

Guía de apoyo para la notificación de la industria de la cal

Versión: Diciembre 2024





ÍNDICE

1. OBJETIVO DE ESTA GUÍA.....	4
2. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y DE LAS EMISIONES ASOCIADAS.....	4
3. PARÁMETROS PRTR A NOTIFICAR.....	7
4. METODOLOGÍA DE NOTIFICACIÓN DE EMISIONES.....	10
4.1. Datos calculados.....	10
4.1.1. Factores de emisión del CORINAIR.....	11
4.1.2. Factores de emisión de la EPA.....	12
4.1.3. Comercio de emisión de gases de efecto invernadero.....	12
4.1.4. Determinación emisiones de NO _x y SO _x según el Decreto 503/2004.....	14
4.2. E- DATOS ESTIMADOS.....	14
5. FACTORES DE EMISIÓN PROPUESTOS PARA LA NOTIFICACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS MEDIANTE CÁLCULO.....	14
5.1. Cálculo de las emisiones de contaminantes distintos de CO ₂	14
6. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sub-listas contaminantes PRTR.....	7
Tabla 2. Contaminantes PRTR incluidos por R.D. 508/2007, de 20 de abril.....	9
Tabla 3. Códigos de calidad de los factores de emisión EPA.....	11
Tabla 4. Factores de emisión estequiométricos.....	13
Tabla 5. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de CO expresados en kg/t de cal producida.....	15
Tabla 6. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de NO _x expresados en kg/t de cal producida.....	15
Tabla 7. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de SO _x expresados en kg/t de cal producida.....	16
Tabla 8. Porcentajes de azufre en combustibles.....	17
Tabla 9. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de partículas, expresados en kg/t.....	18
Tabla 10. F.E. propuestos para el cálculo de COVDM asociados a combustión.....	21
Tabla 11. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de N ₂ O.....	21
Tabla 12. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de metales, dioxinas y furanos y HAP.....	21



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso de fabricación y emisiones asociadas.....	6
---	---

ABREVIATURAS

BREF	Bat Reference
CORINAIR	Atmospheric Emissions Inventory Guidebook (Inventario de emisiones a la atmósfera)
CC.AA.	Comunidades Autónomas
EEA	European Environment Agency (Agencia Europea del Medio Ambiente)
EMEP	European Monitoring Evaluation Programme (Programa concertado de vigilancia continua y de evaluación de la transmisión a larga distancia de los contaminantes atmosféricos en Europa)
EPA	Environmental Protection Agency
E-PRTR	European Pollutant Release and Transfer Register (Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes)
F.E.	Factor de Emisión
LC	Límite de Cuantificación
MITERD	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
MTD	Mejor técnica disponible (en inglés BAT, Best Available Technique)
NPI	National Pollutant Inventory
RP	Residuo Peligroso
R.D.	Real Decreto



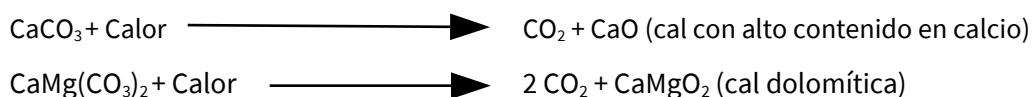
1. Objetivo de esta guía

Este documento establece las particularidades para la notificación de las emisiones y transferencia de contaminantes de los complejos incluidos en el epígrafe 3.c ii) “Producción de cal en hornos con una capacidad de producción superior a 50 toneladas diarias”, del Anexo I, correspondiente al Real Decreto 508/2007, de 20 de abril (BOE n.º 96, de 21 de abril de 2007), modificado mediante Anexo 5 del Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, (BOE 251, 19 de octubre de 2013).

2. Caracterización del proceso productivo y de las emisiones asociadas

En el presente apartado se procede a describir brevemente las principales etapas que constituyen el proceso de fabricación de este tipo de industrias, así como las emisiones de contaminantes asociadas a cada una de ellas.

La cal es el producto de la descomposición de la caliza a alta temperatura que se produce por una de las siguientes reacciones:



El proceso de fabricación de la cal consta de las siguientes etapas:

1. Calcinación de las calizas de alto contenido en calcio para producir cal viva.
2. Apagado de la cal viva mediante la adición de agua y obtención de cal hidratada o apagada.

En la fabricación de cal tienen lugar las siguientes etapas:

- Extracción de materias primas.
- Almacenado y preparación de materias primas.
- Almacenado y preparación de combustibles.
- Calcinación de caliza.
- Clasificación y molienda de la cal viva.
- Hidratación de la cal viva.



- Almacenado, manipulación y transporte.

Los hornos rotatorios y verticales son los que más comúnmente se emplean en los procesos de fabricación de cal en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Los principales compuestos emitidos a la atmósfera son óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono, dióxido de azufre y partículas. Adicionalmente pueden producirse emisiones de compuestos orgánicos volátiles, metales y dioxinas y furanos. Las emisiones características de este tipo de industria se producen a la atmósfera.

En la siguiente figura se muestra un esquema del proceso productivo y de los contaminantes asociados al mismo.

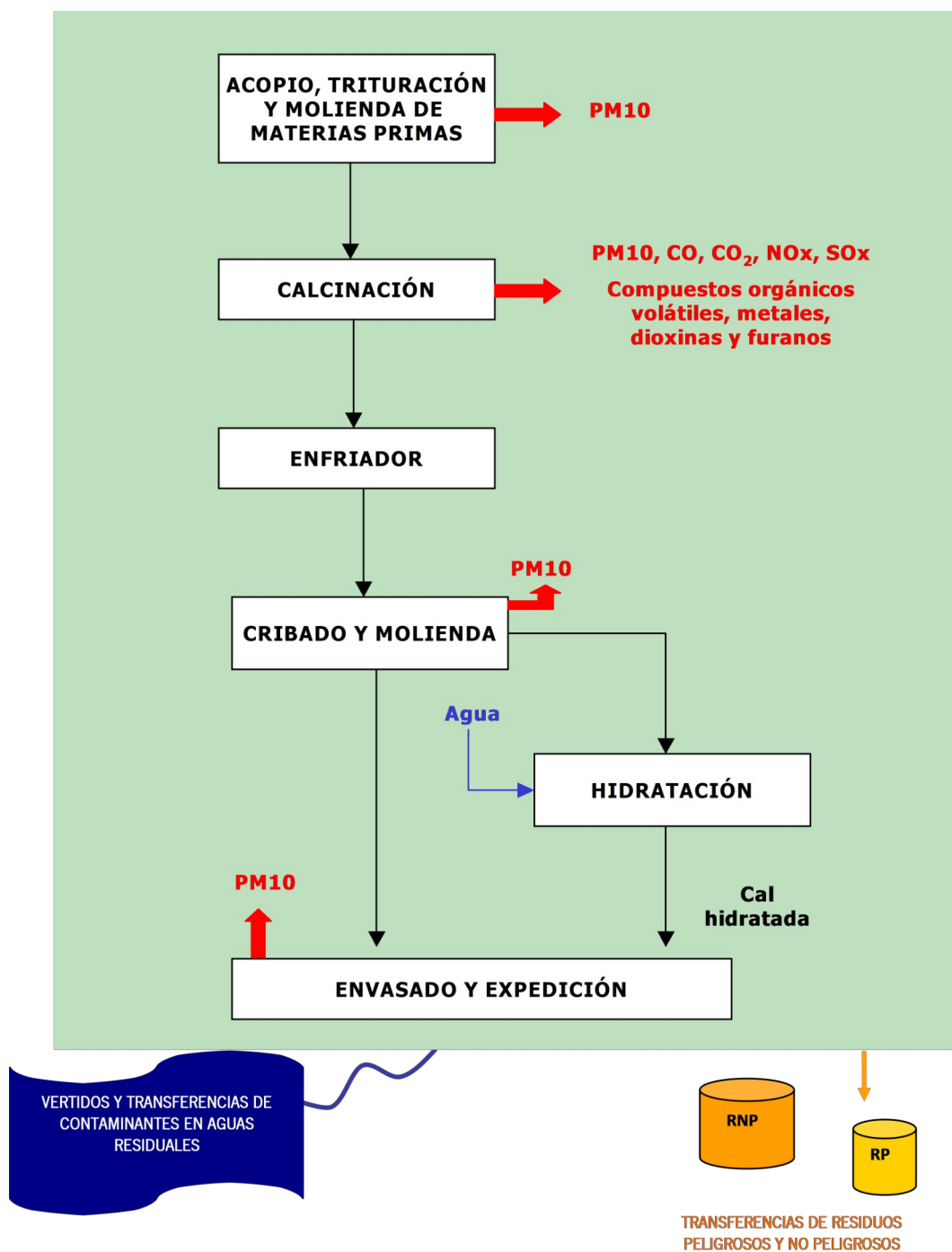


Figura 1. Diagrama de proceso de fabricación y emisiones asociadas



En la producción de cal no se generan vertidos de proceso, los únicos vertidos generados en este tipo de instalaciones están asociados a aguas de limpieza y sistemas de refrigeración.

