



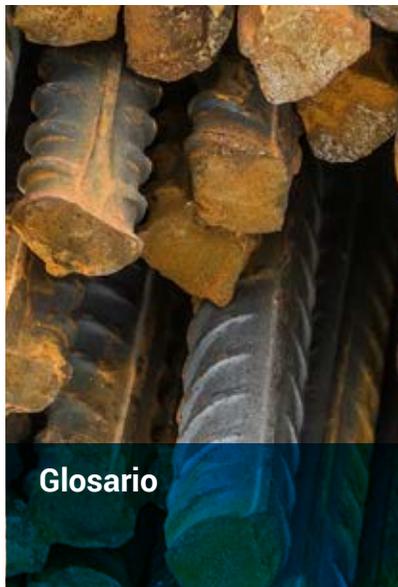
Manual para la Evaluación de Proyectos de Eficiencia Energética para el Sector de Siderurgia y Metalmecánica

Dirigido a

Cientes de Instituciones Financieras



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA





Glosario

BF (Blast Furnace): alto horno (por sus siglas en inglés)

BOF (Basic Oxygen Furnace): convertidores básicos de oxígeno (por sus siglas en inglés).

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.

COG (Coke Oven Gas): gas del horno de coque (por sus siglas en inglés).

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

Dióxido de carbono (CO₂): 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.

EJ: Exajoule.

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.

EAF (Electric Arc Furnace): hornos de arco eléctrico (por sus siglas en inglés).

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 (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos nitrosos (NO_x), entre otros, son liberados a la atmósfera por la actividad humana.

Inversiones en producción más limpia: inversiones que pueden demostrar un beneficio ambiental para disminuir la contaminación del aire, el suelo y/o el agua.



kW: es una unidad de medida más común de la potencia eléctrica (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.

Leadership in Energy & Environmental Design (LEED): sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council). Este sistema es utilizado ampliamente en Estados Unidos y de manera parcial en algunos mercados de Latinoamérica.

Línea de base: situación energética y ambiental actual sin ninguna mejora implementada.

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.

Nm³ (normal metro cubico): unidad utilizada para medir el volumen en operaciones de la industria siderúrgica.

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.

Sinterización: el tratamiento térmico de un polvo o compactado metálico a una temperatura inferior a la de fusión de la mezcla, para aumentar la resistencia mecánica de la pieza.

Valor ex ante: valor de una variable medida antes de desarrollar los proyectos de eficiencia energética y energías renovables.

Valor expost: valor de una variable medida después de desarrollar los proyectos de eficiencia energética y energías renovables.

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 elaboró la guía para el desarrollo de proyectos de cogeneración de energía, motores de alta eficiencia y hornos de alta eficiencia, que es aplicable al sector de Siderurgia y Metalmeccánica.



2. Aplicabilidad del manual

El manual de eficiencia energética para el sector de siderurgia y metalmecánica para clientes de las IF's, incluye información relevante relacionada con los consumos energéticos y el potencial de eficiencia energética de proyectos que pueden presentar beneficios económicos y ambientales para los diferentes procesos y operaciones del sector. Se debe considerar que los valores presentados en este manual son indicativos, puesto que las diferentes instalaciones pueden variar en su configuración y tamaño, la ubicación geográfica, las características de operación y otros factores.

Los consumos de energía eléctrica y térmica 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 financiadas 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 financiados en el sector, pero sí los más comunes que requieren de financiación.





3. Caracterización energética del proceso

La industria del hierro y el acero es uno de los mayores emisores industriales de CO₂, representando entre el 4 y el 7% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial. En los últimos 40 años ha habido una reducción del 50% en el consumo de energía en la industria a nivel mundial. Esto se debe principalmente al mayor uso de hierro chatarra reciclado, pasando de una participación del 20% en la década de 1970 a alrededor del 40% en la actualidad, mientras que la fabricación de hierro a partir del mineral de hierro ha disminuido. Sin embargo, un cambio completo hacia el reciclaje está limitado por la disponibilidad y calidad de la chatarra.¹

Hay dos rutas principales para producir acero. La ruta integrada se basa en la producción de hierro a partir de mineral de hierro, mientras que la ruta de reciclado utiliza la chatarra como materia prima principal de hierro en los EAFs (hornos de arco eléctrico). En ambos casos, la energía consumida proviene del combustible (principalmente carbón y coque, carbón siderúrgico) y electricidad. La ruta de reciclaje consume mucha menos energía (alrededor del 80%) que la ruta integrada.

¹ European Commission. SETIS. Strategic Energy Technologies Information System.

