

Desnitrificación de Centrales de Carbón: experiencias de Aboño 2

Patricio Ángel Conesa López

Director Proyectos de Centrales de EDP España

Enric Coma Salvans

Director Proyectos Singulares de EDP España

Ramón Andrés Bobes Miranda

Jefe de Estudios de EDP España

Marcos Antuña Egocheaga

Director Proyectos y Nuevos Negocios de EDP España

Justificación

Las sucesivas legislaciones ambientales de la Unión Europea han supuesto el recorte progresivo de los límites de emisiones de partículas, de SO₂ y de NO_x en las centrales de carbón.

La Directiva 2010/75 de Emisiones Industriales (DEI) establece límites máximos de emisión de contaminantes a partir del 1 de enero de 2016. Para las centrales de carbón, esto puede suponer una reducción relevante de las horas de funcionamiento a partir de esa fecha.

Ante estos nuevos requisitos medioambientales las alternativas para las plantas de carbón son:

1. Realizar inversiones medioambientales.
Incluir el proceso de desnitrificación, acompañado de inversiones complementarias de alargamiento de la vida útil de las centrales.
2. No acometer inversiones.
Ampararse en el Plan Nacional Transitorio (PNT) hasta el 30/06/2020 con una producción equivalente a plena carga in-

ferior al 35%. Después de esa fecha, el funcionamiento de las plantas de carbón estaría limitado a 1.500h/año, quedando abocadas al cierre al no cubrir sus costes fijos.

Proyecto Aboño2 y Soto3

Los proyectos de desnitrificación para los grupos 2 y 3 de las centrales de Aboño y Soto de Ribera (Aboño 2 y Soto 3) se enmarcan dentro de las Iniciativas Estratégicas que EDP España está desarrollando. Junto con otras Iniciativas de distintas áreas constituyen PRIOR12, programa que consiste en la identificación y desarrollo interno de Iniciativas Estratégicas para complementar y colaborar en la consecución del Plan Estratégico y de Negocio de EDP España.

Teniendo presente los pilares estratégicos del Grupo EDP –riesgo controlado, eficiencia superior y crecimiento orientado– PRIOR12 pretende dar respuesta a los desafíos estratégicos a los que se enfrenta la Compañía en España: eficiencia operacional y mejora de procesos, selección de las mejores prácticas, gestión regulatoria, rigor acrecentado en la selección de los proyectos de inversión y mayor control del gasto.

Aboño es una de las mayores centrales de España, así como una de las más eficientes. Para generar energía eléctrica utiliza carbón y gases siderúrgicos procedentes de la factoría de Arcelor Mittal, lo que la convierte en una central única en España. La revalorización energética de estos gases evita la emisión anual a la atmósfera de un millón de

Figura 1



Figura 2. Central térmica de Aboño**Figura 3. Central térmica de Soto**

toneladas de dióxido de carbono. Desde su puesta en marcha en septiembre de 1985 ha funcionado más de 230.000 horas, en las que la producción de energía supera los 107.000 GWh.

Como medidas de reducción primaria de NO_x se han instalado en las calderas quemadores de bajo NO_x y el sistema de *overfire air*, que reduce la formación de NO_x mediante la estratificación del aire secundario en el hogar, con lo que se consigue una atmósfera deficiente en oxígeno en la zona de llama.

En cumplimiento de la legislación ambiental europea y nacional, en concreto la Directiva 2010/75 de Emisiones Industriales, se ha dotado a Aboño 2 de medidas secundarias de reducción de NO_x mediante la construcción de un sistema de desnitrificación de gases con reducción catalítica selectiva. La planta de desnitrificación de Aboño 2 es la primera de este tipo que ha entrado en servicio en el parque de generación térmico español.

Asimismo, actualmente se encuentra en construcción una segunda planta de desnitrificación para Soto 3 de características si-

milares a las de Aboño 2. La puesta en marcha de dicha planta está prevista para 2017, seis meses más tarde que la de Aboño 2.