Entre los residuos generados en la producción de cal se incluyen:

- Polvo de cal recogido en los sistemas de depuración y en operaciones de limpieza.
- Refractario y aislante usados procedentes del horno.
- Aceites usados generados en las operaciones de mantenimiento.
- Recipientes contaminados de productos químicos empleados en los laboratorios.

3. Parámetros PRTR a notificar

En el apéndice 4 de la “Guía para la implantación del E-PRTR” de la Dirección General del Medio Ambiente de la Comisión Europea se adjuntan unas sub-listas que ilustran, a título orientativo, los parámetros contaminantes a notificar en función del tipo de actividad de la instalación para las emisiones al aire y emisiones y transferencias al medio hídrico. Para las instalaciones afectadas por los **epígrafes 3.c ii)** los contaminantes recogidos en las sub-listas son:

Tabla 1. Sub-listas contaminantes PRTR

INDUSTRIAS DE CAL			
N.º PRTR	CONTAMINANTE	MEDIO ATMÓSFERA	MEDIO AGUA
2	Monóxido de Carbono (CO)	■	-
3	Dióxido de Carbono (CO ₂)	■	-
5	Óxido Nitroso (N ₂ O)	■	-
6	Amoníaco (NH ₃)	■	-
7	Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM)	■	-
8	Óxidos de Nitrógeno (NO _x /NO ₂)	■	-
11	Óxidos de Azufre (SO _x /SO ₂)	■	-
17	Arsénico y sus compuestos (como As)	■	■
18	Cadmio y sus compuestos (como Cd)	■	■
19	Cromo y sus compuestos (como Cr)	■	■
20	Cobre y sus compuestos (como Cu)	■	-
21	Mercurio y sus compuestos (como Hg)	■	■



INDUSTRIAS DE CAL			
N.º PRTR	CONTAMINANTE	MEDIO ATMÓSFERA	MEDIO AGUA
22	Níquel y sus compuestos (como Ni)	■	■
23	Plomo y sus compuestos (como Pb)	■	■
24	Cinc y sus compuestos (como Zn)	■	-
47	PCDD + PCDF (dioxinas + furanos) (como I-Teq)	■	■
50	Policlorobifenilos (PCB)	■	-
61	Antraceno	■	-
62	Benceno	■	-
68	Naftaleno	■	-
70	Ftalato de bis (2-etilhexilo) (DEHP)	■	-
71	Fenoles (como C total)	-	■
72	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)	■	-
76	Carbono orgánico total (COT) (como C total o DQO/3)	-	■
80	Cloro y compuestos inorgánicos (como HCl)	■	-
84	Flúor y compuestos inorgánicos (como HF)	■	-
85	Cianuro de hidrógeno (HCN)	■	-
86	Partículas (PM ₁₀)	■	-

En relación a los contaminantes incluidos en la tabla anterior, se deben realizar las siguientes consideraciones:

- Todos los metales (nº PRTR 17-24) se comunicarán como la masa total del elemento en todas las formas químicas presentes en la emisión.
- Los fenoles (nº PRTR 71) deben expresarse como la masa total de fenol y fenoles simples sustituidos, expresada como carbono total.
- Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, nº PRTR 72) incluyen: el benzo(a)pireno, el benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno y el indeno(1,2,3-cd)pireno.

Por otro lado, en el Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, han sido incluidos una serie de contaminantes que deben notificarse, aunque en principio no se incluirán en la información que el MITERD remita a organismos europeos o a cualquier otro organismo de carácter internacional. Estos contaminantes se recogen en la siguiente tabla.



Tabla 2. Contaminantes PRTR incluidos por R.D. 508/2007, de 20 de abril

OTRAS SUSTANCIAS INCLUIDAS EN EL PRTR POR EL R. D. 508/2007, DE 20 DE ABRIL			
Nº PRTR	ATMÓSFERA	Nº PRTR	AGUA
92	Partículas totales en suspensión (PST)	98	DQO
93	Talio	200	o,p'-DDT
94	Antimonio	201	p,p'-DDD
95	Cobalto	202	p,p'-DDE
96	Manganeso	203	p,p'-DD
97	Vanadio	204	Benzo(a)pireno
		205	Benzo(b)fluoranteno
		206	Benzo(k)fluoranteno
		207	Indeno(1,2,3-cg)pireno
		208	1,2,3-Triclorobenceno
		209	1,2,4-Triclorobenceno
		210	1,3,5-Triclorobenceno
		211	p-xileno
		212	o-xileno
		213	m-xileno
		214	Penta-BDE
		215	Octa-BDE
		216	Deca-BDE

Las sustancias con número PRTR desde el 200 al 216 corresponden a isómeros de otras sustancias incluidas en la lista de contaminantes PRTR (DDT, HAP, Triclorobencenos, Xilenos y Bromodifenileteres).

Además, en el caso de las transferencias de residuos peligrosos y no peligrosos, se debe indicar la cantidad total de cada tipo de residuo, identificándolos con el código LER correspondiente según la Decisión 2014/955/UE de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (Ej. 15 02 02 Trapos de limpieza, contaminados por sustancias peligrosas).



4. Metodología de notificación de emisiones

Según el **Reglamento (CE) 166/2006, de 18 de enero de 2006**, la notificación de las emisiones puede realizarse de tres formas distintas:

1. **Datos Medidos (M):** Los datos notificados proceden de mediciones realizadas utilizando métodos normalizados o aceptados.
2. **Datos Calculados (C):** Los datos notificados proceden de cálculos realizados utilizando métodos de estimación y factores de emisión aceptados en el ámbito nacional e internacional y representativos de los sectores industriales.
3. **Datos Estimados (E):** Los datos notificados proceden de estimaciones no normalizadas fundamentadas en hipótesis óptimas o en las previsiones de expertos.

La casuística asociada a cada una de las posibilidades citadas queda descrita en el siguiente documento “Notificación de Datos PRTR – Guía de Apoyo”, de diciembre de 2024. No obstante se detalla de forma explícita la notificación a través de datos calculados puesto que los factores de emisión son específicos según la actividad.

4.1. Datos calculados

Las principales fuentes bibliográficas consultadas para la selección de los factores de emisión han sido:

- **CORINAIR.** Inventario de emisiones atmosféricas realizado por la European Environmental Agency.
- **EPA.** Environmental Protection Agency U.S.
- **NPI.** National Pollutant Inventory Australia.

Para escoger un factor de emisión se debe seguir el siguiente orden de preferencia:

1. En primer lugar sería deseable utilizar factores de emisión propios del proceso productivo y del ámbito geográfico en el que se encuentra la instalación. En la actualidad no se han desarrollado factores de emisión específicos para la industria de fabricación de cal en la Comunidad Autónoma de Andalucía.
2. Utilización de factores de emisión reconocidos a nivel europeo (CORINAIR). Asimismo, dentro de los factores de emisión del CORINAIR existen tres niveles de complejidad según el fin para el que se emplea los mismos, nivel 1, 2 y 3. El nivel 1 exige un menor grado de conocimiento de las características específicas de un proceso, pero a partir de datos relativamente sencillos de encontrar, por ejemplo de producción derivada de estadísticas oficiales, permiten realizar una aproximación en el desarrollo de inventario de emisiones. A medida que se incrementa el nivel de complejidad se incremen-



ta la precisión del factor de emisión pero es más difícil obtener el dato porque exige un mayor conocimiento del proceso y los detalles y características del mismo. Para el caso que nos ocupa empleará siempre que sea posible los factores de emisión de nivel tres, solo empleándose los de nivel inferior para los casos en los que no se disponga de datos que lo permitan.

3. Utilización de factores de emisión desarrollados por otros organismos de reconocido prestigio (EPA).

Cada factor de emisión lleva asociado un índice de calidad que representa la capacidad que posee el factor de emisión para aproximarse a las tasas medias de emisión de una determinada fuente y que siempre está referido a las condiciones de operación y medida en las que ha sido determinado el factor.

