

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

---

**Tipo de Proyecto**  
Refrigeración

---







**AA:** aire acondicionado.

**Acondicionamiento del aire:** control de la temperatura, humedad, movimiento, y limpieza del aire en un espacio confinado.

**Bomba de calor:** máquina térmica que permite transferir calor de una fuente fría a otra más caliente. En calefacción o climatización, aparato capaz de tomar calor de una fuente a baja temperatura (agua, aire, etc.) y transferirlo al ambiente que se desea calentar.

**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.

**Compresor:** componente de una instalación de AA, encargado de comprimir el gas refrigerante y descargarlo hacia el condensador a alta temperatura y presión.

**Condensación:** proceso donde el vapor cambia de fase a líquido perdiendo temperatura.

**Condensador:** intercambiador de calor de una instalación frigorífica encargado de condensar el refrigerante proveniente del evaporador en estado gaseoso. Su objetivo es la eliminación del calor adquirido por el evaporador y por el trabajo realizado por el compresor.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** 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.

**EER:** indicador de eficiencia de un sistema de AA que calcula la relación de capacidad de enfriamiento con respecto al consumo de energía. La relación se mide en BTU-h/W. Cuanto mayor sea el EER, más eficiente es el sistema.



**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.

**Eficiencia nominal:** es la razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de los sistemas.

**Evaporador:** intercambiador de calor que genera la transferencia de energía térmica contenida en el ambiente hacia un fluido refrigerante a baja temperatura y en proceso de evaporación. Es el componente de una instalación de aire acondicionado que genera el efecto de enfriamiento.

**Factor de emisión:** promedio de un gran número de mediciones de emisiones de contaminantes atmosféricos que son representativas de un tipo de fuente de emisión. Por ejemplo, el factor de emisión del Sistema Interconectado Eléctrico de Colombia es 0,37 kg de CO<sub>2</sub>/kWh (IEA, 2012); esto 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. Para el caso de esta guía, se hace la diferenciación entre kWh<sub>e</sub> y kWh<sub>t</sub> 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 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.



**Presión de descarga:** la presión en el condensador de un sistema de AA, también conocida como presión del lado de alta.

**Presión de retorno:** es la presión en el lado de baja de un sistema de AA, también llamado presión de succión o presión de baja.

**Presión de succión:** el lado de baja presión entre el compresor y la salida del evaporador. Se encuentra en el lado de baja de un sistema.

**Refrigerante:** fluido en un sistema de AA que adquiere calor mediante su evaporación a baja temperatura y presión, y entrega este calor mediante su condensación a alta presión y temperatura.

**Torre de enfriamiento:** es un equipo accesorio del condensador, usado para enfriar agua.

**Tonelada de refrigeración (TR):** es la unidad nominal de capacidad de enfriamiento empleada para referirse a los equipos frigoríficos y de aire acondicionado. Una TR equivale a 12.000 Btu/h.

**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.

Refrigeración	kilowatt (kW)	TR	BTU/h
kilowatt (kW)	1	0,284	3.412
HP	3.5168	1	12.000
BTU/h	0,00293	0,0003928	1

Eficiencia	EER	COP	kW/TR
EER	1	COP x 3.412	12 / (kW/TR)
COP	EER / 3.412	1	3.5136
kW/TR	12 / EER	3.5169 / COP	1





## 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 refrigeración que es aplicable a los sectores de Alimentos y bebidas y Grandes Superficies.





## 2. Aplicabilidad

Esta guía presenta los aspectos técnicos, financieros y ambientales relacionados con el desarrollo de proyectos de inversión en sistemas de refrigeración de alta eficiencia, tanto en proyectos nuevos como para proyectos en operación.

La refrigeración industrial, comercial y residencial juega un papel fundamental en la vida de hoy. Gracias a ella es posible la producción, el transporte y la conservación de la mayoría de alimentos y productos, como medicinas, que se usan diariamente. El consumo de energía y refrigerantes en estos sistemas representa un importante reto a nivel mundial, donde se buscan alternativas tecnológicas y de control que permitan reducir el consumo de electricidad y su impacto ambiental.

Los sistemas de refrigeración antiguos, con más de 15 años de operación, tienen el potencial para ser renovados y optimizados mediante medidas de inversión que incluyen la renovación completa de dichos sistemas, el cambio y adición de algunos elementos y/o la instalación de sistemas de control y monitoreo.

Los sectores con mayor potencial para el desarrollo de proyectos de inversión en sistemas de refrigeración de alta eficiencia son los que se observan en el siguiente cuadro, para los cuales se han desarrollado manuales sobre las oportunidades de eficiencia energética.



Para estos sectores también se han desarrollado manuales donde se explican las diferentes oportunidades de eficiencia energética.



### 3. Introducción

Para muchas personas refrigeración sólo significa refrigeradores caseros y vitrinas refrigeradas en los supermercados. Sin embargo, estas aplicaciones son apenas una muestra visible de la industria de la refrigeración que está presente en un sin número de sectores, que van desde la industria de alimentos y bebidas hasta los sistemas de transporte de gas natural, y juega un papel fundamental en el cuidado de la salud, el consumo de energía y el medio ambiente.

