

II

(Actos no legislativos)

DECISIONES

DECISIÓN DE EJECUCIÓN DE LA COMISIÓN

de 26 de marzo de 2013

por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para la fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre las emisiones industriales

[notificada con el número C(2013) 1728]

(Texto pertinente a efectos del EEE)

(2013/163/UE)

LA COMISIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea,

Vista la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) ⁽¹⁾, y, en particular, su artículo 13, apartado 5,

Considerando lo siguiente:

- (1) En el artículo 13, apartado 1, de la Directiva 2010/75/UE se exige a la Comisión que organice un intercambio de información sobre las emisiones industriales entre ella y los Estados miembros, las industrias afectadas y las organizaciones no gubernamentales promotoras de la protección del medio ambiente, a fin de facilitar la elaboración de los documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD), que se definen en el artículo 3, punto 11, de dicha Directiva.
- (2) De conformidad con el artículo 13, apartado 2, de la Directiva 2010/75/UE, el intercambio de información debe versar sobre el funcionamiento de las instalaciones y técnicas en lo que se refiere a emisiones expresadas como medias a corto y largo plazo, según proceda, y las condiciones de referencia asociadas, consumo y tipo de materias primas, consumo de agua, uso de energía y generación de residuos, así como a las técnicas usadas, controles asociados, efectos entre distintos medios, viabilidad técnica y económica y evolución registrada, junto con las mejores técnicas disponibles y técnicas emergentes definidas tras considerar los temas mencionados en el artículo 13, apartado 2, letras a) y b), de dicha Directiva.
- (3) Las «conclusiones sobre las MTD», definidas en el artículo 3, punto 12, de la Directiva 2010/75/UE, constituyen el elemento principal de los documentos de referencia MTD y establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles, su descripción, la información para evaluar su aplicabilidad, los niveles de emisión asociados a las mejores técnicas disponibles, las monitorizaciones asociadas, los niveles de consumo asociados y, si procede, las medidas de rehabilitación del emplazamiento de que se trate.
- (4) De acuerdo con el artículo 14, apartado 3, de la Directiva 2010/75/UE, las conclusiones sobre las MTD deben constituir la referencia para el establecimiento de las condiciones del permiso en relación con las instalaciones incluidas en el ámbito del capítulo II.
- (5) En el artículo 15, apartado 3, de la Directiva 2010/75/UE se establece que la autoridad competente ha de fijar valores límite de emisión que garanticen que, en condiciones de funcionamiento normal, las emisiones no superen los niveles de emisión asociados a las mejores técnicas disponibles que se establecen en las decisiones relativas a las conclusiones sobre las MTD, contempladas en el artículo 13, apartado 5, de dicha Directiva.
- (6) En el artículo 15, apartado 4, de la Directiva 2010/75/UE se contempla la posibilidad de permitir excepciones a lo dispuesto en el artículo 15, apartado 3, solamente si los costes derivados de la consecución de los niveles de emisión son desproporcionadamente elevados en comparación con el beneficio ambiental, debido a la ubicación geográfica, la situación del entorno local o las características técnicas de la instalación de que se trate.
- (7) En virtud del artículo 16, apartado 1, de la Directiva 2010/75/UE, los requisitos de control incluidos en el permiso como se indica en el artículo 14, apartado 1, letra c), se deben basar en las conclusiones sobre la monitorización recogidas en las conclusiones sobre las MTD.
- (8) De acuerdo con el artículo 21, apartado 3, de la Directiva 2010/75/UE, en un plazo de cuatro años a partir de la publicación de decisiones relativas a las conclusiones sobre las MTD, la autoridad competente debe revisar y, si fuera necesario, actualizar todas las condiciones del permiso y garantizar que la instalación cumpla dichas condiciones.

⁽¹⁾ DO L 334 de 17.12.2010, p. 17.

- (9) Mediante la Decisión de la Comisión, de 16 de mayo de 2011, por la que se crea un Foro para el intercambio de información en virtud del artículo 13 de la Directiva 2010/75/UE, sobre las emisiones industriales ⁽¹⁾, se creó un Foro compuesto por representantes de los Estados miembros, las industrias afectadas y las organizaciones no gubernamentales promotoras de la protección del medio ambiente.
- (10) De acuerdo con el artículo 13, apartado 4, de la Directiva 2010/75/UE, la Comisión recibió el 13 de septiembre de 2012 el dictamen ⁽²⁾ de dicho Foro sobre el contenido propuesto del documento de referencia MTD relativo a la fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio, y lo hizo público.
- (11) Las medidas previstas en la presente Decisión se ajustan al dictamen del Comité creado en virtud del artículo 75, apartado 1, de la Directiva 2010/75/UE.

HA ADOPTADO LA PRESENTE DECISIÓN:

Artículo 1

Las conclusiones sobre las MTD para la fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio se detallan en el anexo de la presente Decisión.

Artículo 2

Los destinatarios de la presente Decisión serán los Estados miembros.

Hecho en Bruselas, el 26 de marzo de 2013.

Por la Comisión

Janez POTOČNIK

Miembro de la Comisión

⁽¹⁾ DO C 146 de 17.05.2011, p. 3.

⁽²⁾ http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?l=/ied_art_13_forum/opinions_article

ANEXO

CONCLUSIONES SOBRE LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES (MTD) PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO, CAL Y ÓXIDO DE MAGNESIO

ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO	5
NOTA SOBRE EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	6
DEFINICIONES	6
GENERALIDADES	7
CONCLUSIONES SOBRE LAS MTD	8
1.1 Conclusiones sobre las MTD generales	8
1.1.1 Sistemas de gestión ambiental (SGA)	8
1.1.2 Ruido	9
1.2 Conclusiones sobre las MTD para la industria cementera	10
1.2.1 Técnicas primarias generales	10
1.2.2 Monitorización	11
1.2.3 Consumo de energía y selección del proceso	11
1.2.4 Utilización de residuos	13
1.2.5 Emisiones de partículas	14
1.2.6 Compuestos gaseosos	17
1.2.7 Emisiones de PCDD/F	21
1.2.8 Emisiones de metales	21
1.2.9 Pérdidas y residuos del proceso	22
1.3 Conclusiones sobre las MTD para la industria de la cal	22
1.3.1 Técnicas primarias generales	22
1.3.2 Monitorización	23
1.3.3 Consumo de energía	23
1.3.4 Consumo de piedra caliza	25
1.3.5 Selección de los combustibles	25
1.3.6 Emisiones de partículas	26
1.3.7 Compuestos gaseosos	29
1.3.8 Emisiones de PCDD/F	33
1.3.9 Emisiones de metales	33
1.3.10 Pérdidas y residuos del proceso	34

1.4	Conclusiones sobre las MTD para la industria del óxido de magnesio	34
1.4.1	Monitorización	34
1.4.2	Consumo de energía	35
1.4.3	Emisiones de partículas	35
1.4.4	Compuestos gaseosos	37
1.4.5	Pérdidas y residuos del proceso	39
1.4.6	Utilización de residuos como combustibles y/o materias primas	40
	DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS	40
1.5	Descripción de las técnicas utilizadas en la industria cementera	40
1.5.1	Emisiones de partículas	40
1.5.2	Emisiones de NOx	41
1.5.3	Emisiones de SOx	42
1.6	Descripción de las técnicas utilizadas a la industria de la cal	43
1.6.1	Emisiones de partículas	43
1.6.2	Emisiones de NOx	44
1.6.3	Emisiones de SOx	44
1.7	Descripción de las técnicas utilizadas en la industria del óxido de magnesio (vía húmeda)	44
1.7.1	Emisiones de partículas	44
1.7.2	Emisiones de SOx	45

ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO

En el presente documento se describen las conclusiones sobre las MTD relativas a las siguientes actividades industriales especificadas en la sección 3.1 del anexo I de la Directiva 2010/75/UE

«Producción de cemento, cal y óxido de magnesio», las cuales comprenden lo siguiente:

- a) fabricación de clínker de cemento en hornos rotatorios con una capacidad de producción superior a 500 toneladas diarias, o en hornos de otro tipo con una capacidad de producción superior a 50 toneladas diarias;
- b) fabricación de cal en hornos con una capacidad de producción superior a 50 toneladas diarias;
- c) fabricación de óxido de magnesio en hornos con una capacidad de producción superior a 50 toneladas diarias.

En relación con la letra c) de la sección 3.1 antes citada, las presentes conclusiones sobre las MTD se refieren únicamente a la producción de MgO mediante el proceso seco basado en magnesita mineral extraída (carbonato de magnesio, MgCO₃).

Respecto a las actividades antes indicadas, las presentes conclusiones sobre las MTD abarcan, en particular, lo siguiente:

- producción de cemento, cal y óxido de magnesio (proceso seco);
- almacenamiento y preparación de las materias primas;
- almacenamiento y preparación de los combustibles;
- requisitos de calidad, control y preparación para la utilización de residuos como materias primas o combustibles;
- almacenamiento y manipulación de los productos;
- envasado y expedición.

Estas conclusiones no se refieren a las siguientes actividades:

- producción de óxido de magnesio mediante proceso húmedo que utiliza cloruro de magnesio como material de partida, ya cubierto por el Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de productos químicos inorgánicos de gran volumen de producción (sólidos y otros) (LVIC-S);
- producción de dolomía ultra baja en carbono (es decir, de la mezcla de óxidos de calcio y de magnesio obtenida mediante la descarbonatación prácticamente total de la dolomía (CaCO₃.MgCO₃); el contenido residual de CO₂ será inferior a 0,25 %, y su densidad aparente estará muy por debajo de 3,05 g/cm³);
- hornos verticales para la producción de clínker de cemento;
- actividades no relacionadas directamente con la actividad primaria, por ejemplo la explotación de canteras.

Otros documentos de referencia pertinentes respecto a las actividades contempladas en las presentes conclusiones son los siguientes:

Documentos de referencia	Actividad
Emisiones generadas por el almacenamiento (EFS)	Almacenamiento y manipulación de las materias primas y productos terminados
Principios generales de monitorización (MON)	Monitorización de las emisiones
Industrias de tratamiento de residuos (WT)	Tratamiento de residuos
Eficiencia energética (ENE)	Eficiencia energética en general
Efectos económicos y cruzados (ECM)	Efectos económicos y cruzados de las técnicas

Las técnicas relacionadas y descritas en estas conclusiones no son prescriptivas ni exhaustivas. Otras técnicas pueden ser utilizadas si garantizan al menos un nivel equivalente de protección del medio ambiente.

En los casos en que las presentes conclusiones se refieran a las plantas de coincineración de residuos, ello se entenderá sin perjuicio de las disposiciones del capítulo IV y del anexo VI de la Directiva 2010/75/UE.

Cuando las conclusiones se refieran a la eficiencia energética, ello se entenderá sin perjuicio de las disposiciones de la nueva Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo ⁽¹⁾, relativa a la eficiencia energética.

NOTA SOBRE EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

El intercambio de información sobre las MTD para los sectores de cemento, la cal y el óxido de magnesio concluyó en 2008. Para formular las presentes conclusiones sobre las MTD se ha utilizado la información recogida en dicha fase, complementada con nuevos datos relativos a las emisiones procedentes de la fabricación de óxido de magnesio.

DEFINICIONES

A los efectos de las presentes conclusiones sobre las MTD, son de aplicación las definiciones siguientes:

Término utilizado	Definición
Planta nueva	Una planta de nueva construcción edificada sobre los terrenos de otra planta existente, en fecha posterior a la publicación de las presentes conclusiones sobre las MTD, o bien la sustitución completa de una planta edificada sobre los cimientos de otra ya existente después de publicadas las presentes conclusiones.
Planta existente	Cualquier planta que no sea de construcción reciente.
Gran modificación	Mejora introducida en la planta u horno que conlleve una modificación considerable de los requisitos o tecnología del horno, o la sustitución del mismo.
«Utilización de los residuos como materias primas o combustibles»	El término abarca la utilización de: <ul style="list-style-type: none"> — combustibles derivados de residuos con un valor calorífico elevado; — residuos sin un valor calorífico elevado pero con componentes minerales que, utilizados como materias primas, contribuyen a la fabricación de clínker como producto intermedio, y — residuos que, además de tener un valor calorífico elevado, incluyen también componentes minerales.

Definición de determinados productos

Término utilizado	Definición
Cemento blanco	Cemento correspondiente al siguiente código PRODCOM 2007: 26.51.12.10 – Cemento blanco Portland
Cemento especial	Cementos especiales correspondientes a los siguientes códigos PRODCOM 2007: <ul style="list-style-type: none"> — 26.51.12.50 – Cemento aluminoso — 26.51.12.90 – Los demás cementos hidráulicos
Dolomía calcinada	Mezcla de óxidos de calcio y de magnesio obtenida mediante la descarbonatación de la dolomía ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), con un contenido residual mínimo de CO_2 en el producto de 0,25 %, y una densidad aparente máxima del producto comercial de $3,05 \text{ g/cm}^3$. El contenido libre en forma de MgO suele variar entre el 25 % y el 40 %.
Dolomía sinterizada	Mezcla de óxidos de calcio y magnesio utilizados exclusivamente para la fabricación de ladrillos u otros productos refractarios con una densidad aparente mínima de $3,05 \text{ g/cm}^3$.

⁽¹⁾ DO L 315 de 14.11.2012, p. 1.

Definición de determinados contaminantes atmosféricos

Término utilizado	Definición
NO _x expresados en NO ₂	La suma de óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂), expresada en NO ₂
SO _x expresados en SO ₂	La suma de dióxido de azufre (SO ₂) y trióxido de azufre (SO ₃), expresada en SO ₂
Cloruro de hidrógeno expresado en HCl	Todos los cloruros gaseosos expresados en HCl
Fluoruro de hidrógeno expresado en HF	Todos los fluoruros gaseosos expresados en HF

Abreviaturas

ASK	Horno vertical anular
DBM	Magnesia calcinada a muerte
I-TEQ	Equivalente internacional de toxicidad
LRK	Horno rotatorio largo
MFSK	Horno vertical de alimentación mixta
OK	Hornos de otro tipo. Se incluyen aquí los siguientes tipos utilizados en la industria de la cal: — hornos verticales dobles inclinados; — hornos verticales multicámara; — hornos verticales de quemador central; — hornos verticales de cámara externa; — hornos verticales de quemador de emisión de radiación; — hornos verticales de arco interno; — hornos de parrilla móvil; — hornos con forma en la parte superior; — hornos de calcinación <i>flash</i> ; — hornos rotativos de reverbero
OSK	Otros hornos verticales (distintos de los ASK y MFSK)
PCDD	dibenzo-p-dioxina policlorada
PCDF	Policlorodibenzofuranos
PFRK	Hornos de flujo paralelo regenerativo
PRK	Hornos rotatorios con precalentador

GENERALIDADES**Períodos para el cómputo de los valores medios, y condiciones de referencia para las emisiones atmosféricas**

Los niveles de emisiones asociados a las mejores técnicas disponibles (NEA-MTD) recogidos en las presentes conclusiones se refieren a las condiciones normales: gas seco, temperatura de 273 K, presión de 1 013 hPa.

Los valores establecidos para las concentraciones son aplicables en las siguientes condiciones:

	Actividades	Condiciones de referencia
Actividades relacionadas con la combustión en horno	Industria cementera	10 % de oxígeno en volumen
	Industria de la cal ⁽¹⁾	11 % de oxígeno en volumen
	Industria del óxido de magnesio (proceso seco) ⁽²⁾	10 % de oxígeno en volumen
Actividades no relacionadas con la combustión en horno	Todos los procesos	Sin corrección para el oxígeno
	Plantas de hidratación de cal	Condiciones de las propias emisiones (sin corrección para el oxígeno y el gas seco)

⁽¹⁾ La corrección para el oxígeno no se aplicará en el caso de la dolomía sinterizada producida por el «proceso de doble paso».

⁽²⁾ La corrección para el oxígeno no se aplicará en el caso de la magnesia calcinada a muerte (DBM) producida por el «proceso de doble paso».

Para el cómputo de los valores medios se aplicarán las definiciones siguientes:

Valor medio diario	Valor medio durante un período de 24 horas, obtenido por monitorización continua de las emisiones
Valor medio durante el período de muestreo	Valor medio de las mediciones puntuales (periódicas) durante un período mínimo de 30 minutos cada una, salvo indicación en contrario

Conversión a la concentración de oxígeno de referencia

La fórmula para calcular la concentración de emisiones a un nivel de oxígeno de referencia es la siguiente:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

Donde:

E_R (mg/Nm³): concentración de emisiones corregida para el nivel de oxígeno de referencia O_R

O_R (% vol): nivel de oxígeno de referencia

E_M (mg/Nm³): concentración de emisiones para el nivel de oxígeno medido O_M

O_M (% vol): nivel de oxígeno medido.

