



# Manual para la evaluación de proyectos de Eficiencia Energética en el Sector Cemento

---

Dirigido a

Cientes de Instituciones Financieras

---

**CAF** BANCO DE DESARROLLO  
DE AMÉRICA LATINA



**Glosario**



**Tabla de conversiones**



**1. Presentación**



**2. Aplicabilidad del manual**



**3. Caracterización energética del proceso**



**4. Proyectos de eficiencia energética con mayor potencial**



**5. Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales**



**6. Criterios de elegibilidad**



**7. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto**



**8. Otros beneficios de la EE para empresas del sector**



**9. Caso de estudio**



**10. Referencias**



# Glosario

**Biomasa:** energía procedente del aprovechamiento de la materia orgánica generada en algún proceso biológico o mecánico. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se puede hacer por ejemplo por combustión.

**BTU:** Unidad Térmica Británica. Unidad para medir el calor, un BTU es la energía requerida para elevar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit.

**Cal:** designación comercial del óxido de calcio obtenido como resultado de la calcinación de rocas calizas. La cal se utiliza como aglomerante en la producción de cemento.

**Calcinación:** proceso de calentar una sustancia a temperatura elevada para provocar un cambio de estado en su constitución física o química.

**Clinker:** principal componente del cemento, se forma tras calentar caliza a una temperatura entre 1350 y 1450 °C.

**Cogeneración de energía:** producción de energía eléctrica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía.

**Combustibles alternativos:** combustibles utilizados para sustituir a los combustibles fósiles o derivados del petróleo. En la mayoría de los casos su uso presenta beneficios ambientales.

**Ciclos ORC (Organic Rankine Cycle):** ciclo de producción de energía a partir del calor de desecho que usa como fluido una sustancia orgánica en vez de agua.

**Ciclos Kalina:** ciclo de producción de energía a partir de calor de desecho que usa dos fluidos de diferentes puntos de ebullición como fluidos de trabajo.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** es el principal gas de efecto invernadero emitido principalmente a través del uso del transporte y la industria, la producción de energía eléctrica, la agricultura y la deforestación.

**Eficiencia energética:** es la forma de gestionar y limitar el crecimiento del consumo de energía. Un proceso más eficiente puede producir más bienes o servicios con la misma o menor cantidad de energía. Por ejemplo, una bombilla fluorescente compacta (CFL) utiliza menos energía que una bombilla incandescente para producir la misma cantidad de luz.

**Estudio de impacto ambiental:** es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental. Este estudio deberá corresponder en su contenido y profundidad a las características y entorno del proyecto, obra o actividad.

**Gases de efecto invernadero (GEI):** los gases de efecto invernadero son la principal causa del calentamiento global. La mayoría de estas sustancias como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), entre otros, son liberados a la atmósfera por la actividad humana.

**kW:** es una unidad de medida de la potencia (1kW es equivalente a 1.000 W) de los aparatos eléctricos.

**kWh:** equivalente a mil vatios-hora, es una unidad utilizada para medir la energía eléctrica consumida o utilizada en determinado tiempo.

**Líneas de financiamiento "verde":** líneas de financiamiento que buscan el desarrollo de proyectos que promuevan la protección y conservación del medio ambiente, como proyectos de eficiencia energética, energía renovable o producción más limpia. Dichos proyectos deben contar con la revisión y verificación de los beneficios ambientales que se obtienen después de la inversión.

**Material particulado (MP):** acumulación de pequeñas piezas sólidas o partículas de líquidos en la atmósfera, estas son generadas a partir de contaminación proveniente de la actividad humana.

**Material puzolánico:** aglomerante hidráulico, producido por la mezcla de un material conocido como puzolana (silicios) y cal hidratada, con el cual se busca mejorar las características mecánicas, de resistencia y de durabilidad de las mezclas. Hoy en día el cemento puzolánico se considera un eco material.

**Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>):** es un gas de azufre, considerado un contaminante importante, siendo el principal agente de la lluvia ácida.

**Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):** es un potente gas de efecto invernadero generado en la producción de fertilizantes nitrogenados, la combustión de combustibles fósiles y la quema de biomasa.

**Periodo de retorno simple:** es la cantidad de tiempo que demora una inversión en pagarse basado en el flujo de caja del proyecto. Por ejemplo, el período de retorno simple de una inversión de 300 USD con ahorros anuales de 100 USD tiene un periodo de retorno simple de 3 años.

**Valor ex ante:** valor de una variable medida antes del cambio tecnológico en los proyectos de eficiencia energética.

**Valor ex post:** valor de una variable medida después del cambio tecnológico en los proyectos de eficiencia energética.

# Tabla de conversiones

En la tabla 1 se presentan las unidades utilizadas en este manual que sirven como referencia para las diferentes conversiones de unidades que se encuentran a lo largo del documento.

