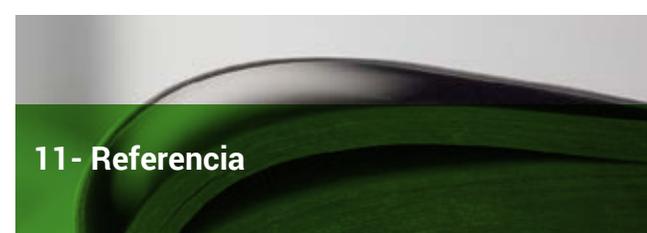
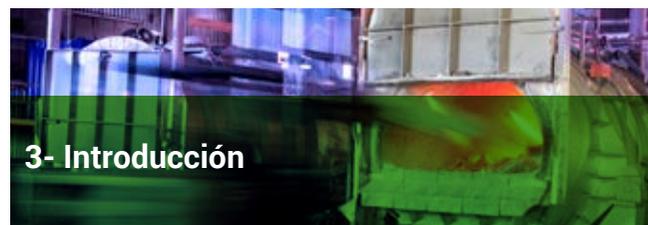
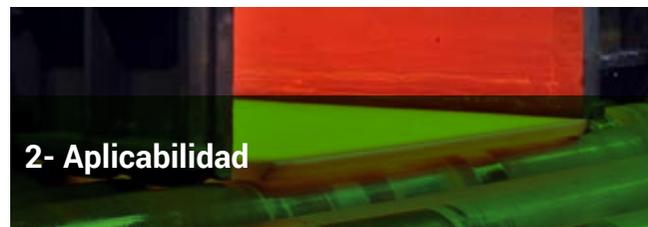


The background image shows a large industrial furnace in a factory setting. The furnace is a large, cylindrical structure with a circular opening at the bottom. Inside the furnace, there is a bright, glowing orange and yellow light, indicating high temperatures. The furnace is supported by a metal frame. The overall scene is dimly lit, with the primary light source being the furnace's interior. The text is overlaid on the right side of the image.

Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética

Tipo de Proyecto

Hornos de Alta Eficiencia





Glosario

Autoclave: recipiente metálico de paredes gruesas con un cierre hermético que permite trabajar a alta presión para realizar una reacción industrial, una cocción o una esterilización con vapor de agua.

Biomasa: energía procedente del aprovechamiento de la materia orgánica generada en algún proceso biológico. 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.

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.

Dióxido de carbono (CO₂): es el principal gas de efecto invernadero, emitido principalmente a través del uso del transporte, 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.

Factor de emisión: promedio de un gran número de mediciones de emisiones de contaminantes atmosféricos que son representativas de un tipo de fuentes de emisión, por ejemplo, el factor de emisión del Sistema Interconectado Eléctrico de Colombia es 0,37 kg de CO₂ /kWh (EIA, 2012); esto quiere decir que por cada 100 kWh consumidos se emiten 37 kg de CO₂.



Glosario

Gases de efecto invernadero (GEI): los gases de efecto invernadero son la principal causa del calentamiento global. La mayoría de estos gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), los óxidos nitrosos (NO_x), entre otros, son liberados a la atmósfera por la actividad humana.

Inquemados: pérdidas que representan la energía calorífica no liberada como consecuencia de no haber logrado oxidar todo el carbono del combustible.

kWh: El kilovatio-hora, equivalente a mil vatios-hora, es una unidad utilizada para medir la energía consumida o utilizada en determinado tiempo. Para el caso de esta guía, se hace la diferenciación entre kWh_e y kWh_t para expresar la energía eléctrica y térmica consumida respectivamente.

Período 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 periodo de retorno simple de una inversión de 300 USD que obtuvo ahorros anuales de 100 USD es 3 años.

Poder Calorífico: cantidad de energía por unidad de masa o volumen de combustible que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. Se diferencia en Poder Calorífico Superior (PCS) y Poder Calorífico Inferior (PCI), el primero considera que el agua que se forma en la combustión sale líquida, y en el segundo, se considera que sale como vapor. Teniendo en cuenta que la condición real de la mayoría de equipos de combustión es la segunda, en esta guía se considerará el PCI.

Valor Exante: valor medido antes del cambio tecnológico en proyectos de eficiencia energética.

Valor Expost: valor medido después del cambio tecnológico en proyectos de eficiencia energética.

