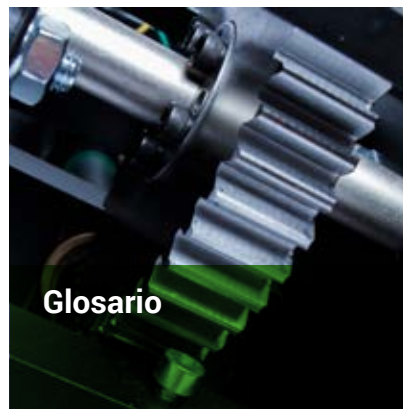
The background of the slide is a photograph of a compressed air system, overlaid with a semi-transparent green filter. The image shows a black air compressor unit on the left, connected to two circular pressure gauges with white faces and black markings. A network of red and black hoses is visible, along with a blue air nozzle in the foreground. The overall scene is industrial and technical.

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

---

**Tipo de Proyecto**  
Aire Comprimido

---





# Glosario

**CFM:** Pies cúbicos por minuto (en inglés cubic feet per minute, siglas o CFM), es una unidad que mide el caudal o flujo de un gas o líquido, indicando el volumen en pies cúbicos que pasa por una sección determinada en la unidad de tiempo.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** es el principal gas de efecto invernadero, emitido en los procesos de uso del transporte, la industria, la producción de energía eléctrica, la agricultura y por 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, p.ej. el factor de emisión del sistema interconectado eléctrico de Colombia es 0,37 kg de CO<sub>2</sub>/kWh (XM, 2014), quiere decir que por cada 100 kWh consumidos se emiten 37 kg de CO<sub>2</sub>.

**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<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.

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

**Pascal:** es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de un Newton sobre una superficie de un metro cuadrado.

**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, será de 3 años.

**Relación de compresión:** corresponde a la razón geométrica resultante entre la presión absoluta de descarga y la presión absoluta de succión en el trabajo de compresión realizado por el compresor.

**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	947.817
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 14 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	✓	✓	✓	✓		✓			✓	
	Luminación 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 aire comprimido, que es aplicable a los sectores textil, cemento, pulpa y papel y alimentos y bebidas, entre otros



## 2. Aplicabilidad

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

Se especifican las características de las principales tecnologías que se usan hoy para reducir el consumo energético debido a los procesos para generar aire comprimido, 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 la energía en el país donde se desarrolla el proyecto.

### Sectores con mayor potencial para desarrollar proyectos de eficiencia energética en aire comprimido:



alimentos y  
bebidas



textiles



cemento



Pulpa y papel



Siderurgia y  
metal mecánica

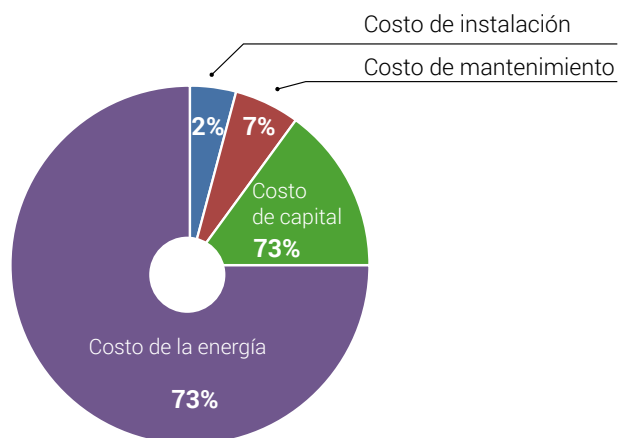
### 3. Introducción

La proporción de energía utilizada para producir aire comprimido varía entre los diferentes sectores productivos. En algunos casos puede representar hasta el 30% del consumo total de electricidad de las instalaciones. El aire comprimido es versátil y se puede utilizar para procesos de instrumentación, control, operación de herramientas manuales e impulsar procesos incluso en el transporte de materiales.

El proceso de compresión de aire puede resultar costoso. De la energía total suministrada a un compresor, tan solo entre el 8 y el 10% se convierte en energía útil en el punto de uso. Esto hace que sea un método de transferencia de energía muy costoso e ineficiente. A pesar de los altos costos de producción, existen pérdidas en el proceso de hasta el 30% debido a fugas, mal mantenimiento, mala aplicación y mal control.

En la figura 1 se muestra que, durante un período de diez años de vida de un compresor, el costo de la energía del sistema supera tres veces la inversión de capital, por ello resulta crucial la selección adecuada del sistema de compresión de aire. Aunque el mantenimiento representa el 7% de los costos totales, es una actividad crucial para maximizar la eficiencia energética de compresor.