**Tabla 1.** Tabla de conversión de unidades.

Potencia	kilowatt (kW)	HP	BTU/h
kilowatt (kW)	1	1.341	3.412,14
HP	0,754	1	2.544.43
BTU/h	0,00293	0,0003928	1

Energía	Kilowatt-hora (kWh)	Jules	GigaJules	PetaJules	BTU
kilowatt-hora (kWh)	1	3.600.000	0,0036	3,6 e-9	3.412,14
Jules	0,000000278	1	1e-9	1e-15	0,0009478
GigaJules	277,7	1e+9	1	1e-6	947817
PetaJules	2,77 e+8	1e+15	1e+6	1	9,47e+11



## 1. Presentación

CAF -Banco de desarrollo de América Latina- tiene como misión impulsar el desarrollo sostenible y la integración regional, mediante el financiamiento de proyectos de los sectores público y privado, la provisión de cooperación técnica y otros servicios especializados. Constituido en 1970 y conformado en la actualidad por 19 países, 17 de América Latina y el Caribe, junto a España y Portugal y 13 bancos privados, es una de las principales fuentes de financiamiento multilateral y un importante generador de conocimiento para la región.

CAF adelanta el desarrollo del Programa de Eficiencia Energética desde la Demanda (EE-D) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF's), cuyo objetivo principal es fomentar una mayor inversión de empresas Latinoamericanas en NV y EE-D, para lo cual CAF pone a disposición (I) financiamiento a través de las líneas de crédito que CAF mantiene con Instituciones Financieras (IF's), (II) asistencia técnica, y (III) fortalecimiento de mercados en negocios verdes y de eficiencia energética.

Este manual dirigido a los Clientes de las IF's, tiene como objetivo principal generar conocimientos y mejorar las capacidades de sus clientes y recursos de outsourcing, para identificar oportunidades de proyectos de EE; asimismo, gestionar los riesgos ambientales y sociales asociados con este tipo de proyectos.

Incluye aspectos técnicos, ambientales y de inversión, criterios de elegibilidad de proyectos para ser financiados por las IF's y los mecanismos de monitoreo, reporte y verificación de los beneficios ambientales generados por las inversiones realizadas.

Este manual es parte de un conjunto de documentos que comprenden los sectores y tecnologías con mayor potencial para llevar a cabo inversiones en eficiencia energética.

En la tabla 2 se presenta el conjunto de documentos elaborados para el Programa de Eficiencia Energética desde la Demanda (EE-D) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF's).

**Tabla 2.** Manuales por sector y guías por tipo de proyecto.

Manuales Por Sector		Alimentos y bebidas	Textiles	Cemento	Pulpa y papel	Siderurgia y metal mecánica	Agroindustria	Hoteles y hospitales	Alumbrado público	Grandes superficies	Transporte
Guías Por Tipo De Proyecto	Motores de alta eficiencia	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Cogeneración de energía	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
	Sustitución de combustibles	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓
	Iluminación de alta eficiencia	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
	Calderas y sistemas de vapor	✓	✓		✓		✓	✓			
	Aire acondicionado							✓			✓
	Refrigeración	✓								✓	
	Calentamiento de agua con energía solar							✓			
	Hornos			✓		✓					
	Aire comprimido	✓	✓	✓	✓	✓					
	Energía solar fotovoltaica							✓	✓	✓	
	Automatización de procesos							✓	✓	✓	

Así por ejemplo, se desarrolló la guía de para proyectos de motores de alta eficiencia que es aplicable a sectores como cemento, textiles y alimentos y bebidas.



## 2. Aplicabilidad del manual

El manual de eficiencia energética para el sector cemento para clientes de las IF's, incluye información relevante relacionada con los consumos energéticos y el potencial de eficiencia energética para los diferentes procesos de producción de cemento. La extracción de materias primas, una actividad común asociada a los procesos de producción de cemento, no se incluye en este manual.

Los consumos de energía térmica y eléctrica sirven como referencia sobre las mejores prácticas del sector y definen los indicadores de consumo para determinar las mejoras razonables que se pueden alcanzar por realizar inversiones en eficiencia energética.