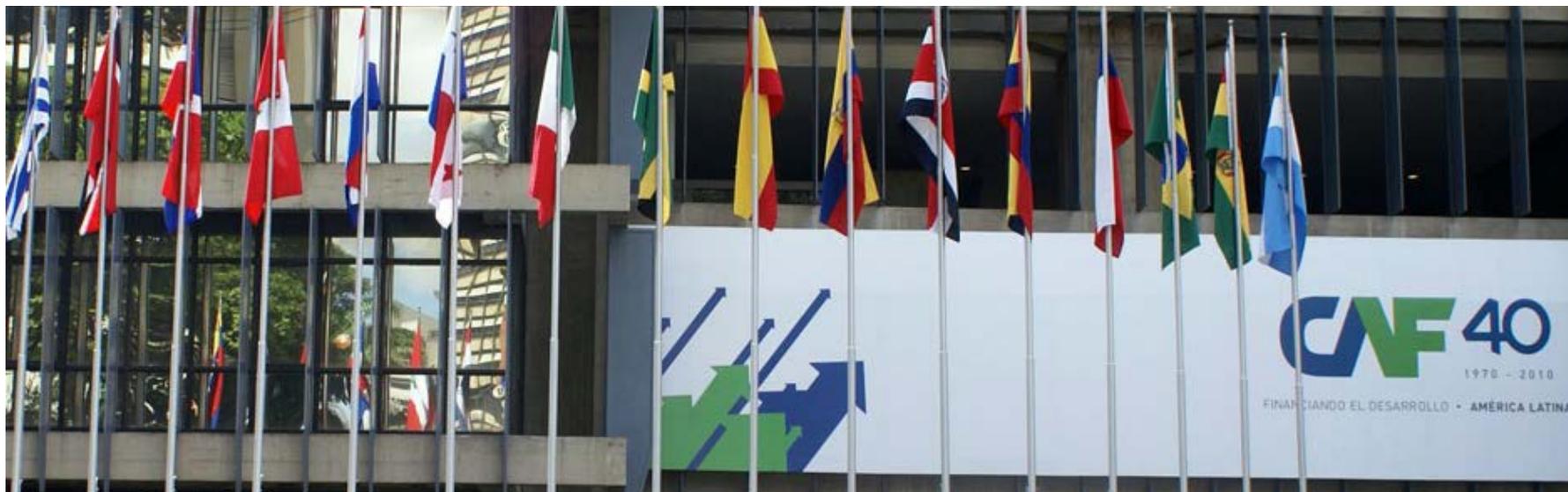
Tabla de conversiones

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	3,6e-9	3.412,14
Jules	0,000000278	1	1e-9	1e-15	0,0009478
GigaJules	277,7	1e+9	1	1e-6	947817
PetaJules	2,77e+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) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF), cuyo objetivo es fomentar una mayor inversión de empresas Latinoamericanas en NV y EE. Para lograrlo contarán con financiamiento de CAF a través de las líneas de crédito que mantiene con IF's, asistencia técnica y fortalecimiento de mercados en NV y de EE.

En este contexto, esta guía dirigida a las Instituciones Financieras, tiene

como objetivo fortalecer los programas ambientales y sociales de las IF's y mejorar sus capacidades, las de sus clientes y las de sus recursos de outsourcing; para identificar, evaluar y financiar proyectos de EE; asimismo, gestionar los riesgos ambientales y sociales asociados con la financiación este tipo de proyectos.

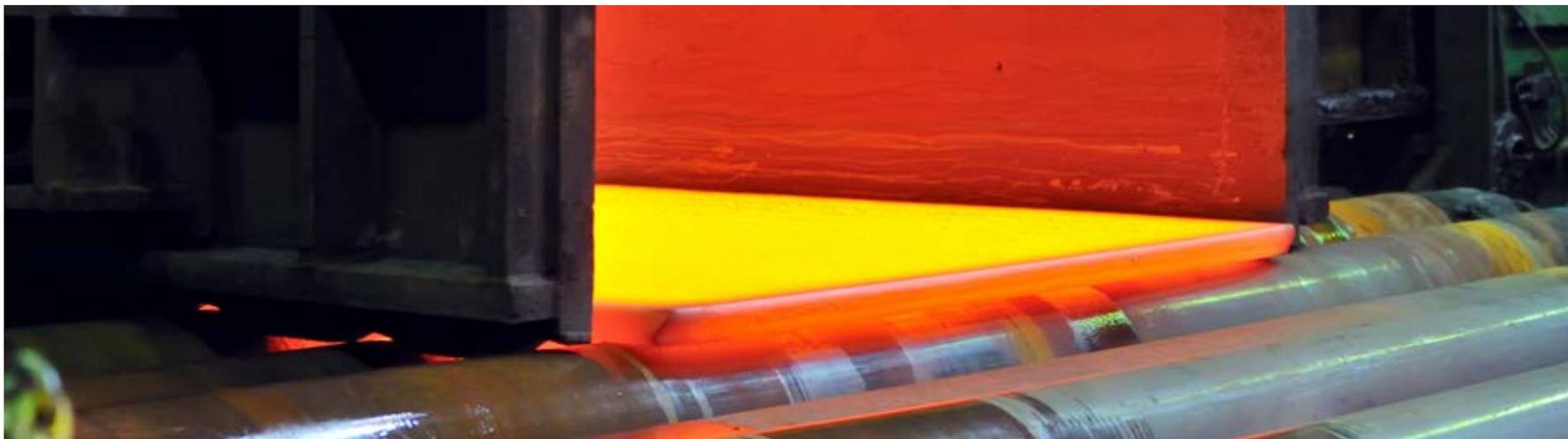
Incluye aspectos técnicos y de inversión, criterios de elegibilidad de proyectos para ser financiados por las IF's, y los mecanismos de monitoreo, reporte y verificación de los beneficios ambientales generados por las inversiones realizadas.

