
RESUMEN GENERAL

El presente documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en los sectores de fabricación de cemento y cal refleja el intercambio de información que se ha llevado a cabo con arreglo al apartado 2 del artículo 16 de la Directiva 96/61/CE del Consejo y ha de contemplarse a la luz del prefacio, en el que se describen sus objetivos y forma de uso.

Este documento se divide en dos partes, una dedicada a la industria cementera y otra al sector de fabricación de cal, cada una de las cuales se subdivide en siete capítulos con arreglo al esquema general.

Industria de fabricación de cemento

El cemento es un material básico para la construcción de edificios y obras civiles. La producción de la industria cementera está directamente relacionada con el sector de la construcción en general y, por lo tanto, es un buen indicador de la situación económica global. En 1995, la producción de cemento en la Unión Europea alcanzó la cifra de 172 millones de toneladas, que equivale al 12% de la producción mundial.

Después de la extracción, trituración y homogenización de las materias primas, el proceso de fabricación de cemento comienza por la calcinación del carbonato cálcico y continúa con la cocción del óxido de calcio resultante junto con sílice, alúmina y óxido ferroso a elevada temperatura para obtener clínker. Después se machaca o se tritura éste junto con yeso y otros componentes para obtener cemento.

Los depósitos calcáreos naturales, como la piedra caliza, la marga o la creta, son fuentes de carbonato cálcico. La sílice, el óxido de hierro y la alúmina se encuentran en varios materiales y minerales, como la arena, el esquisto, la arcilla y los minerales ferruginosos. Además, las cenizas que generan las centrales eléctricas, la escoria de los altos hornos y los residuos de otros procesos pueden utilizarse como sustitutos parciales de las materias primas naturales.

En la Unión Europea se consume un promedio de 1.570 kg de materias primas para obtener una tonelada de clínker. La mayor parte de la materia restante se pierde en el proceso de calcinación en forma de emisiones atmosféricas de dióxido de carbono ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$).

La industria cementera tiene un gran consumo de energía, que suele representar alrededor del 30% ó 40% de los costes de producción (es decir, sin contar los costes de inversión). Para obtener el calor necesario para el proceso pueden utilizarse diversos combustibles. En 1995, los más utilizados eran el coque de petróleo (39%) y el carbón (36%), seguidos de distintos tipos de residuos (10%), fuel-oil (7%), lignito (6%) y gas (2%).

En 1995, había en la Unión Europea 252 instalaciones productoras de clínker cementero y cemento final y un total de 437 hornos, pero no todos ellos en funcionamiento. Además, había otras 68 plantas trituradoras (molinos) sin horno. En los últimos años, los hornos han alcanzado una capacidad normal de 3.000 toneladas de clínker diarias.

La cocción del clínker se realiza en un horno rotativo que puede formar parte de un sistema de hornos horizontales de proceso húmedo o seco; de un sistema de hornos con precalentador de parrilla (Lepol) de proceso semihúmedo o semiseco; de un sistema de hornos con precalentador de suspensión de proceso seco; o de un sistema de hornos con precalentador o precalcinador. Se considera que la mejor técnica disponible⁽¹⁾ para la producción de clínker de cemento es el

¹ Véanse las cualificaciones de aplicabilidad y viabilidad en el capítulo 1.5.

horno de proceso seco con precalentamiento y precalcificación por suspensión en varias fases. El balance térmico asociado a esta MTD es de 3.000 MJ por tonelada de clínker.

Actualmente, alrededor del 78% del cemento de fabricación europea se produce en hornos de proceso seco, otro 16% corresponde a hornos de proceso semihúmedo y semiseco y el resto, en torno a un 6%, procede de hornos de proceso húmedo. Con carácter general, está previsto que los hornos de proceso húmedo que funcionan en Europa se transformen en hornos de proceso seco en el momento de su renovación, al igual que los hornos de proceso semihúmedo y semiseco.

La cocción de clínker es la parte más importante del proceso en lo que respecta a los principales problemas medioambientales derivados de la fabricación de cemento: el consumo de energía y las emisiones atmosféricas. Los principales contaminantes que se emiten al medio ambiente son los óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO_2) y el polvo. Las técnicas de reducción de polvo llevan aplicándose más de 50 años y la reducción del SO_2 es un problema específico de determinadas plantas, mientras que la reducción de NO_x es una cuestión relativamente nueva en la industria cementera.