CONCLUSIONES SOBRE LAS MTD

1.1 Conclusiones sobre las MTD generales

Las MTD mencionadas en esta sección se aplicarán a todas las instalaciones incluidas en el ámbito de aplicación de las presentes conclusiones (industria de cemento, cal y óxido de magnesio).

Las MTD específicas para cada proceso que se describen en las secciones 1.2 a 1.4 se aplicarán como complemento a las MTD generales examinadas en la presente sección.

1.1.1 Sistemas de gestión ambiental (SGA)

1. Al objeto de mejorar el comportamiento medioambiental global de las plantas o instalaciones de fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio, la MTD aplicable a la producción consiste en implementar y respetar un sistema de gestión ambiental (SGA) que incluya todos los elementos siguientes:

- i. compromiso de los órganos de dirección, incluida la dirección ejecutiva;
- ii. definición de una política medioambiental que promueva la mejora continua de las instalaciones por parte de los órganos de dirección;

- iii. planificación y establecimiento de los procedimientos y objetivos necesarios, junto con la planificación financiera y las inversiones;
- iv. aplicación de los procedimientos, prestando atención especialmente a:
 - a) la organización y la asignación de responsabilidades,
 - b) la formación, la concienciación y las competencias profesionales,
 - c) la comunicación,
 - d) la participación de los empleados,
 - e) la documentación,
 - f) el control eficaz de los procesos,
 - g) los programas de mantenimiento,
 - h) la preparación para las emergencias y la capacidad de reacción,
 - i) la garantía del cumplimiento de la legislación ambiental;
- v. control de los comportamientos y adopción de medidas correctoras, haciendo un especial hincapié en:
 - a) la monitorización y la medición (véase también el documento de referencia sobre los Principios generales de monitorización),
 - b) las medidas correctivas y preventivas,
 - c) el mantenimiento de registros,
 - d) la auditoría independiente (si es posible), tanto interna como externa, dirigida a determinar si el SGA se ajusta o no a las disposiciones previstas, y si se ha aplicado y mantenido de la manera correcta;
- vi. revisión del SGA por parte de la dirección ejecutiva para comprobar que siga siendo oportuno, adecuado y eficaz;
- vii. seguimiento del desarrollo de nuevas tecnologías más limpias;
- viii. análisis, tanto en la fase de diseño de una planta nueva como durante toda su vida útil, de las repercusiones medioambientales que podría conllevar el cierre de la instalación;
- ix. realización periódica de evaluaciones comparativas con el resto del sector.

Aplicabilidad

El alcance (por ejemplo, el grado de detalle) y las características del SGA (por ejemplo, normalizado o no) dependerá, por regla general, de las características, dimensiones y nivel de complejidad de la instalación, y de la diversidad de las posibles repercusiones medioambientales.

1.1.2 Ruido

2. Al objeto de reducir o minimizar las emisiones acústicas durante los procesos de fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio, la MTD consiste en una combinación de las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Seleccionar un emplazamiento apropiado para los procesos ruidosos.
b	Encerrar los procesos o equipos ruidosos.

	Técnica
c	Aislar las vibraciones producidas por los procesos o equipos.
d	Revestir el interior y el exterior con materiales amortiguadores de impactos.
e	Aislar acústicamente los edificios para proteger los procesos ruidosos en los que intervengan equipos de transformación de materiales.
f	Construir muros de protección o pantallas naturales contra el ruido.
g	Instalar silenciadores de salida en las chimeneas de escape.
h	Revestir con material aislante los conductos y ventiladores finales situados en edificios con aislamiento acústico.
i	Cerrar las puertas y ventanas de las zonas cubiertas.
j	Instalar aislamiento acústico en los edificios destinados a la maquinaria.
k	Instalar aislamiento acústico en los huecos de las paredes, por ejemplo mediante la colocación de compuertas en la boca de entrada de las cintas transportadoras.
l	Instalar elementos insonorizantes en las salidas de gases, por ejemplo en las salidas de gases limpios de los equipos de filtrado.
m	Reducir del caudal en los conductos.
n	Instalar aislamiento acústico en los conductos.
o	Evitar el acoplamiento de las fuentes de ruido con los elementos que pudieran entrar en resonancia, por ejemplo, compresores y conductos.
p	Instalar silenciadores en los grupos filtro/ventilador.
q	Instalar módulos insonorizados en los dispositivos técnicos (por ejemplo, compresores).
r	Utilizar protectores de goma en los molinos (para evitar el contacto entre metales).
s	Construir edificios o plantar árboles y arbustos entre la zona protegida y la actividad generadora de ruido.

1.2 Conclusiones sobre las MTD para la industria cementera

Salvo que se indique lo contrario, las conclusiones sobre las MTD presentadas en esta sección pueden aplicarse a todas las instalaciones de fabricación de cemento.

1.2.1 Técnicas primarias generales

3. Al objeto de reducir las emisiones del horno y de aprovechar eficientemente la energía, la MTD consiste en conseguir un proceso de combustión uniforme y estable, cuyos parámetros se acerquen lo más posible a los valores de referencia establecidos para los mismos, aplicando las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Optimizar el control del proceso, incluido el control automático por ordenador.
b	Utilizar alimentadores gravimétricos modernos de combustibles sólidos.

4. Al objeto de prevenir y/o reducir las emisiones, la MTD consiste en llevar a cabo una selección y un control cuidadosos de todas las sustancias introducidas en el horno.

Descripción

La selección y el control cuidadosos de las sustancias introducidas en el horno pueden reducir las emisiones. La composición química de dichas sustancias y la forma en que se introducen en el horno son factores que deberán tenerse en cuenta en la selección. Entre las sustancias de posible riesgo se incluyen las mencionadas en la MTD 11 y en las MTD 24 a 28.

1.2.2 Monitorización

5. La MTD consiste en llevar a cabo de forma regular la monitorización y la medición de los parámetros y emisiones del proceso, y en monitorizar las emisiones con arreglo a las normas EN correspondientes o, si no se dispone de normas EN, con arreglo a las normas ISO u otras normas nacionales o internacionales que garanticen el suministro de datos de una calidad científica equivalente, entre ellos los siguientes:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Mediciones continuas de los parámetros del proceso para comprobar la estabilidad del mismo, por ejemplo, temperatura, contenido de O ₂ , presión y caudal.	Aplicable con carácter general.
b	Monitorización y estabilización de los parámetros críticos del proceso, es decir, homogeneidad de la mezcla de materias primas y de la alimentación del combustible, dosificación regular y exceso de oxígeno.	Aplicable con carácter general.
c	Medición continua de las emisiones de NH ₃ cuando se aplique la SNCR.	Aplicable con carácter general.
d	Medición continua de las emisiones de partículas, NO _x , SO _x y CO.	Aplicable a los procesos de combustión en horno.
e	Medición periódica de las emisiones de PCDD/F y de metales.	
f	Medición continua o periódica de las emisiones de HCl, HF y COT.	
g	Medición continua o periódica del contenido de partículas.	Aplicable a las actividades sin combustión en horno. En el caso de las fuentes pequeñas (<10 000 Nm ³ /h) de las actividades que emiten partículas, excluyendo el enfriado y las operaciones básicas de molienda, la frecuencia de las mediciones o de los controles de funcionamiento será la indicada en el sistema de gestión del mantenimiento.

Descripción

La elección entre la medición continua o periódica mencionada en la MTD 5 (f) dependerá de la fuente de emisión y del tipo de contaminante de que se trate.

1.2.3 Consumo de energía y selección del proceso**1.2.3.1 Selección del proceso**

6. Al objeto de reducir el consumo de energía, la MTD consiste en utilizar hornos de proceso seco con precalcinación y precalentamiento multietapa.

Descripción

En este tipo de sistema de horno, los gases de combustión y el calor residual recuperado del enfriador pueden utilizarse para precalentar y precalcinan las materias primas antes de su introducción en el horno, lo que conlleva ahorros importantes en el consumo de energía.

Aplicabilidad

Es aplicable a las nuevas plantas y a las grandes modificaciones, y su eficacia dependerá del contenido de humedad de las materias primas.

Niveles de consumo de energía asociados a la MTD

Véase el cuadro 1.

Cuadro 1

Niveles de consumo de energía asociados a la MTD para las nuevas plantas y las grandes modificaciones, utilizando hornos de proceso seco con precalcación y precalentamiento multietapa.

Proceso	Unidad	Niveles de consumo de energía asociados a la MTD ⁽¹⁾
Proceso seco con precalcación y precalentamiento multietapa	MJ/tonelada de clínker	2 900 – 3 300 ⁽²⁾ ⁽³⁾

⁽¹⁾ Estos niveles no son aplicables a las plantas de fabricación de cemento especial o de clínker blanco que requieren unas temperaturas de proceso mucho más elevadas como consecuencia de las especificaciones del producto.

⁽²⁾ En condiciones operativas normales (excluyendo, por ejemplo, la puesta en marcha y las paradas) y optimizadas.

⁽³⁾ La capacidad de producción influye sobre la demanda de energía, dado que una mayor capacidad permite ahorrar energía, mientras que una capacidad menor requiere más energía. El consumo de energía depende asimismo del número de etapas del precalentador de ciclón; a mayor número de etapas, menor consumo de energía en el proceso de combustión. El número apropiado de etapas del precalentador de ciclones viene determinado, en general, por el contenido de humedad de las materias primas.

1.2.3.2 Consumo de energía

7. Al objeto de reducir o minimizar el consumo de energía térmica, la MTD consiste en aplicar una combinación de las técnicas siguientes:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Utilizar hornos mejorados y optimizados y un proceso de combustión uniforme y estable, cuyos parámetros se acerquen lo más posible a los valores de referencia establecidos para el proceso, aplicando las técnicas siguientes: I. optimización del control del proceso, con sistemas de control automático por ordenador; II. alimentadores gravimétricos modernos de combustibles sólidos; III. precalentamiento y precalcación en la medida que resulte posible, teniendo en cuenta la configuración del sistema de horno existente.	Aplicable con carácter general. Para los hornos existentes, la aplicabilidad del precalentamiento y la precalcación dependerá de la configuración del sistema de horno.
b	Recuperar el exceso de calor de los hornos, especialmente de sus zonas de enfriamiento. En particular, el exceso de calor procedente de la zona de enfriamiento (aire caliente) del horno o del precalentador puede utilizarse para el secado de las materias primas.	Aplicable con carácter general a la industria cementera. La recuperación del exceso de calor de la zona de enfriamiento es aplicable cuando se emplean enfriadores de parrillas. En los enfriadores rotatorios, la eficiencia de recuperación es limitada.
c	Aplicar el número apropiado de etapas en el precalentador de ciclones, en función de las características y propiedades de las materias primas y combustibles utilizados.	Las etapas de los precalentadores de ciclones son aplicables a las nuevas plantas y a las grandes modificaciones.
d	Utilizar combustibles cuyas características influyan positivamente sobre el consumo de energía térmica.	La técnica es aplicable con carácter general a los hornos de cemento, en función de la disponibilidad de combustibles, y a los hornos existentes, en función de las posibilidades técnicas de inyectar el combustible dentro del horno.
e	Cuando se sustituyan los combustibles convencionales por combustibles derivados de residuos, utilizar unos sistemas de horno de cemento adecuados y optimizados para la combustión de los residuos.	Aplicable con carácter general a todos los tipos de hornos de cemento.
f	Minimizar los caudales en derivación.	Aplicable con carácter general a la industria cementera.

Descripción

Son varios los factores que influyen sobre el consumo de energía de los sistemas de hornos modernos, entre ellos las propiedades de las materias primas (por ejemplo, contenido de humedad, cocibilidad), las diversas propiedades de los combustibles utilizados y el empleo de sistemas de derivación de gases. Por otro lado, la capacidad de producción del horno también influye sobre la demanda energética.

Técnica 7c: El número apropiado de etapas del precalentador de ciclones se determinará en función del caudal y del contenido de humedad de las materias primas y combustibles que deberán secarse mediante el calor residual de los gases de combustión, dado que las materias primas locales presentan grandes variaciones en lo relativo al contenido de humedad y a la cocibilidad.

Técnica 7d: En la industria cementera pueden utilizarse combustibles convencionales y combustibles derivados de residuos. Las características de los combustibles utilizados, como un poder calorífico apropiado y un bajo contenido de humedad, influyen positivamente sobre el consumo específico de energía del horno.

Técnica 7f: La retirada de las materias primas y de los gases calientes provoca un mayor consumo específico de energía, de alrededor de 6 – 12 MJ por tonelada de clínker, para cada punto porcentual de gas retirado en la entrada del horno. De ahí que la reducción al mínimo de los desvíos de gases tenga efectos positivos sobre el consumo de energía.

8. Al objeto de reducir el consumo de energía primaria, la MTD consiste en estudiar si es posible reducir el contenido de clínker del cemento y de los productos derivados del cemento.

Descripción

La reducción del contenido de clínker del cemento y de los productos derivados del cemento puede lograrse añadiendo en la fase de molienda materiales de relleno o adiciones, como escorias de alto horno, roca caliza, cenizas volantes y puzolana, de acuerdo con las normas aplicables a la fabricación de cemento.

Aplicabilidad

Aplicable con carácter general a la industria cementera, dependiendo de la disponibilidad (local) de materiales de relleno o adiciones y de las peculiaridades de los mercados locales.

9. Al objeto de reducir en consumo de energía primaria, la MTD consiste en examinar la posibilidad de construir plantas de cogeneración o plantas de generación combinada de calor y electricidad.

Descripción

La utilización en la industria cementera de plantas de cogeneración para producir vapor y electricidad, o de plantas de generación combinada de calor y electricidad puede basarse en la recuperación del calor residual procedente de la zona de enfriado o de los gases de combustión del horno, aplicando procesos convencionales de ciclo de vapor u otras técnicas. Por otro lado, es posible recuperar el exceso de calor del enfriador de clínker o de los gases de combustión del horno para su utilización en los sistemas de calefacción urbana o en la industria.

Aplicabilidad

Esta técnica es aplicable a todos los hornos de cemento que generen suficiente excedente de calor, siempre que se puedan cumplir los parámetros apropiados del proceso y se garantice la viabilidad económica.

10. Al objeto de reducir o minimizar el consumo de energía eléctrica, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Utilizar sistemas de gestión de potencia.
b	Utilizar trituradoras y otros equipos eléctricos con un alto grado de eficiencia energética.
c	Utilizar sistemas de monitorización mejorados.
d	Reducir las fugas de aire en el sistema.
e	Optimizar el control del proceso.

1.2.4 Utilización de residuos

1.2.4.1 Control de la calidad de los residuos

11. Al objeto de controlar las características de los residuos utilizados como combustible o como materia prima en los hornos de cemento y de reducir las emisiones, la MTD consiste en aplicar las técnicas siguientes:

Técnica	
a	Aplicar sistemas de aseguramiento de la calidad que permitan preservar las características de los residuos, y analizar todos los residuos a utilizar como materia prima o como combustible en un horno de cemento respecto a: I. su calidad constante; II. sus parámetros físicos, por ejemplo, generación de emisiones, tamaño, reactividad, combustibilidad y poder calorífico; III. sus parámetros químicos, por ejemplo, contenido de cloro, azufre, álcalis, fosfatos y metales relevantes.
b	Controlar la cantidad de los parámetros relevantes de aquellos residuos que se vayan a utilizar como materia prima o combustible en un horno de cemento, como por ejemplo, cloro, metales relevantes (por ejemplo, cadmio, mercurio, talio), azufre y contenido total de halógenos.
c	Aplicar sistemas de aseguramiento de la calidad en cada carga de residuos.

Descripción

Existen diversos tipos de residuos que pueden sustituir a las materias primas o a los combustibles fósiles en la fabricación de cemento, contribuyendo con ello al ahorro de recursos naturales.

