



**REYMA**  
MATERIALES REFRACTARIOS S.A.

**REYMA MATERIALES REFRACTARIOS**  
**Departamento Técnico**

*Revestimientos de Alta Eficiencia Energética  
para reducir el impacto de las plantas de Cemento  
en la emisión de Gases de Efecto Invernadero  
mediante ahorro en consumo de combustibles*

---

# Revestimientos de Alta Eficiencia Energética para reducir el impacto de las plantas de Cemento en la emisión de Gases de Efecto Invernadero mediante ahorro en consumo de combustibles

RESUMEN	2
CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMATICO	2
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN LA INDUSTRIA CEMENTERA	4
REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGETICA (RAEE) PARA REDUCCION DE EMISIONES DE GEI	6
CONCLUSION	10



**REYMA**  
MATERIALES REFRACTARIOS S.A.

**REYMA MATERIALES REFRACTARIOS**  
**Departamento Técnico**

*Revestimientos de Alta Eficiencia Energética  
para reducir el impacto de las plantas de Cemento  
en la emisión de Gases de Efecto Invernadero  
mediante ahorro en consumo de combustibles*

---

## **RESUMEN**

La Industria del Cemento tiene un impacto muy relevante en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel global, causantes del Cambio Climático que cada vez se hace más evidente en incidentes medioambientales, afectando a nuestro planeta y a nosotros mismos. La industria está implementando prácticas para la reducción de emisiones, siendo una de las principales medidas la disminución del uso de combustibles fósiles (carbones) o derivados de fósiles (coque de petróleo) en la producción de clinker, producto intermedio en la fabricación de cemento.

Los revestimientos refractarios de los hornos de clinker tienen por tanto un potencial de impacto beneficioso en la reducción de emisiones de GEI que generan el calentamiento global, mediante la adopción de **Revestimientos de Alta Eficiencia Energética (RAEE)**, minimizando el consumo de combustibles fósiles necesario para la fabricación de clinker y por tanto reduciendo tanto las emisiones de GEI como los costes variables de producción. La inversión en RAEE es amortizada rápidamente gracias a los ahorros térmicos, mientras que estratégicamente se hace imprescindible en el contexto de Emergencia Climática en el que vivimos.

## **CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMATICO**

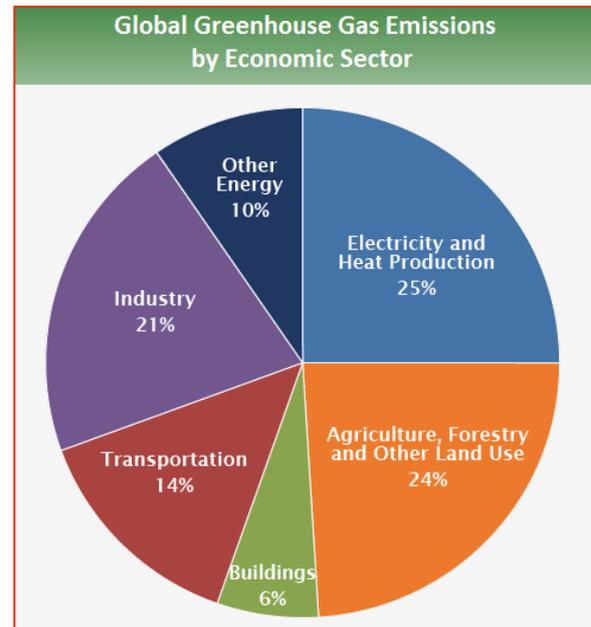
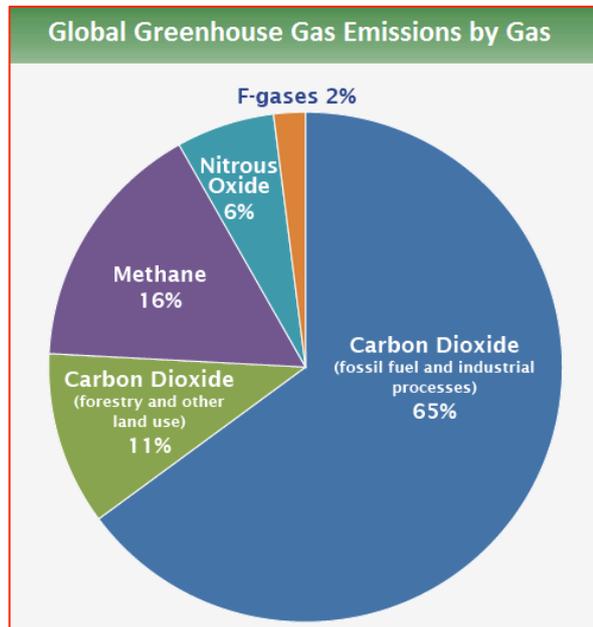
Actualmente el acuciante problema del Cambio Climático se ha rebautizado Emergencia Climática dada la constatación del rápido calentamiento de la Tierra y la magnitud de los efectos sobre el medio natural y las zonas pobladas, ocurriendo de forma mucho más frecuente fenómenos extremos como incendios masivos, sequías prolongadas, deshielos, inundaciones debidas a la pérdida de masa forestal, etc.