Tabla 3. Códigos de calidad de los factores de emisión EPA

TIPO DE FACTOR	CALIDAD DEL FACTOR
A	Excelente
B	Medio - Alto
C	Medio
D	Medio - Bajo
E	Bajo
U	Sin datos

Fuente: AP-42 FAQ

En PRTR hay que indicar además del código C, otro código que indica la procedencia del método de cálculo y la fuente correspondiente.

4.1.1. Factores de emisión del CORINAIR

La Guía de inventarios de emisión EMEP/CORINAIR en todas sus versiones incluye los factores de emisión que podrían emplearse para el cálculo de las emisiones al aire. Se han incluido en el anexo 1 por orden de preferencia en su uso para la notificación E-PRTR, en primer lugar los factores de emisión de nivel 3 seguidos de los de menor grado de complejidad. A pie de tabla se indica la procedencia de las mismas, en concreto:

- Tabla A1-1. Factores de emisión de **nivel 3 para PST**, según la fase del proceso de producción y características de las mismas.
- Tabla A1-2. Factores de emisión de **nivel 2 para PST**, solo tiene en cuenta la existencia o no de sistema de retención de partículas.
- Tabla A1-3. Factores de emisión de **nivel 1 para PST**, en caso de no disponer de información sobre el proceso.



- Tabla A1-4. Factores de emisión de **nivel 3 para SO₂, NO_x y CO**, que tiene en cuenta la tipología de horno en el proceso de calcinación y el sistema de control existente en el horno.
- Tabla A1-5 y Tabla A1-6. Factores de emisión de **nivel 2 para SO_x, NO_x, CO₂, CH₄, CO, CO₂ y N₂O** en función del tipo de combustible o de **SO_x, NO_x y CO** sobre la base de la producción de cal.

La abreviatura utilizada para esta fuente es SSC.

4.1.2. Factores de emisión de la EPA

En la EPA se recogen factores de emisión para el SO_x, NO_x, CO, CO₂, Partículas totales y PM₁₀. Todos están expresados en kg/t cal producida y están recogidos en las tablas que se adjuntan en el anexo 1, tal y como sigue: Tabla A1-7 y Tabla A1-8. La EPA da factores de emisión para las partículas totales y para PM₁₀, aunque para las totales la información es mucho más completa.

La abreviatura utilizada que se debe ir acompañando esta fuente es OTH.

4.1.3. Comercio de emisión de gases de efecto invernadero

Las instalaciones afectadas por el régimen de comercio de emisión de gases de efecto invernadero, Ley 1/2005 de 9 de marzo, («BOE» núm. 59, de 10 de marzo de 2005), modificada por la Ley 13/2010, de 05 de julio, («BOE» núm. 163, de 6 de julio de 2010), deberán realizar la notificación PRTR de CO₂ con la misma metodología que la empleada para el informe verificado de emisiones, pero considerando también las emisiones debidas a las biomasa, que deberán contabilizarse a efectos del Registro PRTR.

La abreviatura que se debe emplear, acompañando al método C, cuando se emplee esta fuente para la notificación es PER y en el campo fuente se debe indicar la Directiva 2003/87/CE¹.

La peculiaridad de las instalaciones de producción de cal radica en que además de las emisiones de CO₂ asociadas al proceso de combustión existen emisiones de proceso debidas a la descarbonatación.

A continuación se resume la metodología siguiendo las directrices propuestas en los reglamentos indicados en el pie de página.

El cálculo de emisiones de CO₂ debe realizarse en dos pasos:

1. Cálculo de las emisiones asociadas a la **combustión**. Dentro de este grupo se engloban las emisiones debidas tanto al consumo de combustibles como al lavado de SO₂, en caso de que se disponga de este tipo de instalaciones. La determinación de estas emisiones se explica detenidamente en el anexo II del **Reglamento 2018/2066 y su modificación posterior**.

¹ En relación con la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, el 31 de diciembre de 2018 se publicó en el Diario Oficial de la Unión Europea el Reglamento (UE) 2018/2066 de la Comisión de 19 de diciembre de 2018 sobre el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero en aplicación de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se modifica el Reglamento (UE) n.º 601/2012 de la Comisión. Este Reglamento es de aplicación a partir del 1 de enero de 2021, por lo que las emisiones se determinarán en base a él.

El Reglamento comentado anteriormente es modificado por el Reglamento (UE) 2020/2085 de la Comisión de 14 de diciembre de 2020 por el que se modifica y corrige el Reglamento de Ejecución (UE) 2018/2066 sobre el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero en aplicación de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. REGLAMENTO (UE) No 601/2012 DE LA COMISIÓN de 21 de junio de 2012 sobre el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero en aplicación de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo



Las emisiones de CO₂ debidas al empleo de combustibles se calculan aplicando la siguiente fórmula a cada uno de los combustibles utilizados en la instalación.

Ecuación 1

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Emisiones de CO}_2 & & \text{Consumo de} & & \text{Poder} & & \text{Factor de} \\ \text{asociadas a combustión} & & \text{combustible} & & \text{Calorífico} & & \text{emisión} \\ \text{(kg/año)} & = & \text{(kg/año)} & \times & \text{Inferior} & \times & \text{(kg/MJ)} \\ & & & & \text{(MJ/kg)} & & \times \text{Factor de} \\ & & & & & & \text{oxidación} \end{array}$$

2. Cálculo de las emisiones asociadas al **proceso**. Estas emisiones se pueden calcular a partir de los carbonatos presentes en la materia prima o a partir de los óxidos alcalinos y alcalino-térreos presentes en el producto final. A continuación se describe la metodología basada en la materia prima, ya que esta información suele ser más accesible para la mayoría de los fabricantes.

Para obtener las emisiones de CO₂ asociadas a los compuestos presentes en la materia prima a partir de la metodología basada en los carbonatos es necesario conocer el porcentaje de cada tipo de carbonato presente en la materia prima y aplicar la siguiente ecuación para cada tipo de carbonato:

Ecuación 2. Cálculo de las emisiones de CO₂ debidas a la descarbonatación

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Emisiones CO}_2 & & \text{Consumo de} & & \text{Proporción} & & \text{Factor de emisión} \\ \text{debidas a} & = & \text{materia} & & \text{carbonato Z} & & \text{estequiométrico} \\ \text{carbonato Z} & & \text{prima} & \times & \text{presente en la} & \times & \\ \text{(kg/año)} & & \text{(kg/año)} & & \text{materia prima} & & \end{array}$$

Donde carbonato Z es un carbonato cualquiera y el factor de emisión estequiométrico es el que se obtiene de la tabla adjunta:

Tabla 4. Factores de emisión estequiométricos

CARBONATO	FACTOR DE EMISIÓN
CaCO ₃	0,440 t CO ₂ /t CaCO ₃
MgCO ₃	0,522 t CO ₂ / t MgCO ₃

En general para X_Y(CO₃)_Z se calcula: $44/[Y * MX + Z * 60]$
MX es el peso molecular de X g/mol

Es necesario aplicar la Ecuación 2 para cada uno de los carbonatos presentes en la materia prima. En el caso de no disponer de datos sobre la cantidad de carbonato cálcico existente en la materia prima, se deberá usar el 20%.

Para obtener las emisiones totales de CO₂ de la instalación hay que sumar las obtenidas mediante la Ecuación 1 y la Ecuación 2.

Ecuación 3. Emisiones totales de CO₂

$$\text{Emisiones totales de CO}_2 = \text{Emisiones combustión} + \text{Emisiones de proceso}$$



4.1.4. Determinación emisiones de NO_x y SO_x según el Decreto 503/2004

La Ley 18/2003 por la que se aprueban medidas fiscales y administrativas, crea y regula determinados impuestos, calificados como ecológicos, entre los cuales se encuentra el Impuesto sobre emisión de gases a la atmósfera. Con posterioridad a dicha ley, el Decreto 503/2004 regula determinados aspectos para la aplicación de los impuestos y las distintas metodologías y factores de emisión existentes para la determinación de las emisiones.

En las tablas del apartado 5 de esta misma guía se pueden consultar dichos factores.

La abreviatura que se debe indicar cuando se empleen estos factores es NRB.

4.2. E- DATOS ESTIMADOS

La notificación de emisiones mediante estimaciones se basa en el empleo de métodos no normalizados o mediante la adopción de hipótesis contrastadas u opiniones autorizadas.