1.2.4.2 Incorporación de residuos al horno

12. Al objeto de lograr un tratamiento adecuado de los residuos utilizados en el horno como combustible o materia prima, la MTD consiste en aplicar las técnicas siguientes:

Técnica	
a	Introducir los residuos en el horno a través de los puntos de alimentación adecuados en lo relativo a la temperatura y tiempo de permanencia, en función del diseño y funcionamiento del horno.
b	Incorporar los residuos que contengan compuestos orgánicos que puedan volatilizarse antes de llegar a la zona de calcinación en las zonas adecuadas de altas temperaturas del sistema del horno.
c	Aplicar el proceso apropiado para que la temperatura del gas resultante de la coincineración de los residuos se eleve de forma controlada y homogénea, incluso en las condiciones más desfavorables, hasta los 850 °C durante un período de dos segundos.
d	Elevar la temperatura hasta 1 100 °C si se coincineran residuos peligrosos con un contenido superior al 1 % de sustancias orgánicas halogenadas, expresadas en cloro.
e	Alimentar los residuos de forma continuada y uniforme.
f	Retrasar o detener la coincineración de residuos en operaciones como la puesta en marcha o las paradas cuando no se puedan alcanzar las temperaturas y los tiempos de permanencia adecuados con arreglo a los anteriores puntos a) a d).

1.2.4.3 Gestión de la seguridad en la utilización de residuos peligrosos

13. La MTD consiste en aplicar un sistema de gestión de la seguridad en el almacenamiento, la manipulación y la incorporación de residuos peligrosos, como, por ejemplo, un enfoque basado en el riesgo de acuerdo con el origen y el tipo de residuo, así como en el etiquetado, comprobación, muestreo y ensayo de los residuos que se vayan a manipular.

1.2.5 Emisiones de partículas

1.2.5.1 Emisiones difusas de partículas

14. Al objeto de minimizar o evitar las emisiones difusas de partículas en las operaciones que las generan, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

Técnica		Aplicabilidad
a	Aplicar criterios de simplificación y linealidad en el diseño de la instalación.	Aplicable únicamente a las nuevas plantas.

	Técnica	Aplicabilidad
b	Aislar o encapsular las operaciones que generen partículas, como la trituración, el tamizado y el mezclado.	Aplicable con carácter general.
c	Cubrir las cintas transportadoras y los sistemas elevadores, diseñados como sistemas cerrados, cuando los materiales pulverulentos puedan generar emisiones difusas de partículas.	
d	Reducir las fugas de aire y los puntos de derrame.	
e	Utilizar dispositivos y sistemas de control automáticos.	
f	Vigilar para que las operaciones se realicen con normalidad de manera continuada.	
g	Llevar a cabo un mantenimiento adecuado y completo de la instalación mediante sistemas de aspiración, ya sean fijos o móviles: <ul style="list-style-type: none"> — Durante las operaciones de mantenimiento o en los casos de avería de los sistemas de transporte pueden producirse derrames de materiales. Deberán utilizarse sistemas de aspiración para evitar que se produzcan emisiones difusas de partículas durante las operaciones de traslado. En los edificios de nueva construcción pueden instalarse con facilidad sistemas de aspiración fijos, mientras que en los antiguos normalmente es más fácil instalar sistemas móviles y conexiones flexibles. — En determinados casos es posible mejorar el proceso de circulación mediante sistemas de transporte neumáticos. 	
h	Ventilar y recoger las partículas mediante filtros de mangas: <ul style="list-style-type: none"> — En la medida de lo posible, toda manipulación de materiales deberá realizarse en sistemas cerrados mantenidos a una presión negativa. El aire succionado por este procedimiento se filtrará con un filtro de mangas antes de emitirlo a la atmósfera. 	
i	Utilizar sistemas de almacenamiento cerrados dotados de sistemas de manipulación automática: <ul style="list-style-type: none"> — Se considera que los silos para clínker y las zonas cerradas de almacenamiento de materias primas completamente automatizadas constituyen la solución más eficaz al problema de las emisiones difusas de partículas generadas por el almacenamiento de grandes volúmenes de materiales. Estos sistemas de almacenamientos disponen de uno o varios filtros de mangas para evitar la emisión difusa de partículas durante las operaciones de carga y descarga. — Utilizar silos de almacenamiento con la capacidad adecuada, dotados de indicadores de nivel, sistemas de desconexión automática y filtros capaces de eliminar las emisiones atmosféricas de partículas producidas durante las operaciones de llenado 	
j	En las operaciones relacionadas con la expedición, carga y descarga de cemento, utilizar tuberías de llenado flexibles equipadas con sistemas de extracción de partículas, orientadas hacia la plataforma de carga del camión.	

15. Al objeto de minimizar o evitar las emisiones difusas de partículas en las zonas de almacenamiento a granel, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Cubrir las zonas de almacenamiento a granel o las pilas con pantallas, muros o cerramientos con vegetación de crecimiento vertical (barreras cortaviento, naturales o artificiales, para la protección de las pilas aire libre).
b	Utilizar barreras cortaviento para las pilas al aire libre: <ul style="list-style-type: none"> — Aunque se debería evitar almacenar los materiales pulverulentos en pilas al aire libre, si se hace es posible reducir las partículas difusas mediante el empleo de barreras cortaviento convenientemente diseñadas.
c	Utilizar sistemas de aspersión de agua y supresores químicos de partículas: <ul style="list-style-type: none"> — Cuando la fuente de partículas difusas esté bien localizada, es posible instalar un sistema de aspersión de agua. La humidificación de las partículas contribuye a aglomerarlas y a que el polvo se asiente. También se dispone de una diversidad de agentes químicos que mejoran la eficiencia global del sistema de aspersión de agua.

	Técnica
d	Cuidar la pavimentación, riego, limpieza y mantenimiento de las vías de acceso: <ul style="list-style-type: none"> — Los espacios utilizados por los camiones deberán pavimentarse siempre que se pueda, y su superficie se mantendrá lo más limpia posible. El riego de las vías de acceso puede limitar las emisiones difusas de partículas especialmente con tiempo seco. También pueden limpiarse mediante máquinas barredoras. Se aplicarán las buenas prácticas en materia de limpieza y mantenimiento con el fin de reducir al mínimo las emisiones difusas de partículas.
e	Garantizar la humidificación de las pilas: <ul style="list-style-type: none"> — Es posible reducir las emisiones difusas de partículas de las pilas mediante una humidificación suficiente de los puntos de carga y descarga y la utilización de cintas transportadoras ajustables en altura.
f	En caso de que no sea posible evitar las emisiones difusas de partículas en las zonas de carga y descarga, ajustar la altura de la descarga a la variación de la altura de la pila, preferiblemente de forma automática, o bien reducir la velocidad de descarga.

1.2.5.2 Emisiones canalizadas de partículas procedentes de actividades generadoras de partículas

Esta sección se refiere a las emisiones de partículas procedentes de actividades generadoras de partículas distintas de los procesos de combustión del horno y de enfriado, así como del procedimiento de molienda principal. Abarca procesos como la trituración de las materias primas, las cintas transportadoras y elevadoras, el almacenamiento de materias primas, clínker y cemento, el almacenamiento de combustibles y la expedición de cemento.

16. Al objeto de reducir las emisiones canalizadas de partículas, la MTD consiste en aplicar un sistema de gestión del mantenimiento enfocado especialmente al funcionamiento de los filtros empleados en las actividades generadoras de partículas distintas de los procesos de combustión del horno y de enfriado, así como del procedimiento de molienda principal. En el marco de este sistema de gestión, la MTD implica la limpieza con filtros de los gases de salida.

Descripción

En las operaciones generadoras de partículas, la limpieza de los gases de salida se realiza generalmente con filtros de mangas. En la sección 1.5.1 se incluye una descripción de dichos filtros.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El nivel de emisiones asociados a las mejores técnicas disponibles (NEA-MTD, también conocido por sus siglas inglesas, BAT-AEL) para las emisiones canalizadas de partículas procedentes de actividades generadoras de polvo (distintas de los procesos de combustión del horno y enfriado, así como del procedimiento de molienda principal) es $< 10 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo).

Conviene precisar que en el caso de las fuentes pequeñas ($< 10\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$) debe aplicarse un enfoque de prioridades, basado en el sistema de gestión del mantenimiento, en relación con la frecuencia con la que se deberá comprobar el funcionamiento del filtro (véase también la MTD 5).

1.2.5.3 Emisiones de partículas procedentes de los procesos de combustión del horno

17. Al objeto de reducir las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en la limpieza de los gases de combustión mediante filtros.

	Técnica ⁽¹⁾	Aplicabilidad
a	Precipitadores electrostáticos (ESP).	Aplicable a todos los sistemas de hornos.
b	Filtros de mangas.	
c	Filtros híbridos.	

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.5.1.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno se sitúa entre $< 10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio diario. El menor nivel se obtiene aplicando filtros de mangas o precipitadores electrostáticos nuevos o mejorados.

1.2.5.4 Emisiones de partículas procedentes de los procesos de enfriado y molienda

18. Al objeto de reducir las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de enfriado y molienda, la MTD consiste en la limpieza de los gases de escape mediante filtros.

	Técnica ⁽¹⁾	Aplicabilidad
a	Precipitadores electrostáticos (ESP).	Aplicable con carácter general a los enfriadores de clínker y molinos de cemento.
b	Filtros de mangas.	Aplicable con carácter general a los enfriadores de clínker y molinos de cemento.
c	Filtros híbridos.	Aplicable con carácter general a los enfriadores de clínker y molinos de cemento.

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.5.1.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de enfriado y molienda se sitúa entre $< 10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo). El menor nivel se obtiene cuando se aplican filtros de mangas o precipitadores electrostáticos nuevos o mejorados.

1.2.6 Compuestos gaseosos

1.2.6.1 Emisiones de NO_x

19. Al objeto de reducir las emisiones de NO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión, precalentamiento o precalcación en hornos, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica ⁽¹⁾	Aplicabilidad
a	Técnicas primarias	
	I. Enfriamiento de llama.	Aplicable a todos los tipos de hornos utilizados en la industria cementera. El grado de aplicabilidad puede verse limitado por los requisitos de calidad del producto y los potenciales efectos sobre la estabilidad del proceso.
	II. Quemadores de bajo NO_x .	Aplicable a todos los hornos rotatorios, tanto en el quemador principal como en el precalcador.
	III. Combustión a mitad de horno.	Aplicable con carácter general a los hornos rotatorios largos
	IV. Adición de mineralizadores para mejorar la coqueabilidad del crudo (clínker mineralizado).	Aplicable con carácter general a los hornos rotatorios, respetando los requisitos de calidad del producto final.
	V. Optimización del proceso.	De aplicación general a todos los hornos
b	Combustión por etapas (combustibles convencionales o combustibles derivados de residuos), también en combinación con un precalcador y una mezcla de combustibles optimizada.	En general, solamente puede aplicarse en los hornos equipados con precalcador. En los sistemas de precalentamiento de ciclones sin precalcador se requieren importantes modificaciones de la planta. En los hornos sin precalcador, la utilización de combustibles en grano podría influir positivamente en la reducción de los NO_x dependiendo de la capacidad de crear una atmósfera de reducción controlada y de controlar las correspondientes emisiones de CO.
c	Reducción no catalítica selectiva (SNCR).	Aplicable en principio a los hornos de cemento rotatorios. Las zonas de inyección varían según el tipo de proceso de fabricación. En los hornos largos de vía seca o vía húmeda puede que resulte difícil alcanzar la temperatura y el tiempo de retención necesarios. Véase también la MTD 20.
d	Reducción catalítica selectiva (SCR).	Su aplicabilidad dependerá del desarrollo de los catalizadores y procesos apropiados en la industria cementera.

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.5.2.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 2.

Cuadro 2

Niveles de emisiones de NO_x asociados a las MTD para los gases producidos durante los procesos de combustión, precalentamiento y precalcificación en la industria cementera.

Tipo de horno	Unidad	NEA-MTD (valor medio diario)
Hornos con precalentador	mg/Nm ³	< 200 – 450 ⁽¹⁾ ⁽²⁾
Hornos Lepol y hornos rotatorios largos	mg/Nm ³	400 – 800 ⁽³⁾

⁽¹⁾ El límite superior del rango de los NEA-MTD es de 500 mg/Nm³, siempre que el nivel inicial de NO_x, después de aplicar técnicas primarias, sea > 1 000 mg/Nm³.

⁽²⁾ El diseño del sistema de horno, así como las propiedades de la mezcla de combustibles, en particular la combustibilidad de los residuos y de las materias primas utilizadas (por ejemplo, para el clínker de cemento especial o de cemento blanco), pueden influir sobre la capacidad de mantenerse dentro del rango. En los hornos que utilizan la SNCR se obtienen, en condiciones favorables, niveles inferiores a 350 mg/Nm³. En 2008, tres plantas con SNCR (utilizando crudo de gran cocibilidad) notificaron el límite inferior de 200 mg/Nm³ como media mensual.

⁽³⁾ Dependiendo de los niveles iniciales y de la emisión de NH₃ adicional.

20. En caso de aplicar la SNCR, la MTD consiste en lograr una reducción eficiente de los NO_x, manteniendo la emisión de amoníaco adicional al nivel más bajo posible mediante las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Aplicar una eficiencia apropiada y suficiente de reducción de los NO _x , junto con un proceso operativo estable.
b	Aplicar una buena distribución estequiométrica del amoníaco con el fin de lograr la máxima eficiencia de reducción de los NO _x y reducir el escape de NH ₃ .
c	Mantener al nivel más bajo posible las emisiones correspondientes a la salida de NH ₃ adicional (generadas por el amoníaco sin reaccionar) en los gases de combustión, teniendo en cuenta la correlación entre la eficiencia en la reducción de los NO _x y el escape de NH ₃ .

Aplicabilidad

La SNCR es generalmente aplicable a los hornos de cemento rotatorios. Las zonas de inyección varían según el proceso de fabricación. En los hornos largos de vía húmeda y seca puede que resulte difícil alcanzar la temperatura correcta y el tiempo de retención necesario. Véase también la MTD 19.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 3.

Cuadro 3

Niveles de emisiones asociados a la emisión de NH₃ adicional en los gases de salida cuando se aplica la SNCR

Parámetro	Unidad	NEA-MTD (valor medio diario)
Escape de NH ₃	mg/Nm ³	< 30 – 50 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ El escape de amoníaco dependerá del nivel inicial de los NO_x y de la eficiencia de reducción de los NO_x. En los hornos Lepol y en los hornos rotatorios largos, dicho nivel puede ser aún mayor.

1.2.6.2 Emisiones de SO_x

21. Al objeto de reducir o minimizar las emisiones de SO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión, precalentamiento o precalcificación, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes:

	Técnica ⁽¹⁾	Aplicabilidad
a	Adición de absorbentes	En principio, la adición de absorbentes es aplicable a todos los sistemas de hornos, aunque se utilizan principalmente en los precalentadores de suspensión. La adición de caliza a la alimentación del horno reduce la calidad de los gránulos o nódulos y provoca problemas de flujo en los hornos Lepol. En los hornos con precalentador se ha comprobado que la inyección directa de cal apagada en el gas de combustión es menos eficiente que la adición de la misma sustancia en la alimentación del horno.
b	Depuradores húmedos	Aplicable a todos los tipos de hornos de cemento con unos niveles adecuados (suficientes) de SO ₂ para la producción de yeso.

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.5.3.

Descripción

Dependiendo de la calidad de las materias primas y del combustible, es posible mantener a un nivel bajo las emisiones de SO_x, sin necesidad de recurrir a técnicas de reducción.

En caso necesario, dichas emisiones se pueden limitar aplicando técnicas primarias o de eliminación, como la adición de absorbentes o el empleo de depuradores húmedos.

Los depuradores húmedos ya se han utilizado en plantas cuyos niveles iniciales de SO_x antes de la reducción eran superiores a 800 – 1 000 mg/Nm³.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 4.

Cuadro 4

Niveles de emisiones de SO_x asociados a las MTD para los gases producidos durante los procesos de combustión, precalentamiento y precalcación en la industria cementera.

Parámetro	Unidad	NEA-MTD ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (valor medio diario)
SO _x expresados en SO ₂	mg/Nm ³	< 50 – 400

⁽¹⁾ El rango de valores tiene en cuenta el contenido de azufre en las materias primas.

⁽²⁾ En la fabricación clinker de cemento blanco y de cemento especial, la capacidad del clinker para retener el azufre del combustible puede ser considerablemente inferior, lo que conlleva unas mayores emisiones de SO_x.

22. Al objeto de reducir las emisiones de SO₂ del horno, la MTD consiste en optimizar el proceso de molienda de materias primas.

Descripción

La técnica consiste en optimizar el proceso de molienda de materias primas de tal forma que el molino pueda funcionar como un sistema de reducción de los SO₂ generados por el horno. Esto puede lograrse ajustando factores tales como:

- el grado de humedad de las materias primas;
- la temperatura del molino;
- el tiempo de retención en el molino;
- la granulometría del material triturado.