Muchas fábricas cementeras han adoptado medidas primarias generales, como la optimización del control de procesos, el uso de modernos sistemas de alimentación gravimétrica de combustible sólido, la optimización de las conexiones de refrigeración y la aplicación de sistemas de gestión energética. Estas medidas suelen tener por objeto mejorar la calidad del clínker y reducir los costes de producción, pero también reducen el consumo de energía y las emisiones atmosféricas.

Las mejores técnicas disponibles⁽¹⁾ para reducir las emisiones de NO_x son una combinación de medidas primarias generales, medidas primarias específicas para controlar este tipo de emisiones, sistemas de combustión escalonada y técnicas de reducción selectiva no catalítica. Las emisiones asociadas a la aplicación de las MTD⁽²⁾ se sitúan en niveles de entre 200 y 500 mg de NO_x/m^3 (en forma de NO_2) que podrían considerarse dentro de la gama que se considera normal (de menos de 200 a 3.000 mg de NO_x/m^3), teniendo en cuenta que se afirma que la mayoría de los hornos existentes en la Unión Europea son capaces de conseguir menos de 1.200 mg/ m^3 con la aplicación de medidas primarias.

Aunque el grupo de trabajo técnico respaldó de forma unánime las conclusiones anteriores sobre las MTD para controlar las emisiones de NO_x , sí se registraron discrepancias⁽³⁾ con respecto a la afirmación de que los niveles de emisión asociados a la aplicación de dichas técnicas oscilan entre 500 y 800 mg de NO_x/m^3 (en forma de NO_2). También se expresó la opinión⁽³⁾ de que los niveles de emisión correspondientes a la técnica de reducción catalítica selectiva se sitúan entre 100 y 200 mg de NO_x/m^3 (en forma de NO_2).

Las mejores técnicas disponibles⁽¹⁾ para reducir las emisiones de SO_2 combinan las medidas primarias generales con la adición de absorbentes para obtener niveles iniciales no superiores a 1.200 mg de SO_2/m^3 y con depuradores de proceso húmedo o seco para obtener niveles iniciales superiores a éste. Los niveles de emisión asociados⁽²⁾ a la aplicación de estas técnicas se sitúan entre 200 y 400 mg de SO_2/m^3 . Las emisiones de SO_2 que se generan en las fábricas de cemento vienen determinadas principalmente por la cantidad de azufre volátil que contienen las materias primas que se utilizan en sus hornos. Si las materias primas contienen poca o ninguna cantidad de este elemento, los niveles de emisión de SO_2 serán muy inferiores al nivel citado sin necesidad de utilizar técnicas de reducción. La gama que se considera normal oscila entre menos de 10 y 3.500 mg de SO_2/m^3 .

² Los niveles de emisión se expresan en promedios diarios y en condiciones estándar de 273 °K, 101,3 kPa, 10% de oxígeno y gas seco.

³ Véanse los detalles y la justificación de la división de opiniones en el capítulo 1.5.

Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones de polvo combinan las medidas primarias generales con la eliminación eficiente de las partículas procedentes de fuentes puntuales mediante precipitadores electrostáticos o filtros textiles. Las emisiones asociadas⁽²⁾ a la aplicación de estas técnicas se sitúan en niveles de entre 20 y 30 mg de polvo por m³. La gama normal de las emisiones procedentes de fuentes puntuales oscila entre 5 y 200 mg de polvo por m³. Las mejores técnicas disponibles también incluyen la reducción y prevención de las emisiones de polvo que proceden de fuentes fugitivas, de acuerdo con el apartado 1.4.7.3.

Las mejores técnicas disponibles para reducir los residuos consisten en recoger las partículas y reciclarlas en el propio proceso, siempre que sea posible. Si el polvo recogido no es reciclable, entonces se considera que la MTD es utilizarlo en otros productos comerciales.

Se recomienda realizar una revisión del presente documento de referencia sobre MTD para el año 2005, especialmente en relación con la reducción de NO_x (desarrollo de las tecnologías de reducción selectiva, catalítica y no catalítica). Otras cuestiones que no se han tratado con detalle en el presente documento, y que podrían incluirse en su revisión, son las siguientes:

- más información acerca de los aditivos químicos que actúan como diluyentes de las lechadas,
- información numérica sobre frecuencia y duración aceptable de los trayectos de CO, y
- valores de las emisiones de COV, metales, HCl, HF, CO y PCDD/F asociadas a las MTD.

Industria de fabricación de cal

La cal tiene muy diversas aplicaciones, por ejemplo, como fundente en el proceso de refinado del acero, como aglomerante en la construcción, y como agente precipitador de impurezas en los sistemas de tratamiento de aguas. También se utiliza mucho para neutralizar los componentes ácidos de los vertidos industriales y de los gases de combustión. La producción anual de la Unión Europea asciende a 20.000.000 de toneladas de cal, lo que equivale al 15% de la producción mundial de relevancia comercial.