5. Factores de Emisión propuestos para la notificación de emisiones atmosféricas mediante cálculo

5.1. Cálculo de las emisiones de contaminantes distintos de CO₂

A continuación, y tras el estudio de los factores desarrollados en los puntos anteriores, se adjuntan las tablas que recogen los factores de emisión seleccionados para cada contaminante, en función de cada etapa del proceso productivo.

En las siguientes tablas se considerarán como toneladas de cal producidas las toneladas de cal viva producidas en la instalación.



Tabla 5. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de CO expresados en kg/t de cal producida

Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E.	Udes.	Código	Abrev.
Horno rotatorio corto con precalentador de aire (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	1	kg/t cal	-	SSC
Horno rotatorio largo (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	1	kg/t cal	-	SSC
Horno “Calcimatic” (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	1	kg/t cal	-	SSC
Horno rotatorio de carbón	EPA	0,74	kg/t cal	D	OTH
Horno rotatorio de gas	EPA	1,1	kg/t cal	E	OTH
Horno rotatorio de carbón y gas con lavador Venturi	EPA	0,41	kg/t cal	D	OTH
Horno rotatorio precalentador de carbón, con multi-ciclón, spray de agua y filtro de mangas	EPA	3,2	kg/t cal	E	OTH
Horno regenerativo de gas de corriente paralela	EPA	0,23	kg/t cal	D	OTH
Horno cuba vertical (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	2	kg/t cal	-	SSC
Horno cuba con doble inclinación (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	2	kg/t cal	-	SSC
Horno regenerativo (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	2	kg/t cal	-	SSC
Horno anular (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	2	kg/t cal	-	SSC

Los factores de la fuente CORINAIR han sido extraídos de la tabla 8.2.a del capítulo B3312 de diciembre de 2006, mientras que los de la EPA proceden del capítulo 11-17 de la AP-42.

Tabla 6. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de NO_x expresados en kg/t de cal producida

Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E.	Udes.	Código	Abrev.
Horno rotatorio corto con precalentador de aire (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	1,5	kg/t cal	-	NRB
Horno rotatorio largo (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	1,5	kg/t cal	-	SSC
Horno rotatorio de carbón	Anexo VIII del D. 503/2004	1,6	kg/t cal	C	NRB
Horno rotatorio de carbón con filtro de mangas	Anexo VIII del D.	1,5	kg/t cal	C	NRB



Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E.	Udes.	Código	Abrev.
	503/2004				
Horno rotatorio de gas	Anexo VIII del D. 503/2004	1,7	kg/t cal	E	NRB
Horno rotatorio de carbón y gas con lavador Venturi	Anexo VIII del D. 503/2004	1,4	kg/t cal	D	NRB
Horno “Calcimatic”	Anexo VIII del D. 503/2004	0,076	kg/t cal	D	NRB
Horno cuba o vertical	Anexo VIII del D. 503/2004	0,1	kg/t cal	-	NRB
Horno cuba vertical (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	0,1	kg/t cal	-	SSC
Horno cuba con doble inclinación (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	0,1	kg/t cal	-	SSC
Horno regenerativo (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	0,1	kg/t cal	-	SSC
Horno regenerativo de gas de flujo paralelo	Anexo VIII del D. 503/2004	0,12	kg/t cal	D	NRB
Horno anular (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	0,1	kg/t cal	-	SSC

Los factores de la fuente CORINAIR han sido extraídos de la tabla 8.2.a del capítulo B3312 de diciembre de 2006.

Tabla 7. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de SO_x expresados en kg/t de cal producida

Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E.	Código	Abrev.
Horno rotatorio corto con precalentador de aire (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	0,36 S	-	SSC
Horno rotatorio largo (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	0,36 S	-	SSC
Horno rotatorio de carbón	Anexo VIII del D. 503/2004	2,7 ^a	D	NRB
Horno rotatorio de carbón con filtro de mangas	Anexo VIII del D. 503/2004	0,83 ^a	D	NRB
Horno rotatorio de gas y carbón con lavador venturi	Anexo VIII del D. 503/2004	0,26 ^a	D	NRB
Horno rotatorio de carbón con precalentador y con-	EPA	1,1	D	OTH



Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E.	Código	Abrev.
trol seco de partículas				
Horno rotatorio de carbón con precalentador, multiciclón, inyección de agua y filtro de mangas	EPA	3,2	E	OTH
Horno rotativo de gas	Anexo VIII del D. 503/2004	0,006	D	NRB
Horno regenerativo de gas	Anexo VIII del D. 503/2004	0,006	D	NRB
Horno “Calcimatic”	Anexo VIII del D. 503/2004	0,9 S	-	NRB
Horno regenerativo de gas de flujo paralelo con filtro de mangas	EPA	0,006	D	OTH
Horno cuba vertical (independientemente de la técnica de abatimiento)	Anexo VIII del D. 503/2004	0,9 S	-	NRB
Horno cuba con doble inclinación (independientemente de la técnica de abatimiento)	CORINAIR	0,9 S	-	SSC
Horno regenerativo	CORINAIR	0,9 S	-	SSC
Horno anular	CORINAIR	0,9 S	-	SSC

^a Factor correspondiente a la suma de los factores correspondientes SO₂ y SO₃; el resto de factores corresponde a SO₂.

S es el porcentaje de azufre en el combustible. Cuando no se conozca la cantidad de azufre del combustible se pueden tomar los siguientes valores por defecto, incluidos en el Decreto 503/2004.

Los factores de la fuente CORINAIR han sido extraídos de la tabla 8.2.a del capítulo B3312 de diciembre de 2006, mientras que los de la EPA proceden del capítulo 11-17 de la AP-42.

Tabla 8. Porcentajes de azufre en combustibles

Combustible	% S
Carbón	0,6
Fuel Oil	1
Gas Oil	0,20
Coque	5
Gas Natural	0,01

Fuente: Decreto 503/2004



Tabla 9. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de partículas, expresados en kg/t

Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E. Partículas Totales ^a	Código	F.E. PM ₁₀	Código	Abrev.
Almacenamiento de carbón						
Al aire libre	CORINAIR	0,5	-	-	-	SSC
En pilas semicubiertas	CORINAIR	0,25	-	-	-	SSC
En compartimentos o silos	CORINAIR	0,1	-	-	-	SSC
Preparación del combustible						
Trituración sin control	CORINAIR	0,18	-	-	-	SSC
Trituración con filtro de mangas	CORINAIR	0,002	-	-	-	SSC
Molienda con sistema de encendido indirecto sin control	CORINAIR	10	-	-	-	SSC
Molienda con sistema de encendido indirecto y filtro de mangas	CORINAIR	0,1	-	-	-	SSC
Almacenamiento de materia prima	CORINAIR	0,16	-	-	-	SSC
Triturado y tamizado de materia prima						
Sin control	CORINAIR	1,5	-	-	-	SSC
Con filtro de mangas	CORINAIR	0,0005	-	-	-	SSC
Triturador primario ^b	EPA	0,0083	E	-	-	OTH
Trituración primaria con filtro de mangas ^b	EPA	0,00021	D	-	-	OTH
Criba primaria con filtro de mangas ^b	EPA	0,0030	D	-	-	OTH
Transporte de material triturado con filtro de mangas ^b	EPA	4,4x10 ⁻⁵	D	-	-	OTH
Cribas secundarias y terciarias con filtro de mangas ^b	EPA	6,5x10 ⁻⁵	D	-	-	OTH
Almacenamiento de materia prima triturada						
Al aire libre	CORINAIR	1,0	-	-	-	SSC
En pilas semicubiertas	CORINAIR	0,5	-	-	-	SSC
En compartimentos	CORINAIR	0,2	-	-	-	SSC
En silos	CORINAIR	0,2	-	-	-	SSC
Transporte de materia prima						
Sin control	CORINAIR	1,2	-	-	-	SSC
Con filtro de mangas	CORINAIR	0,01	-	-	-	SSC
Calcinación						
Horno rotatorio con precalentador de aire						
Sin control	CORINAIR	40	-	-	-	SSC
Con ciclón	CORINAIR	14	-	-	-	SSC
Con multiciclones	CORINAIR	9	-	-	-	SSC
Con precipitador electrostático	CORINAIR	0,6	-	-	-	SSC
Con filtro de mangas	CORINAIR	0,2	-	-	-	SSC



Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E. Partículas Totales ^a	Código	F.E. PM ₁₀	Código	Abrev.
Horno rotatorio largo						
Sin control	CORINAIR	140	-	-	-	SSC
Con ciclón	CORINAIR	49	-	-	-	SSC
Con multiciclones	CORINAIR	35	-	-	-	SSC
Con precipitador electrostático	CORINAIR	2	-	-	-	SSC
Con filtro de mangas	CORINAIR	0,4	-	-	-	SSC
Horno rotatorio de carbón	EPA	180	D	22	D	OTH
Horno rotatorio de carbón de gran diámetro	EPA	60	D	-	-	OTH
Horno rotatorio de carbón con filtro de mangas	EPA	0,14	D	0,077	D	OTH
Horno rotatorio de carbón con precipitador electrostático	EPA	4,3	D	2,2	D	OTH
Horno rotatorio de carbón con lavador Venturi	EPA	0,72	D	-	-	OTH
Horno rotatorio de gas con precipitador electrostático	EPA	0,086	E	-	-	OTH
Horno rotatorio de gas con filtro de lecho de grava	EPA	0,51	E	-	-	OTH
Horno rotatorio de carbón y gas	EPA	40	E	-	-	OTH
Horno rotatorio de carbón y gas con lavador Venturi	EPA	0,44	D	-	-	OTH
Horno rotatorio de carbón y coque con lavador Venturi	EPA	0,83	D	-	-	OTH
Horno rotatorio de carbón con precalentador y filtro de lecho de grava	EPA	0,59	E	-	-	OTH
Horno rotatorio de carbón con precalentador, multiciclón, inyección de agua y filtro de mangas	EPA	0,56	E	-	-	OTH
Horno "Calcimatic"						
Sin control	CORINAIR	25	-	-	-	SSC
Con ciclón	CORINAIR	8,7	-	-	-	SSC
Con multiciclones	CORINAIR	6,2	-	-	-	SSC
Horno "Calcimatic" de gas	EPA	48	E	-	-	OTH
Horno cuba vertical						
Sin control	CORINAIR	3	-	-	-	SSC
Con ciclón	CORINAIR	1	-	-	-	SSC
Con multiciclones	CORINAIR	0,75	-	-	-	SSC
Horno cuba con doble inclinación						
Sin control	CORINAIR	10,5	-	-	-	SSC



Tipo de horno / Combustible / Técnica de abatimiento	Fuente	F.E. Partículas Totales ^a	Código	F.E. PM ₁₀	Código	Abrev.
Con ciclón	CORINAIR	3,6	-	-	-	SSC
Con multiciclón	CORINAIR	2,6	-	-	-	SSC
Horno regenerativo						
Sin control	CORINAIR	8	-	-	-	SSC
Con ciclón	CORINAIR	2,8	-	-	-	SSC
Con multiciclón	CORINAIR	2	-	-	-	SSC
Horno anular						
Sin control	CORINAIR	12	-	-	-	SSC
Con ciclón	CORINAIR	4,2	-	-	-	SSC
Con multiciclón	CORINAIR	3	-	-	-	SSC
Horno regenerativo de gas y flujo paralelo con filtro mangas	EPA	0,051	D	-	-	OTH
Hidratación						
Sin control	CORINAIR	35	-	-	-	SSC
Con lavador	CORINAIR	0,04	-	-	-	SSC
Atmosférica con lavador húmedo ^c	EPA	0,033	D	-	-	OTH
Enfriador de producto	EPA	3,4	E	-	-	OTH
Enfriador de parrilla						
Sin control	CORINAIR	20	-	-	-	SSC
Con ciclón	CORINAIR	4	-	-	-	SSC
Con multiciclones	CORINAIR	2	-	-	-	SSC
Con filtro de mangas	CORINAIR	0,1	-	-	-	SSC
Carga de producto						
Empaquetado y carga	CORINAIR	0,12	-	-	-	SSC
Carga en contenedores cerrados ^d	EPA	0,31	D	-	-	OTH
Carga contenedores abiertos ^d	EPA	0,75	D	-	-	OTH

^a Los factores de emisión CORINAIR corresponden a partículas en suspensión y se extraen de la Guía de Inventario EMEP/EEA 2023, del capítulo 2.A.2 “Lime production”, y viene dado en t/cal producida

^b Factores de emisión expresados en kg/t de material procesado y correspondientes a partículas filtrables.

^c Factor expresado en kg/t de cal hidratada producida.

^d Factores de emisión expresados en kg/t de producto cargado.

Para los Compuestos Orgánicos Volátiles distintos del Metano (COVDM) destacar que en la guía del CORINAIR del año 2023 “2.A.2 Lime production” se indica que las emisiones se deben por un lado al proceso y por otro a la combustión, incluyéndose en esta guía F.E. específicos de Partículas totales en suspensión (PST) y PM₁₀ e indicando que es muy complejo separar las emisiones del resto de contaminantes entre proceso y combustión, aunque consideran que la mayor parte de las emisiones es debida a la combustión quedando recogidas en la guía “1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion)”.

En esta guía aparecen F.E. referentes a los parámetros NO_x, CO y SO_x (relacionados en la tabla A1-5 de esta guía) y unas tablas de nivel Tier 1 (Tablas 3.2 – 3.5) para el resto de los parámetros que depende del tipo de combustible utilizado.



A continuación se resume en la siguiente tabla los factores de emisión para los Compuestos Orgánicos Volátiles distintos del Metano:

Tabla 10. F.E. propuestos para el cálculo de COVDM asociados a combustión

PARÁMETRO	FE	UDES.	REFERENCIA
Combustibles sólidos	88,8	g/GJ	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Combustibles líquidos	25	g/GJ	Chapter 1A4 Small combustion
Combustibles gaseosos	23	g/GJ	Chapter 1A4 Small combustion
Biomasa (madera)	300	g/GJ	Naturvårdsverket, Sweden

Fuente: Tablas 3.2 – 3.5, de la categoría 1.A.2 Manufacturing Industries and construction (combustión), Guía de inventario de emisiones EMEP/EEA 2023)

NOTA: Según la guía comentada en el párrafo anterior, el coque de petróleo es considerado un combustible líquido.

Para el Óxido Nitroso se tomarán los factores de emisión del capítulo B3312 de la guía del CORINAIR de diciembre de 2006 “Processes with contact”, resumiéndose en la siguiente tabla:

Tabla 11. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de N₂O

Tipo Combustible	Código NAPFUE	FACTOR DE EMISIÓN (g/GJ)	Abreviatura
Carbón marrón/Lignito	105	3	SSC
Coque de petróleo	110	8,5	SSC
Residuos industriales	116	10	SSC
Biomasa (madera)	111	9	SSC
Fuel oil	203	8,25	SSC
Gas natural	301	1,5	SSC

F.E. extraídos de la tabla 8.2.b del capítulo B3312 de diciembre de 2006

Para los metales, Dioxinas y Furanos e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) se tomarán los del Nivel 1 que se muestran en la guía del CORINAIR “1.A.2 Manufacturing industries and construction (combustion)”, quedando recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 12. F.E. propuestos para el cálculo de emisiones de metales, dioxinas y furanos y HAP

Parámetros	Comb. Sólido	Comb. Líquido	Comb. Gaseoso	Biomasa
Arsénico (mg/GJ)	4	0,03	0,1	0,19
Cadmio (mg/GJ)	1,8	0,006	<0,0009	13
Cromo (mg/GJ)	13,5	0,2	<0,013	23
Cobre (mg/GJ)	17,5	0,22	<0,0026	6



Parámetros	Comb. Sólido	Comb. Líquido	Comb. Gaseoso	Biomasa
Mercurio (mg/GJ)	7,9	0,12	0,54	0,56
Níquel (mg/GJ)	13	0,008	<0,013	2
Plomo (mg/GJ)	134	0,08	<0,011	27
Zinc (mg/GJ)	200	29	0,73	512
Dioxinas y Furanos (ng I-TEQ/GJ)	203	1,4	--	100
HAP (mg/GJ)	146,6	0,0201	--	35

Fuente: Tablas 3.2 – 3.5, de la categoría 1.A.2 Manufacturing Industries and construction (combustión), Guía de inventario de emisiones EMEP/EEA 2023.

NOTA 1: Según se indica en la guía “*Varios F.E. de metales pesados se derivan de datos de medición por debajo del LC (aquellos marcados con el signo “<”. Sin embargo estos factores pueden utilizarse directamente para los cálculos.*”

La abreviatura para todos estos parámetros es SSC

NOTA 2: Según la guía comentada en el párrafo anterior, el coque de petróleo es considera un combustible líquido.