La ruta integrada, que se utiliza en alrededor del 60% de la producción a nivel mundial, se basa en el uso de hornos de coque, plantas sinterizadas, altos hornos (BF) y convertidores básicos de oxígeno (BOF). Los combustibles utilizados son explotados en primer lugar por su potencial de reacción química (durante el cual se convierten en gases de proceso) y luego por su potencial energético, captando, limpiando y quemando estos gases de proceso en procesos de producción, generando calor y electricidad. Sin embargo, el aumento de la eficiencia energética que viene con la reutilización de los gases

de proceso en sistemas de cogeneración, no reduce el consumo de energía global en términos de los combustibles primarios utilizados para las reacciones químicas.

En la siguiente tabla se presentan los indicadores energéticos del proceso de producción de acuerdo con las mejores prácticas del sector, los valores están expresados en GJ/ton de acero. La energía eléctrica se expresa también en GJ para hacer comparables los índices de consumo de energía en la producción.

Tabla 3. Índices de consumo energético del proceso de producción dependiendo del tipo en GJ/ton de producto.²

Etapa de producción	Proceso	Alto Horno	Fundición	Reducción directa en horno eléctrico	Fundición a partir de chatarra
Preparación del material.	Sinterización.	1,9		1,9	
	Peletizado.		0,6	0,6	
	Cooking.	0,8			
Producción de hierro.	Alto horno.	12,2			
	Producción de colada.		17,3		
	Reducción.			11,7	
Producción de acero.	Horno de oxígeno.	-0,4	-0,4	-0,4	
	Horno de arco.			2,5	2,4
	Refinación.	0,1	0,1		

² Fuente: *Industrial Efficiency Database*.



Continuación Tabla 3. Índices de consumo energético del proceso de producción dependiendo del tipo en GJ/ton de producto.²

Etapa de producción	Proceso	Alto Horno	Fundición	Reducción directa en horno eléctrico	Fundición a partir de chatarra
Fundición y laminación.	Fundición continua.	0,1	0,1	0,1	0,1
	Laminación en caliente.	1,8	1,8	1,8	1,8
Subtotal.		16,5	19,5	18,2	4,3
Laminación en frío y terminado.	Laminación en frío.	0,4	0,4		
	Terminado.	1,1	1,1		
Total		18	21	18,2	4,3

Como se puede observar en la tabla 3, la intensidad energética de la producción a partir de chatarra es sustancialmente menor que la producción a partir de mineral de hierro. Sin embargo, no hay suficiente chatarra disponible a nivel mundial para producir el acero que se requiere.

² Fuente: *Industrial Efficiency Database*

4. Proyectos de eficiencia energética con mayor potencial

En la figura 2 se presenta un diagrama del proceso de producción y las principales oportunidades de eficiencia energética que se pueden desarrollar en el sector.