Económicamente hablando, la importancia de la refrigeración es primordial. El número de puestos de trabajo relacionados con estos sistemas está aumentando tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. La refrigeración es vital para reducir las pérdidas post cosecha y post sacrificio y en la preservación de los productos alimenticios. A medida que la refrigeración mantiene la seguridad alimentaria, nutritiva y organoléptica, se ha vuelto fundamental para el sector minorista.

En el sector sanitario, la refrigeración conserva fármacos y medicinas, especialmente vacunas. Nuevos tratamientos, como criocirugía o crioterapia, se desarrollaron debido a las tecnologías de temperatura ultra baja.

La refrigeración se emplea en numerosos procesos de fabricación que se encuentran en las industrias de alimentos y bebidas, la industria química, el procesamiento de plásticos y muchos otros sectores.

Además, la tecnología de refrigeración proporciona la base para las bombas de calor que permiten ahorrar energía y emisiones de carbono en todo tipo de aplicaciones industriales y de construcción.

En cuanto al sector de energía, el gas natural se puede licuar a través del enfriamiento criogénico, lo que hace más fácil y más barato el transporte y el almacenamiento de este combustible.

Para ilustrar la importancia de la refrigeración se presenta la tabla 3, con los equipos que se encuentran operando a nivel mundial. Como se concluye de la tabla, son miles de millones de equipos de refrigeración instalados en los diferentes sectores, que tienen importantes consumos energéticos y de refrigerantes y que generan un impacto ambiental significativo en términos de emisiones de GEI y sustancias agotadoras de la capa de ozono.

**Tabla 3.** Número de aparatos de refrigeración aproximado operando a nivel mundial por aplicación.<sup>1</sup>

Aplicación	Sector	Equipos	Número de unidades
<b>Refrigeración y alimentos.</b>	Refrigeradores domésticos.	Refrigeradores y congeladores.	1.500 millones.
	Refrigeración comercial.	Equipos de refrigeración comercial.	90 millones.
	Transporte refrigerado.	Vehículos refrigerados. Contenedores refrigerados.	4 millones. 1,2 millones.
<b>Aire acondicionado</b>	Aires acondicionados.	Sistemas enfriados por aire.	600 millones.
		Chillers.	2,8 millones.
	Sistemas de AA móviles.	AA en vehículos.	700 millones.
<b>Refrigeración y salud.</b>	Medicina.	Máquinas de resonancia magnética.	25.000.
<b>Refrigeración y energía.</b>	Gas Natural Licuado. (GNL).	Terminales de GNL.	110
		Trenes de GNL.	92
		Barcos de GNL.	421

Por su parte, el sector de almacenamiento refrigerado cuenta con un volumen de bodegas con una capacidad de 552 millones de m<sup>3</sup>.<sup>2</sup>

El consumo de energía para los procesos de refrigeración y aire acondicionado ha venido aumentando tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo hasta alcanzar el 17% del consumo de energía a nivel mundial. Se espera que los requerimientos energéticos para refrigeración y AA continúen subiendo en los próximos años por dos razones:

- > Incremento de la demanda de refrigeración en numerosos sectores.
- > Incremento de las temperaturas medias globales debido al cambio climático.

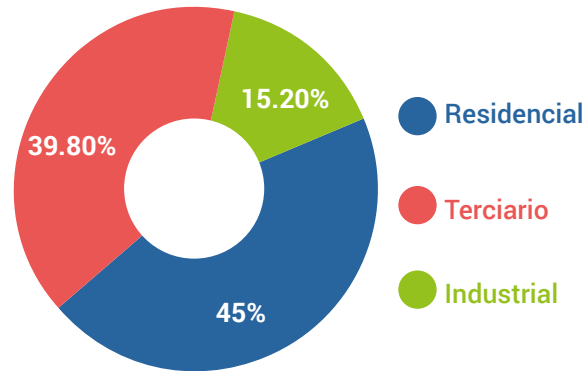
<sup>1</sup> Fuente: IIR. 29th Informatory Note on Refrigeration Technologies / November 2015. *The Role of Refrigeration in the Global Economy.*

<sup>2</sup>GCCA, 2014 IARW Global Cold Storage Capacity Report. Retrieved April 16, 2015, from <http://www.gcca.org/resources/publications/white-papers-reports/global-cold-storage-capacity/>



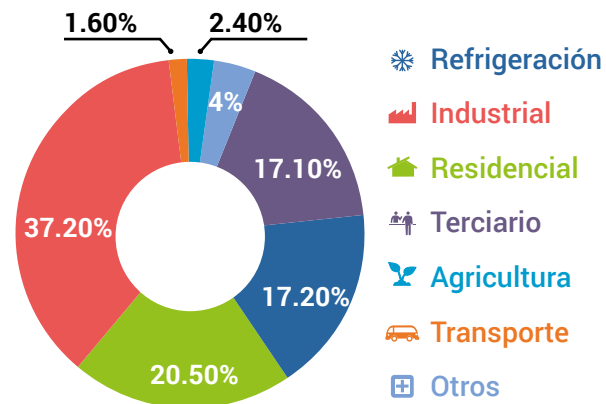
En la figura 1 se presenta la distribución el consumo de energía en los diferentes sectores a nivel mundial.