El diseño, instalación y puesta en marcha de ambas plantas fueron adjudicados a la empresa asturiana TSK, en consorcio con un socio tecnológico de referencia en este ámbito,

Mitsubishi Hitachi Power Systems. El diseño, además de recoger las exigencias técnicas y legales contempladas en las normas y códigos correspondientes, se ha realizado buscando maximizar la seguridad de las personas que la explotarán y la disponibilidad de sus equipos y sistemas. Todo ello conjugado con el máximo respeto al medio ambiente.

Figura 4. Firma acuerdo EDP España, TSK y Mitsubishi Hitachi Power Systems

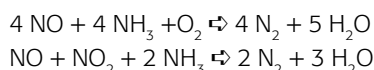
El valor de la inversión de EDP en la construcción de estas instalaciones en España es de 90 millones de euros, con el fin de proporcionar a estos grupos la mejor tecnología disponible.

Tras estos proyectos, EDP habrá invertido más de 200 millones de euros en la última década en mejoras ambientales de sus centrales de generación en Asturias, fundamentalmente en desulfuración y desnitrificación de gases. Este nivel de inversión, así como la eficiencia en operación y mantenimiento de los grupos, convierten a las centrales de EDP en las más eficientes del país.

Proceso de desnitrificación

El **proceso de desnitrificación** consiste en la reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) a la atmósfera. Mediante la tecnología elegida por EDP –**Reducción Catalítica Selectiva (SCR)**– las emisiones de NO_x se reducen hasta en un 80%. De esta forma, la compañía va más allá de lo que establece la Directiva de la Unión Europea de Emisiones Industriales 2010/75, pues las emisiones esperadas serán significativamente inferiores al límite que establece dicha norma.

El SCR es un método de reducción de la cantidad de óxidos nitrógeno (NO y NO₂) que utiliza como agente reductor amoníaco inyectado en los gases de combustión, produciéndose las siguientes reacciones principales:



El reactor SCR toma los gases a la salida de la caldera, antes de la entrada a los calentadores de aire.

La alternativa de emplear la tecnología de **reducción NO catalítica selectiva (SNCR)**,

Tabla 1

	Donde estamos	Donde queremos llegar
Límite de emisiones NO _x (mg/Nm ³) (g.s. 6% O ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • AAI:650 • Actualmente 400-650 (carbón) 300-550 (carbon+ gha) 	<ul style="list-style-type: none"> • Directiva 2010/75: 200 • Con SRC 120 (catalizador nuevo) 150 (fin vida química catalizador) 90 (futura ampliación)
Vida útil	<ul style="list-style-type: none"> • Estandar: 40 años • Puesta en servicio: 1985 • Final Vida util: 2025 	<ul style="list-style-type: none"> • Extensión vida útil: 50 años • Final vida útil extendida: 2035 • Funcionamiento SCR: 20 años • Diseño SCR: 25 años
Factores de riesgo	<ul style="list-style-type: none"> • No cumplimiento VLE NO_x Directiva 2010/75 • Restricciones en el funcionamiento a partir de enero 2016 • Cierre del grupo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento VLE NO_x Directiva 2010/75 • Funcionamiento sin restricciones medioambientales • Posibilidad de reducir emisiones NO_x a 90 mg/Nm³ en el futuro