**Figura 1.** Costos de un equipo de aire comprimido en un ciclo de vida de 10 años.<sup>1</sup>



<sup>1</sup> *Compressed air – Opportunities for business, Carbon trust.*



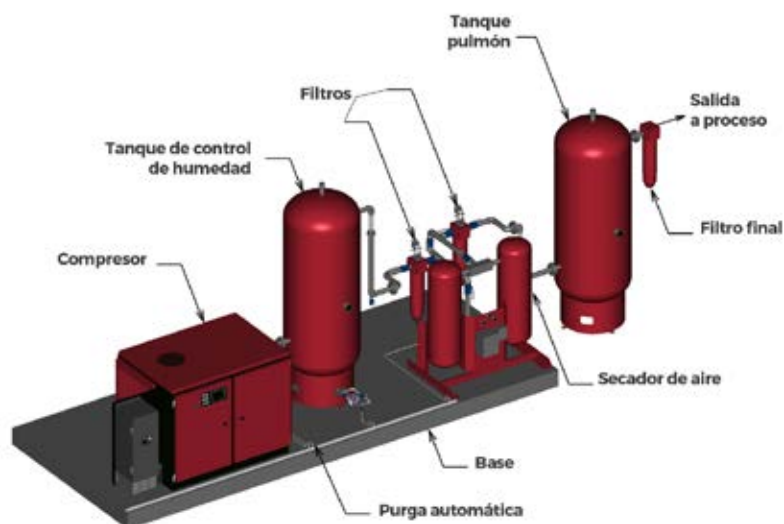




## 4. Descripción de la tecnología

En la figura 2 se puede observar un sistema típico de aire comprimido con sus componentes principales.

**Figura 2.** Componentes de un sistema de aire comprimido típico.<sup>2</sup>



Para la mayoría de aplicaciones industriales, un sistema de aire comprimido cuenta con los siguientes componentes:

- > El compresor: toma aire a la presión atmosférica y comprime a la presión requerida para el proceso.
- > El acumulador de aire: actúa como un depósito para almacenar y enfriar el aire comprimido, además ayuda a asegurar que el sistema puede hacer frente a variaciones de demanda.
- > Los filtros y secadores: tratan el aire para eliminar impurezas tales como, agua, suciedad y aceite que esté presente en el aire. Las impurezas se filtran y los líquidos se retiran mediante un sistema por trampas de condensado.

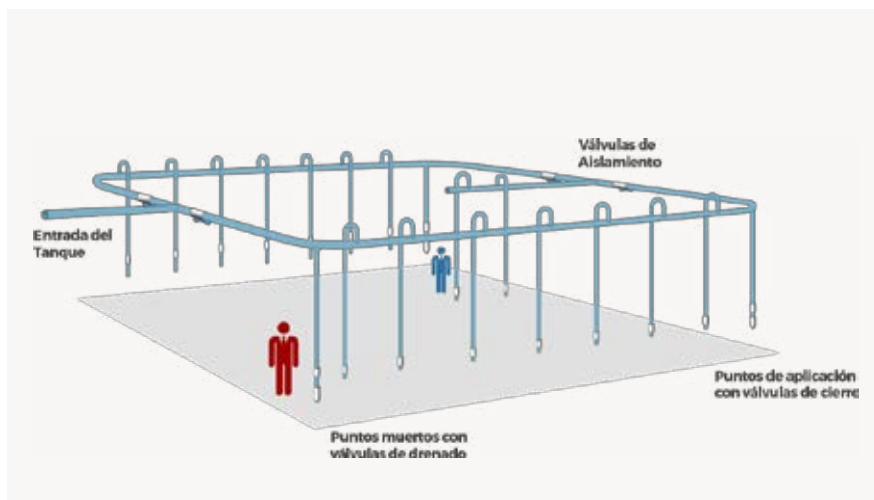
La mayoría de los usuarios industriales cuentan con sistemas de generación y distribución de aire comprimido. La red de aire comprimido permite la distribución de aire a los diferentes consumidores y su diseño requiere que se tengan en cuenta criterios de eficiencia energética, como son las pérdidas de presión en la distribución y las fugas de aire por conexiones defectuosas.

<sup>2</sup>Fuente: <http://knw-series.com/resources/typical-clean-dry-compressed-air-system/>



En la figura 3 se muestra una configuración estándar para los diferentes sistemas de distribución de aire comprimido. Es importante resaltar que algunas empresas cuentan con unidades portátiles, que tienen todos los componentes principales de un sistema de aire comprimido en un solo equipo, se utilizan generalmente para aplicaciones mínimas o cuando se necesita una fuente móvil en las estaciones de trabajo.

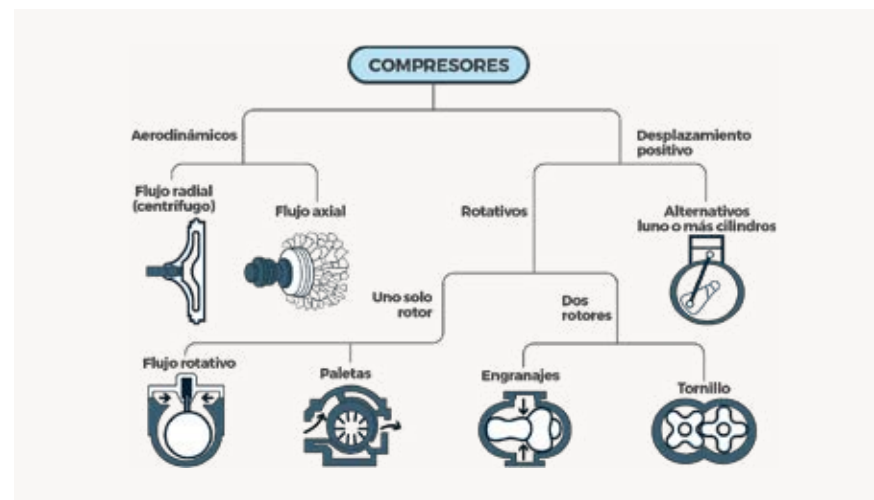
**Figura 3.** Esquema de una red de distribución de aire comprimido.