**Figura 1.** Distribución del consumo de energía en refrigeración de los diferentes sectores.<sup>3</sup>



En la figura 2 se presenta la comparación entre el consumo de energía eléctrica de los sistemas de refrigeración y el consumo de los diferentes sectores de la economía. Como se puede observar, los sistemas de refrigeración consumen el equivalente a toda la energía que se consume en el sector terciario y es levemente menor que el consumo de energía en el sector residencial.

**Figura 2.** Consumo de energía en el sector de refrigeración comparado con otros sectores de la economía a nivel mundial.



Para algunas industrias, el consumo de energía eléctrica en la refrigeración tienen un peso importante en el proceso. En la tabla 4 se destacan las principales industrias que requieren de esta tecnología.

**Tabla 4.** Peso del consumo de energía en la refrigeración en distintas industrias.<sup>4</sup>

Industria	Peso del consumo de energía en refrigeración (%)
Carne, pollo y pescado.	50%
Producción de helados.	70%
Almacenamiento de productos.	90%
Supermercados.	50%
Pequeños comercios.	70%

<sup>4</sup>Fuente: Carbon Trust. Refrigeration systems. Guide to key energy saving opportunities



## 4. Descripción de la tecnología

Un sistema de refrigeración transfiere calor de una sustancia que se enfría a otra área (generalmente aire exterior). La mayoría de los sistemas de refrigeración utilizan el ciclo de compresión de vapor. El calor se absorbe a través de un intercambiador de calor a medida que el refrigerante se evapora, por ejemplo, en la unidad de ventilador en un almacén frigorífico. El calor es rechazado a través de otro intercambiador de calor a medida que se condensa el refrigerante.

Existen otros tipos de sistemas que pueden utilizarse para obtener un efecto de enfriamiento. Por ejemplo, el sistema de refrigeración por absorción, que puede ser eficaz cuando hay suficiente calor residual disponible.

El sistema de refrigeración utiliza un fluido refrigerante que se evapora a baja temperatura (normalmente entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-45^{\circ}\text{C}$ ) cuando está a una presión baja. Su presión de evaporación se puede controlar de tal manera que evapore a una temperatura inferior a la del producto a enfriar (por ejemplo, helado).

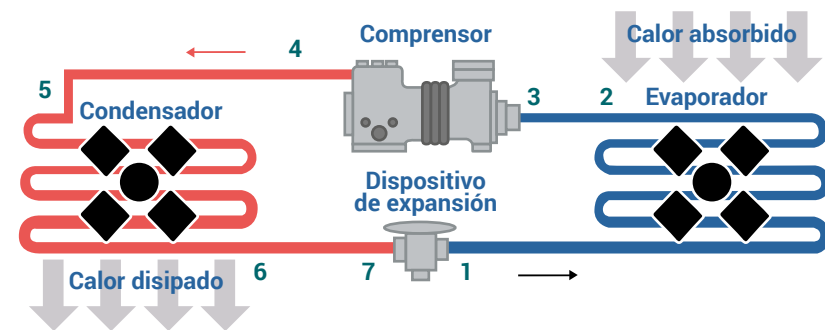
El producto se enfría generalmente indirectamente, el sistema de refrigeración enfría el aire, o un líquido conocido como un refrigerante secundario, que a su vez se utiliza para enfriar el producto. El producto, a través del medio refrigerante (aire o refrigerante secundario), proporciona la energía para evaporar el refrigerante.

<sup>5</sup>Fuente: *Best Practice Energy Programme. Energy efficient refrigeration technology the fundamentals*

El vapor refrigerante se comprime entonces a una presión más alta. Su temperatura es más alta que el aire ambiente o el agua usada para quitar el calor del refrigerante. La consiguiente pérdida de calor convierte el vapor de nuevo en un líquido. El aire ambiente o el agua, como consecuencia, se calientan.

En la figura 3 se presenta un esquema de operación de un sistema de refrigeración.

**Figura 3.** Esquema de operación de un sistema de refrigeración y componentes del mismo.<sup>5</sup>



Como se puede observar en la figura 3, los elementos principales de un sistema de refrigeración son: el compresor, donde se consume la mayor parte de la energía, el evaporador, donde se enfría el producto robándole calor, el condensador, donde se expulsa el calor que se retiro del producto y la válvula de expansión, donde se reduce la presión de manera drástica para lograr el efecto de enfriamiento.

La característica por la cual se pueden comparar los sistemas frigoríficos, y poder determinar la eficiencia energética, es el coeficiente COP (Coefficient of Performance, por sus siglas inglés), y expresa la relación entre la potencia de enfriamiento total que genera el equipo y la potencia eléctrica que consume.

Este índice mide la energía que se produce con la energía invertida en el funcionamiento del equipo, es decir un COP con un valor de 1 significa que por cada unidad de energía eléctrica utilizada el sistema de refrigeración retira una unidad de energía térmica, un COP 5 quiere decir que el equipo retira cinco veces más energía térmica que la electricidad que consume. Es decir en cuanto mayor sea el valor del COP mayor será la eficiencia energética del equipo.