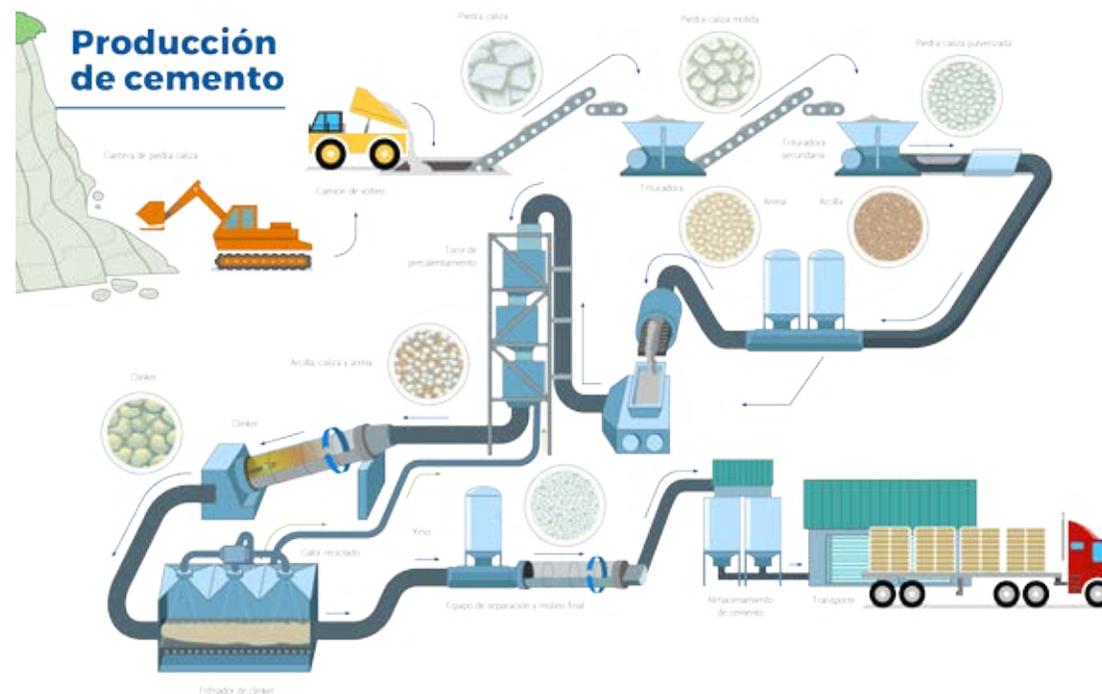
El manual presenta los proyectos con mayor potencial mostrando los diferentes niveles de inversión, posibles periodos de retorno y los ahorros estimados frente a los diferentes cambios tecnológicos.

Las oportunidades de eficiencia energética financiables a través de líneas verdes son las más comunes para este sector, teniendo en cuenta el estado de la tecnología actual y las mejores prácticas del mercado. No significa que sean los únicos proyectos financiables en el sector, pero sí los más comunes que requieren de financiación.

### 3. Caracterización energética del proceso

En la figura 1 se presenta un diagrama con el proceso de producción de cemento. Los principales procesos de consumo de energía son la molienda y la calcinación, la energía eléctrica se consume principalmente en motores y sistemas de transporte de materiales y el combustible se consume en el horno para realizar el proceso de calcinación a altas temperaturas y producir el Clinker, principal componente del cemento.

Figura 1. Proceso de producción de cemento.<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Fuente: <http://civildigital.com/cement-manufacturing-process-simplified-flow-chart/>

Entre 2007 y 2010 el consumo de energía térmica por tonelada de Clinker en América Latina se mantuvo prácticamente constante, alrededor de 3.700 MJ/ton Clinker. Para 2011 este consumo disminuyó un 2,2%, es decir, se ubicó en 3.623 MJ/ton Clinker.

En 2011, el consumo de energía térmica en Latinoamérica para producir una tonelada de Clinker superó ligeramente al promedio mundial en 1,7%. Esta pequeña variación fue debido a las diferencias de tecnologías, un mayor uso de hornos secos con precalentador y sin precalcinador, que son menos eficientes que aquellos que presentan precalcinador adicional.

Sin embargo, los datos claramente demuestran que Latinoamérica ha entrado en el proceso de eficiencia energética tal como lo han hecho los países industrializados.

Desde 2006 hasta 2010 el consumo de energía eléctrica de la industria del cemento latinoamericana fue ligeramente superior al promedio mundial, alrededor de 1%.

En 2011, el consumo de energía eléctrica en Latinoamérica para producir una tonelada de cemento coincide con el valor promedio a nivel mundial, 107 kWh por tonelada de cemento, lo cual conjuntamente con el consumo de energía térmica para la producción de Clinker, indica que la industria latinoamericana se encuentra muy capacitada y migrando a tecnologías más eficientes.<sup>2</sup>

En la tabla 3 se presentan como referencia los indicadores de consumo de energía térmica y eléctrica para la producción de cemento.

<sup>2</sup> Fuente: Informe estadístico 2013. FICEM. [www.ficem.org](http://www.ficem.org)

<sup>3</sup> Fuente: IFC Guía sobre medio ambiente.