#### 4.1. Tipo de compresores de aire.

En la figura se resumen los tipos de compresores más usados en el sector industrial y comercial.

**Figura 4.** Tipos de compresores.<sup>3</sup>



<sup>3</sup>Fuente: [http://cdn1.grupos.emagister.com/imagen/los\\_diferentes\\_tipos\\_de\\_compresores\\_449381\\_t0](http://cdn1.grupos.emagister.com/imagen/los_diferentes_tipos_de_compresores_449381_t0).

#### 4.1.1. Compresores de desplazamiento positivo.

Estos compresores se pueden dividir en rotatorios y reciprocantes. Son de capacidad constante y tienen presiones de descarga variables, la capacidad cambia con la velocidad o con el descargador de la válvula de succión (cuando esta se cierra sigue operando pero deja de comprimir aire, comúnmente a esto se le llama trabajo en vacío).

Los compresores reciprocantes, alternativos o de pistón (los tres nombres son aplicables), funcionan con el principio adiabático mediante el cual se introduce el gas en el cilindro por las válvulas de entrada y sale por las válvulas de descarga en contra de la presión de descarga. Por sus condiciones de mantenimiento, rara vez se emplean como unidades individuales, a no ser que el aire no se requiera de manera permanente en el proceso. Este tipo de compresores pueden ser lubricados o sin lubricar; si el proceso lo permite. Es mejor tener un compresor lubricado porque tendrá una mayor vida útil, pero se deben instalar en la red de distribución de aire, sistemas o trampas para que atrapen el aceite.

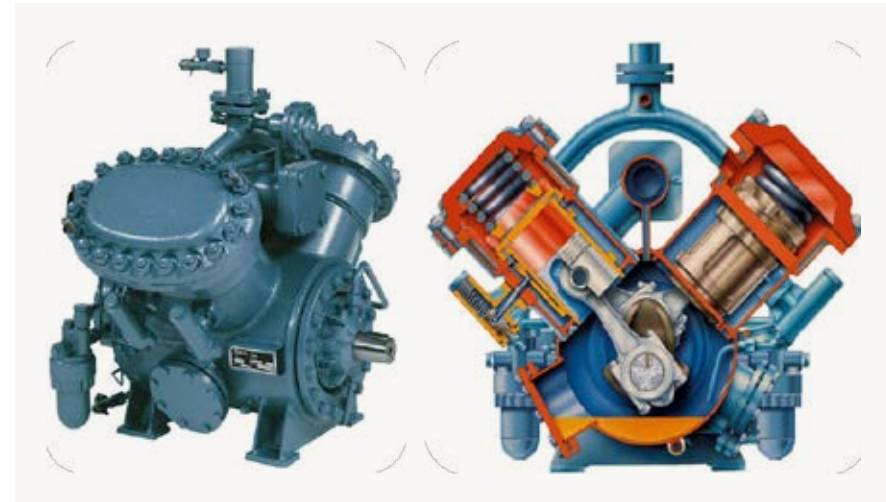
Por lo general tienen costos de capital, instalación y mantenimiento más altos que los otros tipos de compresores. Además, necesitan ser fijados debido a su tamaño y las fuertes vibraciones generadas en el proceso. No obstante, este tipo de compresor presenta grandes ventajas para trabajos con altas presiones (presión superiores a 200 psi), además son los más eficientes en términos energéticos para pequeñas aplicaciones.

Un compresor de pistón puede suministrar el flujo adecuado por un periodo corto, pero su ciclo de trabajo permisible debe ser considerado. Los compresores de pistón más pequeños tienen un ciclo de trabajo permisible de 60% a 70%. Por esta razón, los compresores de pistón suelen ser sobre dimensionados para permitir que el compresor se apague periódicamente y se enfríe, debido a las temperaturas relativamente altas de operación. Incluso con el almacenamiento adecuado de aire esto puede ocasionar problemas de capacidad durante horas pico de operación.

En la figura 5 se puede observar externamente e internamente un compresor de pistón para una aplicación industrial.