Las estrategias para la optimización energética de los sistemas de refrigeración son las siguientes:

**Tabla 5.** Estrategias para la optimización energética de los sistemas de refrigeración.

Medida	Descripción
<b>Diseño y selección adecuado.</b>	Desde la compra del sistema se debe tomar la decisión de invertir en sistemas de alta eficiencia. Dada la vida útil, el consumo de energía termina siendo el mayor costo en el ciclo de vida de la tecnología.
<b>Inspección regular del sistema.</b>	Dada la cantidad de partes que conforman el sistema, debe hacerse una revisión periódica de las condiciones de operación de compresores, ventiladores, válvulas de expansión y la limpieza de los intercambiadores de calor (evaporadores y condensadores).
<b>Mantenimiento.</b>	El sistema de refrigeración requiere que los mantenimientos preventivos se hagan de manera regular y oportuna, son sistemas que operan de manera continua la mayor parte del año y por tanto, es necesario que se hagan las rutinas establecidas para mantener sus condiciones de eficiencia energética.

Medida	Descripción
<b>Sistemas control.</b>	La mayoría de sistemas de refrigeración son automáticos, operan con base en termostatos que encienden o apagan los compresores. Los sistemas de control avanzados permiten monitorear la carga del sistema, la formación de hielo y las condiciones de humedad y temperatura.
<b>Reducción de la carga.</b>	Solo se deben refrigerar los productos y los espacios que realmente se requieran, sin importar la eficiencia del sistema.
<b>Reducción de las pérdidas.</b>	La operación de los sistemas de refrigeración es costosa, por lo tanto deben reducirse tanto como sea posible las pérdidas de frío mediante la instalación de puertas, instalación de aislamientos de alta eficiencia e instalación de cortinas.



#### 4.1. Oportunidades de eficiencia energética.

En los sistemas de refrigeración las oportunidades de eficiencia energética se pueden dividir en buenas prácticas operativas y de mantenimiento y proyectos de inversión que pueden requerir financiación bancaria. Teniendo en cuenta los objetivos de esta guía, a continuación se presentan algunos de los proyectos de eficiencia en los sistemas de refrigeración que requieren inversión.

##### 4.1.1. Sustitución de refrigerantes HFC por CO<sub>2</sub>.

Es posible sustituir los sistemas de refrigeración antiguos que operan con hidrofluorocarbonos (HFC) por sistemas que operan 100% con CO<sub>2</sub> reduciendo el consumo de energía y evitando la emisión de sustancias que agotan la capa de ozono. Usar CO<sub>2</sub> como refrigerante tiene las siguientes ventajas:

- Es un refrigerante natural y barato.
- Sostenible, con un bajo potencial de calentamiento global en comparación con los HFC.
- Requiere menos carga de refrigerante que los sistemas HFC tradicionales.
- Sistema de tuberías de cobre significativamente más pequeñas que los sistemas HFC
- Eficiencia energética en la mayoría de climas.

Las inversiones en un sistema de refrigeración tradicional para un supermercado varían entre 800.000 y 1.000.000 USD, mientras que un sistema de refrigeración operando con CO<sub>2</sub> puede costar entre un 25% y un 30% más. Sin embargo, los costos de instalación son en promedio un 21% menores y los costos de operación son entre un 17% a 20% menores, con lo cual la diferencia de inversión entre los dos sistemas tiene un tiempo de retorno entre 2 y 3 años.<sup>6</sup>

<sup>6</sup>Fuente: Hillphoenix. *Undertanding ROI on CO<sub>2</sub> refrigerations systems.*

##### 4.1.2. Control de presión variable.

La presión de cabeza (head pressure por su nombre en inglés) de una planta de refrigeración es la presión de descarga de los compresores de la etapa de alta y es ligeramente superior o igual a la presión a la que se condensa el refrigerante. En una planta convencional, la presión de la cabeza es fija y el sistema de control de la planta intenta mantener ese valor.

Si el punto de ajuste de la presión de la cabeza es demasiado bajo para una temperatura ambiente y una condición de carga de la instalación, los condensadores alcanzarán la capacidad de operación y la presión de la cabeza fluctuará con la carga, causando potencialmente fluctuaciones de la temperatura en la planta. Si el punto de ajuste de la presión de la cabeza es demasiado alto, hay un aumento en el consumo de potencia del compresor.

El control variable de la presión de la cabeza (VHPC, Variable Head Pressure Control) tiene como objetivo optimizar la presión de la cabeza de una planta de refrigeración en un momento dado, teniendo en cuenta factores operacionales tales como, relaciones mínimas de compresión y separación de aceite; además de, variables como condiciones ambientales y carga de la planta. Cuando se optimiza la presión de la cabeza, se minimiza el consumo de energía combinado del compresor de etapa alta y del ventilador del condensador.

Los condensadores están diseñados para hacer frente a las peores condiciones posibles en términos de temperatura del producto de la planta y de las condiciones ambientales, por lo tanto, durante la mayor parte del año, el (los) condensador (es) de la planta está sujeto a cargas de planta más pequeñas que para lo que están diseñados. Esto significa que, durante la mayor parte del año, los condensadores están sobredimensionados para la tarea inmediata y las presiones de condensación pueden, reducirse para tener un menor consumo de energía.