Es comúnmente aceptado por la Comunidad Científica que en esta década 2020-2030 la Humanidad debe adoptar políticas urgentes y poner en práctica medidas de reducción sostenida de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), principales causantes del calentamiento global.

En este contexto, el sector de generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles aparece como el mayor contribuyente, seguido de una serie de procesos industriales encabezados por la Industria del Cemento. La producción de Cemento contribuye con hasta un 8% de las emisiones globales de GEI por actividad humana, más que toda la flota mundial de camiones para transporte terrestre. El sector cementero es el segundo emisor global de CO<sub>2</sub> y

---

tercer consumidor de energía, que a su vez requiere una mayor utilización de las centrales eléctricas.



Fuente : US Environmental Protection Agency

El CO<sub>2</sub> emitido para la fabricación de hormigón de obra civil (del cual el 14% como promedio es cemento) se estima en 410 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de hormigón, es decir, unos 180 kg por cada tonelada de hormigón (a una densidad media de 2,3 ton/m<sup>3</sup>), si bien el uso de cenizas volantes (cada vez más escasas por la gradual paralización de las centrales térmicas) puede reducir esta emisión hasta en un 30%. La emisión de CO<sub>2</sub> debida a la fabricación de hormigón civil es por tanto directamente proporcional al contenido de cemento en el hormigón. 900 kg CO<sub>2</sub> se emiten para la fabricación de 1 tonelada de cemento, suponiendo una media del 70% de las emisiones asociadas a cada tonelada de hormigón civil.

Por tanto es urgente la adopción de medidas inmediatas para contrarrestar esta tendencia, que los grupos cementeros mundiales líderes están articulando en torno a :

- **Optimización de la eficiencia energética** del proceso de fabricación de clinker.
- **Maximización del uso de combustibles alternativos** para minimizar el consumo de combustibles fósiles (petcoke, carbones, fuel-oils, gas natural).
- **Reducción del contenido de clinker por tonelada de cemento** mediante el uso de materiales sustitutivos al clinker y compatibles con las especificaciones del cemento.



- **Cogeneración de energía eléctrica para consumo interno de la planta**, habitualmente a partir del aire caliente sobrante de enfriadores, reduciendo así la demanda de energía eléctrica de la red.
- **Desarrollo y producción de nuevos tipos de clinker**, de menor impacto ambiental y/o más reactivos.
- **Adopción de tecnologías de captación y/o reutilización del CO2** (a futuro).

Hay que destacar que estas medidas están sujetas a límites técnicos y de proceso, que condicionan su eficacia, pero todavía puede hacerse mucho más en el ámbito de la optimización energética.

## **EMISIONES DE GEI EN LA INDUSTRIA CEMENTERA**

Internacionalmente se consideran como principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). De ellos, en datos de la Unión Europea, el 81% de las emisiones son debidas al CO<sub>2</sub>, el 11% al metano y el 5% al N<sub>2</sub>O. Por tanto, las medidas de control tendrán un efecto más rápido sobre el CO<sub>2</sub>. El vapor de agua pasa a formar parte del ciclo del agua y por tanto se depura de forma natural.