El proceso de fabricación consiste en calcinar carbonatos de calcio o magnesio en un horno para liberar dióxido de carbono y obtener óxido de calcio ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Por regla general, el producto del horno es machacado, triturado y tamizado antes de ser transportado al silo de almacenamiento, desde donde se envía al usuario final para su aplicación en forma de cal viva o pasa a una planta de hidratación, donde se mezcla con agua para obtener cal apagada.

El término “cal” hace referencia tanto a la cal viva como a la cal apagada y es sinónimo del término “derivados de la cal”. La cal viva, o calcinada, es óxido de calcio (CaO). La cal apagada se compone principalmente de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) y el término hace referencia tanto a la cal hidratada (hidróxido de calcio seco en polvo) como a la lechada de cal y al mastique de cal (dispersiones de partículas de hidróxido de calcio en agua).

En la producción suelen utilizarse entre 1.400 y 2.200 kg de caliza por tonelada de cal viva comercial. El consumo depende del tipo de producto, de la pureza de la caliza, del grado de calcinación y de la cantidad de productos residuales. La mayor parte de la materia restante se pierde en el proceso en forma de emisiones atmosféricas de dióxido de carbono.

El sector de fabricación de cal tiene un gran consumo de energía, que representa hasta el 50% de los costes totales de producción. Los hornos se alimentan de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. El consumo de gas natural ha registrado un notable aumento durante los últimos años. En 1995, los combustibles más utilizados eran el gas natural (48%) y distintos tipos de carbón, como la antracita, el coque, el lignito y el coque de petróleo (36%) seguidos del petróleo (15%) y otros combustibles (1%).

También en 1995, había en total unas 240 instalaciones productoras de cal en la Unión Europea (sin contar la producción cautiva) y 450 hornos, la mayoría de ellos hornos de cuba

regenerativos de flujo paralelo y de otros tipos, con una capacidad de entre 50 y 500 toneladas diarias.

Los principales problemas medioambientales relacionados con la producción de cal son la contaminación atmosférica y el consumo de energía. El proceso de calcinación es la principal fuente de emisiones y también el principal consumidor de energía. Los procesos secundarios de apagado y trituración también pueden ser importantes en este aspecto. Las principales emisiones son de polvo, óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO).

Muchas fábricas de cal han adoptado medidas primarias generales, como la optimización del control de procesos. Estas medidas suelen aplicarse para mejorar la calidad del producto y reducir los costes de producción, pero también reducen el consumo de energía y las emisiones atmosféricas.

Las mejores técnicas disponibles para reducir las emisiones de polvo combinan las medidas primarias generales con la eliminación eficiente de las partículas procedentes de fuentes puntuales a través de filtros textiles, precipitadores electrostáticos o depuradores de proceso húmedo. El nivel de emisiones asociado⁽⁴⁾ a la aplicación de estas MTD se sitúa en torno a los 50 mg de polvo por m³. Las mejores técnicas disponibles también incluyen la reducción y prevención de las emisiones de polvo procedentes de fuentes fugitivas, de acuerdo con el apartado 1.4.7.3.

Las mejores técnicas disponibles para reducir los residuos son el aprovechamiento del polvo, la cal viva de calidad no conforme y la cal hidratada en determinados productos comerciales.

Las emisiones de NO_x dependen principalmente de la calidad de la cal que se produce y del diseño del horno. En algunos hornos rotativos se han instalado quemadores especiales para reducir estas emisiones, pero no se han aplicado otras tecnologías de reducción de NO_x en la industria de fabricación de cal.

Las emisiones de SO₂, procedentes principalmente de los hornos rotativos, dependen de la proporción de azufre que contiene el combustible, del diseño del horno y del azufre que debe contener la cal producida. Por lo tanto, las emisiones de SO₂ pueden limitarse utilizando combustibles bajos en azufre y fabricando cal con mayor proporción de azufre. También hay técnicas de adición de absorbentes, pero actualmente no se aplican en este sector.

Antes de revisar el presente documento de referencia, sería útil realizar un estudio de las técnicas de reducción, de las emisiones y consumos y de los sistemas de control existentes en el sector.

⁴ Los niveles de emisión se expresan en promedios diarios y en condiciones estándar de 273 °K, 101,3 kPa, 10% de oxígeno y gas seco, excepto en las plantas de hidratación, donde las condiciones son las específicas de la emisión.