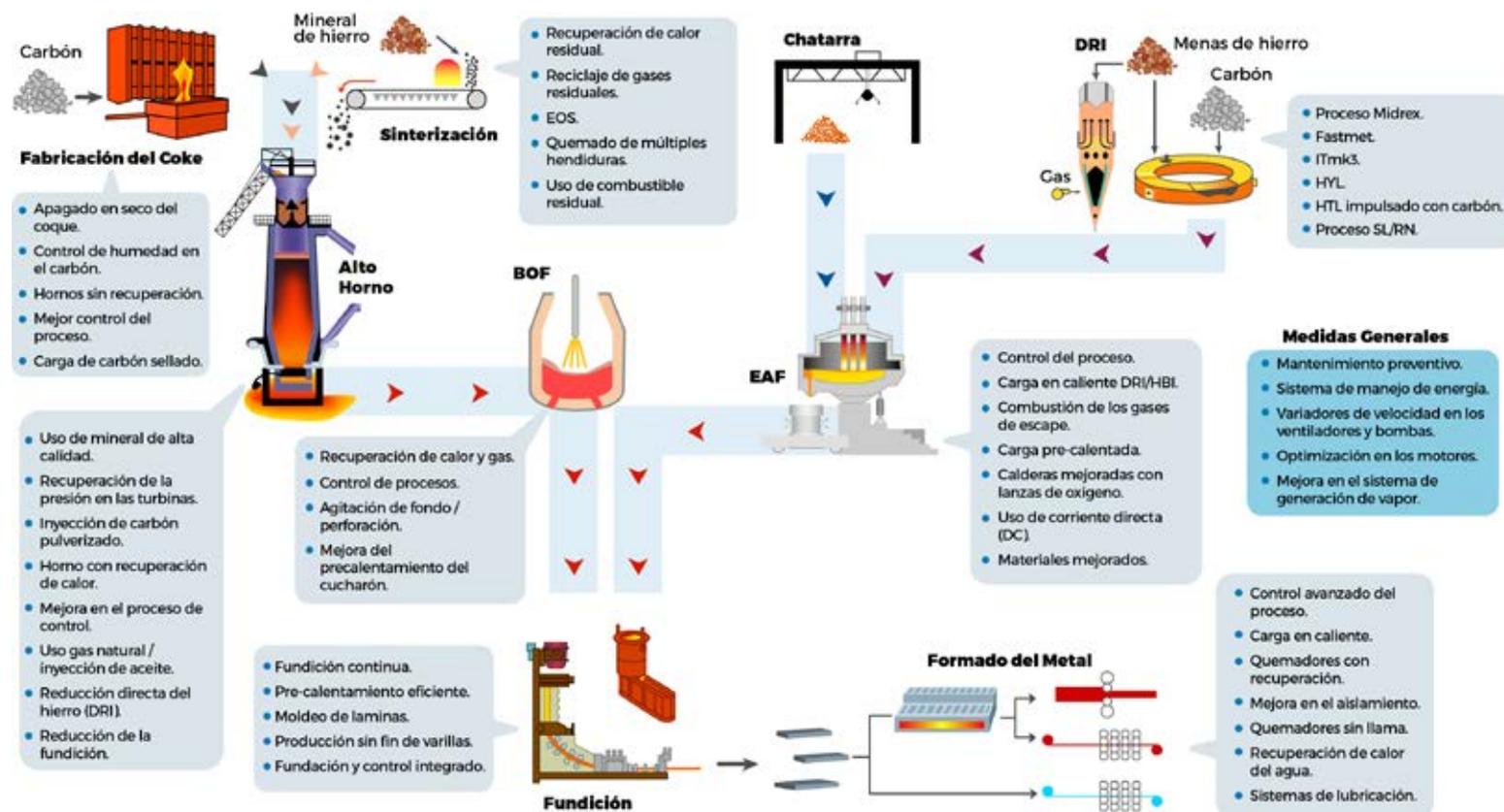


Figura 2. Principales oportunidades de eficiencia energética en el proceso de producción de hierro y acero.³

³ Fuente: Iron and Steel | Industrial Efficiency Technology & Measures

Las principales oportunidades de eficiencia energética se describen a continuación.

4.1. Producción de coque.

En los altos hornos modernos se necesitan de 460 a 480 kg de coque total/ton metal caliente, y el promedio global es de 500 kg/ton metal caliente. En los altos hornos modernos con inyección de combustible suplementaria, el consumo de coque puede ser inferior a 300 kg/ton de metal caliente.

El coque se produce calentando carbones de coque de 1.000 a 1.200°C durante varias horas en hornos de coque para expulsar los compuestos volátiles y la humedad. Por cada tonelada de coque se utilizan alrededor de 3,5 a 5,0 GJ de energía y alrededor de 1,6 toneladas de carbón coquizable. La producción de coque representa alrededor del 10% de la demanda de energía en una planta BF-BOF.

4.1.1. Secado en seco del coque.

Los hornos de coque más eficientes utilizan secado del coque en seco (CDQ, por sus siglas en el inglés) y pueden consumir hasta un 40% menos de energía. Se pueden recuperar aproximadamente 1,5 GJ de calor/ton coque (400 a 500 kg de vapor/ton coque a alta temperatura) y 0,55 GJ de electricidad/ton coque.

Para una planta con capacidad de coque de 450.000 ton/año se pueden producir 450 GWh/año de vapor y alrededor de 150 GWh/año de electricidad.

Los costos de inversión de capital son 109.5 USD/ton de coque. Se calcula que el costo de una planta de 3 cámaras oscila entre 60 y 70 MMUSD, incluidos los costos de equipo y de instalación. Dependiendo de los costos de electricidad, el tiempo de retorno puede ser de 3 años, si todo el vapor se utiliza para la generación de electricidad.

4.1.2. Aprovechamiento energético del gas de alto horno.

Es posible recuperar entre 6 y 8 GJ de energía térmica en el alto horno mediante el aprovechamiento del gas que se genera con contenido energético. Este gas se usa en diferentes equipos como las estufas de los altos hornos, en turbinas generadoras de energía eléctrica, hornos de recalentamiento de planchones, calderas para generar vapor, hornos de coquización, de peletización y sinterizado. La inversión requerida en el proyecto es entre 6 y 8 MMUSD y el tiempo de retorno de la inversión es entre 1 y 2 años dependiendo del precio de la energía eléctrica y del precio del gas que se use en planta de producción.