Esta guía es parte de un conjunto de documentos que comprende los sectores y tecnologías con mayor potencial de fomentar las 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) de acuerdo con el tipo de proyecto y el sector.

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

Manuales Por Sector											
Guías Por Tipo De Proyecto	Alimentos y bebidas	Textiles	Cemento	Pulpa y papel	Siderurgia y metal mecánica	Agroindustria	Hoteles y hospitales	Alumbrado público	Grandes superficies	Transporte	
	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 elaboró la guía para el desarrollo de proyectos de hornos de alta eficiencia, que es aplicable a los sectores de cemento y siderurgia y metalmeccánica.



2. Aplicabilidad

Esta guía presenta los aspectos técnicos, financieros y ambientales relacionados con el desarrollo de proyectos de inversión en proyectos de hornos de alta eficiencia, y los beneficios de su implementación con las tecnologías de eficiencia energética que hay en el mercado.

Se especifican las características de las principales tecnologías que se usan en la actualidad para reducir el consumo energético y/o las emisiones de GEI, en los proyectos de hornos de alta eficiencia, indicando su aplicabilidad de acuerdo con el tipo de instalación. Así mismo, se establecen precios de inversión de referencia para determinar la rentabilidad aproximada de los proyectos, dependiendo del precio de energía del país donde se desarrolla el proyecto.

Sectores con mayor potencial para desarrollar proyectos de eficiencia energética en hornos de alta eficiencia



**Alimentos y
bebidas**



Cemento



**Siderurgia y
metal mecánica**



3. Introducción

Los hornos son tecnologías que están presentes en muchos sectores industriales y comerciales, desde sectores intensivos en el uso de energía como cemento, cerámica y siderurgia, hasta sectores de alimentos que cuentan con hornos para producción de galletas, pan u otros productos.

En la mayoría de los casos los hornos usan combustibles fósiles para su operación. Cuando se requiere una combustión limpia, como el caso de producción de alimentos, se usan combustibles gaseosos como gas natural cuando está disponible o Gas Licuado de Petróleo (GLP), que generan una combustión completa sin partículas y sin inquemados. Para otros hornos, como por ejemplo los hornos cementeros o siderúrgicos, se usa carbón como combustible u otros combustibles pesados dado el tipo de producto y los requerimientos de calor.

Es posible también encontrar en el mercado hornos eléctricos para procesos de calentamiento y secado, pero cada vez son menos usados dados los altos costos de energía eléctrica en toda la región. No obstante, en la producción de acero a partir de chatarra, la tecnología más común son los hornos de arco eléctrico para la fundición de chatarra.

En la tabla 2 se presenta un resumen de los diferentes sectores que usan hornos en sus procesos, los tipos de horno que normalmente usan y la aplicación que tiene en el proceso.

Tabla 2. Sectores industriales que usan hornos en sus procesos.

	Sector Industrial	Tipo de Horno	Proceso
	Cal y Cemento	Hornos rotatorios	Calcinación de caliza
	Cerámico	Hornos túnel	Cocción de materiales cerámicos.
	Siderúrgico	Altos hornos Horno de arco eléctrico	Reducción de mineral de hierro y producción de acero a partir de chatarra.
	Metalmecánico	Hornos eléctricos	Tratamientos térmicos
	Agroindustria	Hornos rotatorios	Secado de productos
	Alimentos	Hornos túnel	Producción de galletas

Como se puede observar en la tabla anterior, las tecnologías de hornos son diversas y se aplican en múltiples sectores, por ello resulta difícil establecer medidas de eficiencia energética que se aplicables a los hornos en general.