<sup>4</sup>Fuente: Coronel, J. F. *Tipología y clasificación de compresores.*

Figura 5. Compresor reciprocante de pistones.<sup>4</sup>



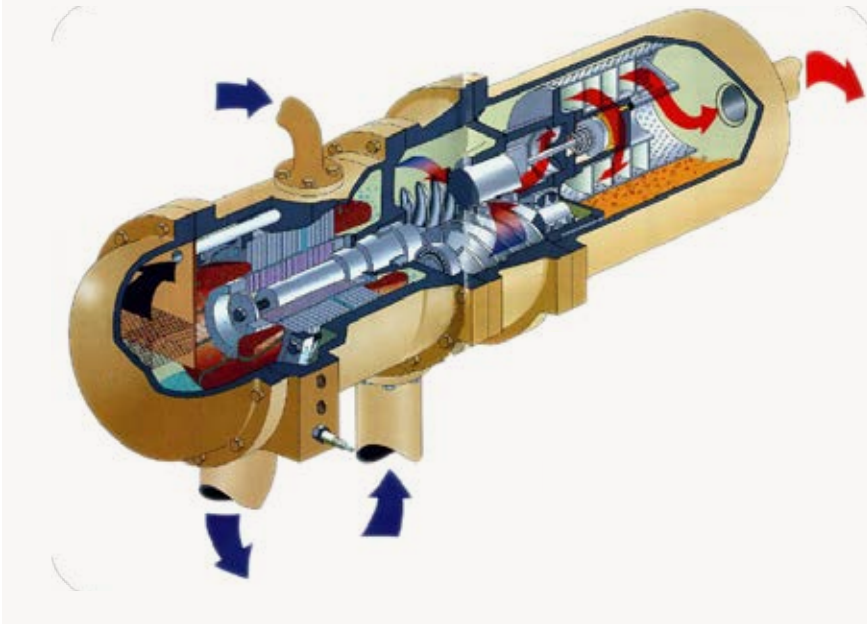
#### 4.1.2. Compresores de tornillo.

El compresor de tornillo es una máquina que por medio de dos tornillos (hembra y macho) comprime el aire. Empezando con el motor que transmite energía mecánica a la caja o depósito del compresor, a través de una polea. Al momento que los tornillos empiezan a girar, crean una succión por la toma de aire mientras va aumentando la presión del mismo, a través de las cavidades.

Los compresores de tornillo proveen un suministro extremadamente confiable de aire comprimido limpio y seco. Tal vez esto no sea crítico para reparaciones generales o simples limpiezas (sandblasting), pero si lo es cuando se requiere aplicar algún acabado o un recubrimiento y el producto final es directamente afectado por la calidad del aire. Cuando se decide entre un compresor de tornillo o un compresor de pistón, es importante considerar ciclos de trabajo y rendimiento, eficiencia energética, calidad del aire, mantenimiento y costos de instalación.

En la figura 6 se presenta un esquema típico de un compresor de tornillo.

**Figura 6.** Compresor de tornillo.<sup>5</sup>



La razón principal para seleccionar un compresor de pistón es el precio de compra bajo. Pero la comparación de costos reales se extiende más allá de la transacción inicial. Es importante considerar todos los argumentos necesarios cuando se tenga una instalación nueva o el re-equipamiento de las instalaciones actuales.

- > Los compresores de tornillo son más eficientes que los modelos de pistón y no necesitan ser sobredimensionados para compensar el ciclo de trabajo limitado. Un compresor de tornillo de 75 hp podría realizar el trabajo de un compresor de pistón de 100 hp. Una unidad de menor potencia usará menos electricidad y reducirá los costos de operación.
- > Mejor calidad de aire comprimido genera ahorros significativos en el proceso.

- > Mejor calidad de aire comprimido alargará la vida útil de sus equipos y herramientas neumáticas.
- > Un compresor más confiable mantendrá a los empleados trabajando y produciendo, no esperando por la reparación del compresor.
- > Menor calor, ruido y vibración eliminan la necesidad de un cuarto independiente.

Cada una de estas ventajas contribuye a un retorno de inversión positivo para un compresor de tornillo. Algunas de ellas harán rápidamente una diferencia en el costo inicial. Los ahorros compensan por muchas veces más la inversión inicial.