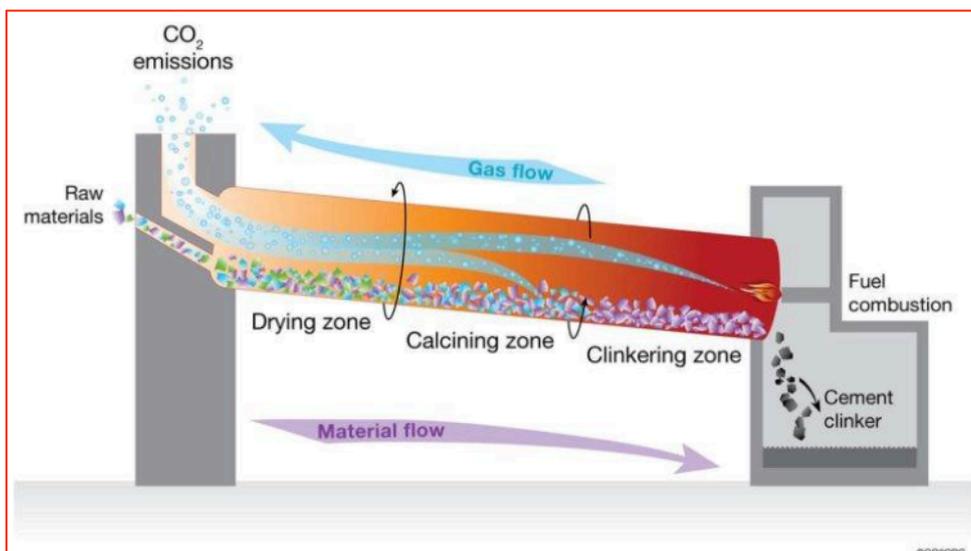
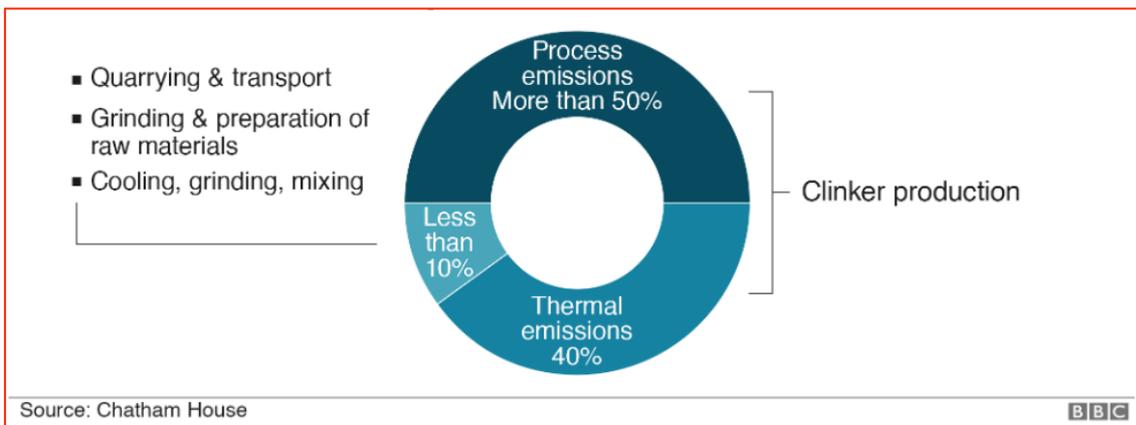
En el proceso de producción de clinker para la fabricación de cemento se produce una cantidad masiva de CO<sub>2</sub> por dos vías :

- **Emisiones de origen térmico : combustión de los combustibles** (40% emisiones debidas al proceso). Los combustibles hidrocarburos generan, en las reacciones exotérmicas de combustión, calor, CO<sub>2</sub> y vapor de agua. Para reducir la emisión de CO<sub>2</sub>, forzosamente hay que reducir la cantidad de combustible necesario por cada tonelada de clinker a producir. La cantidad de combustible hidrocarburo necesario viene definido por la cantidad de combustibles alternativos (residuales, no fósiles o derivados de fósiles) utilizados, y por la cantidad de calor necesaria para producir una tonelada de clinker.



Crudos de menor aptitud a la cocción (más “duros”) necesitarán un mayor Calor de Combustión (Formación), y por tanto implicarán una mayor Consumo Térmico Específico (SHC) de la línea de producción de clinker.

- **Emisiones de proceso : descarbonatación de las materias primas** (>50% emisiones, intrínseco a la naturaleza de las materias primas), descomposición térmica de los carbonatos para liberar óxido cálcico (cal) que a posteriori se combina para formar los compuestos del clinker. Esta reacción de descarbonatación libera gran cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Lamentablemente esta emisión es intrínseca al proceso productivo y sólo se puede reducir bajando los volúmenes de producción de clinker. En consecuencia, las plantas cementeras están tratando de reducir el ratio clinker/cemento, que a su vez también conduce a ahorros energéticos, o bien desarrollar nuevos tipos de clínkeres más reactivos cuya contribución al cemento sea menor.





Por tanto, las plantas ponen especial esfuerzo en maximizar el uso de combustibles alternativos, a pesar de los problemas de proceso y de estabilidad que traen aparejados, así como tratar de reducir el Consumo Térmico Específico (cantidad de calor consumida en total por cada tonelada de clinker).