4.2. Planta de sinterización.

El propósito de la planta de sinterización es procesar materias primas de grano fino en un sinterizador de mineral de hierro de grano grueso, listo para ser cargado al alto horno. La sinterización de partículas finas en un clinker poroso es necesaria para mejorar la permeabilidad de la carga, haciendo la reducción más fácil. Un sinterizado de alta calidad tiene una alta capacidad de reducción, lo que reduce la intensidad de las operaciones de alto horno y reduce la demanda de coque.

En el proceso de sinterización se deposita una mezcla de diferentes minerales, materiales ferrosos de contención, tales como polvo de chimenea y finas partículas de coque en una gran rejilla móvil. El coque en la parte superior de la mezcla es encendido por quemadores de gas, que pueden ser alimentados por gas de horno de coque, gas de alto horno o gas natural. A medida que la rejilla se mueve, el aire es aspirado desde la parte superior a través de la mezcla, permitiendo la combustión de toda la capa y sinterización completa, donde se pueden alcanzar temperaturas entre 1.300 y 1.480 °C.



4.2.1. Recuperación de calor de desecho.

En una planta de sinterización, el calor sensible se puede recuperar tanto de los gases de escape de la máquina de sinterización como del aire del enfriador de sinterizado. La recuperación del calor puede estar en diferentes formas: las corrientes de aire caliente tanto de la máquina de sinterización como del enfriador de sinterización se pueden utilizar para la generación de vapor con la instalación de calderas de recuperación. Este vapor se puede utilizar para generar energía o puede usarse como vapor de proceso.

Por ejemplo, en plantas en Japón, se recuperan entre 120 y 170 kg de vapor a 20 atmósferas de presión, a partir de la máquina de enfriamiento por sinterización y la máquina de sinterización, respectivamente. La producción de electricidad de estas unidades es de 20 kWh/ton de sinterizado y 30 kWh/sinterizado, respectivamente, mediante la instalación de turbinas de vapor.

Las inversiones se estiman entre 3 y 5 USD/ton de sinterizado y el retorno de la inversión se da en un periodo de entre 3 y 5 años.

4.2.2. Uso de combustibles residuales.

Los materiales de desecho con contenido calórico disponible (por ejemplo, aceites del tren de laminación en frío) se pueden usar como combustible, sustituyendo el coque. El ahorro depende de la composición y el contenido térmico de los combustibles a utilizar.

4.3. Alto horno.

En un alto horno (BF por sus siglas en inglés) los óxidos de hierro se reducen y el hierro resultante se funde. Aproximadamente el 70% de la producción mundial de acero implica el uso de BF. Los tamaños de los BF instalados cubren un espectro muy amplio, que oscila entre menos de 100 m³ y más de 5.000 m³. Los BF más grandes tienen menos pérdidas de calor y permiten la instalación de equipos de recuperación de calor de manera más rentable.

En las partes más bajas del horno, el coque se gasifica y el CO resultante reduce los óxidos de hierro a medida que asciende en el horno. El hierro fundido gotea hacia abajo y se recoge en la parte inferior. Los gases calientes que salen del alto horno mantienen una presión de 2 a 3 bar. Además, se produce un gas con un valor calorífico bajo (aproximadamente 3 MJ/Nm³) a una tasa de 1.300 a 2.200 Nm³/ton de arrabio. Después de la limpieza, este gas puede usarse como combustible.

4.3.1. Instalación de turbinas de recuperación.

Como la mayoría de los BFs son operados a alta presión, los gases que salen del horno en la parte superior mantienen una presión de hasta 3 bares y tienen una temperatura de alrededor de 200°C. Este gas presurizado puede utilizarse en una turbina denominada Turbina de Recuperación de Alta Presión (TRT) para generar electricidad. Los TRTs pueden producir entre 15 y 40 kWh/ton de arrabio y su producción puede satisfacer alrededor del 30% de todas las necesidades de electricidad de todos los equipos de BF, incluyendo sopladores de aire. El gas que sale del sistema TRT puede ser usado como combustible en otros procesos de hierro y acero.

Es posible producir entre 40 y 60 kWh por tonelada de metal caliente, en un horno con capacidad de 1 millón de toneladas por año se produce hasta 55 GWh/año de electricidad. El costo de instalación



para una planta de 7 MWe se estima en 3,5 MMUSD y el retorno de inversión entre 2 y 4 años dependiendo del precio de energía eléctrica.