El ahorro de energía global de la planta por este sistema de control, está entre el 10 y el 15% del consumo total de energía eléctrica, la inversión varía de acuerdo con la capacidad y está en un rango de 50.000 a 150.000 USD y el periodo de retorno de la inversión puede variar entre 1 y 4 años.

### 4.1.3. Control automatizado de presión en compresores.

Es común que los compresores de tornillo se controlen mediante una válvula de presión, en consecuencia son ineficientes cuando funcionan a carga parcial. En las plantas de refrigeración industrial de gran escala se encuentran compresores de tornillo múltiples que funcionan a carga parcial de manera ineficiente.

Con el control mediante válvula reductora, la reducción en la capacidad de refrigeración de un compresor de tornillo con respecto al consumo de potencia es desproporcionada. Por ejemplo, a 30% de la posición de la válvula, la capacidad de refrigeración de un compresor de tornillo es de aproximadamente 40%, mientras que el consumo de energía es aproximadamente 60%. La alternativa al control de la válvula es usar un variador de velocidad (VFD) para modular la capacidad del compresor. La reducción en la capacidad de refrigeración con respecto al consumo de energía es esencialmente igual, particularmente entre 40% y 100% de capacidad de refrigeración.

Los ahorros de consumo de energía en el compresor a cargas parciales entre el 10 y el 50%, varían entre el 30 y el 40% dependiendo de las condiciones

de operación, las inversiones se estiman entre 100.000 y 200.000 USD para una planta y el periodo simple de retorno de la inversión es entre 1 y 3 años dependiendo de los precios de la energía eléctrica.

### 4.1.4. Vitrinas refrigeradas cerradas.

Las vitrinas de exhibición de productos y los sistemas de conservación de productos congelados consumen el 50% de la energía total en los almacenes de retail en grandes superficies. Las opciones de optimización de estos equipos consisten en: sustitución de vitrinas viejas e ineficientes por vitrinas nuevas de alta eficiencia e instalación de puertas en vitrinas con poco tiempo de uso pero que están abiertas.

La inversión en este tipo de sistemas puede variar entre 250.000 y 500.000 USD dependiendo del tamaño de la gran superficie y pueden llegar a ahorrar hasta el 30% del consumo de energía en el almacén. El tiempo de retorno puede variar entre 2 y 4 años dependiendo del precio de la energía.

**Figura 4.** Vitrinas refrigeradas de alta eficiencia.





#### 4.1.5. Uso de Variadores de Frecuencia (VFD).

El uso de variadores de frecuencia (VFD) para controlar los motores de compresores y ventiladores en sistemas de refrigeración se ha convertido en un factor clave para reducir los costos de energía, mejorar la vida útil y la comercialización del producto y mejorar la vida útil del equipo. Para los condensadores exteriores, los accionamientos que utilizan una velocidad variable de funcionamiento han hecho importantes contribuciones a la reducción del ruido.

Los sistemas de refrigeración están diseñados para condiciones de carga completa. La mayor parte del tiempo; sin embargo, sus cargas son parciales y no se requiere capacidad total del motor. En condiciones normales, los motores de sistemas tradicionalmente diseñados (sin VFD) funcionan constantemente a una velocidad más alta de lo necesario o con frecuencia en ciclo y apagado. Producir más capacidad de lo que se necesita reduce considerablemente la eficiencia, y el frecuente ciclo de encendido/apagado acelera el desgaste y acorta la vida útil de los motores y otros componentes. Frecuentemente arrancar, parar motores y acelerarlos continuamente a toda velocidad elimina las oportunidades para reducir los costos de energía.

Aunque las condiciones de carga máxima como: temperatura ambiente alta, alta humedad y equipos de almacenaje y cajas de almacenamiento totalmente cargadas, suceden tan sólo un 4% del tiempo de funcionamiento, los sistemas de refrigeración deben diseñarse para operar en esta condición.

La instalación de VFD en los condensadores ahorra entre un 2 y un 3% de la energía consumida anualmente, en evaporadores entre 2 y 4% y en compresores entre un 5 y un 10% de la energía consumida. Los costos de inversión en sistemas VFD dependen de la potencia de los motores, los retornos de inversión basados en los ahorros energéticos se dan en plazos entre 2 y 5 años, dependiendo de las condiciones de operación de los equipos y de los precios de electricidad del país.

#### 4.1.6. Recuperación de calor en sistemas de refrigeración.

Algunas instalaciones industriales como por ejemplo, plantas de lácteos o frigoríficos, tienen grandes demandas simultáneas de frío y agua caliente para sus procesos. Esta condición permite la recuperación de calor en los sistemas de refrigeración para suplir parte de las necesidades de agua caliente, reduciendo el consumo de combustibles fósiles en calderas.