Figura 5

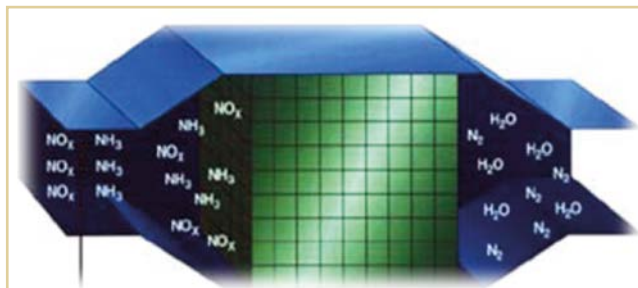
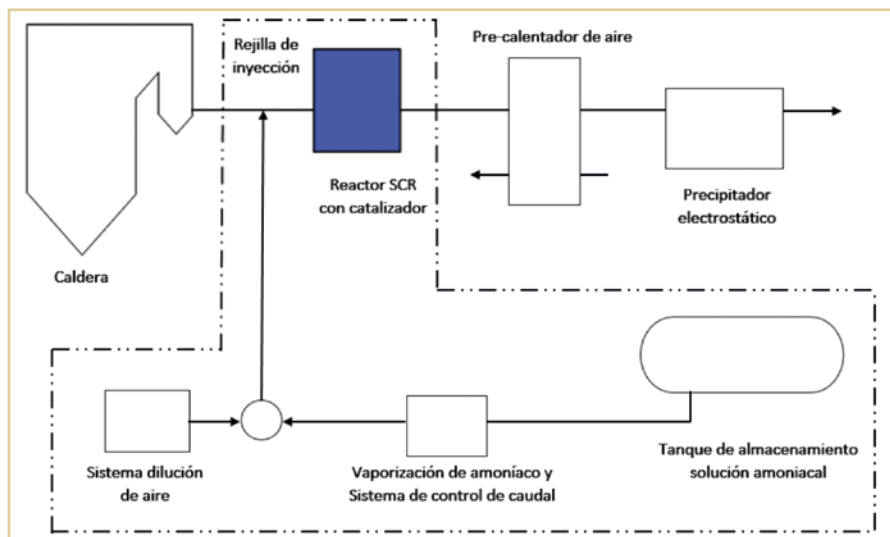


Figura 6. Esquema del proceso SCR



pese a sus menores costes de inversión y de operación, tiene como principal desventaja su menor capacidad de control del contenido de amoníaco sin reaccionar en los gases que salen de la planta de desnitrificación y que pasan a los calentadores de aire y a la planta de desulfuración. Este hecho condujo a desestimar esta alternativa.

Se plantean asimismo **alternativas en la elección del agente reductor**: amoníaco anhidro, disolución amoniacal al 24% o urea.

Buena parte de instalaciones de gran tamaño emplean amoníaco anhidro como agente reductor. Ello se debe a los menores costes de la materia prima y de su logística, si bien aumentan los riesgos para las personas y el medio ambiente. El uso de dicho reactivo supone el almacenamiento en cantidades importantes de una sustancia peligrosa, generalmente licuada a presión, siendo necesario considerar riesgos adicionales en la conducción hasta el reactor y en el acondicionamiento previo a la inyección. El empleo de urea es, en la práctica, exclusivo de plantas de pequeño tamaño.

La alternativa seleccionada para Aboño 2 y Soto 3, es el empleo de disolución amoniacal al 24% en peso como agente reductor, que ofrece importantes ventajas desde el punto de vista de la seguridad ambiental y de las personas, siendo mínimos los riesgos asociados al manejo.

El **reactor** es el elemento estructural más importante. Se instala en el circuito de gases de caldera, entre la salida del economizador y la entrada a los calentadores de aire, en una zona con alto contenido en polvo, asegurando un régimen adecuado de temperaturas de los gases a través del catalizador. Su disposición es vertical, de flujo de gases descendente, con espacio para instalar las

2 capas de catalizador previstas inicialmente, y añadir una tercera capa al final de la vida química de las capas anteriores.

El reactor va soportado sobre estructura metálica con cimentación propia e independiente de la caldera. El reactor dispone de un cerramiento exterior, en cuyo interior se encuentra la estructura soporte de los paquetes de catalizador a disponer en tres capas o niveles.

Los catalizadores utilizados comercialmente son de tipo panel, placa o corrugado. El tipo placa es el más recomendado en corrientes de gases con elevada concentración de partículas. Destaca por su elevada actividad, larga vida útil, baja caída de presión en el circuito de humos, alta resistencia a la incrustación/taponamiento por partículas y elevadas rigidez, compacidad y facilidad de manejo.