Aplicabilidad

Es aplicable cuando el proceso de molienda en seco se lleva a cabo en marcha mixta.

1.2.6.3 Emisiones de CO y disparos por CO

1.2.6.3.1 Reducción de los disparos por CO

23. Al objeto de minimizar la frecuencia de los disparos por CO y de mantener su duración total por debajo de los 30 minutos al año, cuando se utilizan precipitadores electrostáticos (ESP) o filtros híbridos, la MTD consiste en aplicar las técnicas siguientes de manera combinada:

	Técnica
a	Gestionar correctamente los disparos por CO con el fin de reducir los períodos de parada del ESP.
b	Medir continuamente de forma automática el CO mediante equipos de monitorización con tiempos de respuesta cortos y ubicados cerca de la fuente de CO.

Descripción

Por motivos de seguridad relacionados con el riesgo de explosión, es preciso detener los ESP cuando se producen concentraciones elevadas de CO en los gases de combustión. Las técnicas siguientes contribuyen a evitar los disparos por CO y, consecuentemente, los períodos de parada:

- control del proceso de combustión;
- control de la carga orgánica de las materias primas;
- control de la calidad de los combustibles y del sistema de alimentación de combustible.

Las interrupciones ocurren predominantemente durante la fase de puesta en marcha. Para un funcionamiento seguro, los analizadores de gases para la protección del ESP tienen que estar conectados durante todas las fases operativas, y los períodos de parada del ESP pueden reducirse con un sistema auxiliar de monitorización que funcione continuamente.

Es preciso optimizar el sistema de monitorización continua del CO respecto a su tiempo de reacción, e instalarlo cerca de la fuente de CO, por ejemplo, en una salida de la torre del precalentador, o en una de las entradas del horno, cuando se trate de una aplicación de vía húmeda.

En caso de utilizar filtros híbridos, se recomienda derivar a tierra las toberas de sujeción y el armazón de las mangas..

1.2.6.4 Emisiones de carbono orgánico total (COT)

24. Al objeto de mantener bajo el nivel de las emisiones de carbono orgánico total (COT) de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en evitar la incorporación al sistema del horno de materias primas con un alto contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV) a través de la vía de alimentación de materias primas.

1.2.6.5 Emisiones de cloruro de hidrógeno (HCl) y de fluoruro de hidrógeno (HF)

25. Al objeto de reducir las emisiones de HCl de los gases producidos durante los procesos de combustión, precalentamiento o precalcificación en hornos, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas primarias siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Utilización de materias primas y combustibles con bajo contenido de cloro.
b	Limitar la cantidad de cloro de los residuos utilizados como materia prima o combustible en los hornos de cemento.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de HCl es $< 10 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo).

26. Al objeto de evitar o reducir las emisiones de HF de los gases producidos durante los procesos de combustión, precalentamiento o precalcificación en hornos, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas primarias siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Utilización de materias primas y combustibles con un bajo contenido de flúor.
b	Limitar la cantidad de flúor de los residuos utilizados como materia prima o combustible en los hornos de cemento.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de HF es de $< 1 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo).

1.2.7 Emisiones de PCDD/F

27. Al objeto de evitar o de mantener en un nivel bajo las emisiones de PCDD/F de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Seleccionar y controlar cuidadosamente las entradas al horno (materias primas), por ejemplo, en lo relativo al cloro, cobre y compuestos orgánicos volátiles.	Aplicable con carácter general.
b	Seleccionar y controlar cuidadosamente las entradas al horno (combustibles), por ejemplo, en lo relativo al cloro y cobre.	Aplicable con carácter general.
c	Limitar o evitar la utilización de residuos que contengan materiales orgánicos clorados.	Aplicable con carácter general.
d	Evitar la utilización de combustibles con un alto contenido de halógenos (por ejemplo, cloro) para el quemador secundario.	Aplicable con carácter general.
e	Enfriar rápidamente los gases de combustión del horno a una temperatura inferior a los $200 \text{ }^\circ\text{C}$, y reducir al mínimo el tiempo de permanencia de los gases de combustión y del contenido de oxígeno en aquellas zonas en las que el rango de temperatura se sitúe entre 300 y $450 \text{ }^\circ\text{C}$.	Aplicable a los hornos largos de vía húmeda y seca sin precalentador. Esta característica es inherente al horno moderno con precalentador y precalcinador.
f	Detener la co-incineración de residuos en las operaciones de puesta en marcha y apagado.	Aplicable con carácter general.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de PCDD/F de los gases producidos durante los procesos de combustión en horno es $< 0,05 - 0,1 \text{ ng PCDD/F I-TEQ/Nm}^3$, como valor medio del período de muestreo (6 - 8 horas).

1.2.8 Emisiones de metales

28. Al objeto de minimizar las emisiones de metales de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Seleccionar materiales con un bajo contenido de los metales relevantes y limitar el contenido de los mismos, especialmente del mercurio, en los materiales utilizados.
b	Aplicar un sistema de aseguramiento de la calidad para garantizar las características de los residuos utilizados.
c	Aplicar técnicas eficaces para evitar la emisión de partículas, como las descritas en la MTD 17.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 5.

Cuadro 5

Niveles de emisiones asociados a las MTD para los metales emitidos en los gases de salida producidos durante los procesos de combustión del horno.

Metales	Unidad	NEA-MTD (valor medio durante el período de muestreo, mediciones puntuales durante media hora como mínimo)
Hg	mg/Nm ³	< 0,05 ⁽²⁾
Σ (Cd, Tl)	mg/Nm ³	< 0,05 ⁽¹⁾
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	mg/Nm ³	< 0,5 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Los niveles más bajos notificados están relacionados con la naturaleza de las materias primas y de los combustibles.

⁽²⁾ Se han notificado niveles bajos relacionados con la naturaleza de las materias primas y de los combustibles. Los valores superiores a 0,03 mg/Nm³ requerirán una investigación ulterior. Cuando los valores estén próximos a 0,05 mg/Nm³ será preciso estudiar la aplicación de técnicas adicionales (por ejemplo, reducir la temperatura de los gases de combustión o utilizar carbono activado).

1.2.9 Pérdidas y residuos del proceso

29. Al objeto de reducir los residuos sólidos generados durante el proceso de fabricación de cemento y de ahorrar materias primas, la MTD consiste en lo siguiente:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Reutilización, siempre que sea posible, de las partículas recogidas en el proceso.	Aplicable con carácter general, pero en función de la composición química de las partículas.
b	Utilizar las partículas, siempre que sea posible, para elaborar otros productos comerciales.	Es posible que la utilización de partículas para elaborar otros productos comerciales quede fuera del control del titular.

Descripción

Siempre que resulte practicable, las partículas pueden reciclarse para incorporarlas de nuevo al proceso de producción. Este reciclado puede realizarse directamente en el horno o en el sistema de alimentación del mismo (con la única limitación del contenido de metales alcalinos), o bien mediante la mezcla con los productos terminados de cemento. Podría ser preciso aplicar un procedimiento de aseguramiento de la calidad cuando las partículas recogidas se incorporan a los procesos de producción. Es posible encontrar usos alternativos para los materiales que no puedan reciclarse (por ejemplo, como aditivos empleados en la desulfuración de gases de combustión en las plantas de combustión).

1.3 Conclusiones sobre las MTD para la industria de la cal

Salvo que se indique otra cosa, las conclusiones sobre las MTD presentadas en esta sección pueden aplicarse a todas las instalaciones de la industria de la cal.

1.3.1 Técnicas primarias generales

30. Al objeto de reducir todas las emisiones del horno y aprovechar eficientemente la energía, la MTD consiste en conseguir un proceso de combustión uniforme y estable, cuyos parámetros se acerquen lo más posible a los valores de referencia establecidos para dicho proceso, aplicando las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Optimización del control del proceso, con sistemas de control automático por ordenador.
b	Utilización de alimentadores gravimétricos y de combustibles sólidos modernos, y/o caudalímetros de gas.

Aplicabilidad

La optimización del control del proceso es aplicable, en grado diverso, a todas las plantas de fabricación de cal. Sin embargo, por regla general no es posible lograr una automatización completa del proceso debido a las variables fuera de control, como la calidad de la piedra caliza.

31. Al objeto de prevenir y/o reducir las emisiones, la MTD consiste en llevar a cabo una selección y un control cuidadosos de todas las materias primas introducidas en el horno.

Descripción

Las materias primas introducidas en el horno influyen considerablemente sobre las emisiones atmosféricas debido a su contenido de impurezas, por lo que una cuidadosa selección de las materias primas puede reducir estas emisiones en la fuente. Por ejemplo, las variaciones del contenido de azufre y cloro en la piedra caliza o dolomita afectan al nivel de las emisiones de SO₂ y HCl en el gas de combustión, mientras que la presencia de materia orgánica afecta a las emisiones de COT y de CO.

Aplicabilidad

La aplicabilidad dependerá de la disponibilidad (local) de materias primas con un bajo contenido de impurezas. El tipo de producto final y de horno utilizado puede representar un condicionante adicional.

1.3.2 *Monitorización*

32. La MTD consiste en llevar a cabo de forma regular la monitorización y la medición de los parámetros y emisiones del proceso, y en monitorizar las emisiones con arreglo a las normas EN correspondientes o, si no se dispone de normas EN, con arreglo a las normas ISO o a otras normas nacionales o internacionales que garanticen la recogida de datos de una calidad científica equivalente, entre ellos los siguientes:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Medición continua de los parámetros del proceso para comprobar la estabilidad del mismo, por ejemplo, la temperatura, contenido de O ₂ , presión, caudal y emisiones de CO.	Aplicable a los procesos de combustión en horno.
b	Monitorización y estabilización de los parámetros críticos del proceso, por ejemplo, la alimentación del combustible, dosificación regular y exceso de oxígeno.	
c	Medición continua o periódica de las emisiones de partículas, NO _x , SO _x , CO, así como de las emisiones de NH ₃ en caso de utilizar la SNCR.	Aplicable a los procesos de combustión en horno.
d	Medición continua o periódica de las emisiones de HCl y HF en caso de coincineración de residuos.	Aplicable a los procesos de combustión en horno.
e	Medición continua o periódica de las emisiones de COT o medición continua en caso de coincineración de residuos.	Aplicable a los procesos de combustión en horno.
f	Medición periódica de las emisiones de PCDD/F y de metales.	Aplicable a los procesos de combustión en horno.
g	Medición continua o periódica de las emisiones de partículas.	Aplicable a las actividades sin combustión en horno. En el caso de las fuentes pequeñas (< 10 000 Nm ³ /h), la frecuencia de las mediciones deberá basarse en un sistema de gestión del mantenimiento.

Descripción

La elección entre la medición continua o periódica mencionada en la MTD 32 (c) a (f) dependerá de la fuente de emisión y del tipo de contaminante de que se trate.

Para la medición periódica de las emisiones de partículas, NO_x, SO_x y CO, la frecuencia comprendida entre una vez al mes y una vez al año, en condiciones normales de funcionamiento, se da a título indicativo.

Para las mediciones periódicas de las emisiones de PCDD/F, COT, HCl, HF y metales, debe aplicarse la frecuencia adecuada en función del tipo de materias primas y combustibles utilizados en el proceso.

1.3.3 *Consumo de energía*

33. Al objeto de reducir o minimizar el consumo de energía térmica, la MTD consiste en aplicar una combinación de las técnicas siguientes:

	Técnica	Descripción	Aplicabilidad
a	<p>Utilizar sistemas de hornos mejorados y optimizados y un proceso de combustión uniforme y estable, cuyos parámetros se acerquen lo más posible a los valores de referencia establecidos para los mismos, aplicando las siguientes técnicas:</p> <p>I. optimización del control del proceso;</p> <p>II. recuperación del calor de los gases de combustión (por ejemplo, utilizando el exceso de calor de los hornos rotatorios para secar la piedra caliza antes de realizar otros procesos, como la molienda);</p> <p>III. alimentadores gravimétricos y de combustibles sólidos;</p> <p>IV. mantenimiento de los equipos (por ejemplo, hermeticidad, erosión de refractarios);</p> <p>V. utilización de piedra caliza con una granulometría óptima.</p>	<p>Mantener los parámetros de control del horno lo más cerca posible de sus valores óptimos tiene por efecto reducir todos los parámetros del consumo como resultado, entre otras cosas, de un menor número de paradas y averías.</p> <p>La utilización de piedra caliza de granulometría óptima dependerá de la disponibilidad de esta materia prima.</p>	La técnica (a) II solamente es aplicable a los hornos rotatorios largos (LRK).
b	Utilizar combustibles cuyas características influyan positivamente sobre el consumo de energía térmica.	Las características de los combustibles, como su alto poder calorífico y su bajo contenido de humedad, pueden ejercer efectos positivos sobre el consumo de energía térmica.	La aplicabilidad dependerá de la posibilidad técnica de alimentar el horno con el combustible seleccionado y de la disponibilidad de los combustibles adecuados (es decir, combustibles de alto poder calorífico y de bajo contenido de humedad), la cual dependerá de la política energética del Estado miembro.
c	Reducir el exceso de aire.	<p>La disminución del exceso de aire utilizado en la combustión ejerce un efecto directo sobre el consumo de energía, dado que los porcentajes elevados de aire requieren más energía térmica para calentar el volumen en exceso.</p> <p>La reducción del exceso de aire solamente influye sobre el consumo de energía térmica en los hornos de tipo LRK y PRK.</p> <p>Potencialmente, esta técnica podría incrementar las emisiones de COT y de CO.</p>	Aplicable a los hornos de tipo LRK y PRK, con la salvedad de que puede producirse un sobrecalentamiento de determinadas zonas del horno, con el consiguiente deterioro de la vida útil de los refractarios.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 6.

Cuadro 6

Niveles de emisiones asociados a las MTD para el consumo de energía térmica en la industria de la cal y dolomía.

Tipo de horno	Consumo de energía térmica (1) GJ/tonelada de producto
Hornos rotatorios largos (LRK).	6,0 – 9,2
Hornos rotatorios con precalentador (PRK).	5,1 – 7,8
Hornos de flujo paralelo regenerativo (PFRK).	3,2 – 4,2
Hornos verticales anulares (ASK).	3,3 – 4,9

Tipo de horno	Consumo de energía térmica ⁽¹⁾ GJ/tonelada de producto
Hornos verticales de alimentación mixta (MFSK).	3,4 – 4,7
Otros hornos (OK).	3,5 – 7,0

(1) El consumo de energía dependerá del tipo y calidad del producto, de las condiciones del proceso y de las materias primas.

34. Al objeto de reducir o minimizar el consumo de energía eléctrica, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Aplicar sistemas de gestión de energía.
b	Utilizar piedra caliza de granulometría optimizada.
c	Utilizar trituradoras y otros equipos eléctricos con un alto grado de eficiencia energética.

Descripción – Técnica b)

En general, los hornos verticales solo pueden quemar guijarros de piedra caliza de tamaño grueso. En cambio, los hornos rotatorios, con un consumo de energía superior, pueden aprovechar fragmentos más pequeños, y los modernos hornos verticales son capaces de quemar gránulos a partir de 10 mm. Los gránulos de mayor tamaño se emplean más frecuentemente en los hornos verticales que en los rotatorios.

1.3.4 Consumo de piedra caliza

35. Al objeto de reducir al mínimo el consumo de piedra caliza, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Explotar las canteras aplicando métodos específicos, triturar y utilizar adecuadamente la piedra caliza (calidad, granulometría).	Aplicable con carácter general a la industria de la cal, aunque el procesamiento adecuado de la piedra caliza dependerá de la calidad de la misma.
b	Seleccionar hornos con técnicas optimizadas que permitan operar con un rango más amplio de granulometría del material, para poder utilizar así de manera óptima la piedra caliza extraída de la cantera.	Aplicable a las plantas nuevas y a las grandes modificaciones. En principio, los hornos verticales solo pueden quemar guijarros gruesos de piedra caliza. Los hornos PFRK de piedra fina y los rotatorios pueden funcionar con una granulometría más fina de la piedra.

1.3.5 Selección de los combustibles

36. Al objeto de prevenir y/o reducir las emisiones, la MTD consistirá en llevar a cabo una selección y control cuidadosos de todos los combustibles utilizados en el horno.