**Tabla 3.** Indicadores energéticos para la producción de cemento.<sup>3</sup>

Insumos por unidad de producto	Unidad	Indicador del sector
<b>Energía combustible</b>	GJ/ton cemento	3,0 – 4,2
<b>Energía eléctrica total</b>	kWh/ton cemento	90 - 150
<b>Energía eléctrica molienda Clinker</b>	kWh/ton Clinker	40 - 45

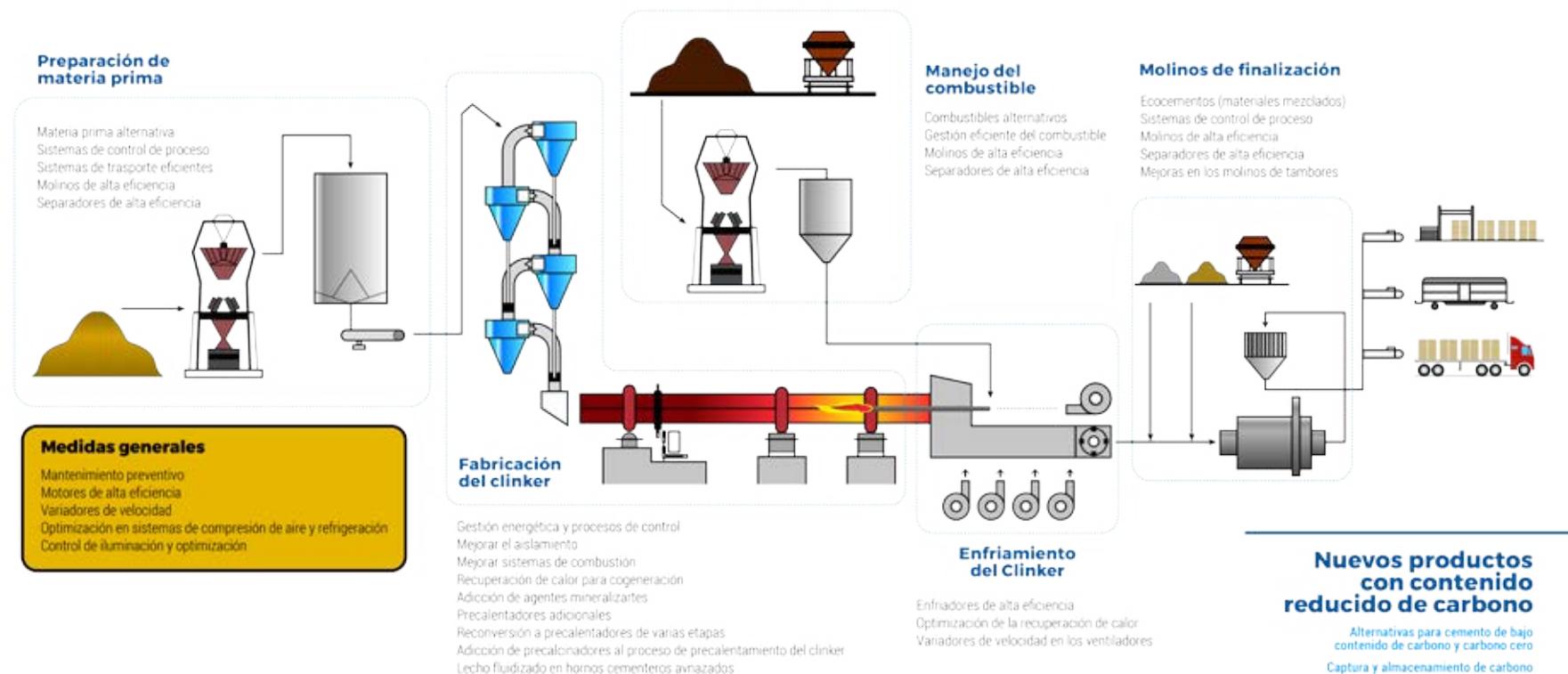
Para evaluar el potencial de eficiencia energética a nivel de planta es necesario comparar los índices energéticos actuales de la planta con los indicadores arriba planteados, teniendo en cuenta el tipo de combustible usado y su poder calorífico.

Los costos energéticos de producción dependen del lugar donde se instale la planta de producción, de los energéticos utilizados y del precio de los mismos. Con precios de energía eléctrica entre 10 y 20 centavos de dólar por kWh, el costo de energía eléctrica por tonelada de cemento producida varía entre 11 y 22 USD/ton.

En el caso de la energía térmica, los costos están asociados al tipo de combustible, en el caso de usar carbón con precios entre 80 y 100 USD/ton, el costo de combustible es alrededor de 15 USD/ton, mientras que si se usa gas natural con precios de 10 USD/MBTU, el costo de producción es del orden de 35 USD/ton. En los últimos años la industria del cemento ha incursionado con éxito en el uso de combustibles alternativos como llantas usadas y biomásas, en cuyo caso los costos de producción dependen principalmente de los costos de suministro, transporte y logística.

## 4. Proyectos de eficiencia energética con mayor potencial

En la figura 2 se pueden observar las diferentes opciones de optimización energética y reducción de emisiones de GEI en una planta de cemento. A continuación se analizan las de mayor importancia de acuerdo con el nivel de ahorro que generan y las inversiones requeridas.



**Figura 2.** Oportunidades de eficiencia energética y reducción de GEI en la plantas de producción de cemento.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Industrial Efficiency Technology Database. <http://ietd.iipnetwork.org/content/cement>

## 4.1 Oportunidades de reducción del consumo de energía eléctrica.

A continuación se presenta un resumen de las principales oportunidades para desarrollar proyectos que optimicen el consumo de energía eléctrica en la producción de cemento.