<sup>5</sup> Fuente: Coronel, J. F. *Tipología y clasificación de compresores.*

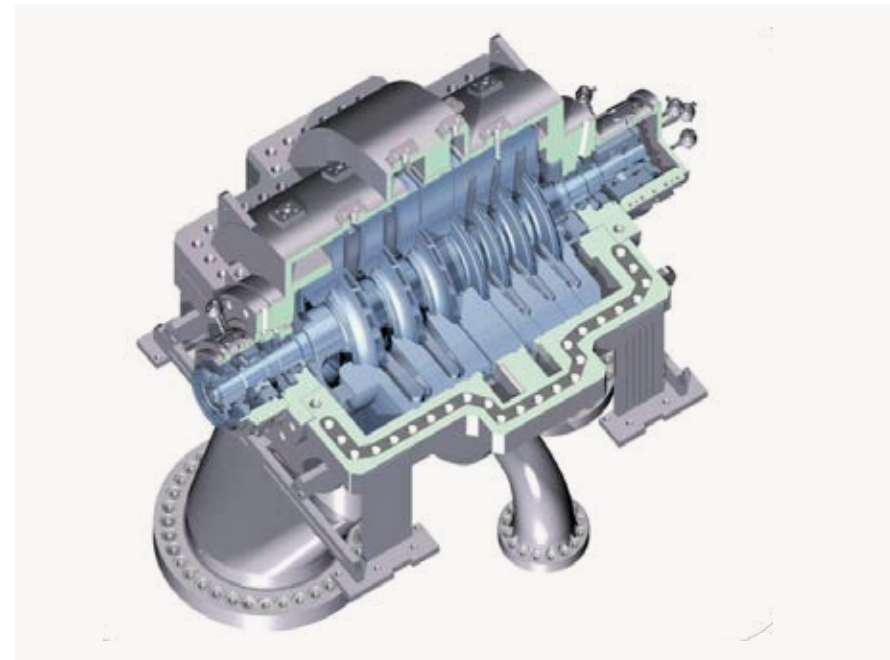


#### 4.1.3. Compresor centrífugo.

Los compresores centrífugos utilizan impulsores para acelerar el aire. Para llegar a altas presiones, se requieren varias etapas de impulsión. Tienen costos de instalación relativamente bajos, pero tienen costos de capital altos, ya que son máquinas de alta precisión. Son generalmente económicos en tamaños grandes, en el rango superior a 200 kW. Se consideran eficientes cuando trabajan a cargas parciales, a diferencia de los otros tipos de compresores.

Los compresores centrífugos se usan industrialmente por varias razones: tienen menos componentes a fricción, son más eficientes y proporcionan un caudal mayor que los compresores alternativos (o de desplazamiento positivo) de potencia similar. El mayor inconveniente es que no llegan a la relación de compresión típica de los compresores alternativos, a menos que se encadenen varios en serie. Los compresores centrífugos son especialmente adecuados para aplicaciones donde se requiere un trabajo continuo, como el caso de unidades de refrigeración y otras que requieran mover grandes volúmenes de aire aumentando su presión mínimamente. Por otro lado, una serie de compresores alternativos, típicamente, llega a conseguir presiones de salida de 55 a 70 MPa. Un ejemplo de aplicación de compresores centrífugos es la reinyección de gas natural en los pozos de petróleo para su extracción.

Figura 7. Compresor de centrífugo.<sup>6</sup>



<sup>6</sup> Fuente: <http://www.global-coldstores.com/products/bitzer-compressors>



## 5. Descripción del proyecto

Un proyecto de sustitución de sistemas de aire comprimido consiste en determinar en una planta industrial o en un edificio comercial cuáles compresores antiguos son susceptibles de ser sustituidos por compresores de alta eficiencia de manera rentable.

### 5.1 Línea base energética e información del nuevo proyecto.

Para estimar la reducción del consumo de energía se debe medir o calcular la línea de base energética, la cual se puede determinar bajo dos métodos:

- > Medición directa: este método es el más recomendable, ya que los compresores trabajan en diferentes condiciones de operación, de esta manera se recomienda instalar medidores de caudal y medidores del consumo energético del compresor, para establecer un indicador de eficiencia en CFM/kWh.
- > Cálculo teórico: mediante las referencias técnicas de los manuales de los compresores se puede calcular la variable teórica de salida en CFM y el consumo energético en kWh para las diferentes condiciones de operación. No obstante, esta opción puede ser compleja de calcular debido a los datos de todas las variables que se deben considerar.



## 5.2. Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de GEI

El potencial de ahorro de energía y de reducción de emisiones de GEI de un proyecto de cambio de compresores, se calcula teniendo en cuenta la diferencia del indicador de eficiencia ex post menos el indicador de eficiencia ex ante (línea de base), esta diferencia es dividida sobre el indicador de eficiencia ex post. La siguiente fórmula ilustra el cálculo para estimar el ahorro energético en %.

$$\text{Ahorro energético (\%)} = \frac{(\text{indicador de eficiencia ex ante } \left(\frac{\text{kwh}}{100 \text{ CFM}}\right) - \text{indicador de eficiencia ex post } \left(\frac{\text{kwh}}{100 \text{ CFM}}\right))}{(\text{indicador de eficiencia ex ante } \left(\frac{\text{kwh}}{100 \text{ CFM}}\right))}$$

**Nota:** Los valores deben ser calculados en bases anuales.

Para la evaluación energética, económica y ambiental de un proyecto de sustitución de compresores, se requiere como mínimo la información contenida en la tabla 3.