4.3.2. Uso del gas de coque en el alto horno.

El gas del horno de coque (COG) también puede ser usado como reductor en el alto horno. Al mismo tiempo que se reduce el consumo de coque u otros reductores, la tecnología puede reducir las emisiones de CO₂ del alto horno. El uso de COG en BF, también puede reducir las emisiones de SO₂. Se estima que el nivel máximo de inyección de COG es de 0,1 ton/ton de metal caliente, y se han practicado ya, tasas de inyección de 47 kg/ton. El uso de COG en BF requiere que se suministre oxígeno adicional y se requiere encontrar sustitutos para sus áreas de uso convencionales, por ejemplo, para recalentar los hornos.

La inversión se estima en 10 MMUSD para una producción de 500 ton/día de metal caliente, el costo específico es de 12 USD/1.000 m³ de GN (Gas Natural) que se aprovecha en el horno. El periodo de retorno varía entre 2 y 5 años dependiendo del costo de los combustibles que se ahorra.

4.4. Horno reductor.

El horno reductor (BOF por sus iniciales en inglés) es un recipiente en forma de pera donde el arrabio del alto horno y la chatarra ferrosa se refinan en acero, inyectando un chorro de alta pureza de oxígeno a través del metal caliente. El contenido de carbono del arrabio, que es típicamente 4 a 5%, se reduce a niveles variables por debajo del 1% dependiendo de las especificaciones del producto.

Como las reacciones que tienen lugar en el BOF son altamente exotérmicas, las temperaturas en el horno suelen alcanzar 1.600 a 1.650°C. La chatarra o sustitutos scrap, que cumplen con los requisitos de pureza se agregan para controlar subidas de temperatura excesivas. Sin embargo, la entrada de arrabio se mantiene en los niveles del 65 al 90% por cada tonelada de acero producida.

Durante los procesos BOF se forma un gas con alto contenido de CO. Si no se hace ninguna recuperación de gas, el CO se convierte en CO₂ mediante la combustión en la boca de los hornos con campana abierta, o a través de la quema después de la limpieza de gas en hornos con una campana cerrada. Las operaciones de BOF pueden ser un productor neto de energía, si la energía sensible y química que sale del horno es recuperada y utilizada.

4.4.1. Aprovechamiento energético del gas del horno.

El gas producido en el BOF tiene una temperatura de aproximadamente 1.200°C y un caudal de aproximadamente 50 a 100 Nm³/ton de acero.

El gas contiene aproximadamente de 70 a 80% de CO al salir del BOF y tiene un poder calorífico de aproximadamente 8,8 MJ/Nm³ o 0,84GJ/ton de acero. Por lo tanto, la recuperación del calor sensible y latente de BOF presenta la oportunidad más importante para la eficiencia energética en BOF. Esto también puede convertir al proceso en un productor neto de energía. Sin embargo, la producción de gas en el

BOF es intermitente, muestra altas temperaturas y variaciones de composición y el gas no es limpio. En consecuencia, en la mayoría de las plantas este gas todavía no se aprovecha.

El costo de inversión en el sistema se estima en USD 20/ton de acero, o aproximadamente 66 MMUSD para una planta de 2,7 Mmton/año. El retorno de inversión se da en un plazo es entre 2,5 y 4 años dependiendo del precio de la electricidad y el gas natural.

4.4.2. Uso de variadores de frecuencia.

La planta de BOF tiene una operación discontinua con altas variaciones en los flujos de gas, la instalación de variadores de frecuencia para los grandes ventiladores utilizados como parte de este proceso es una opción rentable. La inversión se estima entre 1,5 y 2 MMUSD y el periodo de retorno de la inversión varía entre 2 y 4 años dependiendo del precio de la electricidad.



4.5. Horno de Arco Eléctrico.

Los hornos de arco eléctrico (EAF, por sus siglas en inglés) son una parte central de la ruta de producción que es una alternativa a la ruta BF-BOF dominante. Los EAF se utilizan para producir aceros al carbono y aceros aleados, principalmente mediante el reciclaje de chatarra ferrosa. En un EAF se derrite y se convierte en hierro de alta calidad mediante arcos eléctricos de alta potencia formados entre un cátodo y un ánodo, uno (para hornos de corriente continua DC) o tres (para hornos de corriente alterna AC).

La energía teórica total necesaria para fundir la chatarra y sobrecalentarla a la temperatura típica requiere alrededor de 350 - 370 kWh/ton de acero. En la práctica, el uso de energía depende en gran medida de la mezcla de productos, del material local y de los costos de energía y es exclusivo para la operación específica del horno. Se calcula que el uso real de electricidad oscila entre 300 y 550 kWh/ton.



4.5.1. Hornos de arco operados con DC.

Aplicable sólo grandes hornos, en un sistema de horno de corriente continua (DC) sólo se usa un electrodo, y el fondo del recipiente sirve como ánodo.