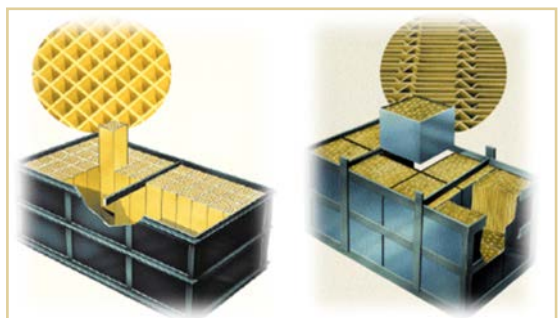
Los elementos del catalizador, las placas, se componen de una estructura consistente en un fino mallado de acero inoxidable totalmente recubierta con catalizador activo en una matriz de óxido de titanio. Estas placas se agrupan en unidades de catalizador dentro de una estructura de acero que, a su vez, se agrupan en módulos de catalizador, encapsulados en una estructura de acero soldado, que permite su fácil manejo.

La vida útil estimada de los catalizadores en centrales de carbón pulverizado es de unos 6-10 años dependiendo de cómo haya sido el funcionamiento de la central.

Figura 7. Diseño reactor

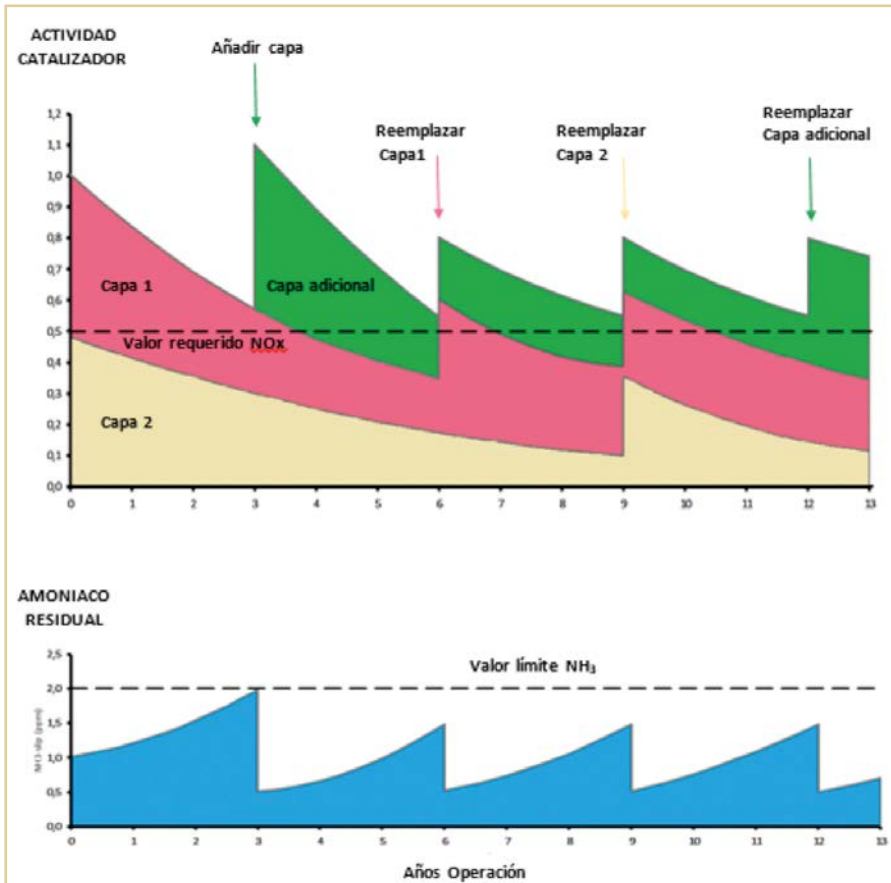


Figura 8. Diseño catalizadores



No obstante, teniendo en cuenta el alto valor del catalizador, normalmente se regenera, lo que permite alargar su vida útil considerablemente devolviendo al catalizador niveles de eficiencia similares a los de catalizador nuevo. Existen en el mercado suficientes procesos y proveedores para la regeneración de catalizadores selectivos de este tipo, que alargan la vida útil hasta los 20 años, dependiendo de las condiciones.