Descripción

Los combustibles utilizados en el horno pueden ejercer efectos significativos sobre las emisiones atmosféricas, debido a su contenido de impurezas. El contenido de azufre (especialmente en los hornos rotatorios largos), de nitrógeno y de cloro influye sobre el nivel de emisiones de SO_x, NO_x y HCl en los gases de combustión. Dependiendo de la composición química del combustible y del tipo de horno, la selección del combustible o mezcla de combustibles apropiados puede comportar una reducción de las emisiones.

Aplicabilidad

Excepto en el caso de los hornos verticales de alimentación mixta, todos los tipos de hornos son capaces de funcionar con cualquier clase de combustible o mezcla de combustibles, en función de la disponibilidad de estos, que a su vez dependerá de la política energética aplicada por el Estado miembro. La elección del combustible depende asimismo de la calidad pretendida para el producto final, de la viabilidad técnica de la alimentación del combustible en el horno correspondiente, y de consideraciones de orden económico.

1.3.5.1 Utilización de residuos como combustible

1.3.5.1.1 Control de la calidad de los residuos

37. Al objeto de controlar las características de los residuos utilizados como combustible en un horno de cal, la MTD consiste en aplicar las técnicas siguientes:

Técnica	
a	Aplicar un sistema de aseguramiento de la calidad que permita garantizar y controlar las características de los residuos, y analizar todos los residuos utilizados como combustible respecto a: <ul style="list-style-type: none"> I. su calidad constante; II. sus parámetros físicos, por ejemplo, generación de emisiones, rugosidad, reactividad, combustibilidad y poder calorífico; III. sus parámetros químicos, como el contenido total de cloro, azufre, álcalis y fosfatos, así como el contenido de metales pertinentes (por ejemplo, cromo, plomo, cadmio, mercurio y talio).
b	Controlar la cantidad de componentes pertinentes de aquellos residuos que se vayan a utilizar como combustible, en particular su contenido de halógenos, metales (por ejemplo, cromo, plomo, cadmio, mercurio, talio) y azufre.

1.3.5.1.2 Incorporación de residuos al horno

38. Al objeto de evitar o reducir las emisiones generadas por el uso de residuos derivados de combustibles en el horno, la MTD consiste en aplicar las técnicas siguientes:

Técnica	
a	Utilizar los quemadores adecuados para incorporar residuos idóneos, en función del diseño y funcionamiento del horno.
b	Aplicar el proceso apropiado para que la temperatura del gas resultante de la coincineración de los residuos se pueda elevar de forma controlada y homogénea, incluso en las condiciones más desfavorables, hasta los 850 °C durante dos segundos.
c	Elevar la temperatura hasta los 1 100 °C si se coincieran residuos peligrosos con un contenido de sustancias orgánicas halogenadas, expresadas en cloro, superior al 1 %.
d	Introducir los residuos de forma continuada y uniforme.
e	Detener la incorporación de residuos cuando se realizan operaciones como la puesta en marcha o las paradas, en los casos en que no se puedan alcanzar las temperaturas y los tiempos de permanencia adecuados con arreglo a los anteriores puntos b) y c).

1.3.5.1.3 Gestión de la seguridad en la utilización de residuos peligrosos

39. Al objeto de evitar las emisiones accidentales, la MTD consiste en aplicar un sistema de gestión de la seguridad en el almacenamiento, manipulación e introducción en el horno de residuos peligrosos.

Descripción

La aplicación de un sistema de gestión de la seguridad en el almacenamiento, manipulación y carga de residuos peligrosos implica implantar una metodología basada en los diferentes riesgos correspondientes a cada origen y el tipo de residuo, así como en el etiquetado, comprobación, muestreo y ensayo de los residuos que se deban manipular.

1.3.6 Emisiones de partículas

1.3.6.1 Emisiones de partículas difusas

40. Al objeto de minimizar o evitar las emisiones de partículas difusas en las operaciones que las generan, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

Técnica	
a	Aislar o encapsular las operaciones que generen partículas, como la trituración, el tamizado y el mezclado.
b	Cubrir las cintas transportadoras y los sistemas elevadores construidos como sistemas cerrados cuando los materiales pulverulentos puedan generar emisiones de partículas difusas.
c	Utilizar silos de almacenamiento con la capacidad adecuada, dotados de indicadores de nivel, de sistemas de desconexión automática y de filtros capaces de eliminar las partículas atmosféricas producidas durante las operaciones de llenado.
d	Utilizar un proceso de circulación mejorado mediante sistemas de transporte neumáticos.

	Técnica
e	Manipular los materiales en sistemas cerrados mantenidos a una presión negativa, y desempolvar el aire succionado mediante un filtro de mangas, antes de emitirlo a la atmósfera.
f	Reducir las fugas de gases y los puntos de derrame, comprobar la estanqueidad de las instalaciones.
g	Mantener las instalaciones de forma adecuada y completa.
h	Utilizar dispositivos y sistemas automáticos de control.
i	Vigilar para que las operaciones se realicen con normalidad de manera continuada.
j	Utilizar tuberías de llenado flexibles para la carga de la cal, equipadas con un sistema de extracción de partículas y montadas en la plataforma de carga del camión.

Aplicabilidad

Normalmente no es necesario eliminar las partículas durante las operaciones de preparación de las materias primas, como la trituración y el tamizado, debido a la humedad que contiene la materia prima.

41. Al objeto de minimizar o evitar las emisiones de partículas difusas en las zonas de almacenamiento a granel, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Cubrir las zonas de almacenamiento mediante pantallas, muros o cerramientos con vegetación de crecimiento vertical (barreras cortaviento, naturales o artificiales, para la protección de las pilas al aire libre).
b	Utilizar silos para el producto terminado y zonas de almacenamiento de materias primas completamente automatizadas. Estos sistemas de almacenamientos disponen de uno o varios filtros de mangas para evitar la formación de partículas difusas durante las operaciones de carga y descarga.
c	Reducir las emisiones de partículas difusas de las pilas mediante una humidificación suficiente de los puntos de carga y descarga y la utilización de cintas transportadoras ajustables en altura. Al utilizar medidas o técnicas de humidificación o aspersión de agua, el suelo puede impermeabilizarse y podrá recogerse el agua sobrante que, en caso necesario, podrá tratarse y utilizarse en sistemas de ciclo cerrado.
d	En caso de que no sea posible evitar la emisión de partículas difusas en las zonas de carga y descarga, reducir las mismas ajustando la altura del punto de descarga a la variación de la altura de la pila, preferiblemente de forma automática, o bien reduciendo la velocidad de descarga.
e	Mantener húmedas dichas zonas, especialmente las más secas, mediante dispositivos de aspersión de agua, y proceder a su limpieza y a la de los camiones.
f	Utilizar sistemas de aspiración durante las operaciones de traslado. En los edificios de nueva construcción se pueden instalar fácilmente sistemas de aspiración fijos, mientras que en los antiguos normalmente es más fácil instalar sistemas móviles y conexiones flexibles.
g	Reducir las emisiones de partículas difusas en las zonas utilizadas por los camiones, pavimentándolas siempre que se pueda, y manteniendo lo más limpia posible su superficie. El riego de las vías de acceso puede reducir las emisiones de partículas difusas, especialmente con tiempo seco. Se aplicarán las buenas prácticas de limpieza y mantenimiento con el fin de reducir al mínimo las emisiones de partículas difusas.

1.3.6.2 Emisiones canalizadas de partículas procedentes de actividades generadoras de partículas, distintas de los procesos de combustión del horno

42. Al objeto de reducir las emisiones canalizadas de partículas en las actividades generadoras de partículas, la MTD consiste en utilizar alguna de las técnicas siguientes, o bien en aplicar un sistema de gestión del mantenimiento enfocado especialmente al funcionamiento de los filtros:

	Técnica ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Aplicabilidad
a	Filtros de mangas	Aplicable con carácter general a las instalaciones de molienda y trituración, así como a los procesos auxiliares de la industria de la cal: transporte de materiales, almacenamiento y carga. La aplicabilidad de los filtros de mangas en las plantas de hidratación de cal puede verse limitada por el elevado nivel de humedad y la baja temperatura de los gases de combustión.
b	Depuradores húmedos	Aplicable principalmente a las plantas de hidratación de cal.

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.6.1.

⁽²⁾ En caso necesario se podrán utilizar separadores centrífugos o de ciclón como tratamiento previo de los gases de combustión.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 7.

Cuadro 7

Niveles de emisiones asociados a las MTD para las emisiones canalizadas de partículas procedentes de actividades generadoras de partículas, distintas de los procesos de combustión del horno

Técnica	Unidad	NEA-MTD [valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo)]
Filtros de mangas	mg/Nm ³	< 10
Depuradores húmedos	mg/Nm ³	< 10 – 20

Conviene precisar que en el caso de las fuentes pequeñas (< 10 000 Nm³/h) debe aplicarse un enfoque de prioridades en relación con la frecuencia con la que se deberá comprobar el funcionamiento del filtro (véase la MTD 32).

1.3.6.3 Emisiones de partículas procedentes de los procesos de combustión del horno

43. Al objeto de reducir las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en la limpieza de esos gases mediante filtros. Para ello se podrá utilizar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica ⁽¹⁾	Aplicabilidad
a	ESP.	Aplicable a todos los sistemas de hornos.
b	Filtros de mangas.	Aplicable a todos los sistemas de hornos.
c	Separador húmedo de partículas.	Aplicable a todos los sistemas de hornos.
d	Separadores centrífugos o de ciclón.	Los separadores centrífugos únicamente son adecuados para la separación previa, y pueden utilizarse en todos los sistemas de horno para la primera limpieza de los gases de combustión.

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.6.1.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 8.

Cuadro 8

Niveles de emisiones asociados a las MTD para las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno.

Técnica	Unidad	NEA-MTD [valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo)]
Filtros de mangas.	mg/Nm ³	< 10
Filtros ESP de de otro tipo.	mg/Nm ³	< 20 (*)

(*) En casos excepcionales, cuando la resistividad de las partículas es alta, los niveles de emisión asociados a las MTD podrían aumentar hasta 30 mg/Nm³ como valor medio diario.

1.3.7 Compuestos gaseosos

1.3.7.1 Técnicas primarias para reducir las emisiones de compuestos gaseosos

44. Al objeto de reducir las emisiones de compuestos gaseosos (es decir, NO_x , SO_x , HCl, CO, COT/COV, metales volátiles) de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Seleccionar y controlar cuidadosamente las sustancias que entran en el horno.	Aplicable con carácter general.
b	Reducir los precursores de contaminantes en los combustibles y, si es posible, en las materias primas: I. seleccionando, siempre que estén disponibles, combustibles con bajo contenido de azufre (especialmente en el caso de los hornos rotatorios largos), de nitrógeno y de cloro; II. seleccionado, siempre que sea posible, materias primas con bajo contenido orgánico; III. seleccionando residuos derivados de combustibles que sean adecuados para el proceso y el quemador.	Aplicable con carácter general a la industria de la cal, dependiendo de la disponibilidad de materias primas y combustibles a nivel local, del tipo de horno utilizado, de las cualidades pretendidas del producto y de la posibilidad técnica de alimentar el horno seleccionado con el combustible correspondiente.
c	Aplicar técnicas de optimización del proceso para lograr una absorción eficiente del dióxido de azufre (por ejemplo, un contacto eficiente entre los gases del horno y la cal viva).	Aplicable a todas las plantas de fabricación de cal. Por regla general no es posible lograr una automatización completa del proceso debido a variables fuera de control, por ejemplo, la calidad de la piedra caliza.

1.3.7.2 Emisiones de NO_x

45. Al objeto de reducir las emisiones de NO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Técnicas primarias.	
	I. Selección del combustible apropiado con un contenido de nitrógeno reducido.	Aplicable con carácter general a la industria de la cal en función de la disponibilidad del combustible, que a su vez puede verse afectada por la política energética del Estado miembro y por la posibilidad técnica de alimentar el horno seleccionado con un tipo de combustible determinado.
	II. Optimización del proceso, en particular la configuración de la llama y el perfil de temperatura.	La optimización y control del proceso son aplicables a la industria de la cal, pero estarán en función de la calidad del producto final.
	III. Diseño del quemador (de bajo NO_x) ⁽¹⁾	Los quemadores de bajo NO_x pueden utilizarse en los hornos rotatorios y hornos verticales anulares en los que existan grandes volúmenes de aire primario. En los hornos PFRK y demás hornos verticales la combustión se produce sin llama, por lo que los quemadores de bajo NO_x no son aplicables a este tipo de hornos.
	IV. Escalonamiento de aire ⁽¹⁾	No aplicable a los hornos verticales. Aplicable únicamente a los hornos PRK, pero no en la fabricación de cal viva. La aplicabilidad puede verse limitada por las restricciones impuestas por el tipo de producto final, debido al posible sobrecalentamiento de determinadas zonas del horno y al consiguiente deterioro del revestimiento refractario.
b	SNCR ⁽¹⁾	Aplicable a los hornos rotatorios Lepol. Véase también la MTD 46.

⁽¹⁾ En la sección 1.6.2 se incluye una descripción de estas técnicas.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 9.

Cuadro 9

Niveles de emisiones asociados a las MTD para los NO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno de la industria de la cal.

Tipo de horno	Unidad	NEA-MTD [valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo)]
PFRK, ASK, MFSK, OSK	mg/Nm ³	100 – 350 ⁽¹⁾ ⁽³⁾
LRK, PRK	mg/Nm ³	< 200 – 500 ⁽¹⁾ ⁽²⁾

⁽¹⁾ Los límites superiores de los rangos se refieren a la fabricación de dolomía y cal viva. Los niveles que exceden el límite superior del rango pueden estar asociados a la fabricación de dolomía sinterizada.

⁽²⁾ En el caso de los hornos verticales de tipo LRK y PRK utilizados para fabricar cal viva, el límite superior es de 800 mg/Nm³.

⁽³⁾ Cuando las técnicas primarias indicadas en la MTD BAT 45 (a) I no sean suficientes para alcanzar este nivel y no puedan aplicarse las técnicas secundarias para reducir las emisiones de NO_x hasta los 350 mg/Nm³, el límite superior será de 500 mg/Nm³, especialmente cuando se fabrica cal viva y cuando se utiliza biomasa como combustible.

46. En caso de aplicar la SNCR, la MTD consiste en lograr una reducción eficiente de los NO_x, manteniendo el escape de amoníaco al nivel más bajo posible mediante las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Aplicar una eficiencia apropiada y suficiente de reducción de los NO _x , junto con un proceso operativo estable.
b	Aplicar una buena distribución y una buena relación estequiométrica de amoníaco, con el fin de lograr la máxima eficiencia de la reducción de los NO _x y reducir el escape de amoníaco.
c	Mantener al nivel más bajo posible las emisiones correspondientes al escape NH ₃ (generadas por el amoníaco sin reaccionar) en los gases de combustión, teniendo en cuenta la correlación entre la eficiencia en la reducción de los NO _x y el escape de NH ₃ .

Aplicabilidad

Aplicable únicamente a los hornos rotatorios Lepol, en los que se puede alcanzar el rango de temperatura ideal de entre 850 y 1 020 °C. Véase también la MTD 45, técnica (b).

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para el escape de NH₃ de los gases de combustión es de < 30 mg/Nm³, como valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo).

1.3.7.3 Emisiones de SO_x

47. Al objeto de reducir las emisiones de SO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Aplicar técnicas de optimización del proceso para lograr una absorción eficaz del dióxido de azufre (por ejemplo, mediante un buen contacto entre los gases del horno y la cal viva).	La optimización del control del proceso es aplicable a todas las plantas de fabricación de cal.
b	Elegir combustibles con un bajo contenido de azufre.	Aplicable con carácter general, en función de la disponibilidad de combustible; especialmente aplicable a los hornos rotatorios largos (LRK), debido a sus mayores emisiones de SO _x .
c	Aplicar técnicas basadas en la incorporación de absorbentes (por ejemplo, adición de absorbentes, limpieza en seco mediante filtración de los gases de combustión, depuradores húmedos o inyección de carbono activado) ⁽¹⁾	En principio, las técnicas basadas en la incorporación de absorbentes son aplicables a la industria de fabricación de cal. Sin embargo, en 2007 dichas técnicas no se habían utilizado aún en dicho sector. Se requieren investigaciones ulteriores para analizar su aplicabilidad, especialmente en el caso de los hornos de cal rotatorios.

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.6.3.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 10.

Cuadro 10

Niveles de emisiones asociados a las MTD para los SO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno de la industria de la cal.