Este horno de arco alcanza un ahorro de energía de aproximadamente el 5% en términos de consumo de la unidad de potencia en comparación con los diseños más antiguos de hornos de arco trifásico de AC. Además, tiene una mayor eficiencia de fusión y vida útil prolongada. El consumo de energía de los hornos de DC es de alrededor de 1,8 a 2,2 GJ/ton de acero. El consumo de electrodos es aproximadamente la mitad que con hornos convencionales (correspondientes a 1 a 2 kg/ton de acero).

El costo de inversión adicional en un horno de arco operando con DC es de USD 6,1/ton de capacidad; el tiempo de retorno de la inversión se estima en menos de 1 año.

4.5.2. Hornos con doble recipiente.

Consiste en un horno que incluye dos recipientes de EAF con un arco común y un sistema de suministro de energía. El sistema aumenta la productividad disminuyendo el tiempo que toma el cambio de colada y reduce el consumo de energía al reducir las pérdidas de calor.

El costo de inversión de 9,4 USD/ton de acero de capacidad con respecto a un horno de un solo recipiente y el periodo simple de retorno de la inversión se estima en 3,5 años.



4.6. Medidas generales de eficiencia energética.

Existen una serie de medidas generales de eficiencia energética que son aplicables en todas las plantas de producción de hierro y acero, entre ellas se encuentran la optimización de sistemas de bombeo y ventilación mediante motores de alta eficiencia y variadores de frecuencia y la optimización de los sistemas de generación de aire comprimido. A continuación se explica el beneficio que tienen estas medidas.

4.6.1. Motores de alta eficiencia y variadores de frecuencia (VFD).

Uno de los principales consumos de energía eléctrica en la planta de producción de acero y hierro se presenta en motores de diversas potencias que se encuentran instalados en los procesos de molienda de materias primas, transporte de materiales, bombas y ventiladores. 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 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, 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 US\$/kW y para motores entre 30 y 300 kW la inversión está en el rango de 120 y 140 US\$/kW.⁴

Por su naturaleza, los procesos de producción de hierro y acero presentan variaciones importantes de carga, en muchos casos se usan elementos disipativos como válvulas o compuertas para controlar las variaciones del proceso. Los variadores de frecuencia (también conocidos como variadores de velocidad, porque cambian la velocidad de rotación del motor - VFD), pueden ajustar la operación del motor de acuerdo con los requerimientos del proceso, sin necesidad de usar elementos de restricción que controlan el proceso aumentando las pérdidas en el sistema y haciéndolo más ineficiente.

⁴ Fuente: *Energy Efficiency Improvement and cost opportunities for cement making. Energy Start, guide for Energy and plant managers.*



El uso de variadores de frecuencia puede reducir la carga del motor de 100% a 80% y puede reducir el consumo energético en el motor hasta en un 50%.⁵

Se estima que esta medida ofrece los siguientes potenciales de mejora:

- > **20% para casos base de baja eficiencia.**
- > **15% para casos de base de eficiencia media.**
- > **5% para casos base de alta eficiencia.**

Los costos de capital típicos estimados de esta medida para diferentes tamaños de sistema (S) son:

- > **USD 12.000 para potencia menor a 37 kW.**
- > **USD 20.000 para potencias entre 37 kW y 75 kW.**
- > **USD 40.000 para potencias entre 75 kW y 150 kW.**
- > **USD 70.000 para potencias entre 150 kW y 375 kW.**
- > **USD 100.000 para potencias entre 375 kW y 745 kW.**

El retorno de la inversión depende las horas de operación del sistema donde se instale el variador de frecuencia.

⁵ Fuente: https://www.energystar.gov/sites/default/files/buildings/tools/EE_Guidebook_for_Textile_industry.pdf

4.6.2. Renovación de los sistemas de aire comprimido.

La sustitución de compresores es un opción viable en proyectos en los que se encuentran compresores antiguos de baja eficiencia y los precios de electricidad permiten la instalación de un equipo nuevo de mayor eficiencia y mejor calidad del aire.