Esta medida consiste en instalar intercambiadores de calor a la salida de los compresores en los cuales mediante la circulación de agua fría es posible reducir la temperatura del refrigerante y obtener agua caliente con temperaturas entre 50 y 60°C con múltiples usos en el sector industrial. Las inversiones en este tipo de sistemas se estiman en el rango entre 50.000 y 100.000 USD y el periodo de retorno simple es entre 3 y 5 años dependiendo de los precios de los combustibles que se usan para el calentamiento de agua.





## 5. Descripción del proyecto

Para determinar los beneficios económicos y ambientales de una inversión en un proyecto de eficiencia energética en sistemas de refrigeración, es necesario determinar el consumo en la línea base antes del hacer el proyecto, teniendo en cuenta el COP actual del sistema.

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

El consumo en la línea base se determina teniendo en cuenta la capacidad del sistema actual, la eficiencia (COP) y las horas de operación del sistema el consumo de acuerdo con la siguiente formula:

$$\text{Consumo} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) = \left( \text{Capacidad (kW)} * \left( \frac{\text{horas operación}}{\text{año}} \right) * \frac{1}{\text{COP}} \right)$$

Las condiciones que se deben determinar en los equipos existentes y los equipos nuevos son su capacidad nominal que se encuentra en el la placa de los evaporadores y la eficiencia que se puede encontrar en su manual u hoja de datos. Si no se encuentra la eficiencia, se puede calcular con la capacidad nominal en kW térmicos dividido por los kW eléctricos que consume el sistema.

### 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 eficiencia energética en sistemas de refrigeración, se calcula teniendo en cuenta el consumo de energía actual menos el consumo de energía con la implantación de las medidas.

El potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de GEI depende además de la capacidad de los sistemas, la eficiencia del equipo y del número de horas de operación. También se debe tener en cuenta la instalación de auxiliares más eficientes. En general, el potencial de ahorro puede establecerse entre un 10 y 30% del consumo de energía actual dependiendo de las condiciones de operación y del tipo de sistema que se tenga.

Para la evaluación energética, económica y ambiental de un proyecto de refrigeración, se requiere, como mínimo, la siguiente información:



**Tabla 6.** Información mínima requerida para evaluar un proyecto de eficiencia energética en un sistema de refrigeración.

Parámetro	Unidad	Fuente / Fórmula	Parámetro	Unidad	Fuente / Fórmula
A. Capacidad del sistema actual.	kWt	Datos de placa del equipo.	H. Inversión en el nuevo sistema.	USD	Dato del proyecto
B. Eficiencia del sistema.	COP	Nominal o medida.	I. Precio de la energía eléctrica.	USD/kWh	Datos del proceso.
C. Horas de operación promedio por año.	h/año	Datos del proceso.	J. Ahorro de energía anual.	kWh/año	D – G
D. Consumo de energía del sistema actual.	kWh/año	$A*(1/B)*C$	K. Ahorro económico.	USD/año	$J * I$
E. Capacidad nominal del nuevo sistema o del sistema modificado.	kWt	Datos del fabricante.	L. Tiempo de retorno simple.	Años	H/K
F. Eficiencia del nuevo sistema.	COP	Datos del fabricante.	M. Factor de emisiones	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	EIA o IPCC
G. Consumo de energía del nuevo sistema.	kWh/año	$E*(1/F)*C$	N. Reducción de emisiones	Ton CO <sub>2</sub> /año	$M * J/1000$

La reducción de emisiones se calcula teniendo en cuenta al factor de emisión de la energía eléctrica que se consume en el sistema de refrigeración, en caso que se use energía de la red eléctrica el factor de emisión se puede obtener de la base de datos de Agencia Internacional de Energía (<http://www.iea.org/statistics/topics/co2emissions/>).

Si la energía que consume el sistema es autogenerada o cogenerada, el factor de emisión deberá calcularse para el caso específico.



## 6. Requerimiento de inversión

En la tabla 7, se resumen las diferentes oportunidades de eficiencia energética en los sistemas de refrigeración industrial y comercial.

**Tabla 7.** Requerimientos de inversión en las diferentes medidas de eficiencia energética.

Medida	Potencial de Ahorro Energético (%)	Requerimientos de inversión ( MMUSD)	Periodo de retorno simple <sup>7</sup>
Sustitución de sistemas de refrigeración comercial.	20% - 30%	1 – 1,5	3 a 5 años.
Sustitución de refrigerantes HFC por CO <sub>2</sub> .	25% - 30%	1,25 – 1,5	2 a 3 años.
Control de presión variable.	10% - 15%	0,05 – 0,15	1 a 4 años.
Control automatizado de presión de compresores.	30% - 40%	0,1 – 0,2	1 a 3 años.
Vitrinas refrigeradas de alta eficiencia cerradas.	20 – 30%	0,25 – 0,5	2 a 4 años.
Variadores de frecuencia.	5% - 10%	Depende de la potencia del motor en el que se instale.	2 a 5 años.
Recuperación de calor para calentamiento de agua.	NA	0,05 – 0,1	3 a 5 años.