6. Documentación de referencia

- **Reglamento 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo**, de 18 de enero de 2006, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencia de contaminantes y por el que se modifica las Directivas 91/689/CE y 96/61/CE del Consejo.
- **Decreto 503/2004**, de 13 de octubre, por el que se regulan determinados aspectos para la aplicación de los impuestos sobre emisión de gases a la atmósfera y sobre vertidos a aguas litorales.
- **Guía para la implantación del E-PRTR** de 31 de mayo de 2006.
- Desde la página web del **Registro PRTR** del MITERD se puede descargar información sobre el PRTR.
<http://www.prtr-es.es>
- **CORINAIR**: Guía para la realización del inventario de emisiones atmosféricas de la Agencia Europea de Medioambiente (“EMEP/ CORINAIR Emission Inventory Guidebook”).
[1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction 2023-FINAL \(1\).pdf](#)
- **EPA**: Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos.
Capítulo 11 AP- 42. Industria de productos minerales (Mineral products industry).
[AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11: Mineral Products Industry | US EPA](#)
Programa FIRE: [WebFIRE | US EPA](#)
- **NPI**: National Pollutant Inventory del gobierno de Australia.
- **Documento BREF**: “Reference Document on Best Available Techniques in the Cement and Lime Manufacturing Industries”.



ANEXO 1

Tablas de recopilación de los factores de emisión disponibles en la bibliografía



Tabla A1-1. Factores de emisión de nivel 3 para PST según la fase del proceso y sus características (CORINAIR)

Operación	Característica	Sistema de retención de partículas	F.E. (kg/t cal)
CARBÓN			
Almacenamiento de carbón	Pilas abiertas (aire libre)	--	0,5
	Pilas semicerradas	--	0,25
	En silos o compartimentado	--	0,1
Trituración y cribado /tamizado del carbón	--	Sin control	0,18
	--	Filtro de mangas	0,002
Molienda de carbón	Combustión directa o semi directa	--	0,0
	Combustión directa	Sin control	10
		Filtro de mangas	0,1
MATERIA PRIMA			
Almacenamiento de materia prima	--	--	0,16
Trituración y cribado /tamizado de materia prima	--	Sin control	1,5
	--	Filtro de mangas	0,0005
Almacenamiento de materiales triturados	Pilas abiertas	--	1
	Pilas semicerradas	--	0,5
	En silos o compartimentado	--	0,2
Transporte de materia prima	--	Sin control	1,2
	--	Filtro de mangas	0,01
Calcinación de materia prima	Horno de eje vertical	Sin control	3,0
		Ciclón	1,0
		Multiciclones	0,75
	Horno de eje vertical con doble inclinación	Sin control	10,5
		Ciclón	3,6
		Multiciclones	2,6
		Sin control	8,0
	Horno regenerativo de flujo paralelo o de contraflujo	Ciclón	2,8
		Multiciclones	2,0
		Sin control	3,0



Operación	Característica	Sistema de retención de partículas	F.E. (kg/t cal)
	Hornos anulares	Sin control	12
		Ciclón	4,2
		Multiciclones	3,0
	Horno rotatorio corto //Precalentador de suspensión de aire	Sin control	40
		Ciclón	14
		Multiciclones	9
		Precipitador electrostático	0,6
		Filtro de mangas	0,2
		Sin control	140
		Ciclón	49
	Horno rotatorio largo	Multiciclones	35
		Precipitador electrostático	2
		Filtro de mangas	0,4
		Sin control	25
	Horno calcimatic	Ciclón	8,7
		Multiciclones	6,2
CAL			
Enfriamiento de la cal	Enfriador de parrilla	Sin control	20
		Ciclón	4
		Multiciclones	2
		Filtro de mangas	0,1
	Enfriadores planetarios, rotatorios o de eje	--	0
Hidratación de la cal	No controlada	--	35
	Lavador de gases	--	0,04
Empaquetado/transporte de la cal	--	--	0,12

Tabla 3.4 de la categoría 2.A.2 Lime production (Producción de cal) de la EMEP/EEA emission inventory guidebook 2023 (Guía de inventario de emisiones EMEP/EEA 2023)



Tal y como se extrae de la Guidebook 2023 la tabla anterior presenta los factores de emisión a partir de un modelo que establece los factores de emisión de PST para subprocesos dentro de la industria de la cal (Economopoulos, 1993; Evaluación de las fuentes de aire, el agua y la contaminación del suelo. Una guía para las técnicas de inventario de fuentes rápidas y su uso en la formulación de estrategias de control ambiental). Es un modelo bastante antiguo, que puede estar desactualizado por lo que debe utilizarse con cuidado.

Tabla A1-2 Factores de emisión de nivel 2 para partículas (CORINAIR)

PARÁMETRO	F.E.	UNIDADES	SISTEMA DE RETEN- CIÓN DE PARTÍCULAS	REFERENCIA
PST	9	kg/t cal	Sin control	European Comisión 2001
PM ₁₀	3,5	kg/t cal	Sin control	Visschedijk et. (2004) applied on TSP
PST	0,4	kg/t cal	Con control	European Comisión 2001
PM ₁₀	0,2	kg/t cal	Con control	Visschedijk et. (2004) applied on TSP

Tabla 3.2 y 3.3 de la categoría 2.A.2 Lime production (Producción de cal) de la EMEP/EEA emission inventory guidebook 2023 (Guía de inventario de emisiones EMEP/EEA 2023)

Según lo especificado en la Guía citada a pie de la tabla anterior estos factores de emisión incluyen el empleo de diferentes tipos de horno.

Tabla A1-3 Factores de emisión de nivel 1 para partículas (CORINAIR)

PARÁMETRO	F.E.	UNIDADES	SISTEMA DE RETEN- CIÓN DE PARTÍCULAS	REFERENCIA
PST	9	kg/t cal	–	European Comisión 2001
PM ₁₀	3,5	kg/t cal	–	Visschedijk et. (2004) applied on TSP

Tabla 3.1 de la categoría 2.A.2 Lime production (Producción de cal) de la EMEP/EEA emission inventory guidebook 2023 (Guía de inventario de emisiones EMEP/EEA 2023)

Según lo especificado en la Guía citada a pie de la tabla anterior estos factores de emisión se han extraído:

- PST del documento sobre mejores técnicas disponibles, (BREF sobre la producción de cemento y cal de la Comisión Europea 2001). Representan las emisiones durante la producción de cal en las peores condiciones, es decir procesos sin control. Mientras que en el BREF las emisiones se dan como rangos de emisión con un 95% de intervalo de confianza, escogiendo la guía para el inventario de emisión EMEP/EEA 2016 la media geométrica de este rango como valor del factor de emisión.
- PM₁₀ del CEPMEIP: Coordinated European Particulate Matter Emissions Inventory Program (CEPMEIP) (programa europeo que está desarrollando una clasificación de factores de partículas por actividades y niveles de aplicación de técnicas)



Tabla A1-4. Factores de emisión de SO₂, NO_x y CO en calcinación, según tipo de horno y sus características. (CORINAIR)

TIPO PROCESO	SO ₂	NO _x	CO	Unidades
Horno de eje vertical				
Sin control	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Ciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Multiciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Horno cuba (o vertical) con doble inclinación				
Sin control	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Ciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Multiciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Horno regenerador de flujo paralelo				
Sin control	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Ciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Multiciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Horno cuba (o vertical) anular				
Sin control	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Ciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Multiciclón	0,9S	0,1	2,0	Kg/t cal
Horno rotatorio corto con precalentador				
Sin control	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Ciclón	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Multiciclón	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Electrofiltro	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Filtro de mangas	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Horno rotatorio largo				
Sin control	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Ciclón	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Multiciclón	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Electrofiltro	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Filtro de mangas	0,36S	1,5	1,0	Kg/t cal
Horno “Calcimatic”				



TIPO PROCESO	SO ₂	NO _x	CO	Unidades
Sin control	0,9S	0,1	1,0	Kg/t cal
Ciclón	0,9S	0,1	1,0	Kg/t cal
Multiciclón	0,9S	0,1	1,0	Kg/t cal

Fuente: Tabla 8.2 a Capítulo B3312 Corinair Emission Inventory Guidebook 2006)

En la tabla anterior **S** es el % de azufre en el combustible.