**Tabla 3.** Información mínima requerida para evaluar un proyecto de sustitución de compresores.

Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Parámetro	Unidad	Fuente / Fórmula
<b>A. Caudal medido del compresor actual.</b>	CFM/día	Medición en campo.	<b>H. Ahorro energético.</b>	kWh/año	$G * B * 365$
<b>B. Consumo energético medido del compresor actual.</b>	kWh/día	Medición en campo.	<b>I. Inversión en el compresor de alta eficiencia.</b>	USD	Dato de inversión .
<b>C. Indicador de eficiencia del compresor actual.</b>	kWh/100 CFM	$B*100/A$	<b>J. Precio de la energía.</b>	USD/kWh	Dato de operación.
<b>D. Caudal medido del compresor de alta eficiencia.</b>	CFM/día	Datos de catálogo.	<b>K. Ahorro económico.</b>	USD/año	$H*J$
<b>E. Consumo energético medido del compresor de alta eficiencia.</b>	kWh/día	Datos de catálogo.	<b>L. Periodo de retorno simple.</b>	Años	$I/K$
<b>F. Indicador de eficiencia del compresor de alta eficiencia.</b>	kWh/100 CFM	Datos del fabricante.	<b>M. Factor de emisión.</b>	Kg CO <sup>2</sup> /kWh	Dato Agencia Internacional de Energía o red nacional de energía.
<b>G. Porcentaje de ahorro energético calculado.</b>	%	$(C - F) / C$	<b>N. Reducción de emisiones anuales.</b>	Ton CO <sup>2</sup> /año	$H*M/1000$

La reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta al factor de emisión de la energía eléctrica que se usa en los compresores, en caso que se use energía de la red eléctrica; el factor de emisión se puede obtener de la base de datos de la Agencia Internacional de Energía (<http://www.iea.org/statistics/topics/co2emissions/>). Si la energía que consumen los motores es autogenerada o cogenerada, el factor de emisión deberá calcularse para el caso específico.





## 6. Requerimiento de inversión

Existen diferentes oportunidades de eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido que se dividen entre medidas de buenas prácticas y medidas que requieren inversión. Entre las buenas prácticas se encuentran:

- > Reducción de fugas en el sistema.
- > Dimensionar la capacidad de los compresores con la demanda de energía.
- > Reducir los niveles de presión de operación del sistema.
- > Optimizar las condiciones de humedad y temperatura con los cuales el compresor toma el aire.
- > Reducir las caídas de presión en la red.

Entre las medidas que requieren inversión se encuentran: instalar variadores de frecuencia para controlar la operación de los compresores y la sustitución de compresores antiguos por compresores de alta eficiencia.

### 6.1. Instalación de variadores de frecuencia (VFD).

Los variadores de velocidad son un medio eficiente de regular la capacidad del compresor rotativo. Con el uso de VFDs, la velocidad del motor se ajusta para satisfacer los requerimientos de demanda variable. Los VFDs permiten ajustar la presión de descarga del compresor con una alta precisión (en niveles de +/- psi), en una amplia gama de salida. Esto permite un ahorro adicional de energía del sistema. La eficiencia con VFD se mejora generalmente a capacidades reducidas. Los mejores ahorros de energía se realizan en aplicaciones donde las horas de funcionamiento son largas, con una alta proporción en el rango de mediana a baja capacidad. Con cargas del sistema superiores al 75%, será más rentable utilizar el sistema de control de carga / descarga.

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



20% para casos base de baja eficiencia



15% para casos 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.

## 6.2. Sustitución de compresores antiguos por compresores nuevos.

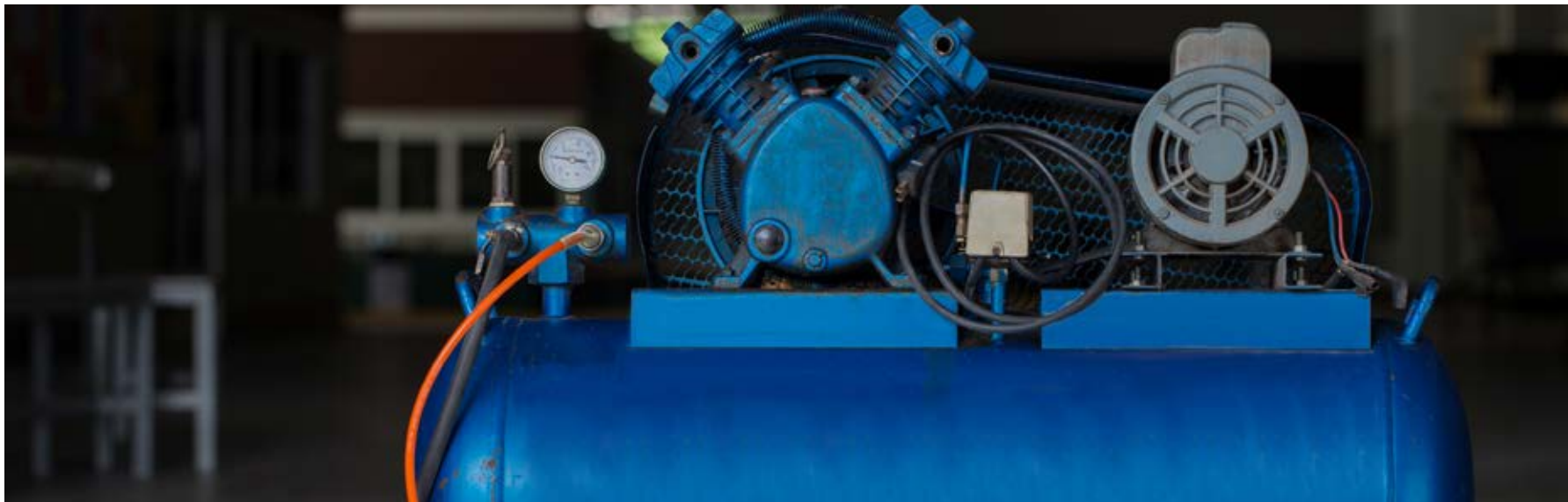
La sustitución de compresores es un opción viable en proyectos en los que se encuentran compresores antiguos de baja eficiencia y los precios de electricidad permiten la instalación de un equipo nuevo de mayor eficiencia y mejor calidad del aire.