<sup>7</sup> Fuente: *7 Los periodos de retorno dependen de los precios de la energía eléctrica y las horas de operación del sistema anualmente.*





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

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

**Tabla 8.** Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación	Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
 Cobertura de los requerimientos de refrigeración.	Técnico	Realizar los diseños de manera adecuada, teniendo en cuenta las mediciones de carga térmica de la instalación.	 Reducción de emisiones de GEI.	Ambiental	Asegurarse de que el diseño del proyecto permite la máxima eficiencia operativa y logra la mayor reducción del consumo de energía eléctrica.
 Confiabilidad en la operación de la tecnología de refrigeración.	Técnica	Seleccionar equipos de proveedores reconocidos que cuenten con experiencia en proyectos similares y cuenten con servicio técnico en el país.			No permitir que los equipos antiguos de baja eficiencia se reubiquen en otros sitios generando reducciones de eficiencia en el proyecto.
 Uso de refrigerantes que agotan la capa de ozono.	Ambiental	Asegurarse de que el gas refrigerante tenga un potencial bajo de agotamiento de la capa de ozono, normalmente estos gases son conocidos como refrigerantes ecológicos.	 Reciclaje de refrigerantes.	Ambiental	Asegurarse de que los refrigerantes retirados de la instalación antigua sean destruidos en instalaciones especializadas con licencia para su tratamiento.
 Generación de ahorros y factibilidad financiera.	Técnico/ Financiero	Seleccionar la tecnología adecuada para los requerimientos del proceso y analizar con detalle los precios de la energía eléctrica y sus tendencias en el futuro.			 Disposición final y eliminación de residuos especiales y refrigerantes.



## 8. Criterios de elegibilidad

Los proyectos de eficiencia energética en sistemas de refrigeración tienen potenciales de reducción de consumo de energía entre el 15% y el 40% en condiciones normales de operación. Al ser sistemas que reducen el consumo de energía de la red en la mayoría de los casos, los potenciales de reducción de emisiones de GEI corresponden al mismo porcentaje que las de reducciones del consumo de energía eléctrica.

Como criterio general de elegibilidad ambiental del proyecto, se recomienda que la reducción de emisiones de GEI sea mayor al 15% 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 sistemas de refrigeración de alta eficiencia, en lugar de tener sistemas de tecnología tradicional, el ahorro de energía puede ser del 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 sistemas de refrigeración 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



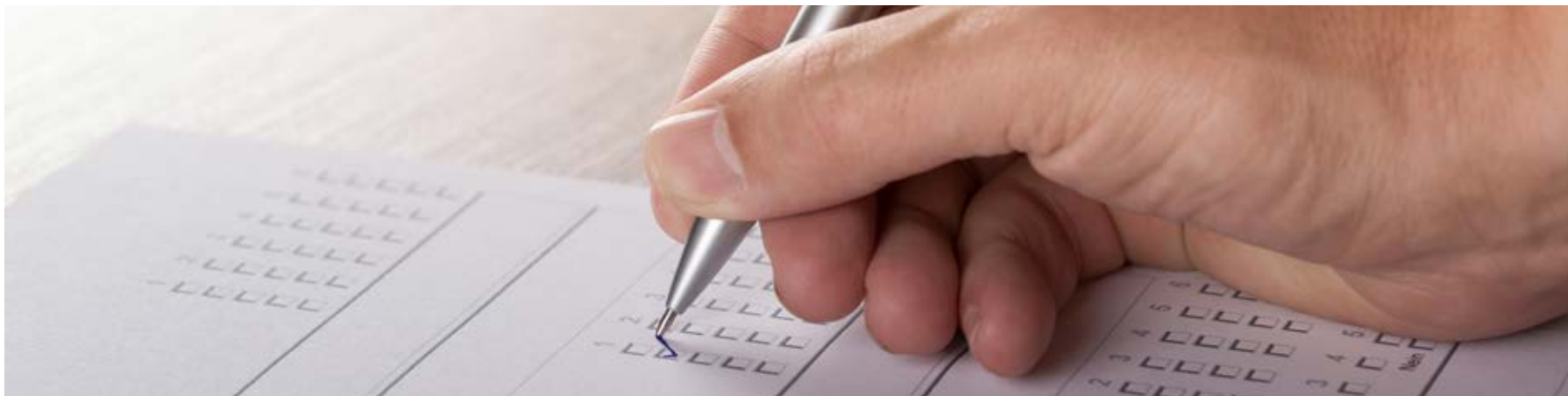
Ahorro energético superior a **15%** con respecto a la línea base.



Reducción de emisiones de GEI superior a **15%** 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 eficiencia energética en sistemas de refrigeración puede hacerse de varias maneras:

- **Monitoreo continuo.** Instalación de medidores de energía en el centro de control del sistema de refrigeración 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 sistemas de refrigeración de baja capacidad, se acostumbra 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 de los ahorros de energía y la reducción de emisiones se presentan en la tabla 9. Hay que tomar en cuenta que para proyectos que sean de recuperación de calor, se debe tomar en cuenta como indicador la reducción en el consumo de combustible.

**Tabla 9.** 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		

El valor de la reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta el origen de la energía eléctrica con la que opera el sistema de refrigeración. Para sistemas conectados a la red, se usa el factor de emisión del país respectivo y para sistemas que cuentan con autogeneración, se debe usar el factor de emisión de acuerdo a la tecnología de generación que se utilice.