### 4.1.1 Sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia.

El principal consumo de energía eléctrica en una planta de producción de cemento se presenta en motores de diversas potencias que se encuentran instalados en los procesos de molienda, transporte de materiales, bombas y ventiladores. Entre 500 y 700 motores de diferentes capacidades se usan en una planta de cemento.

El reemplazo de equipos antiguos con eficiencias entre 80 y 85 % por motores de eficiencias superiores al 94 %, generan ahorros de energía entre 10 y 15 % del consumo actual en estos equipos.

Teniendo en cuenta que el mayor costo en el ciclo de vida de un motor tiene relación con el consumo de energía eléctrica, el desarrollo de este tipo de proyectos retorna las inversiones en periodos entre 2 y 5 años dependiendo del costo de energía en la planta. Las inversiones dependen de la potencia del motor que se sustituye. Para motores con capacidades superiores a 300 kW la inversión específica es del orden de 75 USD/kW, y para motores entre 30 y 300 kW la inversión está en el rango entre 120 y 140 USD/kW<sup>5</sup>.

### 4.1.2 Molienda de materias primas y Clinker.

El costo de la electricidad es la tercera variable de costos de producción en el proceso cementero. Las otras dos variables corresponden a las materias primas y el combustible para el horno. 42,2 % del consumo de energía eléctrica se presenta en la molienda del cemento y el 22,4 % en la molienda de materias primas.

El uso de molinos verticales en comparación con los molinos de bolas tradicionales, reduce el consumo específico de energía con respecto al proceso de molienda tradicional de rangos de 55 a 70 kWh/ton a valores entre 25 y 30 kWh/ton, dependiendo del tamaño de molienda final.

Las inversiones se estiman entre 2,5 y 8 USD/ton de capacidad anual de producción de cemento. Los retornos simples de la inversiones suceden entre 3 y 5 años dependiendo del costo de la energía eléctrica con la que opere la planta.



<sup>5</sup> Energy Efficiency Improvement and cost opportunities for cement making. Energy Start, guide for Energy and plant managers.



## 4.2 Oportunidades de reducción de consumo de energía térmica.

### 4.2.1 Actualización de los hornos rotatorios.

En el caso de plantas nuevas y reestructuraciones significativas de plantas existentes, las buenas prácticas internacionales para la fabricación de Clinker implican la utilización de un horno de proceso seco con precalentamiento y precalcificación en etapas (hornos PCP). Los hornos PCP son los más utilizados en la industria cementera, son los que menos combustible consumen (debido a la elevada recuperación de calor del gas del horno en los ciclones y a las escasas pérdidas de calor del horno), y no tienen agua alguna que evaporar (a diferencia de los hornos húmedos, que utilizan lechada).

Las inversiones requeridas dependen de la capacidad de producción del horno, para una planta con una capacidad de 2.500 tpd (toneladas por día), la inversión es del orden de 6 MMUSD y el retorno de la inversión está entre 1 y 3 años dependiendo del precio del combustible que se usa <sup>6</sup>.

### 4.2.2 Conversión a enfriador de parrilla reciprocante.

Debido a la influencia del enfriador de Clinker en el desempeño energético y la economía de la planta, la actualización de estos sistemas es una práctica común en la industria de cemento.

Los ahorros de energía estimados pueden ser superiores al 8% del consumo de combustible. El costo de la sustitución varía ampliamente dependiendo de las condiciones específicas del sitio, las inversiones varían en el rango entre 1,5 y 4 MMUSD para un solo enfriador. El costo de inversión para una planta con una capacidad de 2 millones de toneladas por año puede superar los 30 MMUSD.

<sup>6</sup> *Industrial Efficiency Technology Database.* <http://ietd.iipnetwork.org/content/cement>

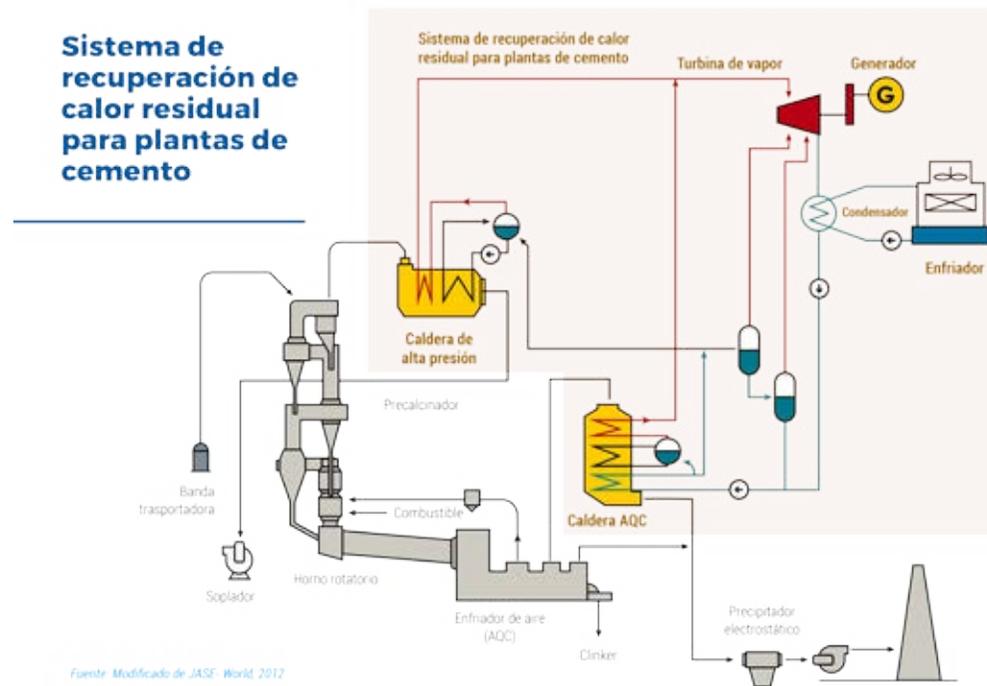
### 4.2.3 Recuperación de calor y cogeneración de energía.