Tipo de horno	Unidad	NEA-MTD ⁽¹⁾ ⁽²⁾ [valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo), SO _x expresado en SO ₂]
PFRK, ASK, MFSK, OSK	mg/Nm ³	< 50 – 200
LRK	mg/Nm ³	< 50 – 400

⁽¹⁾ El valor dependerá del nivel inicial de los SO_x en el gas de combustión y de la técnica de reducción aplicada.

⁽²⁾ En la producción de dolomía sinterizada por el procedimiento de «doble paso», las emisiones de SO_x pueden sobrepasar el límite superior del rango.

1.3.7.4 Emisiones de CO y disparos por CO**1.3.7.4.1 Emisiones de CO**

48. Al objeto de reducir las emisiones de CO de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Seleccionar materias primas con un bajo contenido orgánico.	Aplicable con carácter general a la industria de la cal, con sujeción a la disponibilidad local y composición de las materias primas, al tipo de horno utilizado y a la calidad del producto final.
b	Aplicar técnicas de optimización del proceso para lograr una combustión estable y completa.	Aplicable a todas las plantas de fabricación de cal. Por regla general no es posible lograr una automatización completa del proceso debido a variables fuera de control, por ejemplo, a la calidad de la piedra caliza.

Véanse también, en este contexto, las MTD 30 y 31 de la sección 1.3.1 y la MTD 32 de la sección 1.3.2.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 11.

Cuadro 11

Niveles de emisiones asociados a las MTD para el CO de los gases producidos durante los procesos de combustión en el horno.

Tipo de horno	Unidad	NEA-MTD ⁽¹⁾ ⁽²⁾ (valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo))
PFRK, OSK, LRK, PRK	mg/Nm ³	<500

⁽¹⁾ Los valores de las emisiones podrán ser superiores dependiendo de las materias primas utilizadas y del tipo de cal producida, por ejemplo, cal hidráulica.

⁽²⁾ los NEA-MTD no son aplicables a los hornos de tipo MFSK y ASK.

1.3.7.4.2 Reducción de las disparos por CO

49. Al objeto de minimizar la frecuencia de las disparos por CO cuando se utilizan precipitadores electrostáticos (ESP), la MTD consiste en utilizar las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Gestionar correctamente los disparos por CO con el fin de reducir los períodos de parada del ESP.
b	Medir continuamente de forma automática el CO mediante equipos de monitorización con tiempos de respuesta cortos y ubicados cerca de la fuente de CO.

Descripción

Por motivos de seguridad relacionados con el riesgo de explosión, es preciso detener los ESP cuando se producen concentraciones elevadas de CO en los gases de combustión. Las técnicas siguientes contribuyen a evitar los disparos por CO y, consecuentemente, los períodos de parada:

- control del proceso de combustión;
- control del contenido orgánico de las materias primas;
- control de la calidad de los combustibles y del sistema de alimentación de combustible.

Las interrupciones ocurren predominantemente durante la fase de puesta en marcha. Para un funcionamiento seguro, los analizadores de gases para la protección del ESP tienen que estar conectados durante todas las fases operativas, y los períodos de parada del ESP pueden reducirse con un sistema auxiliar de monitorización que funcione continuamente.

Es preciso optimizar el sistema de medición continua del CO respecto a su tiempo de reacción, e instalarlo cerca de la fuente de CO, por ejemplo, en una salida del la torre del precalentador, o en una de las entradas del horno, si se trata de una aplicación de vía húmeda.

Aplicabilidad

Aplicable con carácter general a los hornos rotatorios equipados con precipitadores electrostáticos (ESP).

1.3.7.5 Emisiones de carbono orgánico total (COT)

50. Al objeto de reducir las emisiones de COT de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Aplicar técnicas primarias generales y una monitorización (véanse también las MTD 30 y 31 de la sección 1.3.1, y la MTD 32 de la sección 1.3.2)
b	Evitar la incorporación al sistema del horno de materias primas con un alto contenido de compuestos orgánicos volátiles (excepto en la fabricación de cal hidráulica)

Aplicabilidad

Respecto a la aplicabilidad de las técnicas primarias generales y la monitorización, véanse las MTD 30 y 31 de la sección 1.3.1, y la MTD 32 de la sección 1.3.2.

La técnica (b) es aplicable con carácter general a la industria de la cal, dependiendo de la disponibilidad local de materias primas y/o del tipo de cal producida.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 12.

Cuadro 12

Niveles de emisiones asociados a las MTD para el COT de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno.

Tipo de horno	Unidad	NEA-MTD ⁽¹⁾ [valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo)]
LRK, PRK	mg/Nm ³	< 10
ASK, MFSK ⁽²⁾ , PFRK ⁽²⁾	mg/Nm ³	< 30

⁽¹⁾ El nivel podrá ser superior dependiendo del contenido orgánico de las materias primas utilizadas y/o del tipo de cal producida, especialmente en el caso de la cal hidráulica.

⁽²⁾ Excepcionalmente, este nivel podrá ser superior.

1.3.7.6 Emisiones de cloruro de hidrógeno (HCl) y de fluoruro de hidrógeno (HF)

51. Al objeto de reducir las emisiones de HCl y de HF de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno cuando se utilizan residuos, la MTD consiste en aplicar las técnicas primarias siguientes:

	Técnica
a	Utilizar combustibles convencionales con un bajo contenido de cloro y de flúor.
b	Limitar el contenido de cloro y de flúor de los residuos utilizados como combustible en los hornos de cal.

Aplicabilidad

Estas técnicas son aplicables con carácter general a la industria de la cal, dependiendo de la disponibilidad del combustible adecuado a nivel local.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 13.

Cuadro 13

Niveles de emisiones asociados a las MTD para el HCl y el HF de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno cuando se utilizan residuos.

Emisión	Unidad	NEA-MTD (valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo))
HCl	mg/Nm ³	< 10
HF	mg/Nm ³	< 1

1.3.8 Emisiones de PCDD/F

52. Al objeto de evitar o reducir las emisiones de PCDD/F de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas primarias siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Seleccionar combustibles con un bajo contenido de cloro.
b	Limitar la entrada de cobre a través del combustible.
c	Minimizar el tiempo de permanencia de los gases de salida y el contenido de oxígeno en las zonas con un rango de temperatura entre 300 y 450 °C

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Los niveles de emisiones asociados a las MTD son < 0,05 – 0,1 ng PCDD/F I-TEQ/Nm³ como valor medio durante el periodo de muestreo (de seis a ocho horas).

1.3.9 Emisiones de metales

53. Al objeto de minimizar las emisiones de metales de los gases producidos durante los procesos de combustión del hornos, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Seleccionar combustibles con un bajo contenido de metales.
b	Aplicar un sistema de aseguramiento de la calidad para garantizar las características de los residuos utilizados como combustibles.
c	Limitar el contenido de los metales pertinentes, especialmente del mercurio, en los materiales utilizados.
d	Aplicar alguna de las técnicas definidas en la MTD 43, o una combinación de ellas.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 14.

Cuadro 14

Niveles de emisiones asociados a las MTD para los metales de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, cuando se utilizan residuos.

Metales	Unidad	NEA-MTD [valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo)]
Hg	mg/Nm ³	< 0,05
Σ (Cd, Tl)	mg/Nm ³	< 0,05
Σ (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	mg/Nm ³	< 0,5

Nota: Se han notificado niveles bajos cuando se aplican las técnicas mencionadas en la MTD 53 (a) – (d).

Por otro lado, véanse también a este respecto la MTD 37 (sección 1.3.5.1.1) y la MTD 38 (sección 1.3.5.1.2).

1.3.10 Pérdidas y residuos del proceso

54. Al objeto de reducir los residuos sólidos generados durante el proceso de fabricación de cal y el consumo de materia prima, el MTD consiste en aplicar las técnicas siguientes:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Reutilizar las partículas y los demás materiales en forma de partículas (por ejemplo, arena, grava) recogidos en el proceso.	Aplicable en los casos en que resulte viable.
b	Aprovechar las partículas y la cal viva o hidratada que incumplan las especificaciones para fabricar determinados productos comerciales.	Aplicable en general para diversos tipos de productos comerciales, siempre que sea viable.

1.4 Conclusiones sobre las MTD para la industria del óxido de magnesio

Salvo que se indique lo contrario, las conclusiones sobre las MTD presentadas en esta sección son aplicables a todas las instalaciones de fabricación de óxido de magnesio (vía seca).

1.4.1 Monitorización

55. La MTD consiste en llevar a cabo de forma regular la monitorización y la medición de los parámetros y emisiones del proceso, y en monitorizar las emisiones con arreglo a las normas EN correspondientes o, si no se dispone de normas EN, con arreglo a las normas ISO o a otras normas nacionales o internacionales que garanticen la recogida de datos de una calidad científica equivalente, entre ellos los siguientes:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Medición continua de los parámetros del proceso para comprobar la estabilidad del mismo, por ejemplo, la temperatura, el contenido de O ₂ , la presión y el caudal.	Aplicable con carácter general a los procesos de combustión en horno.
b	Monitorización y estabilización de los parámetros críticos del proceso, es decir, la alimentación de materias primas y de combustible, dosificación regular y exceso de oxígeno.	
c	Medición continua o periódica de las emisiones de partículas, NO _x , SO _x , y CO.	Aplicable con carácter general a los procesos de combustión en horno.
d	Medición continua o periódica de las emisiones de partículas.	Aplicable a las demás actividades distintas de la combustión en horno. En el caso de las fuentes pequeñas (< 10 000 Nm ³ /h), la frecuencia de las mediciones o de los controles de funcionamiento deberá basarse en un sistema de gestión del mantenimiento.

Descripción

La elección entre la medición continua o periódica mencionada en la MTD 55 (c) dependerá de la fuente de emisión y del tipo de contaminante de que se trate.

Para la medición periódica de las emisiones de partículas, NO_x, SO_x y CO, de los procesos de combustión del horno, la frecuencia comprendida entre una vez al mes y una vez al año, en condiciones normales de funcionamiento, se da a título indicativo.

1.4.2 Consumo de energía

56. Al objeto de reducir el consumo de energía térmica, la MTD consiste en aplicar una combinación de las técnicas siguientes:

	Técnica	Descripción	Aplicabilidad
a	Utilizar sistemas de hornos mejorados y optimizados y un proceso de combustión uniforme y estable aplicando las técnicas siguientes: I. optimización del control del proceso; II. recuperación del calor de los gases de combustión del horno y de los enfriadores.	La recuperación del calor de los gases de combustión procedentes del precalentamiento de la magnesia puede servir para reducir el consumo de combustible. El calor recuperado del horno puede utilizarse para secar los combustibles, las materias primas y determinados materiales de envasado.	La optimización del control del proceso es aplicable a todos los tipos de hornos utilizados en la industria de fabricación de óxido de magnesio.
b	Utilizar combustibles cuyas características influyan positivamente sobre el consumo de energía térmica.	Las características de los combustibles, como por ejemplo, su alto poder calorífico y su bajo contenido de humedad, pueden ejercer efectos positivos sobre el consumo de energía térmica.	Aplicable con carácter general, dependiendo de la disponibilidad de los combustibles, del tipo de hornos utilizados, de las cualidades pretendidas del producto y de las posibilidades técnicas de inyectar los combustibles en el horno.
c	Reducir el exceso de aire.	El nivel del oxígeno en exceso después de lograr la calidad de los productos requerida y una combustión óptima suele situarse en la práctica entre el 1 - 3 %.	Aplicable con carácter general.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El consumo de energía térmica asociado a la MTD es de 6 - 12 GJ/t, dependiendo del proceso y de los productos ⁽¹⁾.

57. Al objeto de reducir o minimizar el consumo de energía eléctrica, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Aplicar sistemas de gestión de energía.
b	Utilizar trituradoras y otros equipos eléctricos con un alto grado de eficiencia energética.

1.4.3 Emisiones de partículas**1.4.3.1 Emisiones de partículas difusas**

58. Al objeto de minimizar o evitar las emisiones de partículas difusas en las operaciones que las generan, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica
a	Aplicar criterios de simplificación y linealidad en el diseño de la instalación.
b	Llevar a cabo un mantenimiento y limpieza adecuados de edificios y vías de acceso, así como el mantenimiento adecuado y completo de la instalación.
c	Regar las pilas de materias primas.
d	Aislar o encapsular las operaciones que generen partículas, como la trituración y el tamizado.
e	Cubrir las cintas transportadoras y sistemas elevadores construidos como sistemas cerrados cuando los materiales pulverulentos puedan generar emisiones de partículas difusas.

⁽¹⁾ Este rango de valores refleja únicamente la información transmitida para la elaboración del capítulo del BREF relativo al óxido de magnesio. No se dispone de información más específica sobre las técnicas que proporcionan los mejores resultados en relación con los productos fabricados.

	Técnica
f	Utilizar silos de almacenamiento con la capacidad adecuada, dotados de filtros capaces de eliminar las partículas atmosféricas producidas durante las operaciones de llenado.
g	Facilitar el proceso de circulación mediante sistemas de transporte neumáticos.
h	Reducir las fugas de gases y los puntos de derrame.
i	Utilizar dispositivos y sistemas automáticos de control.
k	Vigilar para que las operaciones se realicen con normalidad de manera continuada.

1.4.3.2 Emisiones canalizadas de partículas procedentes de actividades generadoras de partículas, distintas de los procesos de combustión del horno

59. Al objeto de reducir las emisiones canalizadas de partículas en las actividades generadoras de partículas, la MTD consiste en utilizar alguna de las técnicas siguientes, o bien en aplicar un sistema de gestión del mantenimiento dirigido específicamente al controlar los resultados de las técnicas:

	Técnica (1)	Aplicabilidad
a	Filtros de mangas.	Aplicable con carácter general a todas las unidades del proceso de fabricación del óxido de magnesio, especialmente a las operaciones que general partículas: tamizado, trituración y molienda.
b	Separadores centrífugos o de ciclón.	Debido a que el grado de separación depende del sistema utilizado, los separadores de ciclón se utilizan principalmente como separadores preliminares de partículas gruesas en los gases de combustión.
c	Separadores húmedos de partículas.	Aplicable con carácter general.

(1) Estas técnicas se describen en la sección 1.7.1.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones canalizadas de partículas procedentes de actividades generadoras de partículas distintas de los procesos de combustión del horno es $< 10 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo).

Conviene precisar que en el caso de las fuentes pequeñas ($< 10\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$) debe aplicarse un enfoque de prioridades, basado en el sistema de gestión, en relación con la frecuencia con la que se deberá comprobar el funcionamiento del filtro (véase también la MTD 55).

1.4.3.3 Emisiones de partículas procedentes de los procesos de combustión del horno

60. Al objeto de reducir las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en la limpieza de los gases de combustión con un filtro, aplicando alguna de las técnicas siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica (1)	Aplicabilidad
a	Precipitadores electrostáticos (ESP).	Los ESP se utilizan principalmente en los hornos rotatorios. Se emplean a unas temperaturas de los gases de combustión superiores al punto de rocío y hasta un máximo de $370 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$.
b	Filtros de mangas.	En principio, los filtros de mangas para la eliminación de partículas de los gases de combustión pueden utilizarse en todas las unidades del proceso de fabricación de óxido de magnesio. Pueden emplearse a unas temperaturas de los gases de combustión superiores al punto de rocío y hasta un máximo de $280 \text{ }^\circ\text{C}$. En la fabricación de magnesia calcinada cáustica (CCM) y de magnesia sinterizada o calcinada a muerte (DBM), los gases producidos durante el proceso de combustión del horno alcanzan elevadas temperaturas, son corrosivos y se producen en grandes volúmenes, por lo que deben utilizarse filtros de mangas especiales confeccionados con materiales resistentes a las altas temperaturas. Sin embargo, la experiencia del sector de fabricación de DBM evidencia que no se dispone de los equipos apropiados para gases de combustión que alcancen una temperatura aproximada de $400 \text{ }^\circ\text{C}$.

	Técnica ⁽¹⁾	Aplicabilidad
c	Separadores centrífugos o de ciclón.	Debido a que el grado de separación depende del sistema utilizado, los separadores de ciclón se utilizan principalmente como separadores preliminares de partículas gruesas de los gases de combustión.
d	Separadores húmedos de partículas.	Aplicable con carácter general.

⁽¹⁾ Estas técnicas se describen en la sección 1.7.1.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de partículas de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno es $< 20 - 35 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo).