Figura 1. Horno túnel para la producción de ladrillo.¹



4. Descripción de la tecnología

La dificultad que existe para clasificar coherentemente los diversos tipos de hornos se aprecia al observar la gran variedad de productos y medios de calefacción, la amplia gama de temperaturas y caudales y la existencia de un gran número de equipos, fruto de la experiencia de una industria en particular, difíciles de englobar en un tipo general.

A continuación se hace una descripción básica de las diferentes tecnologías y sus aplicaciones, no es posible hablar de eficiencia en este tipo de equipos sino que se expresa su rendimiento mediante índices de consumo de energía por unidad de producto

4.1. Hornos tipo túnel.

Este tipo de horno se usa ampliamente en el sector cerámico, el sector de producción de ladrillo y en el sector de alimentos. Su característica básica

es que los productos viajan a través del horno, donde se hace mediante los quemadores, una curva de temperatura para lograr la calidad de producto final que se requiere.

En el caso de la cerámica, la temperatura que se alcanza es superior a 1.200°C, que permite lograr la vitrificación de las piezas, mientras en otras aplicaciones, como la producción de galletas, la temperatura que se alcanza es inferior a 250°C.

Este tipo de horno tiene una amplia aplicación dada su alta capacidad de producción, su flexibilidad para modificar su capacidad variando la velocidad del producto cuando atraviesa el horno y su alta eficiencia energética, que se mide con la relación entre el consumo de combustible y la producción. En la figura 1 se puede observar un horno tipo túnel para la producción de ladrillo.

¹Fuente: http://www.swindelldressler.com/tunnel_kilns.asp

4.2. Hornos rotatorios.

Los hornos rotatorios se usan principalmente para el secado y la calcinación de productos en diferentes sectores como la producción de cal y cemento y el secado de productos. Por sus características estos hornos tienen altos tiempos de residencia del producto dentro de los mismos, que se pueden alargar dependiendo de la longitud del horno y pueden variar su capacidad de producción cambiando la velocidad del giro.

En los procesos de calcinación como es la producción de Clinker, pueden alcanzar temperaturas superiores 1.400°C para lo cual están aislados con materiales refractarios, mientras que en las aplicaciones de secado, las temperaturas solo superan los 100°C pues el objetivo es la evaporación del agua del producto a presión atmosférica.

En la figura 2, se puede observar una figura de un horno rotatorio para la producción de cemento.

Figura 2. Horno rotatorio para la producción de cemento.²



² <http://www.rotarykilnchina.com/products/rotary-kiln>

³ Fuente: <http://www.amusingplanet.com/2015/10/the-historic-blast-furnace-at-port-of.html>

4.3 Altos hornos.

Un alto horno es un horno especial en el que tienen lugar la fusión de los minerales de hierro y la transformación química en un metal rico en hierro llamado arrabio. Está constituido por dos troncos en forma de cono unidos por sus bases mayores. Mide de 20 a 30 metros de alto y de 4 a 9 metros de diámetro; su capacidad de producción puede variar entre 500 y 1.500 toneladas diarias.

Generalmente usan como combustible carbón de coque. Este carbón se obtiene por destilación del carbón de hulla y tiene alto poder calorífico. El carbón de coque, además de actuar como combustible, provoca la reducción del mineral de hierro, es decir, provoca que el metal hierro se separe del oxígeno.

Figura 3. Alto horno para la producción de hierro.³



4.4. Hornos rotatorios.

El calentamiento de materiales por arco eléctrico se realiza básicamente por el paso de la corriente eléctrica entre dos electrodos uno de los cuales puede ser la propia carga ingresada al horno. Los campos principales de aplicación industrial del calentamiento por arco son los hornos de fusión de metales y los hornos de reducción de minerales.

En los hornos de arco de fusión se coloca la carga en el interior de la cuba y se establece el arco entre los electrodos o entre los electrodos y la carga. Puede disponerse un solo electrodo (hornos de corriente continua), dos electrodos dispuestos horizontalmente (calentamiento indirecto por radiación del arco al interior de la cuba) o tres electrodos (hornos de corriente alterna).

En los hornos de arco de reducción, utilizados en la fabricación de ferroaleaciones, carburo de calcio, silicio metálico, etc., los electrodos están sumergidos en el baño de material fundido y el calentamiento se realiza realmente por resistencia directa del material, aunque pueden producirse pequeños arcos entre los electrodos y la superficie de la carga o incluso dentro de la carga.