Figura 9. Actividad del catalizador y amoníaco residual en el tiempo



Cuando el catalizador envejece, su actividad disminuye y el deslizamiento (amoníaco residual a la salida del reactor) aumenta.

Montaje

La construcción de una planta de desnitrificación es un proceso complejo que implica una modificación no sustancial en las centrales de carbón. En la realización de los trabajos es necesaria la colaboración de todos los implicados y realizar un seguimiento riguroso de cada etapa del proyecto.

Aboño 2 entró en operación en 1985 siendo el grupo de carbón de mayor potencia (566 MWb) de EDP en España.

En esencia, se trata de intercalar el reactor SCR en el circuito de humos, afectando lo mínimo posible a las instalaciones existentes. El desvío del flujo de gases hacia el reactor se realiza a la salida de caldera, antes de las entradas a los calentadores de aire.

Una vez tratados los gases en el reactor se retornan al circuito existente, distribuyéndose convenientemente aguas arriba de las entradas a los calentadores de aire.

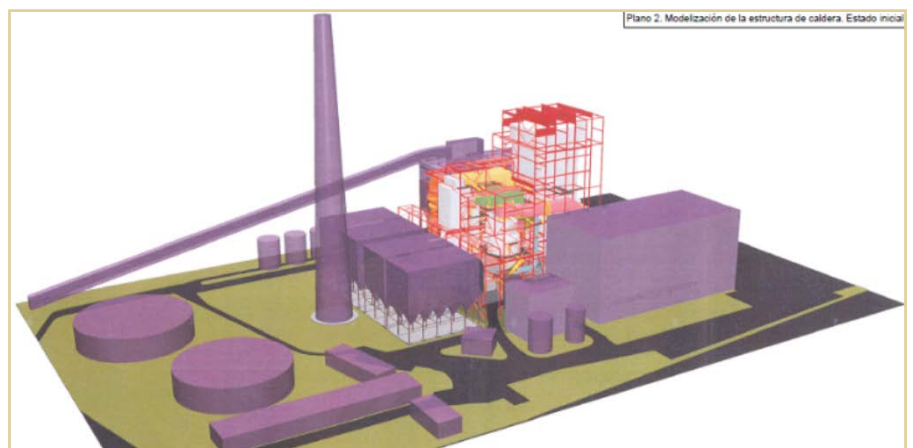
Entre los conductos de entrada y salida del reactor se instala el *by-pass* del SCR, de utilidad en condiciones de arranque, parada o disparo del grupo.

En la construcción se diferencian cuatro fases principales:

Fase I

Durante la primera fase la central estuvo en operación comercial. Sólo se trabajó en la nueva instalación. En primer lugar se realizaron las cimentaciones profundas (pilotes e hincas) y encepados de la zona del reactor. A continuación se procedió al montaje de la

Figura 10. Montaje



estructura de acero de soportado del reactor. Una vez fijada la estructura, se instaló el propio reactor y los conductos de entrada y salida de gases al mismo, además de las tuberías y los equipos de proceso asociados. Para finalizar esta fase, se instaló el aislamiento térmico y recubrimiento del reactor y de los conductos de entrada y salida.

El peso total del reactor es de unas 1.030 toneladas y dispone de una sección de paso de gases de aproximadamente 19x18 m. La estructura de acero de soportado del reactor pesa unas 850 toneladas y alcanza una altura de unos 70 m. La cimentación de la citada estructura está pilotada en el subsuelo a unos 25-30 m de profundidad.

Fase II

Durante la segunda fase la central continuó en operación comercial. Se trabajó en la instalación de los sistemas de descarga, almacenamiento y trasiego de la solución amoniacal. Se realizó buena parte del pre-montaje de los conductos de gases. Se iniciaron los trabajos de modificación y refuerzo de la estructura y de las cimentaciones existentes de la caldera. Se realizaron asimismo diferentes trabajos de preparación para la siguiente fase, tales como: desmontaje de parte de la cinta transportadora de carbón para facilitar los trabajos con grúa en la zona caldera, e instalación de la propia grúa para lo cual fue necesario reforzar la solera de maniobra.