1.4.4 Compuestos gaseosos

1.4.4.1 Técnicas primarias generales para reducir las emisiones de compuestos gaseosos

61. Al objeto de reducir las emisiones de compuestos gaseosos (es decir, NO_x , SO_x , HCl y CO) en los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar alguna de las técnicas primarias siguientes, o una combinación de ellas:

	Técnica	Aplicabilidad
a	<p>Seleccionar y controlar cuidadosamente las sustancias que entran en el horno, con el fin de reducir los precursores de contaminantes:</p> <p>I. eligiendo, cuando estén disponibles, combustibles con bajo contenido de cloro y nitrógeno;</p> <p>II. utilizando materias primas con un bajo contenido orgánico;</p> <p>III. seleccionando residuos derivados de combustibles que sean adecuados para el proceso y el quemador.</p>	<p>Aplicable con carácter general, dependiendo de la disponibilidad de materiales y combustibles, del tipo de horno utilizado, de las cualidades pretendidas del producto y de la posibilidad técnica de alimentar el horno seleccionado con el combustible correspondiente.</p> <p>Aunque la industria del óxido de magnesio puede utilizar residuos como combustible, en 2007 no se había aplicado aún ese uso en el sector.</p>
b	Aplicar medidas o técnicas de optimización de procesos que garanticen una combustión uniforme y estable, cuyos parámetros se acerquen a los valores requeridos para la relación estequiométrica.	La optimización del control del proceso es aplicable a todos los tipos de hornos utilizados en la industria del óxido de magnesio. Sin embargo, es posible que se requiera un control de procesos más avanzado.

1.4.4.2 Emisiones de NO_x

62. Al objeto de reducir las emisiones de NO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar una combinación de las técnicas siguientes:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Selección del combustible apropiado, con un contenido de nitrógeno reducido.	Aplicable con carácter general, dependiendo de la disponibilidad de los combustibles.
b	Optimización del proceso y mejora de la técnica de combustión.	Aplicable con carácter general a la industria del óxido de magnesio.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de NO_x en los gases producidos durante los procesos de combustión del horno es $< 500 - 1\,500 \text{ mg/Nm}^3$, como valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo), expresado en NO_2 . Los niveles de emisiones más altos corresponden al proceso de fabricación de DBM a altas temperaturas.

1.4.4.3 Emisiones de CO y disparos por CO

1.4.4.3.1 Emisiones de CO

63. Al objeto de reducir las emisiones de CO en los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar una combinación de las técnicas siguientes:

	Técnica	Descripción
a	Seleccionar materias primas con un bajo contenido orgánico.	Una parte de las emisiones de CO procede del contenido orgánico de las materias primas, por lo que la utilización de materias primas con bajo contenido orgánico puede reducir dichas emisiones.
b	Optimizar el control del proceso.	Para reducir las emisiones de CO, resulta esencial que la combustión sea adecuada y completa. Para conseguir que el nivel de oxígeno se mantenga durante la combustión entre el 1 % (magnesia sinterizada) y el 1,5 % (magnesia cáustica), es posible controlar el suministro de aire del enfriador o el aire primario, así como el tiro de la chimenea. La modificación de la entrada de aire y de combustible puede reducir las emisiones de CO. Por otro lado, también es posible disminuir las emisiones de CO modificando la profundidad del quemador.
c	Alimentar el combustible de forma controlada, constante y uniforme.	La alimentación controlada del combustible implica, entre otras cosas: <ul style="list-style-type: none"> — utilizar alimentadores por gravedad y válvulas rotatorias de precisión para la alimentación de coque de petróleo, y/o — utilizar caudalímetros y válvulas de precisión para regular la alimentación del fuelóleo pesado o del gas en el quemador del horno.

Aplicabilidad

Las técnicas para la reducción de las emisiones de CO son aplicables con carácter general a la industria del óxido de magnesio. La elección de materias primas con un bajo contenido orgánico dependerá de la disponibilidad de las mismas.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

El NEA-MTD para las emisiones de CO en los gases producidos durante los procesos de combustión del horno es $< 50 - 1\ 000\ \text{mg}/\text{Nm}^3$, como valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo).

1.4.4.3.2 Reducción de los disparos por CO

64. Al objeto de minimizar la frecuencia de los disparos por CO cuando se utilizan precipitadores electrostáticos (ESP), la MTD consiste en utilizar las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Gestionar correctamente los disparos por CO con el fin de reducir los períodos de parada del ESP.
b	Medir continuamente de forma automática el CO mediante equipos de monitorización con tiempos de respuesta cortos y ubicados cerca de la fuente de CO.

Descripción

Por motivos de seguridad relacionados con el riesgo de explosión, es preciso detener los ESP cuando se producen concentraciones elevadas de CO en los gases de combustión. Las técnicas siguientes contribuyen a evitar los disparos por CO y, consecuentemente, los períodos de parada del ESP:

- control del proceso de combustión;
- control del contenido orgánico de las materias primas;
- control de la calidad de los combustibles y de su sistema de alimentación.

Las interrupciones ocurren predominantemente durante la fase de puesta en marcha. Para un funcionamiento seguro, los analizadores de gases para la protección del ESP tienen que estar conectados durante todas las fases operativas, y los períodos de parada del ESP pueden reducirse con un sistema auxiliar de monitorización que funcione continuamente.

Es preciso optimizar el sistema de medición continua del CO respecto a su tiempo de reacción, e instalarlo cerca de la fuente de CO, por ejemplo, en una salida de la torre del precalentador, o en una de las entradas del horno, si se trata de un horno de vía húmeda.

Aplicabilidad

Aplicable con carácter general a los hornos rotatorios equipados con precipitadores electrostáticos (ESP).

1.4.4.4 Emisiones de SO_x

65. Al objeto de reducir las emisiones de SO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno, la MTD consiste en aplicar una combinación de las siguientes técnicas primarias y secundarias:

	Técnica	Aplicabilidad
a	Aplicar técnicas de optimización del proceso.	Aplicable con carácter general.
b	Seleccionar combustibles con un bajo contenido de azufre.	Aplicable con carácter general, dependiendo de la disponibilidad de combustibles con bajo contenido de azufre, que a su vez puede verse afectada por la política energética del Estado miembro. La elección del combustible dependerá asimismo de la calidad del producto final, de las posibilidades técnicas y de consideraciones económicas.
c	Aplicar técnicas basadas en la incorporación de absorbentes secos (adición de absorbentes en el flujo de los gases de combustión, como diversos grados de MgO reactivo, cal hidratada, carbono activado, etc.), en combinación con un filtro ⁽¹⁾	Aplicable con carácter general.
d	Utilizar depuradores húmedos ⁽¹⁾	Su aplicabilidad puede verse limitada en las regiones áridas debido al gran volumen de agua que se requiere y a la necesidad de realizar el tratamiento de las aguas residuales, con los efectos cruzados correspondientes.

⁽¹⁾ Estas medidas y técnicas se describen en la sección 1.7.2.

Niveles de emisiones asociados a las MTD

Véase el cuadro 15.

Cuadro 15

Niveles de emisiones asociados a las MTD para los SO_x de los gases producidos durante los procesos de combustión del horno de la industria del óxido de magnesio.

Parámetro	Unidad	NEA-MTD ⁽¹⁾ ⁽²⁾ [valor medio diario o durante el período de muestreo (mediciones puntuales durante media hora como mínimo)]
SO _x expresados en 2	mg/Nm ³	< 50 – 400 ⁽³⁾

⁽¹⁾ El NEA-MTD dependerá del contenido de azufre en las materias primas y combustibles. Los niveles inferiores del rango indicado corresponden a la utilización de materias primas con bajo contenido de azufre y al empleo de gas natural, mientras que los valores superiores se asocian a la utilización de materias primas o combustibles con un mayor contenido de azufre.

⁽²⁾ Al determinar la combinación de MTD más adecuada para reducir las emisiones de SO_x, deberán tenerse en cuenta los efectos cruzados.

⁽³⁾ Cuando no sea posible utilizar un depurador húmedo, los NEA-MTD dependerán del contenido de azufre de las materias primas y los combustibles. En tal caso, el NEA-MTD será < 1 500 mg/Nm³, y la eficiencia en la eliminación de las emisiones de SO_x deberá ser del 60 % como mínimo.

1.4.5 Pérdidas y residuos del proceso

66. Al objeto de reducir o minimizar las pérdidas y residuos del proceso, la MTD consiste en reutilizar los diversos tipos de partículas que contienen carbonato de magnesio recogidas en el proceso.

Aplicabilidad

De aplicación general, pero en función de la composición química de la partícula.

67. Al objeto de reducir o minimizar las pérdidas y residuos del proceso, cuando no sea posible reciclar los diversos tipos de partículas que contienen carbonato de magnesio que se hayan recogido, la MTD consiste en utilizarlas para elaborar otros productos comercializables.

Aplicabilidad

Es posible que la utilización de partículas que contienen carbonato de magnesio para elaborar otros productos comercializables no dependa del control del operador.

68. Al objeto de reducir o minimizar las pérdidas y residuos del proceso, la MTD consiste en reutilizar en otros sectores industriales los lodos procedentes del proceso húmedo de desulfuración de los gases de combustión.

Aplicabilidad

Es posible que la utilización en otros sectores industriales de los lodos procedentes del proceso húmedo de desulfuración de los gases de combustión no dependa del control del operador.

1.4.6 *Utilización de residuos como combustibles y/o materias primas*

69. Al objeto de garantizar las características de los residuos utilizados como combustible o materias primas en los hornos de fabricación de óxido de magnesio, la MTD consiste en aplicar las técnicas siguientes:

	Técnica
a	Seleccionar los residuos más adecuados para el proceso y el quemador.
b	Aplicar sistemas de aseguramiento de la calidad que permitan garantizar y controlar las características de los residuos, y analizar todos los residuos utilizados como combustible respecto a: <ol style="list-style-type: none"> I. su disponibilidad; II. su calidad constante; III. sus parámetros físicos, por ejemplo, generación de emisiones, rugosidad, reactividad, combustibilidad, poder calorífico; IV. sus parámetros químicos, por ejemplo, contenido de cloro, azufre, álcalis y fosfatos, así como el contenido de metales pertinentes (por ejemplo, cromo, plomo, cadmio, mercurio y talio).
c	Controlar todos los componentes pertinentes de aquellos residuos que se vayan a utilizar como combustible, en particular su contenido de halógenos, metales (por ejemplo, cromo, plomo, cadmio, mercurio, talio) y azufre.

Aplicabilidad

Los residuos pueden utilizarse como combustibles y/o materia prima en la industria del óxido de magnesio (aunque en el año 2007 dicha industria aún no los había utilizado), dependiendo de su disponibilidad, del tipo de horno, de las calidades pretendidas del producto y de la posibilidad técnica de alimentar el horno con los residuos.

DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS

1.5 Descripción de las técnicas utilizadas en la industria cementera1.5.1 *Emisiones de partículas*

	Técnica	Descripción
a	Precipitadores electrostáticos.	<p>Los precipitadores electrostáticos (ESP) generan un campo electrostático en la trayectoria que siguen las partículas dentro de la corriente de aire. Las partículas adquieren una carga negativa y se desplazan hacia las placas colectoras cargadas positivamente. Las placas colectoras se sacuden o vibran periódicamente, desalojando el material adherido para que caiga en las tolvas de recogida colocadas debajo. Es importante optimizar los ciclos de sacudida del ESP para reducir al mínimo los nuevos arrastres de polvo y su potencial para afectar a la visibilidad del penacho.</p> <p>Los ESP se caracterizan por su capacidad para funcionar en condiciones de altas temperaturas (hasta 400 °C aproximadamente) y de elevado nivel de humedad. Los principales inconvenientes de esta técnica son su menor eficacia cuando se forma una capa aislante y la posible acumulación de materiales con un alto contenido de cloro y azufre. Para el buen funcionamiento general de los ESP es importante evitar los disparos por CO.</p> <p>Aunque no existen restricciones de tipo técnico respecto a la aplicabilidad de los ESP en los diversos procesos de la industria cementera, no se utilizan frecuentemente para el despolvado de los molinos de cemento debido a los costes de la inversión y a su reducida eficacia (emisiones relativamente altas) durante las puestas en marcha y paradas.</p>
b	Filtros de mangas.	<p>Los filtros de mangas permiten recoger las partículas de forma eficaz. El principio fundamental en la fabricación del filtro consiste en utilizar una membrana textil permeable al gas que es capaz de retener las partículas. El material del filtro adopta generalmente una disposición simétrica. Al principio el polvo se deposita tanto sobre las fibras superficiales como en el interior del tejido, pero a medida que las partículas se acumulan sobre la capa superficial, el propio polvo se convierte en el principal elemento filtrante. Los gases de combustión pueden fluir desde el interior de la bolsa hacia el exterior o en la dirección opuesta. A medida que la costra de polvo se vuelve más espesa, aumenta la resistencia ofrecida al paso del gas. Por lo</p>

	Técnica	Descripción
		<p>tanto, es necesario limpiar periódicamente el elemento filtrante para controlar la caída de presión del gas que atraviesa el filtro. Los filtros de mangas deberían disponer de varios compartimentos que puedan ser sellados individualmente en caso de rotura de la bolsa, en número suficiente para que el filtro pueda seguir funcionando adecuadamente cuando alguno de dichos compartimentos quede fuera de servicio. Cada compartimento debería disponer de un «detector de rotura de la bolsa» que señalice la necesidad de reparar la avería. Las bolsas de filtro se encuentran disponibles en diversas variedades de fibras, textiles o de otro tipo. Las modernas fibras sintéticas pueden funcionar a temperaturas bastante elevadas, de hasta 280 °C.</p> <p>El rendimiento de los filtros de mangas se ve afectado principalmente por una serie de parámetros, como la compatibilidad del elemento filtrante con las características de los gases de combustión y de las partículas y la resistencia física y química frente a las agresiones por hidrólisis, ácidos, oxidación y temperatura del proceso. Para la selección de la técnica deberán tenerse en cuenta la humedad y temperatura de los gases de combustión.</p>
c	Filtros híbridos.	Los filtros híbridos consisten en una combinación de ESP con filtros de mangas dentro de un mismo dispositivo. Generalmente se instalan durante el proceso de renovación de los ESP antiguos. Permiten reutilizar parcialmente los equipos existentes.

1.5.2 Emisiones de NO_x

	Técnica	Descripción
a	Medidas y técnicas primarias	
	I Enfriamiento de llama.	Para reducir la temperatura y aumentar la concentración de radicales hidroxílicos es posible añadir agua al combustible, o directamente a la llama, empleando diversos métodos para introducirla, ya sea la inyección de un fluido (líquido), de dos fluidos (líquido más aire comprimido) o de productos sólidos, ya sea la utilización de residuos líquidos o sólidos con un alto contenido de agua. Esto puede producir efectos positivos para la reducción de los NO _x en la zona de combustión.
	II Quemadores de bajo NO _x .	<p>Aunque el diseño de los quemadores de bajo NO_x (combustión indirecta) pueda variar en cuanto a los detalles, todos se basan en la inyección del combustible y el aire en el horno a través de tubos concéntricos. La proporción de aire primario se reduce alrededor del 6 – 10 % respecto a la requerida para la combustión estequiométrica (normalmente del 10 – 15 % en los quemadores convencionales). El aire axial se inyecta con gran fuerza por el canal exterior. El carbón puede insuflarse por la tobera central o por el canal intermedio. Se emplea un tercer canal para inyectar una corriente de aire en espiral creada con ayuda de álabes situados en la salida de la tobera de combustión o detrás de esta. El efecto final del quemador así diseñado es una combustión inicial muy rápida, especialmente de los compuestos volátiles contenidos en el combustible, en una atmósfera pobre en oxígeno, lo que tiende a reducir la formación de NO_x.</p> <p>La utilización de quemadores de bajo NO_x no siempre tiene como consecuencia una reducción de las emisiones de NO_x. Para ello es preciso optimizar la configuración del quemador.</p>
	III Combustión a mitad del horno.	<p>En los hornos largos de vía húmeda y seca, la creación de una zona reductora mediante la combustión de combustibles sólidos puede reducir las emisiones de NO_x. Dado que en estos hornos no hay acceso a la zona de temperaturas de 900 – 1 000 °C, es posible instalar sistemas de combustión en el centro del horno capaces de utilizar aquellos residuos combustibles sólidos que no pueden pasar por el quemador principal (por ejemplo neumáticos).</p> <p>La velocidad de combustión de los combustibles puede representar un factor crítico. Si es demasiado lenta, pueden presentarse condiciones reductoras en la zona de combustión que perjudiquen seriamente la calidad del producto. Si es demasiado rápida, la sección del horno equipada con cadenas puede sobrecalentarse y las cadenas resultar quemadas. Un rango de temperatura inferior a los 1 100 °C excluye la utilización de residuos peligrosos con un contenido de cloro superior al 1 %.</p>
	IV Adición de mineralizadores para mejorar la cocibilidad del crudo (clínker mineralizado).	La adición de mineralizadores, como por ejemplo, el flúor, a las materias primas es una técnica que permite ajustar la calidad del clínker y reducir la temperatura de la zona de sinterización. Al reducir la temperatura de la cocción se reduce igualmente la formación de NO _x .