Tabla A1- 5. Factores de emisión de asociados a combustión (consumo de combustible) de nivel 2 (CORINAIR)

PARÁMETRO	FE	UDES.	REFERENCIA
NO _x	1,37	Kg/t cal	European Comisión 2010
CO	1,94	Kg/t cal	European Comisión 2010
SO _x	0,316	Kg/t cal	European Comisión 2010

Fuente: Tabla 3.24, de la categoría 1.A.2 Manufacturing Industries and construction (combustión), Lime production (Producción de cal) de la EMEP/EEA emission inventory guidebook 2023 (Guía de inventario de emisiones EMEP/EEA 2023)

Tabla A1-6. Factores de emisión en la producción de cal según el consumo de combustible (CORINAIR)

TIPO COMBUSTIBLE	SO ₂ (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	NMVOC (g/GJ)	CH ₄ (g/GJ)	CO (g/GJ)	CO ₂ (kg/GJ)	N ₂ O (g/GJ)
Carbón vapor (Coal steam)	33-786 ¹⁾	150-340 ¹⁾	15-40 ¹⁾	0,3-15 ¹⁾	10-6.000 ¹⁾	92-98 ¹⁾	4-14 ¹⁾
Carbón marrón/ Lignito	25 ¹⁾ , 80 ²⁾	140 ¹⁾ , 300 ²⁾	15 ¹⁾²⁾	15 ¹⁾²⁾	100 ¹⁾ , 15 ²⁾	113 ¹⁾ , 100 ²⁾	3,5 ¹⁾ , 3 ²⁾
Briquetas de carbón	11 ¹⁾	140 ¹⁾	15 ¹⁾	15 ¹⁾	6.000 ¹⁾	95-98 ¹⁾	3,5 ¹⁾
Coque (Hard Coal)	25-400 ¹⁾	40-300 ¹⁾	0,5-15 ¹⁾	0,5-15 ¹⁾	70-6.000 ¹⁾	45-200 ¹⁾	4-12 ¹⁾
Coque (Brown Coal)	650 ¹⁾	220 ¹⁾	5 ¹⁾	15 ¹⁾	90 ¹⁾	86 ¹⁾	3 ¹⁾
Coque de petróleo	275 ¹⁾ 120- 2.852 ²⁾	300 ¹⁾ 200- 300 ²⁾	1,5 ¹⁾ 1,5- 112 ²⁾	1,5 ¹⁾ 1,5- 15 ²⁾	70-75 ¹⁾ 10-133 ²⁾	97-99 ¹⁾ 95- 105 ²⁾	10-14 ¹⁾ 3- 14 ²⁾
Biomasa (Madera)	5,2 ¹⁾	103-200 ¹⁾	48-50 ¹⁾	30-32 ¹⁾	1.430- 6.772 ¹⁾	92 ¹⁾	4-14 ¹⁾
Residuos industriales	5,2 ¹⁾	115 ¹⁾	48 ¹⁾	32 ¹⁾	1.430 ¹⁾ , 15 ²⁾	83 ¹⁾ , 76-92 ²⁾	4 ¹⁾ , 6-14 ²⁾
Fuel Oil	47-1.470 ¹⁾ 94-1.712 ²⁾	100-310 ¹⁾ 170-215 ²⁾	3-4 ¹⁾ , 3- 46 ²⁾	3-8 ¹⁾ 1-3 ²⁾	12-6.000 ¹⁾ 7-94 ²⁾	73-78 ¹⁾ , 75- 78 ²⁾	2-14 ¹⁾ , 2,5- 14 ²⁾
Gas Oil	85-305 ¹⁾ ,	70-310 ¹⁾ ,	1,5-2,5 ¹⁾	1-8 ¹⁾	10-20 ¹⁾ ,	72-74 ¹⁾	2-14 ¹⁾



TIPO COMBUSTIBLE	SO ₂ (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	NMVOC (g/GJ)	CH ₄ (g/GJ)	CO (g/GJ)	CO ₂ (kg/GJ)	N ₂ O (g/GJ)
	26 ²⁾	313 ²⁾			76 ²⁾		
Gas natural	0,1-8 ¹⁾ , 0,9 ²⁾	50-1.111 ¹⁾ 14-100 ²⁾	2,5-10 ¹⁾ 2,5 ²⁾	0,4-4 ¹⁾	20-6.000 ¹⁾ 13-17 ²⁾	55-56 ¹⁾ 53 ²⁾	1-3,7 ¹⁾ 1,5 ²⁾
Gas del horno de coque	15 ²⁾	83 ²⁾	-	-	84 ²⁾	-	-
Horno Blast	63 ²⁾	286 ²⁾	-	2,5 ²⁾	286 ²⁾	-	-
Gas de horno de coque y Blast	328 ²⁾	250 ²⁾	0,8 ²⁾	0,8 ²⁾	15 ²⁾	205 ²⁾	3 ²⁾

1) Corinair90 data, Fuentes de área. 2) Corinair90 data, Fuentes de puntuales.

(Fuente: Tabla 8.2 b Capítulo B3312 Corinair Emission Inventory Guidebook 2006)

Tabla A1-7. Factores de emisión para partículas filtrables (kg/t cal) (EPA)

TIPO PROCESO	PARTÍCULAS TOTALES FILTRABLES	CÓDIGO DE CALIDAD	PM ₁₀ FILTRABLES	CÓDIGO DE CALIDAD
Horno rotatorio de carbón	180	D	22	D
De gran diámetro	60	D	ND	-
Con filtro de mangas	0,14	D	0,077	D
Con electrofiltro	4,3	D	2,2	D
Con venturi scrubber	0,72	D	ND	-
Horno rotatorio de gas				
Con electrofiltro	0,086	E	ND	-
Con filtro de lecho de grava	0,51	E	ND	-
Horno rotatorio de carbón y gas	40	E	ND	-
Con venturi scrubber	0,44	D	ND	-
Horno rotatorio de carbón y coque con venturi scrubber	0,83	D	ND	-
Horno rotatorio de carbón con precalentador				
Con multiciclón	42	E	ND	-
Con "gravel bed filter"	0,59	E	ND	-
Con multiciclón, spray de agua y filtro de mangas	0,56	E	ND	-
Horno "Calcimatic" de gas	48	E	ND	-



TIPO PROCESO	PARTÍCULAS TOTALES FILTRABLES	CÓDIGO DE CALIDAD	PM ₁₀ FILTRABLES	CÓDIGO DE CALIDAD
Horno regenerativo de flujo paralelo de gas con filtro de mangas	0,051	D	ND	-
Hidratador atmosférico	0,033	D	ND	-
Enfriamiento de producto	3,4	E	ND	-

Fuente: Tabla 11.17-1 del Capítulo 11-17 de AP-42

ND: Sin datos

Tabla A1-8. Factores de emisión para partículas condensables (kg/t cal) (EPA)

TIPO DE PROCESO	PARTÍCULAS CONDENSABLES INORGÁNICAS	CÓDIGO DE CALIDAD	PARTÍCULAS CONDENSABLES ORGÁNICAS	CÓDIGO DE CALIDAD
Horno rotatorio de carbón	0,67	D	0,51	E
Horno rotatorio de carbón con filtro de mangas	0,19	E	ND	-
Horno rotatorio de carbón con lavador Venturi	0,14	D	ND	-
Horno rotatorio de gas con precipitador electrostático	0,11	E	ND	-
Horno rotatorio de gas con filtro de lecho de grava	0,24	E	ND	-
Horno rotatorio de gas y coque con lavador Venturi	0,041	D	ND	-
Horno rotatorio de carbón con precalentador con multiciclón	0,040	E	ND	-
Horno rotatorio de carbón con precalentador con multiciclón, torre de spray y filtro de mangas	0,57	E	0,076	E
Horno "Calcimatic" de gas	0,14	E	ND	-
Hidratador atmosférico	0,0067	D	ND	-
Enfriador de producto	0,011	E	ND	-

Fuente: Tabla 11.17-1 de capítulo 11.17 de AP-42

ND: Sin dato



Tabla A1-9. Factores de emisión (kg/t cal) (EPA)

TIPO PROCESO	SO _x	NO _x	CO	CO ₂
Horno rotatorio de carbón	2,7	1,6	0,74	1.600
Con filtro de mangas	0,83	ND	ND	ND
Con scrubber	0,26 ^a	ND	ND	ND
Horno rotatorio de gas	ND	1,7	1,1	ND
Horno rotatorio de carbón y gas con venturi scrubber	ND	1,4	0,41	1.600
Horno rotatorio de carbón y coque con venturi scrubber	ND	ND	ND	1.500
Horno rotatorio con precalentador				
Con control seco de PM	1,1	ND	ND	ND
Con multiciclón, spray de agua y filtro de mangas	3,2	ND	3,2	1.200
Horno “Calcmatic” de gas	ND	0,076	ND	1.300
Horno regenerativo de flujo paralelo de gas con filtro de mangas	0,006	0,12	0,23	ND

Fuente: Tabla 11.17-5 de capítulo 11.17 de AP-42

ND: Sin dato

^a Factor correspondiente a la suma de los factores correspondientes SO₂ y SO₃. El resto de factores corresponde únicamente a SO₂.