La recuperación de calor de desecho para la producción de electricidad puede generar ahorros significativos en la producción de cemento, siendo posible producir cerca del 30% del consumo de energía eléctrica de la planta mejorando en un 10% la eficiencia del proceso<sup>7</sup>. Es posible producir entre 8 y 22 kWh/ton Clinker con inversiones entre 10 y 12 MMUSD en una planta típica<sup>8</sup>.

La rentabilidad de este tipo de proyectos depende del precio de la energía eléctrica. En lugares donde la energía es cara, es posible usar diferentes tecnologías como calderas de recuperación de calor y turbina de vapor, ciclos ORC (Organic Rankine Cycle) y ciclos Kalina. El periodo de retorno simple es usualmente menor a 3 años.

En la figura 3 se puede observar un esquema de un sistema de recuperación de calor en una planta de cemento.

**Figura 3.** Esquema de un sistema recuperación de calor en una planta de cemento.<sup>9</sup>



7 T. Engin, V. Ari, *Energy auditing and recovery for dry-type cement rotary kiln systems - A case study*, *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 551-562

8 WBCSD/CSI – ECRA (World Business Council for Sustainable Development/Cement Sustainability Initiative – European Cement Research Academy), *Development of State-of-the-Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to look ahead*, Düsseldorf, Geneva, 4 June 2009

9 <http://ietd.iipnetwork.org/content/waste-heat-recovery-power-generation>



### 4.3 Otros proyectos financiables con beneficio ambiental.

Además de las reducciones de emisiones de GEI que se pueden lograr por mejorar la eficiencia energética del proceso, también es posible alcanzar reducciones adicionales mediante las siguientes acciones.

#### 4.3.1 Uso de combustibles alternativos.

Es posible usar combustibles alternativos como llantas usadas, biomásas residuales como la cascarilla de arroz, e incluso residuos sólidos urbanos como combustible alternativo en los hornos, que permiten reducciones entre 20 a 25% en las emisiones de GEI debidas al uso de combustibles fósiles como carbón o gas natural. Por las condiciones de operación de los hornos y las materias primas que se usan en el proceso, el sector cementero tiene potencial para realizar la incineración de residuos especiales y peligrosos cumpliendo con la normatividad ambiental de emisiones para este tipo de procesos. En algunos países a este servicio se le denomina coprocesamiento.

#### 4.3.2 Uso de materias primas alternativas.

El proceso de calcinación genera importantes emisiones debidas al proceso de decarbonatación y liberación del CO<sub>2</sub>. Es posible reemplazar una fracción del cemento en la producción de concreto utilizando materiales denominados puzolanicos que tienen un comportamiento similar al del Clinker en la mezcla, entre estos materiales se encuentran lodos de altos hornos de la industria siderúrgica, cenizas volantes resultantes de la quema de carbón en centrales térmicas, y puzolanas naturales como la ceniza de cascarilla de arroz. La reducción de emisiones de GEI depende de la cantidad de cemento que se pueda sustituir en la mezcla final de concreto.



## 5. Análisis de riesgos técnicos ambientales y sociales

En la tabla 4 se presentan los principales riesgos técnicos, sociales y ambientales que deben tenerse en cuenta al realizar inversiones en el sector, así como las acciones para su mitigación.

**Tabla 4.** Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
<b>Impactos ambientales sobre comunidades y ecosistemas.</b>	<b>Ambiental/Social</b>	Confirmar que la planta cuenta con un Estudio de Impacto Ambiental y licencia ambiental vigente.
<b>Emisiones atmosféricas del proceso.</b>	<b>Ambiental</b>	Asegurar que la planta cumple con las normas aplicables para el país.
<b>Obligación de reducción de emisiones de GEI.</b>	<b>Ambiental</b>	Establecer los compromisos adquiridos por el país de reducción de emisiones aplicables al sector.