	Técnica	Descripción
	V Optimización del proceso.	Para reducir las emisiones de NO _x es posible recurrir a la optimización del proceso, por ejemplo en lo relativo al funcionamiento del horno, a las características de la combustión, al control óptimo del horno y/o a la homogeneización de la alimentación de combustible. También se han aplicado medidas o técnicas primarias de optimización del proceso, por ejemplo en lo relativo al control del proceso y a la mejora de la combustión indirecta, de las conexiones con el enfriador, así como a la selección del combustible y a los niveles de oxígeno.
b	Combustión por etapas (combustibles convencionales o combustibles derivados de residuos), también en combinación con un precalcinador y una mezcla de combustibles optimizada.	La combustión por etapas se aplica en los hornos de cemento junto con un precalcinador de diseño especial. La primera etapa de combustión se realiza en el horno rotatorio en condiciones optimizadas para el proceso de cocción del clínker. La segunda etapa de combustión consiste en colocar un quemador en la entrada del horno para crear una atmósfera reductora que descompone en parte los óxidos de nitrógeno generados en la zona de sinterización. La elevada temperatura de esta zona favorece especialmente la reacción que vuelve a convertir el NO _x en nitrógeno elemental. En la tercera etapa de combustión, se introduce en el calcinador el combustible junto con un determinado volumen de aire terciario, lo que crea también aquí una atmósfera reductora. Con este sistema se reduce el NO _x procedente del combustible, y se disminuye igualmente el NO _x que sale del horno. En la cuarta y última etapa de combustión, el aire terciario remanente se inyecta en el sistema a través de una toma de aire superior, con el fin de completar la combustión residual.
c	SNCR.	La reducción no catalítica selectiva (SNCR) consiste en la inyección de una solución acuosa de amoníaco (hasta un 25 % NH ₃), de precursores del amoníaco o de una solución de urea en el gas de combustión, con la finalidad de reducir el NO a N ₂ . La reacción logra resultados óptimos en un rango de temperaturas de 830 a 1 050 °C, y se debe disponer de un tiempo de retención suficiente para que los agentes inyectados puedan reaccionar con el NO.
d	SCR.	La reducción catalítica selectiva (SCR) permite reducir el NO y NO ₂ a N ₂ por medio de NH ₃ y un catalizador, a un rango de temperaturas comprendido entre 300 – 400 °C. Esta técnica se emplea ampliamente para la eliminación de los NO _x en otros sectores (centrales eléctricas de carbón, incineradoras de residuos). En la industria cementera, los sistemas empleados son básicamente dos: la configuración para bajos contenidos de partículas, situando el sistema entre el equipo de desempolvado y la chimenea, y la configuración para altos contenidos de partículas, situando el sistema entre el precalentador y el equipo de desempolvado. Los sistemas para los gases de salida con bajos contenidos de partículas requieren calentar nuevamente los gases después de su desempolvado, lo que puede suponer un gasto de energía adicional y caídas de presión. Los sistemas para altos contenidos de partículas se consideran preferibles desde el punto de vista técnico y económico. Estos sistemas no requieren volver a calentar los gases, porque la temperatura de los mismos a la salida del precalentador suele corresponder al rango de temperaturas apropiado para el funcionamiento del SCR.

1.5.3 Emisiones de SO_x

	Técnica	Descripción
a	Adición de absorbentes.	<p>Se incorporan absorbentes ya sea en las materias primas (por ejemplo, cal hidratada), ya sea en la corriente de gas (por ejemplo, cal hidratada o apagada [Ca(OH)₂], cal viva (CaO), cenizas volantes activadas con un alto contenido de CaO o bicarbonato sódico (NaHCO₃).</p> <p>La cal hidratada se puede cargar en el molino de materias primas junto con los demás componentes de las materias primas, o bien incorporarse directamente en la alimentación del horno. La adición de cal hidratada ofrece la ventaja de que el aditivo a base de calcio reacciona formando compuestos que pueden incorporarse directamente al proceso de cocción del clínker.</p> <p>La inyección de absorbentes en la corriente de gas puede realizarse aplicando un método seco o húmedo (lavado por vía semiseca). Los absorbentes se inyectan en la trayectoria de los gases de combustión a temperaturas próximas al punto de rocío, lo que tiene como resultado unas condiciones más favorables para la captura del SO₂. En los hornos de cemento, este rango de temperaturas se suele alcanzar en la zona comprendida entre el molino de materias primas y el equipo de desempolvado.</p>

	Técnica	Descripción
b	Depuradores húmedos.	<p>La técnica de depurador húmedo es la más utilizada para la desulfuración de los gases de combustión en las centrales eléctricas alimentadas por carbón. En los procesos de fabricación de cemento, la depuración húmeda para la reducción de las emisiones de SO₂ es una técnica establecida. La depuración húmeda se basa en la siguiente reacción química:</p> $\text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ <p>Los SO_x se absorben con una lechada aplicada mediante una torre de rociado. El producto absorbente suele ser carbonato cálcico. Los depuradores húmedos son los que presentan la máxima eficacia, entre todos los métodos de desulfuración de los gases de combustión (FGD), para la limpieza de gases ácidos solubles, con la desviación más baja respecto a los factores estequiométricos y la menor tasa de producción de residuos sólidos. La técnica requiere utilizar determinados volúmenes de agua, lo que conlleva la necesidad de realizar el tratamiento de las aguas residuales.</p>

1.6 Descripción de las técnicas utilizadas a la industria de la cal

1.6.1 Emisiones de partículas

	Técnica	Descripción
a	ESP.	<p>En la sección 1.5.1 se incluye una descripción general de los precipitadores electrostáticos (ESP).</p> <p>Los ESP resultan más indicados cuando se emplean con temperaturas superiores al punto de rocío y hasta 400 °C. Sin embargo, también es posible utilizarlos con temperaturas por debajo del punto de rocío, pero próximas al mismo. Son principalmente los hornos rotatorios, con precalentador o sin él, los que suelen estar equipados con ESP, debido a los grandes caudales y cargas de partículas relativamente bajas presentes en los mismos. El rendimiento se mejora cuando se usan en combinación con una torre de apagado.</p>
b	Filtros de mangas.	<p>En la sección 1.5.1 se incluye una descripción general de dichos filtros.</p> <p>Los filtros de mangas son muy adecuados para los hornos y las instalaciones de molienda y trituración de cal viva y de piedra caliza, plantas de hidratación de cal, transporte de materiales e instalaciones de almacenamiento y carga. Suele ser conveniente utilizarlos en combinación con filtros previos de tipo ciclón. El funcionamiento de los filtros de mangas se ve limitado por las condiciones de los gases de combustión, como su temperatura, humedad, carga de partículas y composición química. Existen diversos materiales textiles capaces de resistir el desgaste de tipo mecánico, térmico y químico producido como consecuencia de dichas condiciones.</p>
c	Depuradores húmedos.	<p>En los depuradores húmedos, las partículas se eliminan del flujo de gases de combustión mediante el estrecho contacto de este último con un líquido de lavado (generalmente agua), de tal forma que el líquido retenga las partículas de polvo, las cuales se eliminan posteriormente con el aclarado. Son varios los tipos de depuradores húmedos disponibles para la eliminación de partículas. Los principales tipos utilizados en los hornos de cal son los depuradores en cascada o multietapa, los depuradores húmedos dinámicos y los depuradores húmedos de efecto Venturi. La mayor parte de los depuradores húmedos utilizados en los hornos de cal pertenecen a la categoría de depuradores en cascada o multietapa.</p> <p>Los depuradores húmedos se emplean cuando las temperaturas de los gases de combustión están próximas al punto de rocío o por debajo del mismo. También se utilizan cuando el espacio es limitado. A veces se utilizan con unas temperaturas de los gases más elevadas, en cuyo caso el agua enfría los gases y reduce su volumen.</p>
d	Separadores centrífugos o De ciclón.	<p>En un separador centrífugo o de ciclón, las partículas de polvo que deben eliminarse de la corriente de gas de salida se proyectan contra la pared externa del dispositivo mediante la fuerza centrífuga, y a continuación se eliminan a través de una apertura situada en la parte inferior. La fuerza centrífuga puede generarse imprimiendo al flujo de gas un movimiento vertical descendente dentro de una vasija cilíndrica (en los separadores de ciclón) o mediante un propulsor giratorio instalado en el dispositivo (en los separadores por centrifugación mecánica). Sin embargo, debido a su baja eficacia en la eliminación de partículas, su uso solo está recomendado como separadores previos que contribuyan a disminuir la carga de partículas que entra en los ESP y en los filtros de mangas, y reducir los consiguientes problemas de abrasión.</p>

1.6.2 Emisiones de NO_x

	Técnica	Descripción
a	Diseño del quemador (de bajo NO _x).	Los quemadores de bajo NO _x son útiles para hacer bajar la temperatura de la llama, reduciendo de este modo el NO _x de origen térmico y (en cierta medida) el aportado por el combustible. La reducción de los NO _x se lleva a cabo inyectando aire limpio para disminuir la temperatura de la llama o mediante el funcionamiento pulsante de los quemadores. Los quemadores de bajo NO _x están diseñados para reducir la proporción del aire primario, lo que conlleva una menor formación de NO _x , mientras que los quemadores convencionales multicanal funcionan con una proporción de aire primario de entre el 10 y el 18 % del aire total utilizado en la combustión. Una mayor proporción de aire primario trae consigo una llama más corta e intensa, generada por la mezcla prematura del aire caliente secundario con el combustible. Las consecuencias son unas temperaturas más elevadas de la llama y la formación de un gran volumen de NO _x , lo que podría evitarse utilizando quemadores de bajo NO _x .
b	Escalonamiento de aire.	Se crea una zona reductora disminuyendo la entrada de aire en las zonas de reacción primarias. Las elevadas temperaturas de estas zonas favorecen especialmente la reacción que permite reconvertir el NO _x en nitrógeno elemental. En las zonas de combustión siguientes, se incrementa la entrada de aire y oxígeno al objeto de oxidar los gases que se forman. Es preciso lograr una mezcla eficaz aire/gas para garantizar que los niveles de CO y NO _x se mantengan bajos. En 2007, el escalonamiento de aire no se había aplicado aún en el sector de la cal.
c	SNCR.	Los óxidos de nitrógeno (NO y NO ₂) contenidos en los gases de combustión se eliminan mediante la reducción no catalítica selectiva, transformándolos en nitrógeno y agua mediante la inyección en el horno de un agente que reacciona con dichos óxidos. Como agentes reductores se utilizan normalmente amoníaco o urea. Las reacciones se producen a temperaturas de entre 850 y 1 020 °C, siendo el rango óptimo 900 - 920 °C.

1.6.3 Emisiones de SO_x

	Técnica	Descripción
a	Incorporación de absorbentes.	Esta técnica para la reducción de las emisiones de SO _x consiste en la incorporación directa de un producto absorbente en el horno (por alimentación o inyección), o bien en la incorporación de un producto absorbente seco o húmedo (por ejemplo, cal hidratada o bicarbonato sódico) en los gases de combustión. Cuando se inyecta el absorbente en los gases de combustión, el tiempo de permanencia del mismo entre el punto de inyección y el equipo de despolvo de partículas (filtro de mangas o ESP) debería ser suficiente para permitir una absorción eficaz. En cuanto a los hornos rotatorios, entre las técnicas basadas en la incorporación de absorbentes se incluyen las siguientes: — Utilización de caliza fina: en los hornos rotatorios horizontales para la calcinación de dolomía, se logran reducciones significativas de las emisiones de SO ₂ alimentándolos con piedras que contengan grandes cantidades de caliza finamente dividida o que tiendan a disgregarse cuando se calientan. Los calcinados de caliza finamente dividida se incorporan a los gases de combustión, arrastrando los SO ₂ en su movimiento hasta el equipo de despolvo. — Inyección de cal en el aire de combustión: se trata de una técnica patentada (EP 0734755 A1) que elimina las emisiones de SO ₂ de los hornos rotatorios inyectando cal viva o apagada finamente dividida en la alimentación de aire de la campana del horno.

1.7 Descripción de las técnicas utilizadas en la industria del óxido de magnesio (vía húmeda)

1.7.1 Emisiones de partículas

	Medida/técnica	Descripción
a	Precipitadores electrostáticos (ESP).	En la sección 1.5.1 se incluye una descripción general de los ESP.

	Medida/técnica	Descripción
b	Filtros de mangas.	<p>En la sección 1.5.1 se incluye una descripción general de los filtros de mangas.</p> <p>Los filtros de mangas alcanzan una tasa de retención de partículas elevada, normalmente de entre el 98 y el 99 %, dependiendo del tamaño de las mismas. Esta técnica es la que ofrece la mejor eficiencia en la recogida de partículas, en comparación con otras medidas o técnicas de reducción de polvo utilizadas en la industria del óxido de magnesio. Sin embargo, debido a las altas temperaturas de los gases de combustión, es preciso utilizar materiales filtrantes capaces de resistir dichas temperaturas.</p> <p>Para la fabricación de DBM se emplean materiales filtrantes que funcionan con temperaturas de hasta 250 °C, como PTFE (teflón). Este material filtrante presenta una buena resistencia a los ácidos y a los álcalis, y soluciona muchos problemas de corrosión.</p>
c	Separadores de ciclón (o centrifugos).	<p>En la sección 1.6.1 se incluye una descripción general de los separadores ciclónicos. Son equipos robustos, capaces de funcionar con un rango de temperaturas más amplio y un menor consumo de energía. Debido a que alcanzan un nivel limitado de separación de partículas, que estará en función del sistema utilizado, los separadores ciclónicos se utilizan principalmente para el despolvado previo de las partículas gruesas contenidas en los gases de salida.</p>
d	Separadores o depuradores de polvo por vía húmeda.	<p>En la sección 1.6.1. se incluye una descripción de los separadores de partículas (también denominados depuradores) por vía húmeda.</p> <p>Los separadores de partículas por vía húmeda pueden dividirse en varios tipos con arreglo a su diseño y principios de funcionamiento, como son por ejemplo los basados en el efecto Venturi. Los separadores de partículas de este tipo se aplican en la industria del óxido de magnesio en determinadas situaciones, por ejemplo cuando el gas se inyecta a través de la sección más estrecha del tubo Venturi, el llamado «cuello de Venturi», y sea posible alcanzar velocidades de entre 60 y 120 m/s. Los fluidos depuradores inyectados en el tubo Venturi se difunden en forma de niebla formada por pequeñas gotas de agua, las cuales se mezclan perfectamente con el gas. Las gotitas de agua a las que se adhieren las partículas se vuelven más pesadas y pueden eliminarse fácilmente mediante un separador de gotas instalado en el equipo de despolvado por efecto Venturi.</p>

1.7.2 Emisiones de SO_x

	Técnica	Descripción
a	Incorporación de absorbentes.	<p>Esta técnica para la reducción de las emisiones de SO_x consiste en inyectar en los gases de combustión un producto absorbente, en forma seca o húmeda (lavado semiseco). Para lograr una alta eficiencia en la absorción, es muy importante prever un tiempo de retención suficiente del absorbente en el gas, entre el punto de inyección y el equipo de despolvado. Para la absorción eficaz de los SO₂, la industria del óxido de magnesio utiliza distintas variedades de MgO reactivo. A pesar de su menor eficiencia en comparación con otros absorbentes, la utilización del MgO reactivo presenta la doble ventaja de reducir el coste de la inversión y de que las partículas filtradas no está contaminadas con otras sustancias y pueden reutilizarse, en sustitución de otras materias primas, para la fabricación de óxido de magnesio, o bien como fertilizante (sulfato de magnesio), minimizando de este modo la generación de residuos.</p>
b	Depuradores húmedos.	<p>En la técnica de la depuración húmeda, los SO_x son absorbidos por una lechada pulverizada a contracorriente en los gases de salida mediante una torre de rociado. Esta técnica requiere un volumen de agua de entre 5 y 12 m³ por tonelada de producto, con la consiguiente necesidad de realizar el tratamiento de las aguas residuales.</p>