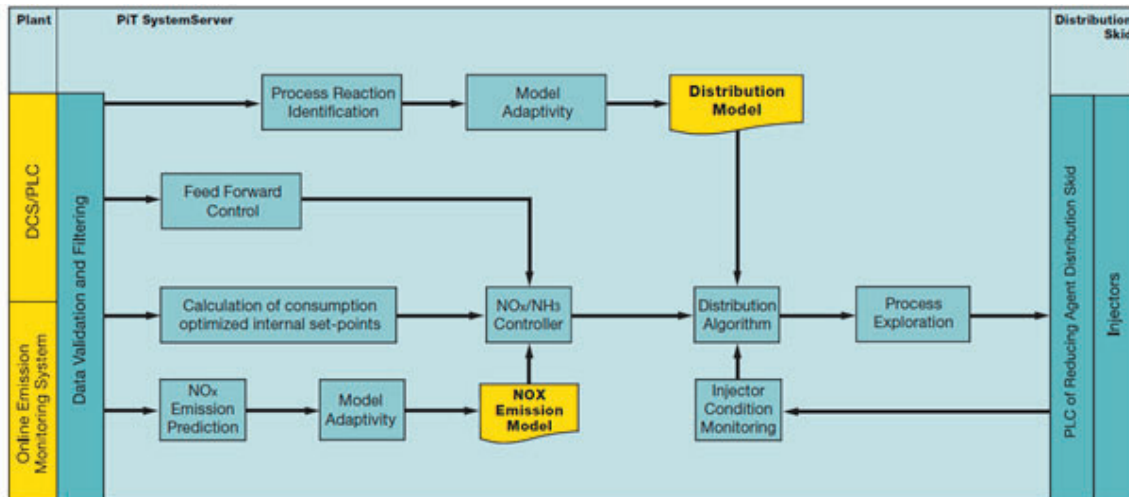


Figura 1. Estructura del proceso APC.

proceso SNCR depende en gran medida de la temperatura, la posición óptima para la inyección varía continuamente con las condiciones de funcionamiento del proceso de fabricación del cemento. Este algoritmo se basa en los resultados de una fase de exploración continua en la que se analiza con frecuencia y de forma automática la eficacia de las respectivas lanzas para diferentes estados del proceso (Figura 1).

Por lo tanto, la cantidad óptima de agente reductor se inyecta en el lugar más adecuado para el proceso. Lechler y STEAG han demostrado en muchas plantas de Alemania y China que pueden alcanzarse valores límite medios diarios inferiores a 200 mg/Nm<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> (100 mg/Nm<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> en China) y 30 mg/Nm<sup>3</sup> de escape de NH<sub>3</sub> con este SNCR de alta eficiencia. En comparación con los sistemas SNCR convencionales, el consumo de agua amoniacal podría reducirse entre un 20 y un 50%.

Los dos socios desarrollaron un bastidor de válvulas de distribución modular que permite la inyección a diferentes

niveles de lanzas y puede equiparse para el control del flujo de 4 a 10 lanzas. Por lo tanto, el sistema puede ajustarse muy fácilmente según las necesidades del cliente y ya está preparado para ampliaciones y requisitos futuros de reducción de emisiones (Figura 2).

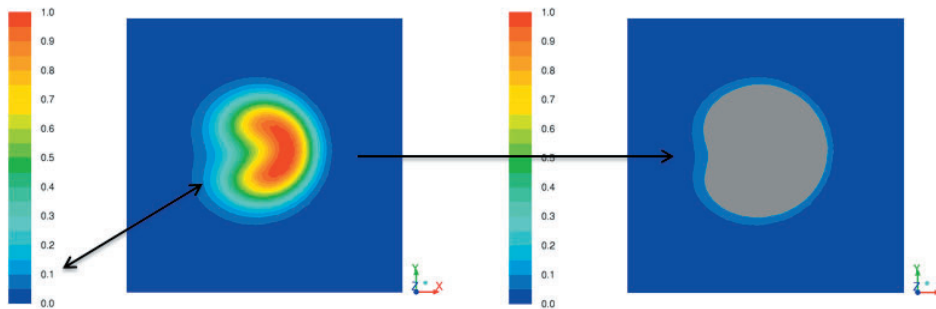
## Influencia de los parámetros de inyección

En varios proyectos, en los que sólo se han cambiado las lanzas de la competencia por lanzas de Lechler, el consumo de agua amoniacal se ha reducido hasta en un 15%. Lo interesante para Lechler, como proveedor de boquillas, era en qué medida los parámetros de atomización influyen en el proceso SNCR. Dado que muchos parámetros de atomización de los aerosoles se influyen mutuamente, Lechler decidió llevar a cabo un análisis CFD de algunos parámetros de inyección importantes. Con la extraordinaria



Figura 2. Bastidor de válvulas de distribución modular de Lechler.