Figura 4. Horno de arco eléctrico.⁴



⁴Fuente: <http://www.infonor.com.mx/index.php/centro/8-centro/70673-produjo-ahmsa-446-millones-de-toneladas-de-acero-en-2015>

⁵Fuente: <https://www.emaze.com/@AOTTFWOQ/PROSESOS-DE-MANUFACTURA>

4.5. Hornos de fusión.

Los hornos de fusión de metales u otros materiales como vidrio o cerámica, son hornos que operan a altas temperaturas y por tanto requieren de un diseño especial para poder soportar las condiciones de operación. Las altas temperaturas pueden conseguirse mediante la combustión y la utilización de plasma, normalmente tienen altas pérdidas de energía debido a las temperaturas de salidas de los gases y a las pérdidas por radiación en las áreas que no tienen refractario.

En este tipo de hornos se intenta aprovechar el calor residual para ser utilizado en otros procesos térmicos que requieran menor temperatura, como por ejemplo secado de materiales o precalentamiento de productos.

Figura 5. Hornos de fundición de vidrio.⁵





5. Descripción del proyecto

A continuación se presentan las principales oportunidades para desarrollar proyectos de eficiencia energética que se pueden desarrollar en los hornos, teniendo en cuenta sus condiciones de operación y el proceso industrial en el cual se encuentran enmarcados.

5.1. Optimización de los procesos de combustión.

Teniendo en cuenta que muchos hornos operan utilizando combustibles fósiles, la optimización de los procesos de combustión resulta el primer paso para la optimización energética de estos equipos. Optimizar un proceso de combustión consiste básicamente en:



Mantener la relación aire/combustible en los niveles óptimos.



Reducir la generación de monóxido de carbono (CO) en los productos de combustión.



Reducir el flujo de gases de combustión a los niveles óptimos para minimizar las pérdidas de calor en el proceso.

Para establecer la eficiencia de combustión basta con hacer una medición de tres parámetros fundamentales, el contenido de oxígeno (O₂) en los gases de combustión, la temperatura de salida de los gases del horno y el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases de combustión. Estos parámetros se pueden medir mediante el uso de un analizador de gases de combustión, equipo que toma una muestra del flujo de gases saliendo del horno y mediante celdas electroquímicas determina la composición de los gases.

Por regla general, el contenido de O₂ en los gases debe mantenerse tan bajo como sea posible, garantizando que no se genera una combustión incompleta cuyo síntoma es el contenido de CO en los gases, así mismo, debe buscarse en todo momento que la temperatura de gases de salida del horno sea tan baja como sea posible.

5.2. Combustión con oxígeno o aire enriquecido.

El aire junto con el combustible son los dos componentes principales del proceso de combustión en los hornos, el aire es una mezcla de oxígeno (O₂) y nitrógeno (N₂) en una proporción 79% N₂ y 21% O₂, por tanto cuando se usa una unidad de volumen de aire en la combustión, entran 3,76 unidades de nitrógeno (79/21). El nitrógeno es un gas inerte en la combustión, es decir, no reacciona en el proceso de combustión, y por tanto no aporta ninguna energía en el proceso. Sin embargo, al salir mezclado con los gases de combustión se lleva consigo una parte importante del calor liberado por el combustible.



Por lo anterior y para evitar esta pérdida de energía, en muchos hornos que operan a altas temperaturas es común realizar la combustión con oxígeno puro o con aire enriquecido, de esta forma se reduce el flujo de gases que sale del horno hasta en un 70%, reduciendo significativamente las pérdidas de energía.

Aumentando el porcentaje de oxígeno en el aire a partir de su 21% inicial se incrementa significativamente la temperatura de la llama alcanzada con cualquier combustible. Por ejemplo, el gas natural quemado en una mezcla con aire alcanza una temperatura de 1.938°C, mientras que si se quema en un ambiente con un 23% de O_2 (aire enriquecido) llega a los 2.004°C (siendo la diferencia en porcentaje de oxígeno de solo 2%).

Cuanto mayores sean las temperaturas de la llama en el horno, mejor será la transferencia térmica al producto y por tanto menor será el consumo de combustible.

Teniendo en cuenta el costo de producción del oxígeno, es necesario hacer un balance entre el combustible ahorrado y el costo de hacer la combustión con oxígeno o aire enriquecido, normalmente esta aplicación solo es rentable en hornos de alta temperatura y que operan con combustibles caros.

5.3. Recuperación de calor y cogeneración de energía.

Las temperaturas de salida de gases en los hornos o la composición de los mismos, permiten en muchos casos el desarrollo de proyectos de recuperación de calor ya sea para el mismo horno o para otros procesos cercanos que requieran calor de baja temperatura. Las aplicaciones más importantes de la recuperación de calor son las siguientes:

Pre calentamiento del aire de combustión del horno. Por cada 50°C que se incremente la temperatura del aire de combustión, se logra un ahorro del 3% del combustible.