Fase III

Esta fase coincidió con la parada programada de Aboño 2, por fin de campaña, que tuvo lugar entre abril y junio de 2016, con una duración de 60 días.

Figura 11. Fase I

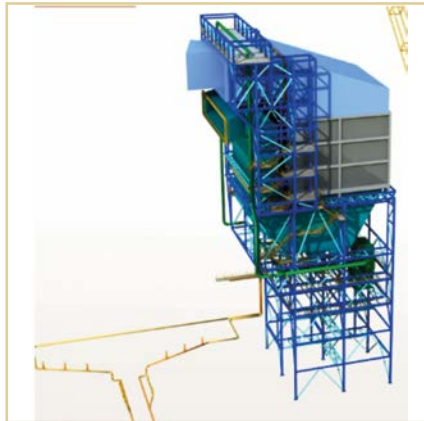


Figura 12. Fase II

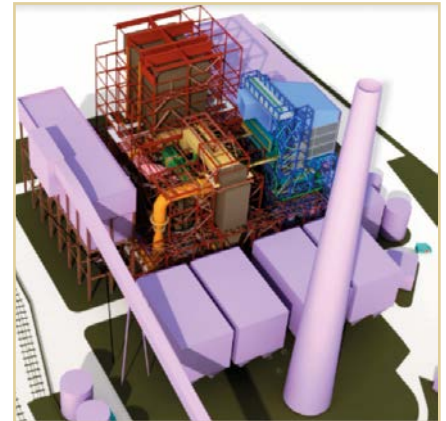
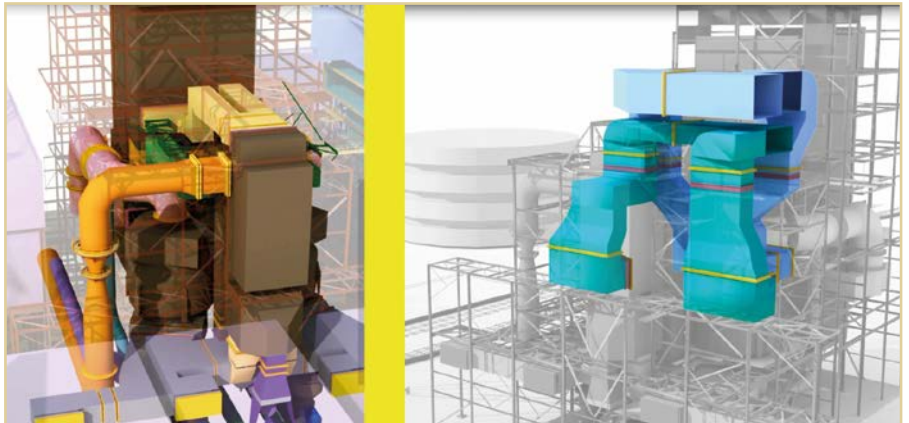


Figura 13. Fase III



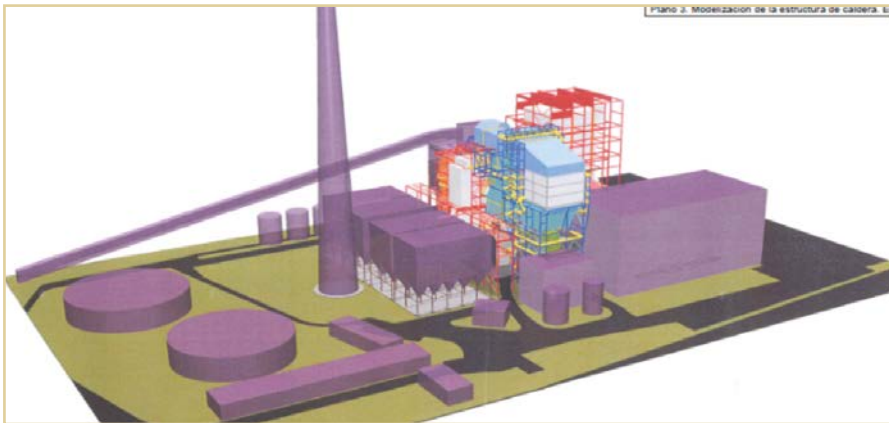
Se desmontaron los conductos de gases a la salida de caldera y se instalaron los nuevos conductos y compuertas necesarios para cerrar el circuito de gases a través del *by-pass* del SCR, de modo que quedase operativo al acabar la parada programada del grupo. Asimismo en esta fase se realizaron las modificaciones necesarias en el Sistema de Control Distribuido (DCS¹). Todos estos trabajos se simultanearon con los trabajos previstos y necesarios de fin de campaña.