### Penetration Depth and Distribution of Ammonia



- Average x-Axis of center of gravity

→ **Penetration Depth** Parameter

- Calculation of cross section with NH<sub>3</sub> mass fraction > 10% of max value

→ **Distribution** Parameter

*Objeto del estudio CFD: profundidad de penetración y distribución.*

ria capacidad de CFD de Lechler, de más de 252 núcleos de su CPU, Lechler pudo analizar el impacto de estos parámetros de forma independiente.

Se analizaron los principales parámetros de atomización, como el ángulo de pulverización, el tamaño de las gotas y otros, sobre la penetración de una solución de amoníaco al 25% en un flujo de gas de 1.000° C y una velocidad de gas de 8 m/s, y se evaluó el efecto sobre la profundidad de penetración y la sección transversal de distribución. El estudio simuló la inyección del aerosol de forma perpendicular al flujo de gas.

La Figura 3 muestra el objeto de este estudio: la profundidad de penetración y la sección transversal de distribución en un nivel de 8 m por encima de la inyección. Para la nube de distribución se evaluó un límite del 10% de la concentración máxima de vapor de amoníaco en el flujo de gas, como

profundidad de penetración se midió el eje 'x' del centro de gravedad. Dado que sólo los parámetros que influyen en la atomización de la pulverización fueron objeto del estudio, las reacciones químicas no se consideraron en el modelo.

La Figura 4 muestra los resultados normalizados relativos a la profundidad de penetración de la pulverización. La velocidad de las gotas, el caudal de amoníaco, el caudal de aire de atomización y su velocidad son de gran importancia para la penetración. Sorprendentemente, el tamaño de las gotas casi no tiene efecto en la penetración del agente en la corriente de gas.

En la Figura 5 se reconoce la influencia de los parámetros de atomización en los resultados de la distribución normalizada. Aquí también la velocidad de las gotas, el caudal de amoníaco y el del aire de atomización tienen una gran influencia en la distribución, mientras que el tamaño de las gotas y el ángulo de pulverización muestran una influencia

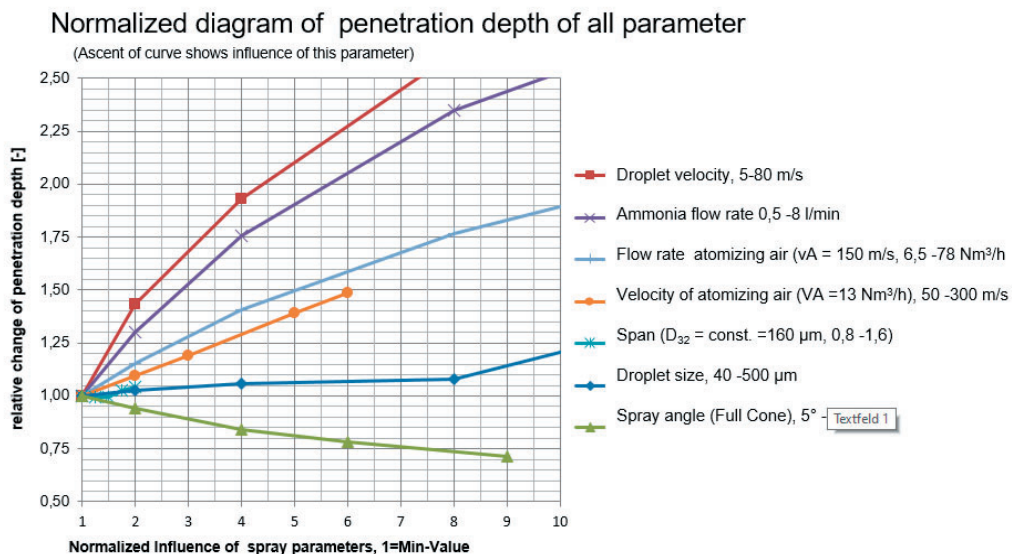


Figura 4. Impacto de diferentes parámetros de atomización en la profundidad de penetración.