- Pre calentamiento del producto antes del entrar al horno.
- Secado del producto antes de entrar al horno como en el caso de la cerámica o la producción de ladrillo.
- Secado de otros productos en el proceso.

En algunos casos, los gases que salen del horno salen a una temperatura tal que permiten el aprovechamiento energético para la producción de energía eléctrica, en este caso se habla de proyectos de cogeneración de energía (se produce energía térmica y energía eléctrica a partir del mismo proceso).

Es el caso de la cogeneración en la industria de cemento, en donde es posible producir cerca del 30% del consumo de energía eléctrica de la planta mejorando en un 10% la eficiencia del proceso mediante la recuperación

de calor para la producción de electricidad. Es posible producir entre 8 y 22 kWh/ton Clinker con inversiones entre 10 y 12 MMUSD en una planta típica⁶

En otros casos, los gases que salen del proceso tienen una composición que permite su aprovechamiento energético en procesos de combustión. Por ejemplo, en los altos hornos, se produce una corriente de gases residuales con alto contenido de monóxido de carbono (CO) y un poder calorífico de 8 MJ/m³ aproximadamente, el cual puede ser usado como combustible en procesos de calentamiento o en procesos de generación de energía eléctrica.

5.4. Aislamiento térmico.

Para los hornos que operan a altas temperaturas (hornos de fusión de vidrio, hornos cementeros y altos hornos), es fundamental mantener las pérdidas de calor tan bajas como sea posible desde el punto de vista técnico y económico. Para ello es necesario instalar y mantener, en buenas condiciones, refractarios en las paredes de los hornos con el fin de mantener la inercia térmica del equipo (cantidad de calor almacenado en las paredes), además de un aislamiento térmico de alta eficiencia que genere una gran diferencia de temperatura entre la temperatura de la pared interna y la temperatura de pared externa.

La pérdida de energía térmica por paredes es proporcional al área del horno y a la diferencia de temperatura entre la pared y la temperatura ambiente, con lo cual, mantener la temperatura de la pared externa tan cercana como sea posible a la temperatura ambiente minimiza las pérdidas de calor de la instalación.

Para los hornos que operan a bajas temperaturas (menores a 250°C), las pérdidas de calor se pueden reducir mediante la instalación de aislamientos térmicos comerciales como lana mineral.

5.5. Cambio de tecnología de hornos.

5.5.1. Cambio de hornos periódicos a hornos continuos.

Algunas industrias aun usan hornos periódicos para algunos procesos de tratamientos térmicos en piezas y productos especiales.

En lo posible, este tipo de hornos deben ser sustituidos por hornos continuos dado que la parada permanente del horno incrementa las pérdidas de energía de calentamiento y enfriamiento, haciendo que el consumo específico de combustible o electricidad por unidad de producto sea hasta un 50% mayor que el de los hornos continuos.

La posibilidad del cambio dependerá que el producto permita un tratamiento térmico en continuo y que los niveles de producción permitan la alimentación continua del horno y este no opere sin carga por grandes periodos de tiempo.

5.5.2. Cambio de hornos eléctricos a hornos a gas.

Los hornos eléctricos son una tecnología que permiten un alto control de temperatura en el tratamiento de los productos, sin embargo, el precio de la energía eléctrica entre un 100 y 200% más alto que la energía del gas natural o el GLP dependiendo del país donde se haga el análisis. Por esto, se recomienda que cuando sea posible se sustituyan los hornos eléctricos por hornos que operen con gas natural o GLP, reduciendo de esta manera en más de un 50%, los costos de operación de los equipos. Las nuevas tecnologías de control permiten que los quemadores de gas operen en condiciones estables garantizando la temperatura requerida por el producto.

⁶Fuente: JRC Cientific and Technical Reports. *Energy Efficiency and CO₂ Emissions: Prospective Scenarios for the Cement Industry.*

6. Requerimiento de inversión

Los requerimientos de inversión en las diferentes opciones de eficiencia energética descritas arriba son diversos y dependen del tipo de horno, su capacidad de producción y el tipo de energético que usan. A continuación se presentan valores indicativos de inversión y ahorros que deben ser confirmados a la hora de definir la inversión en los proyectos.