En la siguiente tabla se resumen los aspectos más importantes a considerar para la instalación de los diferentes tipos de sistemas de aire comprimido.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de compresores de aire.⁶

Tipo de compresor	Eficiencia (kWh/100 CFM)	Ventajas	Desventajas
Reciprocante o de pistones.	22 – 25	<ul style="list-style-type: none"> Indicado para trabajos con alta presión. Pueden ser relativamente más pequeños y livianos. Mantenimiento simple. Eficiente compresión cuando es de varias etapas. 	<ul style="list-style-type: none"> Niveles altos de ruido. Costos de mantenimiento elevados. No es indicado para sistemas grandes. Requiere un trabajo de cimentación. Uso de aceites que requieren cambio constante.
Tornillo.	18 – 22	<ul style="list-style-type: none"> Operación simple Trabajo a bajas temperaturas. Bajo mantenimiento. Silencioso. Compacto. Poca vibración. Gran disponibilidad comercial con equipos de variadores de frecuencia que mejoran la eficiencia. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto uso de energía. Alta calidad del aire con bajo contenido de aceite.
Centrífugo.	16 - 20	<ul style="list-style-type: none"> Manejo eficiente de energía. Disponibile en grandes capacidades. Bajo nivel de ruido. Alto nivel en la calidad del aire. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo de capital alto. Ineficiente en capacidades pequeñas. Mantenimiento especializado.

⁶ Fuente: <http://ceomprs.info/centrifugal-compressor-power/>



Se estima que esta medida ofrece los siguientes potenciales de mejora:

- > **18% para casos base de baja eficiencia**
- > **13% para casos de base de eficiencia media.**
- > **9% para casos base de alta eficiencia.**

La inversión específica depende del tipo de compresor, la potencia, el caudal y las condiciones de operación a las que puede trabajar. Algunos valores de referencia para las inversiones son los siguientes:

- > **USD 12.000 para potencia menor a 37 kW.**
- > **USD 25.000 para potencias entre 37 kW y 75 kW.**
- > **USD 40.000 para potencias entre 75 kW y 150 kW.**
- > **USD 70.000 para potencias entre 150 kW y 375 kW.**
- > **USD 120.000 para potencias entre 375 kW y 745 kW.**



5. Análisis de riesgos técnicos ambientales y sociales

En la tabla 5 se presentan los principales riesgos técnicos, ambientales y sociales que deben tenerse en cuenta al realizar inversiones en el sector, así como las acciones para su mitigación.

Tabla 5. Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
Permisos y licencias ambientales.	Ambiental	Asegurarse de que la planta donde se va a hacer la inversión cuente con los permisos y autorizaciones ambientales necesarias para operar.
El sector de siderurgia es intensivo en energía, generalmente es una industria muy controlada por las autoridades ambientales.	Técnico/Ambiental	Verificar que con las inversiones y cambios en EE se cumplan los requisitos exigidos por las autoridades locales y nacionales.
La instalación de hornos y equipos de fundición presenta riesgos de contaminación atmosférica.	Ambiental	Verificar que los sistemas de control de emisiones estén funcionando y cumplan las regulaciones locales.



Continuación Tabla 5. Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
La fundición de minerales en hornos de acería al oxígeno tiene emisiones considerables de material particulado.	Ambiental	Asegurarse de que se cuente con los sistemas de filtración adecuados y con el tratamiento oportuno de los gases generados en proceso.
Generación de residuos especiales y peligrosos.	Ambiental	Verificar que la planta donde se va a hacer la inversión hace una disposición adecuada de todos los residuos especiales y peligrosos que se generan.
Cumplimiento de normatividad de salud y seguridad ocupacional.	Técnico	Las condiciones de operación de las acerías son de alta temperatura y generación de contaminantes, todas las personas que trabajan en ellas deben contar con entrenamiento, elementos de protección y los horarios de trabajo adecuados que protejan su salud física.
Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.	Técnico/Financiero	Asegurarse de que el diseño del proyecto es correcto de acuerdo con la demanda de energía eléctrica y térmica del proceso.



6. Criterios de elegibilidad

Los criterios de elegibilidad que se recomiendan para aplicar a una línea de financiación verde 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 sistema específico o en la planta en general en su totalidad, como mínimo en un 10%.
- 
Reducción del consumo de energía térmica: Un proyecto de inversión para reducir el consumo de combustibles debería reducir como mínimo el consumo en el proceso específico o en la planta en general en un 10%.



Reducción de emisiones de GEI: Los niveles de reducción de emisiones que pueden lograr las inversiones en eficiencia energética en el sector de siderurgia y metalmeccánica dependen de la fuente de energía eléctrica que se usa para el proceso y del tipo de combustible que se usa para la producción en la planta. En términos generales, una inversión en proyectos de eficiencia energética debería reducir las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía del proceso en al menos un 10%.



Periodo de retorno simple de la inversión: Las inversiones en EE en el sector 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 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 de la siderurgia y metalmecánica puede medir su intensidad energética y su intensidad de carbono por medio de tres indicadores básicos que se presentan en la tabla 6 y que deben ser medidos antes y después de los proyectos de inversión en eficiencia energética.