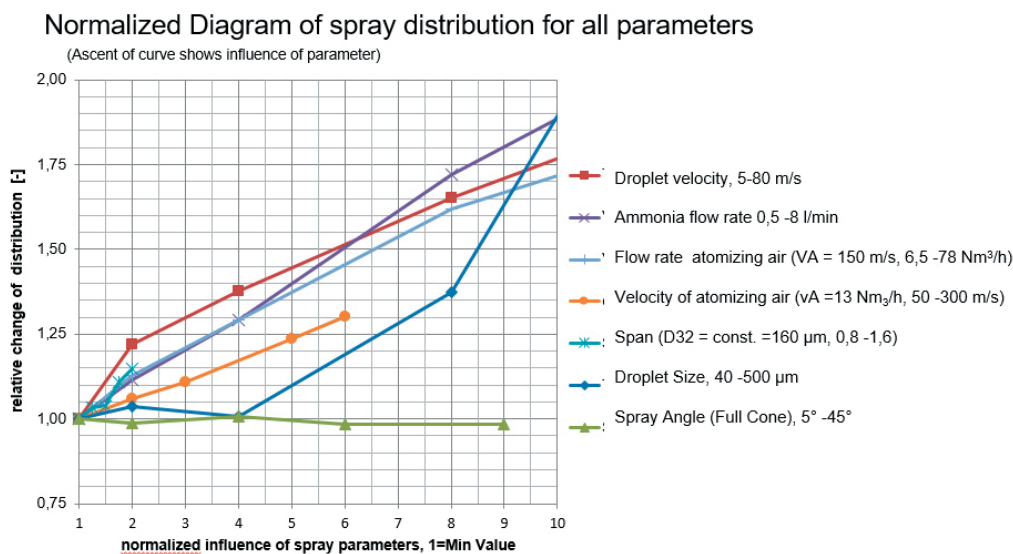


Figura 5. Impacto de diferentes parámetros de atomización en la distribución.

menor. En este sentido, la influencia menor del ángulo de pulverización parece un poco confusa, sin embargo, se descubrió que con ángulos de pulverización más altos en el punto de inyección, la nube de vapor de amoníaco resultante era un poco más amplia, pero las gotas no penetraban tanto en la corriente de gas, por lo que la sección transversal de la distribución general no cambiaba sustancialmente.

El flujo de amoníaco si no se diluye con una costosa agua desmineralizada, sólo depende del nivel del NOx bruto, es por ello que para unas determinadas condiciones del proceso no puede modificarse. Por el contrario, otros parámetros dependen del tipo de boquillas que se utilicen.

En las plantas de cemento Lechler utiliza las boquillas Laval que aceleran la mezcla bifásica que sale de la boquilla con una velocidad hipersónica y una cantidad de aire de atomización comparativamente alta. Por lo tanto, la pulverización sale de las boquillas con gotas a altas velocidades así como el aire de atomización. Lechler ha deducido que estas características de la boquilla pueden explicar los efectos beneficiosos que se originan al sustituir las boquillas existentes por boquillas Lechler Laval.

## SNCR interno de los hornos largos

Mientras que en los países en los que los costes energéticos son elevados, normalmente se instala una torre de precalentamiento con varias etapas de ciclones y la temperatura óptima para el SNCR puede encontrarse en el conducto ascendente del horno rotatorio o en la zona del precalcinador, todavía hay algunas plantas de cemento con hornos largos en las que temperatura óptima para el SNCR

puede hallarse únicamente en el interior del horno.

Para este tipo de hornos, el reto es, sobre todo, instalar un sistema de inyección que sea capaz de dominar con éxito la interfaz entre las estaciones de bombeo y control estacionarias y el horno rotatorio. Esto se consigue mediante un acoplamiento giratorio, que suministra los medios líquidos y gaseosos a la instalación giratoria. La complejidad de esta tarea se hace evidente cuando se considera el hecho de que el centro de la entrada del horno varía a lo largo de dos ejes durante el funcionamiento debido a la excentricidad del largo horno, además de que también se desplaza a lo largo del eje longitudinal debido a la expansión térmica.

Otro reto es la correcta selección y dimensionamiento del material de las lanzas y otros componentes del horno. Al fin y al cabo, estos componentes giran continuamente a través del crudo caliente calcinado. Este reto se resolvió con éxito con haces de tubos refrigerados por agua y acero inoxidable resistente a las altas temperaturas. En la actualidad, Lechler ya ha equipado con éxito veinte plantas de producción de cemento con hornos largos en Estados Unidos y dos molinos de fabricación de arena de sílice en Europa con sistemas de inyección para el proceso SNCR que satisfacen plenamente las expectativas de los operadores de las plantas. En promedio, fue posible reducir los valores de NOx bruto en más del 60% y lograr emisiones de amoníaco por debajo del umbral de 20 ppm por encima de la carga base.

Como ingeniería y fabricante, Lechler ofrece un conjunto integrado de servicios que incluye el asesoramiento, la definición del concepto y la supervisión de la instalación hasta la puesta en marcha. Además de sistemas de boquillas y lanzas de alto rendimiento, la empresa también suministra sistemas completos con PLC. Es más, en más de una ocasión, Lechler ha evitado costosas conversiones completas e incluso el cierre de plantas.