

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

---

## Tipo de Proyecto

Automatización y control de procesos

---



**Glosario**



**Tabla de conversiones**



**1. Presentación**



**2- Aplicabilidad**



**3- Introducción**



**4- Descripción de la tecnología**



**5- Descripción del proyecto**



**6- Requerimiento de inversión**



**7. Análisis de riesgos ambientales y sociales**



**8- Criterios de elegibilidad**



**9- Monitoreo, reporte y verificación del proyecto**



**10- Caso de estudio**



**11- Referencia**





# Glosario

**AA:** sistemas de aire acondicionado.

**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.

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

**Factor de emisión:** promedio de un gran número de mediciones de emisiones de contaminantes atmosféricos que son representativas de un tipo de fuentes de emisión, por ejemplo, el factor de emisión del Sistema Interconectado Eléctrico de Colombia es 0,37 kg de CO<sub>2</sub> /kWh (EIA, 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:** es una unidad utilizada para medir la energía eléctrica consumida o utilizada en determinado periodo de tiempo. Se utiliza comúnmente como una unidad de energía eléctrica en la ingeniería y en aplicaciones comerciales.

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

**Valor 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
<b>kilowatt (kW)</b>	1	1.341	3.412,14
<b>HP</b>	0,754	1	2.544.43
<b>BTU/h</b>	0,00293	0,0003928	1

Energía	Kilowatt-hora (kWh)	Jules	GigaJules	PetaJules	BTU
<b>kilowatt-hora (kWh)</b>	1	3.600.000	0,0036	3,6e-9	3.412,14
<b>Jules</b>	0,000000278	1	1e-9	1e-15	0,0009478
<b>GigaJules</b>	277,7	1e+9	1	1e-6	947.817
<b>PetaJules</b>	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.

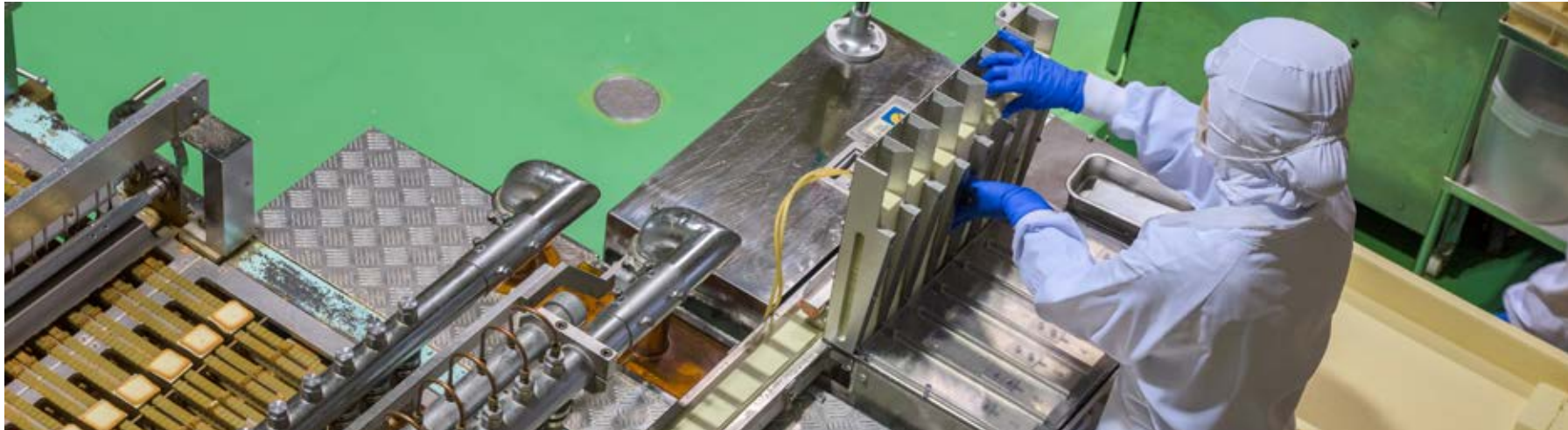
Esta guía es parte de un conjunto de documentos que comprende los sectores y tecnologías con mayor potencial de fomentar las inversiones en eficiencia energética. En la tabla 2 se presenta el conjunto de documentos elaborados para el Programa de Eficiencia Energética desde la Demanda (EE-D) y Negocios 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 automatización de procesos, que es aplicable a los sectores hoteles y hospitales, alumbrado público y grandes superficies.