En éste último grupo de medidas de control es donde los revestimientos refractarios juegan un papel clave para contribuir a la reducción de emisiones, mediante la reducción del uso de combustibles fósiles (petcoke y carbones).

## **REVESTIMIENTOS REFRACTARIOS DE ALTA EFICIENCIA ENERGETICA (RAEE) PARA REDUCCION DE EMISIONES DE GEI**

Tradicionalmente las plantas cementeras han puesto mucha atención en la selección de revestimientos refractarios robustos en la capa de trabajo para resistir las condiciones de proceso y proporcionar largas duraciones. La capa de aislamiento habitualmente ha recibido menos consideración, y se ha visto como algo necesario para reducir las pérdidas de calor, en muchas ocasiones sin concederle mayor importancia.

Con la gradual introducción de los combustibles alternativos, las condiciones químicas de los gases de combustión y composición de las pegaduras sobre el refractario, especialmente asociadas al uso de petcoques de alto azufre más económicos, han favorecido la aparición de fenómenos de corrosión ácida en las chapas de carcasa, en particular en las zonas de inyección de alternativos en el intercambiador, así como en áreas de condensación de los gases generados en el quemador principal (cámaras de entrada).

Los revestimientos tradicionales han utilizado materiales aislantes convencionales, como ladrillos aislantes, placas de calciosilicato y hormigones aislantes de diversas capacidades y densidades, ofreciendo conductividades térmicas aceptables hasta la fecha. Sin embargo, con el problema de Emergencia Climática y la mayor necesidad de las plantas por ajustar costes variables de combustibles, tiene más sentido que nunca revisar las especificaciones de los revestimientos para minimizar el consumo de combustibles, a la vez que reforzar su comportamiento y resistencia frente al proceso.

Es importante destacar que las pérdidas de calor en un revestimiento se producen por las tres vías de transmisión de calor : conducción, convección y radiación. La evaluación de estas pérdidas puede hacerse de manera sencilla mediante el uso de cámaras termográficas y



posterior cálculo de las pérdidas (kWh o kilocalorías) por unidad componente del horno (ciclón, cámara de humos, conductos, etc.). Las inspecciones e informes termográficos regulares son una herramienta indispensable para los equipos de Proceso para controlar el consumo energético y por tanto las emisiones a la atmósfera, así como para la planificación de las paradas de mantenimiento del refractario.

Los puentes térmicos, fundamentalmente elementos metálicos conductores del calor insertados en el revestimiento como anclajes, consolas, vigas, marcos de puertas de visita, refuerzos metálicos, cañones de aire, tubos Cardox, puntos de toma de muestra y medidas de proceso, etc., así como también las juntas de dilatación necesarias en la instalación del revestimiento refractario, son perjudiciales para el rendimiento de la instalación por aumentar la conductividad y las pérdidas de calor y deben ser también tenidos en cuenta a la hora de diseñar el aislamiento óptimo.

A la vista de la compleja demanda termomecánica y de ataque químico sobre la capa de trabajo, así como de la mayor necesidad de aislamiento, REYMA ha desarrollado **Revestimientos de Alta Eficiencia Energética** (RAEE), que permiten a la planta optar por :

#### **OPCIÓN 1 - Revestimientos de alta eficiencia energética y máxima duración :**

Esta solución permite obtener todo el beneficio de un revestimiento de muy alto rendimiento, extendiendo su duración al máximo posible con el espesor total actual, es decir, manteniendo el rendimiento actual del horno (toneladas/día) :

- Manteniendo espesor total del revestimiento, maximizando el espesor de la capa densa y minimizando el espesor de la capa aislante.
- Utilizando materiales densos de última generación para extender al máximo su vida útil.
- Combinación de técnicas de aplicación del denso en función de las áreas y los requerimientos, pudiéndose optar por vibrocolados o gunitables por alta presión, hidráulicos o de fraguado cerámico, así como piezas prefabricadas de alto rendimiento.
- Utilizando materiales superaislantes para reducir las pérdidas de calor al mínimo compatible con la aparición de corrosión (punto de rocío).