Fase IV

Durante esta fase el grupo se mantuvo en operación, circulando los gases de salida de caldera a través del *by-pass* del SCR. La fase finalizó con una parada corta del grupo de 10 días en agosto 2016. Se completó el montaje de conductos de gases quedando el reactor conectado con el resto del sistema. Se completó asimismo la instalación del resto de equipos de proceso, tuberías, cables eléctricos, instrumentación y control

¹ DCS: Distributed Control System

Figura 14. Fase IV



y DCS. En la parada corta se habilitaron las interconexiones de los conductos de gases con el reactor, quedando terminado el montaje de la planta a finales de agosto 2016.

A principios de septiembre se iniciaron las pruebas en caliente y la puesta en servicio de la planta, que consiste básicamente en el ajuste de la inyección de solución amoniacal al reactor (*tuning*), prueba de 72 horas y prueba de operación de 720 horas, que incluye a su vez las pruebas de garantía. Aboño 2 es por tanto la primera instalación de generación con carbón en España que pone en marcha un proceso de desnitrificación. Se espera que unos seis meses más tarde Soto 3 disponga de la misma tecnología. Ambos grupos garantizan así su futuro hasta, al menos, el año 2035.

Resultados y lecciones aprendidas

La planta de desnitrificación de Aboño 2 comenzó a funcionar en pruebas en septiembre. Se ha cumplido el calendario de construcción y el presupuesto, siendo la primera planta de desnitrificación que ha comenzado a funcionar en España.

Desde el año 2008 Aboño 2 ya dispone de una unidad de desulfuración de gases de combustión, mediante la tecnología de caliza/yeso en vía húmeda, tecnología comúnmente empleada y con la que se obtienen rendimientos superiores al 90% de reducción de emisiones de SOx.

En la construcción de la planta SCR han sido necesarias más de 3.300 toneladas de elementos metálicos para poder poner en pie la nueva instalación. Sólo en estructura se han

colocado 1.400 toneladas y otras 1.030 toneladas en el reactor catalítico.

La caldera de Aboño 2 es asimétrica debido a su diseño multicomcombustible y a las medidas de alta eficiencia mediante el calentamiento del gas de horno alto. Además, debido al alto volumen de los gases de combustión que se produce por el uso de gases siderúrgicos, los conductos son de una sección sustancialmente mayor que los de un grupo de la misma potencia que utilice solamente carbón.

Se eligió la configuración asimétrica del SCR por varias razones:

- a) permitía la construcción independiente del edificio del reactor, de éste y de todos los equipamientos asociados al proceso, sin interferir con la marcha normal de la central
- b) evitaba la construcción de una gran estructura-puente independiente de la estructura existente, para soportado de todo el conjunto
- c) abarataba la solución técnica para el proyecto.

Figura 15. Planta SCR



No obstante y dado que no se disponía de los cálculos originales de la estructura de caldera, fue necesario modelizarla (más de 6.000 elementos) para determinar qué barras debían ser reforzadas por estar fuera de los límites de seguridad para su carga máxima admisible. Fue necesario también evaluar el estado de la estructura, mediante una campaña exhaustiva de ensayos no destructivos y con extracciones de muestras.