**Continuación Tabla 4.** Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
<b>Uso de residuos como combustible alternativo en los hornos.</b>	<b>Técnico/Ambiental</b>	Asegurar que se cumple con las normas de emisiones aplicables en el país. Verificar que el transporte y manejo de los residuos cuente con los permisos requeridos.
<b>Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.</b>	<b>Técnico/Financiero</b>	Asegurar que el diseño del proyecto es correcto y que se usan tecnologías con certificación de EE.



## 6. Criterios de elegibilidad

Dada la alta intensidad energética del proceso de producción de cemento, existe un amplio potencial de hacer inversiones en EE en este sector. Los criterios de elegibilidad que se deben cumplir para aprobar la financiación de los proyectos por parte de las IF's son los siguientes:



**Reducción del consumo de energía eléctrica:** cualquier proyecto de inversión para reducción del consumo de energía eléctrica debe reducir el consumo de energía en el proceso específico o de la planta de producción en su totalidad como mínimo en un 10 %.



**Reducción del consumo de combustible:** un proyecto de inversión para reducir el consumo de combustible en una planta cementera debería reducir como mínimo el consumo en procesos específicos, especialmente en el horno, en un 5%.





**Reducción de emisiones de GEI:** Los niveles de reducción de emisiones que pueden lograr las inversiones en eficiencia energética en el sector cemento dependen de la fuente de energía eléctrica que se usa para el proceso y el tipo de combustible que se quema en el horno. Los proyectos con mayor potencial de reducción de emisiones de GEI son aquellos que reducen el consumo de carbón o gas natural. En términos generales, una inversión en proyectos de eficiencia energética, debería reducir las emisiones del proceso en al menos un 5 %.



**Periodo de retorno simple de la inversión:** Las inversiones en EE en el sector cemento son principalmente en bienes de capital, con lo cual, el tiempo de retorno simple del proyecto no debería ser mayor de 5 años para que los flujos de caja del proyecto permitan retornar la inversión con una rentabilidad razonable en un periodo de 8 a 10 años.

Para que el proyecto de EE o energía renovable sea elegible, se debe cumplir el criterio de reducción de consumo de energía eléctrica y/o consumo de combustibles, el criterio de reducción de emisiones de GEI y el criterio de periodo de retorno de la inversión de manera simultánea.



## 7. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto

El sector cemento mide su eficiencia energética a través de tres indicadores básicos que se presentan en la tabla 5, los cuales sirven como indicadores de monitoreo y reporte de las inversiones y se deben medir antes y después de hacer los proyectos.

**Tabla 5.** Indicadores de mejora de eficiencia energética por tonelada de cemento producida.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Energía térmica	GJ/ton cemento		
Energía eléctrica	kWh/ton cemento		
Emisiones GEI	Kg CO <sub>2</sub> /ton cemento		

Los indicadores para verificar el beneficio anual de una inversión en eficiencia energética, resultan de multiplicar la diferencia entre el valor exante y el valor expost de los indicadores sugeridos en la tabla 5, por la producción anual de la planta en el año posterior al que se realizó la inversión. De esta forma, los indicadores que se recomienda usar son los siguientes:

**Tabla 6.** Indicadores de verificación de mejora de eficiencia energética en el sector cemento.

Indicador	Unidad
Reducción del consumo de energía térmica	GJ/año
Reducción del consumo de energía eléctrica	kWh/año
Reducción de emisiones de GEI	Kg CO <sub>2</sub> /año



## 8. Otros beneficios de la EE para empresas del sector

Dado que es un sector intensivo en el uso de energía eléctrica y combustibles y por tanto en emisiones de GEI, las inversiones en eficiencia energética y en el uso combustibles alternativos generan otros beneficios para el sector entre los que se destacan:

- Cumplir con los compromisos nacionales y sectoriales para la reducción de emisiones de GEI mitigando el riesgo de nuevos impuestos a las emisiones de carbono.
- Autosuficiencia energética por la generación de energía usando el calor residual del proceso reduciendo la demanda de energía eléctrica de la red y mejorando la rentabilidad del proceso. Asimismo, con la implementación de proyectos de generación de energía con fuentes renovables es posible producir otra fracción de la energía requerida por el proceso.
- Uso de materiales alternativos que permiten reducir el impacto ambiental de las edificaciones y obras de infraestructura donde se usa el cemento, pudiendo optar por certificaciones de construcción sostenible como LEED.
- Aprovechamiento energético de residuos de difícil disposición como llantas usadas, reduciendo el impacto ambiental de su disposición en rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto, adicionalmente generando nuevos ingresos por el procesamiento de desechos especiales y peligrosos.
- Aprovechamiento energético de biomásas residuales como energéticos que generan nuevos negocios para sectores agroindustriales. Un ejemplo de este tipo de proyectos es el uso de la cascarilla de arroz como combustible en los hornos, que además de reducir el consumo de combustibles fósiles, reduce la demanda de caliza porque su ceniza es una puzolana natural.