Tabla A1-10. Poderes caloríficos y factores de emisión típicos

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO (GJ/t)	FACTOR DE EMISIÓN (kg CO ₂ /GJ)
Coque de petróleo	34,34	92,93

(Anexo 7 del Informe Inventarios GEI 1990-2022 (Edición de 2024))

Si se necesitaran estos datos para otros combustibles, consultar la última versión de la Guía de apoyo para la notificación de las emisiones en las centrales térmicas y otras instalaciones de combustión publicada en la página web de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Rural. En el caso de precisar información sobre algún otro combustible no presente en ninguna de estas tablas, se recomienda remitirse a los valores por defecto que aparecen en las guías de referencia: IPCC 2006 (tablas 2.2, 2.3 y 2.4 del Volumen 2 - Energía) de las Guías Metodológicas IPCC 2006.

Tabla A1- 11. Densidades

COMBUSTIBLE	DENSIDAD
Fuel Oil	964 kg/m ³
Gas Oil	900 kg/m ³
Gas natural	0,8 kg/Nm ³
Butano	579 kg/m ³
Propano	494 kg/m ³



ANEXO 2

Ejemplo de aplicación de los factores de emisión propuestos



A continuación se van a calcular las emisiones, mediante factores de emisión, de una instalación de fabricación de cal cuyos datos son los siguientes:

- Producción de cal: 131.000 t/año.
- Materia prima (carbonato cálcico): 237.000 t/año.
- Combustible: Gas natural. Consumo 124.000.000 termias/año.
- Tipo de horno: Horno regenerativo.
- Almacenamiento en pilas semicubiertas de la materia prima triturada.
- Medidas de abatimiento: Ciclones y filtros de mangas.

Monóxido de Carbono (CO)

Factor de emisión CORINAIR

$$2 \cdot 131.000 = \mathbf{262.000 \text{ kg CO/año}}$$

Dióxido de Carbono (CO₂)

La determinación de las emisiones debe realizarse aplicando la metodología de la Autorización de Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Para aplicar dicha metodología es necesario disponer de datos de composición de la materia prima empleada en el proceso de fabricación de cal. Por un lado se deben determinar las emisiones asociadas a los procesos de combustión y por otro las asociadas a la descomposición de la materia prima.

A partir del consumo de carbonato cálcico, empleando como materia prima, y usando los factores de emisión de la Tabla 4 se obtienen las emisiones **asociadas al proceso**:

$$237.000 \text{ t } CaCO_3 \cdot 0,440 \text{ t } CO_2 / tCaCO_3 = 104.280.000 \text{ kg } CO_2 \text{ asociadas al proceso}$$

A partir del consumo de combustible y empleando los factores de emisión incluidos en la Tabla A1-10 se obtienen las emisiones asociadas a la combustión (cada instalación deberá utilizar los factores de emisión incluidos en su Autorización de Emisión de Gases de Efecto Invernadero):

$$56,04 \text{ kg/GJ} \cdot 124 \cdot 10^6 \text{ termias/año} \cdot 1.000 \text{ kcal/1 termia} \cdot 4,19 \cdot 10^{-6} \text{ GJ/kcal} = 29.116.142,4 \text{ kg } CO_2$$

El total de emisiones de CO₂ se obtiene sumando las emisiones debidas al proceso y a la combustión y expresando el resultado con tres dígitos significativos se obtienen **133.396.142,4 kg CO₂**.

Óxido de Nitrógeno (NO_x)

Factor de emisión CORINAIR

$$0,1 \cdot 131.000 = \mathbf{13.100 \text{ kg NOx /año}}$$

Óxido de azufre (SO_x)

Factores de emisión CORINAIR



En este caso no se dispone de datos sobre el % de azufre del combustible. El factor de emisión que se debería aplicar sería el resultante de multiplicar 0,9 por el contenido de azufre, expresado en %, del gas natural empleado en la instalación.

Considerando que el gas natural empleado en la instalación tiene un 0,01 % de azufre se tiene (%S Decreto 503/2004):

$$0,9 \times 0,01 \times 131.000 = \mathbf{1.179 \text{ kg SO}_x/\text{año}}$$

Redondeando a las tres cifras significativas se obtiene: **1.180 kg/año.**

Partículas (PM₁₀)

Factores de emisión CORINAIR

No se dispone de factores de emisión para PM₁₀, por tanto se han calculado las emisiones correspondientes a partículas totales en suspensión, empleando los factores del CORINAIR.

- Almacenamiento de materia prima: $0,16 \cdot 131.000 = 20.960 \text{ kg/año}$
- Triturado y tamizado de materia prima con filtro de mangas:
 $0,0005 \cdot 131.000 = 65,5 \text{ kg/año}$
- Almacenamiento de materia prima triturada en pilas semicubiertas:
 $0,5 \cdot 131.000 = 65.500 \text{ kg/año}$
- Transporte de materia prima con filtro de mangas:
 $0,01 \cdot 131.000 = 1.310 \text{ kg/año}$
- Horno. En este caso se va a emplear el factor de emisión para horno regenerativo con multiciclón, ya que no existe un factor específico para los casos en los que se disponga de filtro de mangas, por tanto las emisiones obtenidas utilizando este factor son mayores que las producidas en un horno que dispone de un filtro de mangas como técnica de abatimiento.
 $2 \cdot 131.000 = 262.000 \text{ kg/año}$
- Enfriador con filtro de mangas: $0,1 \cdot 131.000 = 13.100 \text{ kg/año}$
- Carga del producto: $0,12 \cdot 131.000 = 15.720 \text{ kg/año}$

El resultado obtenido al sumar las cantidades correspondientes a cada una de las etapas es: 378.655 kg de partículas totales/año. Expresando este dato con tres dígitos significativos se tiene: **379.000 kg/año.**

Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (NMVOC)

En este caso, el único factor encontrado está expresado en función del consumo de combustible, y teniendo en cuenta que en la instalación se consumen 124.000.000 termias al año:

$$23 \cdot 10^{-3} \text{ kg/GJ} \cdot 124 \cdot 10^6 \text{ termias/año} \cdot 1000 \text{ kcal/termia} \cdot 4,19 \cdot 10^{-6} \text{ GJ/kcal} = 11.949,88 \text{ kg/año}$$



Óxido Nitroso (N₂O)

En este caso, el único factor encontrado está expresado en función del consumo de combustible, y teniendo en cuenta que en la instalación se consumen 124.000.000 termias al año:

$$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/GJ} \cdot 124 \cdot 10^6 \text{ termias/año} \cdot 1000 \text{ kcal/termia} \cdot 4,19 \cdot 10^{-6} \text{ GJ/kcal} = 779,34 \text{ kg/año}$$

Tabla A2-1 . Ejemplo de notificación mediante factores de emisión

Nº PRTR	PARÁMETRO	F.E.	UDAD.	EMISIONES (KG/ AÑO)	CON TRES CIFRAS SIGNIFICATIVAS	MÉT.	ABREVIATURA	FUENTE
2	CO	2	kg/ t cal	262.000	262.000	C	SSC	EMEP/ CORINAIR
5	CO ₂	0,440 56	t CO ₂ / t CaCO ₃ Kg/GJ	133.396.142	133.000.000	C	SSC	EMEP/ CORINAIR
6	N ₂ O	1,5	g/GJ	779,34	779	C	SSC	EMEP/ CORINAIR
7	COVDM	2,5	g/ GJ	11.949,88	11.900	C	SSC	EMEP/ CORINAIR
8	NO _x	0,1	kg/ t cal	13.100	13.100	C	SSC	EMEP/ CORINAIR
11	SO _x	0,9S 0,16 0,0005	kg/ t cal	1.179	1.180	C	SSC	EMEP/ CORINAIR
86	PM ₁₀	0,5 0,01 2,0,1 0,12	kg/ t cal	378.655	379.000	C	SSC	EMEP/ CORINAIR