Tabla 6. Indicadores de monitoreo de eficiencia energética en el sector de la siderurgia y metalmecánica.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Energía eléctrica.	kWh/ton		
Energía térmica.	GJ/ton		
Emisiones GEI.	Kg CO2/ton		

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 7, 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 7. Indicadores para verificar de mejora eficiencia energética en el sector de la siderurgia y metalmecánica.

Indicador	Unidad
Reducción del consumo de energía eléctrica.	kWh/año
Reducción del consumo de energía térmica.	GJ/año
Reducción de emisiones de GEI.	Ton CO2/año



8. Otros beneficios de la EE para empresas del sector

El sector de siderurgia y metalmeccánica presenta importantes oportunidades frente a las inversiones en eficiencia energética y el uso de energías renovables, que generan otros beneficios para el sector entre los que se destacan:

- Generación de energía mediante el aprovechamiento de corrientes energéticas residuales permitiendo reducir las emisiones de GEI del proceso.
- Aprovechamiento de gases residuales para la sustitución de combustibles fósiles como gas natural para el calentamiento de productos.
- Aprovechamiento de los residuos del proceso de producción de acero y otros metales fundidos, presenta reducciones importantes en el consumo energético por tonelada producida.
- La certificación en estándares internacionales como ISO (Calidad ISO 9001, Medio ambiente ISO 14001, 50001) de los procesos industriales presentan una oportunidad para la mejora continua del sector.
- Reducción de la huella hídrica como una opción prioritaria en diferentes procesos de la industria metalmeccánica, específicamente en los procesos de corte a presión.
- La compensación de emisiones mediante bonos de carbono se posiciona como una opción viable dentro del proceso de mejora ambiental.
- Cumplir con los compromisos nacionales y sectoriales para la reducción de emisiones de GEI mitiga el riesgo de los recientes impuestos a las emisiones de carbono.



9. Caso de estudio

Una compañía dedicada a la producción de acero, produce 1.000 toneladas al día, durante el año anterior implementó un proyecto de cogeneración de 10MWe con el aprovechamiento de los gases de los hornos por valor de 20 MMUSD. Esta compañía desea saber cuántas emisiones de CO₂ se están evitando al año y cuáles son los periodos de retorno de la inversión.

La generación anual prevista del sistema de cogeneración es de 70.000 MWh/año por el proceso de recuperación de calor. El precio actual de la energía eléctrica es de 150 USD por MWh. El factor de emisión de la electricidad tomada de la red eléctrica es de 0,5 ton CO₂/MWh y el consumo total de energía eléctrica anual de la planta es de 300.000 MWh/año.

En la tabla 8 se resumen los datos tenidos en cuenta para la evaluación de la reducción de emisiones de GEI del proyecto.

Tabla 8. Indicadores de monitoreo del caso de estudio

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost	Diferencia
Energía eléctrica consumida de la red.	kWh/ton acero	821,9	630,1	191,8
Emisiones GEI	Kg CO ₂ /ton acero	410,9	315,1	95,8

Para evaluar las reducciones anuales, se multiplica el valor obtenido de la diferencia de la tabla 8 por la producción anual que corresponde a 365.000 ton/año. En la tabla 9 se muestra que hay un ahorro de 70 MM kWh/año y con este proyecto se evita la emisión de 35.000 Ton CO₂/año. Los ahorros económicos que genera el proyecto son de 10,5 MMUSD/año, con lo cual el periodo de retorno simple de 1,9 años.

Tabla 9. Indicadores de mejora del caso de estudio.

Indicador	Unidad	Valor
Reducción del consumo de energía eléctrica.	kWh/año	191,8x365.000=70.000.000
Reducción de emisiones de GEI.	Ton CO ₂ /año	95,8x365.000*1.000=35.000



Criterios de elegibilidad

Según los criterios definidos para evaluar la elegibilidad de los proyectos para ser financiados por líneas verdes, se concluye que el proyecto es elegible teniendo en cuenta que:



Reduce el consumo de energía de la red en un 23,3%.



Reduce las emisiones de GEI en un 23,3%



El periodo de retorno de la inversión es mucho menor a 5 años.

A close-up photograph of a large, dark, curved metal roller, likely part of a steel mill. The roller is positioned diagonally across the frame, with its surface showing some texture and wear. The background is blurred, suggesting an industrial setting.

Referencias

- > Asociación Latinoamericana del Acero.
www.alacero.org
- > 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.
- > Industrial Technology Database.
<http://ietd.ipnetwork.org/content/iron-and-steel>
- > JCR Scientific and Technical Report. Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan).
- > World Steel Association. Fact Sheet. Energy use in the steel industry.
- > World Steel Association. Steel statistical yearbook 2016.
- > World Steel Association. World Steel in figures 2016.

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