## 2. Aplicabilidad

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

Se especifican las características de las principales tecnologías que se usan hoy en día para reducir el consumo energético mediante la automatización de procesos y edificios, 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 automatización y control:**



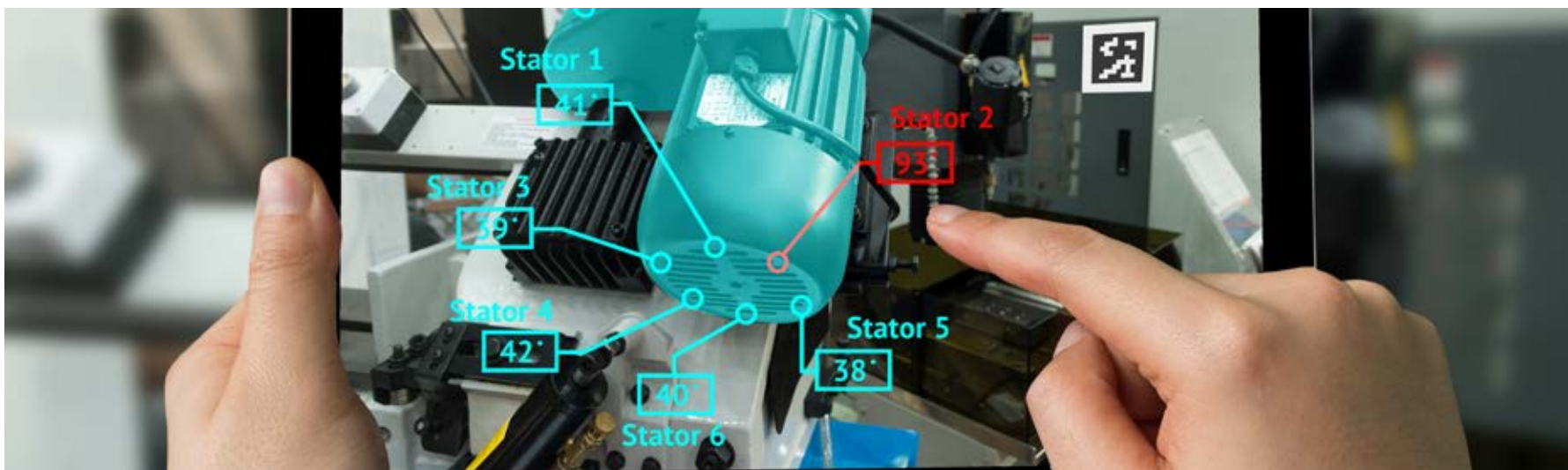
**Sector industrial  
en general**



**Sector  
comercial**



**Edificios y  
viviendas**



### 3. Introducción

Los proyectos de eficiencia energética por automatización y control se dividen básicamente en dos, la optimización de la operación de edificios y la optimización de la operación de procesos industriales.

En edificios los sistemas de monitoreo, optimización y control se denominan BMS (Building Management System por sus iniciales en inglés), este es un sistema de supervisión y control basado en computadoras instalado en edificios que controla y monitorea los equipos mecánicos y eléctricos del edificio tales como aire acondicionado, ventilación, iluminación y los sistemas de seguridad. Teniendo en cuenta los consumos energéticos de los edificios, estos sistemas controlan principalmente los siguientes sistemas:

- Aire acondicionado y climatización.
- Iluminación.
- Ascensores y escaleras eléctricas.
- Sistemas de bombeo.