Tabla 3. Inversiones indicativas en proyectos de eficiencia energética en hornos

Proyecto	Descripción	Inversión Aprox. USD	Potencial de Ahorro energético (%)	Periodo de retorno simple (Años)
Control y optimización de la combustión.	Instalación de sistemas electrónicos y de monitoreo de para regular la relación AireW/Combustible y mantener la eficiencia de la combustión.	100.000 a 1.000.000 dependiendo tipo y tamaño del horno.	20 a 30% del consumo de combustible.	2 a 5 años dependiendo del precio de los energéticos.
Oxycombustión.	Uso de oxígeno o aire enriquecido en los procesos de combustión en hornos que operan al alta temperatura.	1.000.000 a 5.000.000 dependiendo del tipo y tamaño del horno.	30 a 40% del consumo de combustible.	4 a 6 años dependiendo del precio del oxígeno y el precio del combustible.
Recuperación de calor y cogeneración de energía.	Recuperación de calor para usar en el mismo horno, en el proceso de producción o para la generación de energía eléctrica.	500.000 a 10.000.000 dependiendo del tipo de industria y la aplicación del calor.	15 a 30 % de la energía consumida	1 a 5 años dependiendo del precio de los combustibles y de la energía eléctrica.
Aislamientos térmicos de alta eficiencia.	Instalar o reemplazar aislamientos térmicos por materiales de alta eficiencia.	100.000 a 3.000.000 dependiendo del tipo de horno.	10 a 20% de la energía consumida en el horno.	3 a 6 años dependiendo de la temperatura a la cual operan los hornos y los precios de los combustibles.
Cambio de tecnología de hornos.	Reemplazo de hornos periódicos y eléctricos por hornos continuos y hornos que operen con combustible.	100.000 a 2.000.000 dependiendo del tipo de horno que se sustituya y la capacidad de producción.	30 a 50 % del consumo y el costo del combustible.	2 a 5 años dependiendo de los precios de los combustibles y de la energía eléctrica.

7. Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales

En la siguiente tabla se resumen los potenciales riesgos técnicos, ambientales y sociales de un proyecto de cogeneración y su estrategia de mitigación.

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

	Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
	Cumplimiento de normas ambientales.	Ambiental	Verificar que los hornos cuenten con los sistemas de control, tratamiento de gases y las certificaciones ambientales locales necesarias, para asegurarse de que cumplen con las regulaciones de emisiones locales.
	Cumplimiento de los requerimientos del proceso.	Técnico	Verificar que la selección del horno y las inversiones que se hagan mantengan las condiciones de operación del proceso sin afectar los niveles de producción y la calidad del producto final.
	Confiabilidad en la operación de las tecnologías.	Técnico	Seleccionar equipos de proveedores reconocidos, que estén diseñados para trabajar de manera continua en la condiciones de temperatura que requiere el proceso.
	Uso de materiales inflamables para la combustión.	Técnico	En el caso de usar oxígeno para la combustión instalar los sistemas de seguridad y control que permitan una operación segura de la instalación.
	Reducción de emisiones de GEI.	Ambiental	Verificar que el diseño del proyecto alcanza la máxima eficiencia operativa y logra la mayor reducción del consumo de combustibles, y en consecuencia la reducción de emisiones de GEI óptima.
	Disposición de residuos especiales y peligrosos.	Ambiental	Asegurarse de que los residuos que se generan durante la operación de los hornos, sean dispuestos de manera adecuada por la empresa o sean entregados a un gestor de residuos que cuente con los permisos y autorizaciones para hacer la disposición final de los mismos.
	Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.	Técnico/Financiero	Verificar que el diseño del proyecto es correcto y que se usan tecnologías con certificación de EE.



8. Criterios de elegibilidad

Los proyectos de eficiencia energética en hornos tienen potenciales de reducción de consumo de energía entre el 10% y el 40% en condiciones normales de operación. Al ser sistemas que reducen el consumo de combustibles y energía eléctrica en la mayoría de los casos, los potenciales de reducción de emisiones de GEI dependerán de la reducción de la cada uno de los energéticos y de su factor de emisión. Sin embargo, en proyectos de sustitución de combustibles, la reducción en el consumo de energía porcentualmente no corresponde al porcentaje de reducción de emisiones.

Como criterio general de elegibilidad ambiental del proyecto, se recomienda que la reducción de emisiones de GEI sea mayor al 10% con respecto a la línea de base establecida.

Para proyectos nuevos, la elegibilidad se puede establecer teniendo en cuenta que si se hace una inversión de un nuevo proyecto con hornos de alta eficiencia en lugar de tener sistemas de tecnología tradicional, el ahorro de energía puede ser superior al 15% en condiciones normales de operación.

En la estructuración financiera de estos proyectos se debe considerar la posibilidad de otorgar periodos de gracia en caso de que los equipos sean importados; así mismo, el plazo del crédito debería ser mayor o igual al periodo de retorno simple de la inversión. Normalmente los proyectos de eficiencia energética en hornos tienen tiempos de retorno simple entre 3 y 6 años dependiendo del costo de la energía eléctrica del país donde se ejecute el proyecto.