En la tabla 4 se presentan los aspectos más importantes a considerar para la instalación de los diferentes tipos de sistemas de aire comprimido cuando se sustituye un compresor antiguo por uno nuevo.

**Tabla 4.** Principales ventajas y desventajas de los diferentes tipos de compresores de aire.<sup>7</sup>

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

<sup>7</sup> 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.



## 7. Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales

En la tabla 5 se resumen los potenciales riesgos técnico, ambientales y sociales de un proyecto de compresores y aire comprimido y su estrategia de mitigación.

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

	Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
	<b>Disposición final de residuos.</b>	Ambiental	Entregar los compresores sustituidos a una compañía especializada que certifique su disposición final adecuada. Algunos modelos contienen aceite que puede contaminar fuentes hídricas y suelos.
	<b>Vida útil de los equipos.</b>	Técnica	Financiar equipos con certificación de calidad y de proveedores certificados.
	<b>Reducción de emisiones de GEI</b>	Ambiental	Verificar que el diseño del proyecto permite la máxima eficiencia operativa y logra la mayor reducción del consumo de energético y/o reducción de emisiones de GEI.
	<b>Para el uso de compresores en el sector alimentos puede existir riesgo de contaminación si no se usan los filtros adecuados.</b>	Técnico	Asegurarse de que existan los filtros indicados para el tipo de compresor elegido en el proceso.
	<b>Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.</b>	Técnico/Financiero	Asegurarse de que el diseño del proyecto es correcto y que se usan tecnologías con certificación de EE.

No se presentan riesgos sociales que requieran una estrategia de mitigación.



## 8. Criterios de elegibilidad

Los proyectos de eficiencia energética relacionados con la instalación de compresores de alta eficiencia presentan potenciales de reducción de consumo de energía de entre el 10% y el 30%, en condiciones normales de operación. Al ser proyectos que reducen el consumo de combustibles tradicionales en la mayoría de los casos, los potenciales de reducción de emisiones de GEI son mayores, si se reemplazan con combustibles alternativos.

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.

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 instalación de compresores de alta eficiencia tienen periodos 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



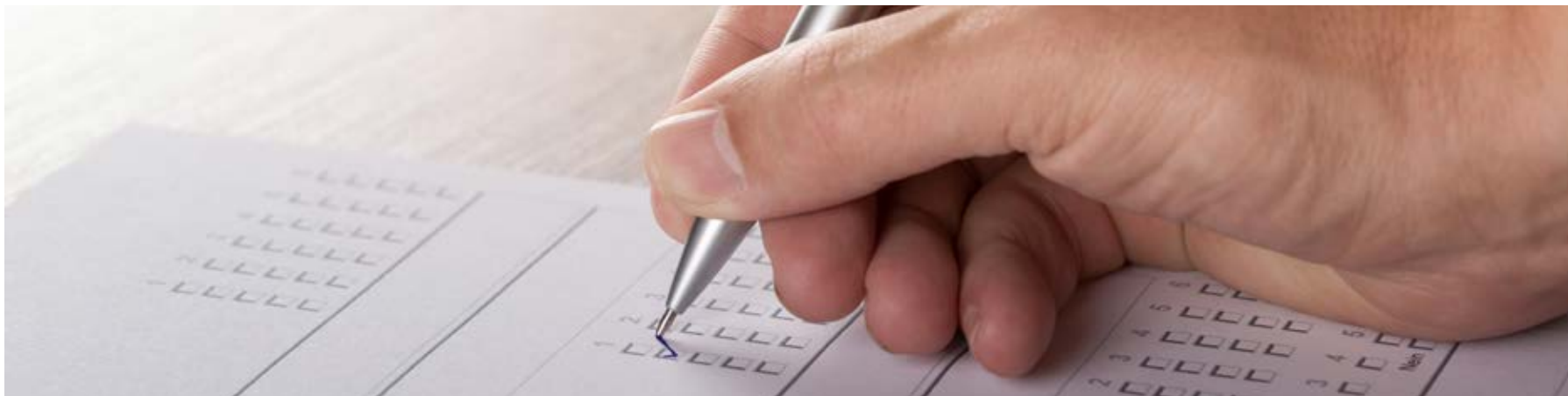
Ahorro energético superior a **10%** con respecto a la línea base.