Finalmente, hubo que comprobar el comportamiento de las cimentaciones existentes de caldera ante el nuevo estado de cargas, determinándose los nuevos valores de esfuerzo en punta y las nuevas acciones por viento. Todo ello tuvo como resultado varias acciones puntuales de refuerzo de algunos pilotes en profundidad (mediante la técnica de *jet grouting*) y de encepados y plintos de apoyo de la estructura metálica.

La solución constructiva elegida condujo a una reforma total de los conductos de gases entre la salida de caldera y la entrada a los calentadores de aire, para intercalar en el circuito el paso de los gases por el reactor SCR.

Esta reforma se llevó a cabo durante la parada general de revisión del grupo que ha tenido lugar en este año, con una duración total de 60 días, y en la que también se llevó a cabo una modernización general del sistema de control DCS del grupo.

Para el montaje de la estructura del reactor y el premontaje y montaje de éste se ha utilizado una grúa de gran tamaño, con una capacidad de 70 toneladas a 110 m de altura y un radio de 40 m.

Los nuevos conductos se premontaron en la explanada de la llamada cantera de Aboño, situada al este de Aboño 2.

Los trabajos de desmontaje de los conductos antiguos y de izado, traslado y montaje de los nuevos conductos se llevaron a cabo con el apoyo de una grúa de las mayores en España, con una capacidad de 62 toneladas a 105 m de altura y un radio de 75 m.

Las cargas manipuladas en las operaciones de izado llegaron hasta las 70 toneladas en una sola operación y en total se movieron más de 3.300 toneladas.

Además, la planta de desnitrificación de Aboño 2 cuenta con más de 13.100 m² de aislamiento térmico.

La fase de construcción ha tenido una duración de 16 meses, comenzando en abril 2015 y finalizando en agosto 2016. El periodo más crítico se concentró en la parada de revisión de Aboño 2 entre abril y junio 2016, ya comentada, pues que se solaparon los trabajos de revisión general del grupo con los de construcción de la planta de desnitrificación. En este periodo concreto se alcanzó una punta de aproximadamente 1.050 trabajadores de empresas contratistas en la central, de los que más de 250 estuvieron asignados al proyecto de desnitrificación.

El valor objetivo de garantía en los ensayos de referencia es de 120 mg/m³N (en base seca y 6% de oxígeno), que supone un grado de eficiencia media en la desnitrificación en torno al 80%.

Desde el inicio de las obras, más de 140 empresas diferentes han participado en los trabajos. En el emplazamiento han llegado

Figura 16. Planta SCR



Figura 17. Grúa



a trabajar unas 300 personas entre la propiedad y las empresas contratistas, además del equipo de la propia central, habiéndose empleado más de 500.000 horas-hombre. Los índices de accidentalidad fueron muy moderados (índice de frecuencia = 13,8; índice de incidencia = 26,3; índice de gravedad = 0,08), sin que se registraran accidentes graves, salvo un infarto de miocardio sufrido por un trabajador que hubo de ser evacuado y que, por fortuna, se recuperó de forma satisfactoria. ■

Figura 18.



Figura 19. Foto Equipo de Proyecto



Conclusión

Según las previsiones de distintos organismos internacionales, como la Agencia Internacional de la Energía (IEA), los combustibles fósiles van a seguir desempeñando un papel relevante en el *mix* energético y en la producción de electricidad. El carbón, además de ser el único combustible fósil autóctono, es el que más reservas probadas tiene y cuenta con una variada procedencia.

Las inversiones medioambientales en las centrales de carbón, como fueron los precipitadores electrostáticos para la reducción de partículas, los quemadores de bajo NO_x , la desulfuración y ahora la desnitrificación, reducen el volumen de emisiones a las cada vez más exigentes medidas medioambientales.

Por ello, centrales de carbón, como Aboño2 y Soto3 con las tecnologías más modernas de desnitrificación, como es la Reducción Catalítica Selectiva (SCR), van a contribuir al menos hasta 2030 a la necesaria diversificación del *mix* de producción eléctrica, aportando seguridad de suministro al sistema eléctrico, de forma competitiva y respetuosa con el medio ambiente.