#### **OPCIÓN 2 - Revestimientos de alta eficiencia energética y máximo ahorro por tonelada de clinker :**

Esta solución permite aumentar el rendimiento del horno (toneladas/día), especialmente al aplicarse en áreas de cuello de botella, ya que reduce el espesor total del revestimiento,

---



reduciendo por tanto la pérdida de carga del intercambiador y aumentando el oxígeno disponible para la combustión, para un mismo nivel de tiro forzado (ventilador principal). La mayor cantidad de O<sub>2</sub> disponible permite aumentar rendimiento al horno (alimentación y combustible), aumentando por tanto la producción de clinker y reduciendo, como valor añadido, el consumo eléctrico específico (por tonelada de clinker) debido a la dilución de los consumos eléctricos fijos (motores de mayor consumo) entre una mayor producción horaria:

- Manteniendo el espesor actual de la capa densa, revisar y mejorar la especificación del material para extender vida útil, aplicando criterios de optimización de coste.
- Combinación de técnicas de aplicación del denso en función de las áreas y los requerimientos, pudiéndose optar por vibrocolados o gunitables, hidráulicos o de fraguado cerámico, así como piezas prefabricadas de alto rendimiento.
- Utilizando materiales superaislantes para reducir las pérdidas de calor al mínimo compatible con la aparición de corrosión.

#### **Criterios de selección de RAEE y servicio técnico de REYMA**

Las prioridades de la planta y criterios de coste-beneficio permitirán seleccionar una opción u otra, o bien una combinación de ambas, para optimizar consumo energético, reducir emisiones y maximizar rendimiento del horno.

REYMA pone a disposición de sus clientes los siguientes materiales y servicios para optimizar la Eficiencia Energética de sus revestimientos :

- **Estudios de proceso** a partir de la información del cliente sobre el revestimiento actual, demanda actual y futura, para proponer las especificaciones óptimas del RAEE.
  - Variedad de **estudios de transmisión térmica estacionaria** con las diversas opciones de revestimiento susceptibles de aplicarse a cada zona.
  - **Diseños CAD** de las opciones de revestimiento.
  - **Suministro de materiales densos**, en particular de tecnología REOTIX® ZSI y GUNTIX® ZSI, como capa de trabajo para garantizar el máximo rendimiento y duración. Variedad de suministro de materiales densos, en versiones vibrocoladas o gunitables por alta presión con nuestra tecnología exclusiva GUNTIX®-HP.
  - **Suministro de piezas vibrocoladas y tratadas térmicamente** (temperizado y sinterizado), así como sistemas de anclaje compatibles, para minimizar tiempos y costes de montaje.
  - **Suministro de materiales superaislantes**, basados en la última tecnología en sistemas de aislamiento, para minimizar las pérdidas de calor, disponibles en una variedad de materiales, formatos y protecciones contra la humedad y corrosión.
-



**REYMA**  
MATERIALES REFRACTARIOS S.A.

**REYMA MATERIALES REFRACTARIOS**  
**Departamento Técnico**

*Revestimientos de Alta Eficiencia Energética  
para reducir el impacto de las plantas de Cemento  
en la emisión de Gases de Efecto Invernadero  
mediante ahorro en consumo de combustibles*

- **Planos de ingeniería CAD del revestimiento seleccionado** para guía del equipo de montaje.
- **Supervisión** de los trabajos de montaje.
- **Seguimiento** del rendimiento térmico del nuevo revestimiento.
- **Cualquier necesidad adicional** del cliente como formación de personal, etc.



**Montaje de un Revestimiento de Alta Eficiencia Energética (RAEE)**



**REYMA**  
MATERIALES REFRACTARIOS S.A.

**REYMA MATERIALES REFRACTARIOS**  
**Departamento Técnico**

*Revestimientos de Alta Eficiencia Energética  
para reducir el impacto de las plantas de Cemento  
en la emisión de Gases de Efecto Invernadero  
mediante ahorro en consumo de combustibles*

---

## **CONCLUSION**

La industria del cemento se encuentra en un contexto de fuerte incremento en la producción, esperada a 2030 en el entorno de 5.000 millones de toneladas métricas, hasta 4 veces los niveles de 1990. Simultáneamente, la situación de Emergencia Climática aconseja medidas urgentes y significativas encaminadas a la reducción del consumo de combustibles fósiles en las plantas. Y finalmente, la cada vez mayor competitividad en los mercados mundiales de clinker y cemento está poniendo una presión muy fuerte sobre los grupos y plantas, forzándoles a implantar medidas de reducción de costes, a menudo comprometiendo la marcha fiable de los equipos, en particular aquellas unidades con revestimientos refractarios de calidades medias.

Los **Revestimientos de Alta Eficiencia Energética** (RAEE) diseñados y suministrados por REYMA ofrecen una solución a estos problemas, contribuyendo al ahorro térmico, mejora de la fiabilidad de equipos y reducciones de emisiones de GEI. Estratégicamente, las plantas que están instalando estos revestimientos de última generación disfrutan de una ventaja competitiva y tecnológica frente a su competencia.

REYMA se pone como siempre al servicio de sus clientes actuales y futuros para el estudio e implantación de estos revestimientos.