La verificación del proyecto se puede hacer mediante el reporte de emisiones de GEI anuales calculadas como se expone arriba. Si el proyecto tiene una eficiencia suficientemente alta, tendrá una reducción de emisiones superior al 15% con respecto a la situación sin proyecto.





## 10. Caso de estudio

Una cadena de supermercados con 7 sedes, desea realizar un proyecto de cambio de sus sistemas de refrigeración en una de sus tiendas, para determinar el ahorro energético que se obtendría, y poderlo justificar e implementar en las demás tiendas. El sistema actual tiene una capacidad de 265 kWt y un COP de 3 kWt/kWe.

En la tienda que se seleccionó como piloto, mediciones arrojaron que el consumo anual del sistema de frío operando 20 horas diarias durante 304 días al año es de 537.067 kWh/año, que corresponde a un 66% del consumo total de la tienda, que fue de 813.737 kWh/año. También se realizaron mediciones en cada una de las partes del sistema frigorífico; el estudio arrojó que

de los 537.067 kWh/año, el 71% es consumido por los compresores, el 22% por ramales y válvulas y 7% por los condensadores. El precio de energía que consume la instalación es de 15 centavos de USD/kWh.

El proyecto de eficiencia energética que se desea implementar en las tiendas consiste en sustituir los compresores tradicionales por compresores digitales; estos compresores permiten ajustarse de forma perfecta a la demanda, lo que reduce el consumo de energía. Adicionalmente, se quiere instalar otras medidas como, cambio de las válvulas mecánicas por electroválvulas e instalar un sistema de control automatizado para el control del sistema. La inversión en el nuevo sistema es de 60.000 USD.

**Tabla 10.** Cálculos del caso de estudio.

Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Valor
<b>A. Capacidad del sistema actual.</b>	kWt	Dato de placa del Chiller.	400
<b>B. Eficiencia del sistema.</b>	COP	Dato de placa del Chiller.	12
<b>C. Horas de operación promedio por año.</b>	h/año	Medición en campo.	7.300
<b>D. Consumo de energía del sistema actual.</b>	kWh/año	$A*(12/B)*C$ .	2.920.000
<b>E. Capacidad nominal del nuevo sistema.</b>	kW	Dato de placa del Chiller magnético.	400
<b>F. Eficiencia del nuevo sistema.</b>	COP	Dato de placa del Chiller magnético.	16
<b>G. Consumo de energía del Nuevo sistema.</b>	kWh/año	$E*(12/F)*C$	2.190.000
<b>H. Inversión en el nuevo sistema frigorífico.</b>	USD	Dato de inversión.	480.000
<b>I. Precio de la energía eléctrica.</b>	USD/kWh	Dato de la factura de energía.	0,15
<b>J. Ahorro de energía anual.</b>	kWh/año	$D - G$ .	730.000
<b>K. Ahorro económico anual.</b>	USD/año	$J * I$ .	109.500
<b>L. Periodo de retorno simple.</b>	Años	$H/K$ .	4,38
<b>M. Factor de emisión (Colombia 2014).</b>	Kg CO <sub>2</sub> /kWh	Dato IEA o Red Nacional de Energía	0,37
<b>N. Reducción de emisiones anual.</b>	Ton CO <sub>2</sub> /año	$M * J$ .	270,1

Para este proyecto se puede observar que se alcanzan ahorros anuales de 23.017 USD anualmente por el remplazo de los compresores. El periodo de retorno simple de la inversión es de 2,6 años y se pueden reducir las emisiones de GEI de la tienda piloto asociadas al consumo de energía eléctrica en 56,78 Ton CO<sub>2</sub>/año; lo cual hace el proyecto viable desde el punto de vista financiero y ambiental y se debería implementar en las otras 6 tiendas.

### Beneficios del proyecto y elegibilidad para ser financiado por líneas verdes.



El proyecto genera ingresos de 3,61 USD por cada dólar invertido en un período de 10 años.



Ahorros en el consumo de energía eléctrica de la red del 28.57%



Reducción de emisiones de GEI del 28,57%



Tiempo de retorno inferior a 6 años.



## 11. Referencias

- > AEFYT. Guía para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones frigoríficas.
- > Cascade Energy. Industrial Refrigeration. Best practices guide.
- > Operativas agroalimentarias, Manual de ahorro y eficiencia energética del sector Centrales Hortofrutícolas.
- > Energy Efficiency Best Practice Programme. Running refrigeration plant efficiently – a cost-saving guide for owners.
- > Energy Saver. Technology Report. Industrial refrigeration and chilled glycol and water applications.
- > Energy Trust. Cold Storage Facilities. Energy Savings Guide.
- > DAIKIN. Sistemas de Refrigeración comercial de alta eficiencia.
- > Hillphoenix. Understanding ROI on CO<sub>2</sub> Refrigeration Systems.
- > Johnson Controls. Estrategias de Eficiencia Energética en Industrial Refrigeración Industrial.
- > Apartado Stropol.2012.  
[www.vdki.de](http://www.vdki.de)
- > Universidad de Cantabria, Tecnología Frigorífica, Departamento Ingeniería Eléctrica y Energética.



## 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

---