Criterios de elegibilidad



Ahorro energético superior a **10%** con respecto a la situación actual (No aplicable para proyectos de sustitución de combustibles).



Reducción de emisiones de GEI superior a **10%** con respecto a la línea base



Periodo simple de retorno inferior a **6** años



9. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto

El monitoreo de un proyecto de inversión en hornos debe hacerse de manera continua. Se recomienda la instalación de medidores de consumo de combustible o de energía eléctrica con el fin de hacer seguimiento, monitoreo y control al indicador energía consumida por unidad de producto. Los indicadores que se pueden utilizar para el reporte son los que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Indicadores de monitoreo del proyecto.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Consumo de energía.	kWh/año		
Consumo de combustible.	Unidad/año		
Reducción de emisiones de GEI.	Ton CO ₂ /año		

Cuando el proyecto de hornos de alta eficiencia está desplazando el consumo de combustibles tradicionales, se pueden usar indicadores de consumo, no en términos energéticos (p. ej. kWh/año), sino en términos de volumen o masa (p. ej. galones/año, m³/año, etc.).

Para el cálculo de las emisiones de GEI, debe tenerse en cuenta su factor de emisión de acuerdo al combustible utilizado y la fuente de la energía eléctrica que se usa en el proceso, estos se puede obtener a partir del IPCC o de la EIA o del proveedor del combustible en algunos casos.

El valor de la reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta las emisiones generadas por el consumo de combustible y energía eléctrica antes y después del proyecto. Si el resultado final es positivo, quiere decir que las emisiones del proyecto son menores que las emisiones que se generaban antes de su ejecución.



10. Caso de estudio

Una empresa cerámica pretende desarrollar un proyecto de sustitución de un horno de producción por lotes a un horno de producción tipo túnel de operación continua. De acuerdo con las mediciones de la empresa, el consumo específico de combustible en el horno actual es de 0,3 m³ de gas natural por cada kilogramo de producto cerámico que es tratado en el horno y la producción anual es de 10.000 toneladas de producto. Se pretende instalar un horno túnel de alta eficiencia que puede tener un consumo específico de combustible de 0,2 m³ de gas natural por kilogramo de producto. De esta forma, el ahorro de gas natural que genera el cambio de horno es de 2.100.000 m³ de gas natural por año.

El precio del gas natural es de 0,6 USD/m³ y el factor de emisión de este combustible es 1,8 kg de CO₂/m³. La inversión en el nuevo horno se estima en 2,5 MMUSD.

Los indicadores del proyecto se resumen en la tabla 6. El consumo de combustible se reduce en un 30% al pasar de 0,3 a 0,21 m³ por kilogramo de producto que se trata en el horno, de igual forma, las emisiones de CO₂ se reducen en la misma proporción (30%) teniendo en cuenta el factor de emisión.

Tabla 6. Indicadores de monitoreo del proyecto.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Consumo de energía.	kWh/año	NA	NA
Consumo de combustible.	m ³ /año	3.000.0000	2.100.000
Reducción de emisiones de GEI.	Ton CO ₂ /año	5.400	1.620

Para este proyecto se puede observar que se alcanzan ahorros anuales de 540.000 USD por el horno reemplazado, el retorno simple de la inversión es de 4,6 años y se pueden reducir las emisiones anuales de la empresa 1.620 toneladas de CO₂, lo cual hace al proyecto viable desde el punto de vista financiero y ambiental.

Beneficios del proyecto y elegibilidad para ser financiado por líneas verdes:

El proyecto genera ingresos de
2,16 USD
por cada dólar invertido en un periodo de 10 años.

Ahorros económicos del **30%.**

Reducción en el consumo de combustibles del **30%**
con respecto a la situación actual.

Reducción de emisiones del **30%**
con respecto a la situación actual.

Periodo de retorno de la inversión inferior a **6 años**



11. Referencias

- > Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U.S. Iron and Steel Industry. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers.
- > Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making. Columbia Climate Center. Mitigating Emissions From Cement.
- > Sacmi. Energy reduction for kilns used in sanitaryware production.
- > IFC. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad. Fabricación de Cemento y Cal.
- > IFC Environmental, Health, and Safety (EHS) Guidelines. Environmental Energy Conservation.
- > International Energy Agency. Cement Technology Roadmap 2010.
- > Industrial Technology Database.
<http://ietd.iipnetwork.org/content/iron-and-steel>
- > JRC Cientific and Technical Reports. Energy Efficiency and CO₂ Emissions: Prospective Scenarios for the Cement Industry.
- > JCR Scientific and Technical Report. Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan).

Guía 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