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

Los proyectos de eficiencia energética son implementados generalmente por empresas de ingeniería especializadas o por los departamentos internos de mantenimiento dentro de las empresas, estos están encargados de monitorear y verificar los resultados del proyecto. El monitoreo de un proyecto de instalación de compresores de alta eficiencia puede hacerse de dos maneras:

**Monitoreo continuo:** instalación de medidores de energía en el centro o tablero de control de compresores de tal forma que es posible monitorear el consumo y la operación de equipos de gran potencia de manera permanente.

**Monitoreo puntual:** en el caso de compresores de baja potencia, lo que se acostumbra es hacer una medición de voltaje y corriente en condiciones de operación normales y calcular el consumo de acuerdo con las horas de operación.

Los indicadores que se pueden utilizar para el reporte se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6.** Indicadores de monitoreo del proyecto.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Consumo de energía	kWh/año		
Reducción de emisiones de GEI	Ton CO <sub>2</sub> /año		

## 10. Caso de estudio

Una empresa de producción de bebidas, desea reducir los costos asociados con el consumo de energía por el suministro de aire comprimido en la operación de formado por soplado de botellas. Para este caso ha identificado que los equipos de compresión que alimentan la maquinaria tienen más de 20 años de operación. La empresa desea invertir en el cambio de compresores de última generación que presentan grandes ventajas en el consumo energético y un alto nivel de confiabilidad. Además, se puede aprovechar la reducción del impacto ambiental debido a las emisiones de GEI evitadas.

En la tabla 7 se resumen los datos tenidos en cuenta para la evaluación del proyecto. El costo de la energía y el factor de emisión dependen del país, para este caso se toma el factor de emisión de Ecuador a manera de ejemplo.

**Tabla 7.** Información obtenida para el caso de estudio.

Parámetro	Unidad	Fuente/ Formula	Valor
<b>A. Caudal medido del compresor actual.</b>	CFM/día	Medición en campo.	12.000
<b>B. Consumo energético medido del compresor actual.</b>	kWh/día	Medición en campo.	3.600
<b>C. Indicador de eficiencia del compresor actual.</b>	kWh/100 CFM	$B*100/A$	30
<b>D. Caudal medido del compresor de alta eficiencia.</b>	CFM/día	Datos del proceso.	12.000
<b>E. Consumo energético medido del compresor de alta eficiencia.</b>	kWh/día	$D*F/100$	1.800
<b>F. Indicador de eficiencia del compresor de alta eficiencia.</b>	kWh/100 CFM	Dato del fabricante.	15
<b>G. Porcentaje de ahorro energético calculado.</b>	%	$(C - F) / C$	50
<b>H. Ahorro energético anual.</b>	kWh/año	$G * B * 365$	657.000

Parámetro	Unidad	Fuente/ Formula	Valor
<b>I. Inversión en el compresor de alta eficiencia.</b>	USD	Dato de inversión.	400.000
<b>J. Precio de la energía eléctrica.</b>	USD/kWh	Dato de operación.	0,15
<b>K. Ahorro económico anual.</b>	USD/año	$H*J$	98.550
<b>L. Periodo de retorno simple.</b>	Años	$I/K$	4,06
<b>M. Factor de emisión.</b>	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	Dato Agencia Internacional de Energía o Red Nacional de Energía.	0,74
<b>N. Reducción de emisiones anuales.</b>	Ton CO <sub>2</sub> /año	$H*M/1000$	486,18

Para este proyecto se puede observar que se alcanzan ahorros anuales de 98.550 USD por el sistema de aire comprimido reemplazado, el retorno simple de la inversión es de 4,06 años y se pueden reducir las emisiones de GEI anuales de la empresa en 486,18 Ton CO<sub>2</sub> por la sustitución de equipos, 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

**2,46 USD**

por cada dólar invertido en un periodo de 10 años.

Ahorros económicos del

**50 %.**

Reducción en el consumo de energía eléctrica del

**50 %**

con respecto al sistema de aire comprimido de baja eficiencia.

Reducción de emisiones del

**50 %**

con respecto al sistema de aire comprimido de baja eficiencia.

Tiempo de retorno inferior a

**6 años.**





## 11. Referencias

- > Carbon trust Compressed air - Opportunities for businesses.  
<https://www.carbontrust.com/resources/guides/energy-efficiency/compressed-air/>
- > Energy Efficiency Best Practice Guide Compressed Air Systems.  
<http://www.sustainability.vic.gov.au/~media/resources/documents/servicesandadvice/business/srsbem/resourcesandtools/srsbem-bestpracticeguidecompressedair2009.pdf>
- > Energy saving in compressed air systems.  
[http://www.kaeser.ca/Images/USGUIDE4\\_EnergySavingsGuide-tcm67-17483.pdf](http://www.kaeser.ca/Images/USGUIDE4_EnergySavingsGuide-tcm67-17483.pdf)
- > Minnesota technical assistance Program. Air compressor energy-saving tips.
- > Coronel Toro, J. F. Tipología y clasificación de compresores

# 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

---