## 9. Caso de estudio

Una compañía dedicada a la producción de cemento produce 5.000 toneladas al día, durante el año anterior implementó un proyecto de cambio de hornos rotatorios como inversión en eficiencia energética por valor de 10 MMUSD. Esta compañía desea saber cuantas emisiones de CO<sub>2</sub> se están evitando al año. Los ingenieros de producción aseguran, según las mediciones que el consumo

de energía térmica se han reducido cerca de 600 MJ por tonelada producida, además se ha confirmado una reducción de 200 kg CO<sub>2</sub> por tonelada producida.

En la tabla 7 se resumen los datos tenidos en cuenta para la evaluación de la reducción de emisiones del proyecto.

**Tabla 7.** Indicadores de monitoreo caso de estudio.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost	Diferencia
<b>Energía térmica</b>	GJ/ton cemento	3.600	3.000	600
<b>Energía eléctrica</b>	kWh/ton cemento	100	100	0
<b>Emisiones GEI</b>	Kg CO <sub>2</sub> /ton cemento	1.200	1.000	200

Para evaluar las reducciones anuales, se multiplica el valor obtenido de la diferencia de la tabla 9 por la producción anual. En este caso, 5.000 toneladas por día multiplicado por 250 días de trabajo son equivalentes a 1.250.000 toneladas al año. En la tabla 8 se muestra que hay un ahorro de 750 millones de GJ al año y con este proyecto se evita la emisión de 250.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Los ahorros económicos que genera el proyecto son de 2,5 MMUSD, con lo cual el periodo de retorno simple de 4 años.

**Tabla 8.** Indicadores de mejora caso de estudio.

Indicador	Unidad	Diferencia x producción anual
Reducción del consumo de energía térmica	GJ/año	$600 \times 1.250.000 = 750.000.000$
Reducción del consumo de energía eléctrica	kWh/año	$0 \times 1.250.000 = 0$
Reducción de emisiones de GEI	Kg CO <sub>2</sub> /año	$200 \times 1.250.000 = 250.000.000$



### Criterios de elegibilidad

Aplicación de criterios de elegibilidad: el proyecto es elegible ya que cumple con los criterios sugeridos para una línea de financiamiento verde.



Reducción del consumo de energía térmica (combustible) del 16,7%.



Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del 16,7%.



Un periodo de retorno simple de la inversión de 4 años.



# Referencias

- > Columbia Climate Center. Mitigating Emissions From Cement.  
<http://climate.columbia.edu/files/2012/04/GNCS-Cement-Factsheet.pdf>
- > Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making.  
[https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/ENERGY%20STAR%20Guide%20for%20the%20Cement%20Industry%2027\\_08\\_2013\\_Rev%20js%20reformat%2011192014.pdf](https://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/ENERGY%20STAR%20Guide%20for%20the%20Cement%20Industry%2027_08_2013_Rev%20js%20reformat%2011192014.pdf)
- > Informe estadístico Cemento 2013, FICEM.  
[www.ficem.org](http://www.ficem.org)
- > International Energy Agency. Cement Thecnology Roadmap 2010.  
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cement.pdf>
- > IFC. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad. Fabricación de Cemento y Cal.  
[www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1d26700488559ba83f4d36a6515bb18/Cement%2B-%2BSpanish%2B-%2BFinal%2Brev%2Bcc.pdf?MOD=AJPERES](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1d26700488559ba83f4d36a6515bb18/Cement%2B-%2BSpanish%2B-%2BFinal%2Brev%2Bcc.pdf?MOD=AJPERES)



- IFC Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines. Environmental Energy Conservation.  
[http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/ifc+sustainability/our+approach/risk+management/ehsguidelines](http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/ifc+sustainability/our+approach/risk+management/ehsguidelines)
- JRC Cientific and Technical Reports. Energy Efficiency and CO2 Emissions: Prospective Scenarios for the Cement Industry.  
[http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC59826/reqno\\_jrc59826\\_as\\_published\\_jrc2010energy\\_efficiency\\_and\\_co2\\_emissions\\_prospective\\_scenarios\\_for\\_the\\_ce%5b1%5d.pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC59826/reqno_jrc59826_as_published_jrc2010energy_efficiency_and_co2_emissions_prospective_scenarios_for_the_ce%5b1%5d.pdf)

# Manual para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética

---

**Editor:** CAF

**Dirección Corporativa de Ambiente y Cambio Climático (DACC)**

Ligia Castro de Doens, directora corporativa

**Dirección Sectores Productivo y Financiero Región Norte (VSPF)**

Mauricio Salazar, director

---

**Autor:**

MGM International

---

**Coordinación y edición general**

Camilo Rojas (DACC)

Jaily Gómez (VSPF)

René Gómez García (DACC)

---

**Diseño Gráfico y Diagramación:**

Tundra Taller Creativo | tundra.pe

---

**Fotos:**

Pixabay.com

Shutterstock

---