Según Navigant Research, se espera que los ingresos de BEMS (Building Energy Management Systems) alcancen los 2.400 MMUSD en 2015 y crezcan a 10.800 MMUSD en 2024 a una tasa de crecimiento anual del 18,2%. Aunque se prevé que América del Norte y Europa continúen liderando la demanda de BEMS en el corto plazo, se proyecta un aumento de la inversión a mediano y largo plazo en los países en desarrollo. Además, la demanda pronosticada crecerá a diferentes tasas por segmento de cliente (por ejemplo, retail, oficinas comerciales, hoteles y hospitales) a medida que el mercado de BEMS continúa madurando.<sup>1</sup>

Actualmente se habla de Edificios de Energía Cero (Zero Energy Building, ZEB por sus siglas en inglés). Un edificio ZEB produce suficiente energía renovable para satisfacer sus propias necesidades anuales de consumo de energía, reduciendo así el uso de energía no renovable en el sector de la construcción. Los ZEB utilizan todas las medidas rentables para reducir el uso de energía a través de la eficiencia energética e incluyen sistemas de energía renovable que producen suficiente energía para satisfacer las necesidades energéticas restantes. Hay una serie de ventajas a largo plazo de

<sup>1</sup> Fuente: Navigant Research. Next-Generation Building Energy Management Systems. New Opportunities and Experiences Enabled by Intelligent Equipment.





moveirse hacia ZEBs, incluyendo menores impactos ambientales, menores costos operativos y de mantenimiento, mejor resistencia a cortes de energía y desastres naturales, y una mayor seguridad energética.

Por su parte, una planta industrial moderna es un sistema extremadamente complejo que puede ejecutar una gama casi innumerable de condiciones de funcionamiento, cada una caracterizada por el consumo específico de energía. Lograr una eficiencia óptima es el sueño de todos los gerentes de la planta. La determinación y el mantenimiento de las condiciones de operación ideales, es un desafío clave que requiere la participación de las últimas tecnologías de automatización; contribuyendo cada una no sólo a la adquisición, procesamiento, almacenamiento, recuperación y visualización de datos, sino también a la implementación de estrategias de control automático que pueden ampliar el rendimiento en términos de producción, seguridad y eficiencia energética.

Se prevé que el mercado de control industrial y de automatización de fábricas ascienda a 108.800 MMUSD en 2015 hasta alcanzar los USD 153.300 MMUSD en 2022, con un crecimiento del 4,88% anual entre 2016 y 2022. Se espera que el mercado experimente un crecimiento significativo en los próximos años debido a la adopción de soluciones de control industrial y automatización de fábricas en varios procesos de fabricación, que ayudan a los fabricantes a cumplir con los estándares de automatización industrial más recientes, ahorrar energía y mejorar la calidad.<sup>2</sup>

Los principales factores esperados para impulsar el crecimiento del mercado son los avances en el Internet industrial y las tecnologías de comunicación máquina a máquina, el aumento de la atención en la mejora de la eficiencia y bajo costo de producción y el apoyo de los gobiernos para la adopción de nuevas tecnologías en el sector manufacturero.

<sup>2</sup> <http://www.businesswire.com/news/home/20161013006424/en/Global-Industrial-Control-Factory-Automation-Market-Worth>



## 4. Descripción de la tecnología

A continuación se explican los principales elementos que componen los sistemas de control de edificios comerciales y control de plantas industriales enfocados en el ahorro de energía.

### 4.1. Sistema de control de edificios (BMS).

Desde el punto de vista energético, los BMS se enfocan principalmente en el control de los sistemas que más consumen energía en los edificios como son: los sistemas de aire acondicionado y los sistemas de iluminación. En algunos edificios se incluyen sistemas de bombeo y de control de ascensores.

Adicionalmente, en los países donde existen tarifas de energía horarias y cobro por demanda pico de energía, se instalan sistemas de control para la gestión de la demanda que permiten el consumo de energía en las horas valle donde la tarifa es mas baja y se intenta cortar los picos de demanda para reducir los costos de la energía eléctrica.

#### 4.1.1. Sistemas de control de aire acondicionado.

En los sistemas de aire acondicionado se controlan básicamente dos áreas.

**a. Área de consumo final:** por ejemplo, en la habitaciones de un hotel o un hospital, mediante termostatos programables como el que se observa en la figura 1, que permiten, además de controlar la temperatura y la humedad, detectar la presencia de personas y la apertura de puertas y ventanas.

Figura 1. Termostato inteligente para el control del uso del AA.<sup>3</sup>

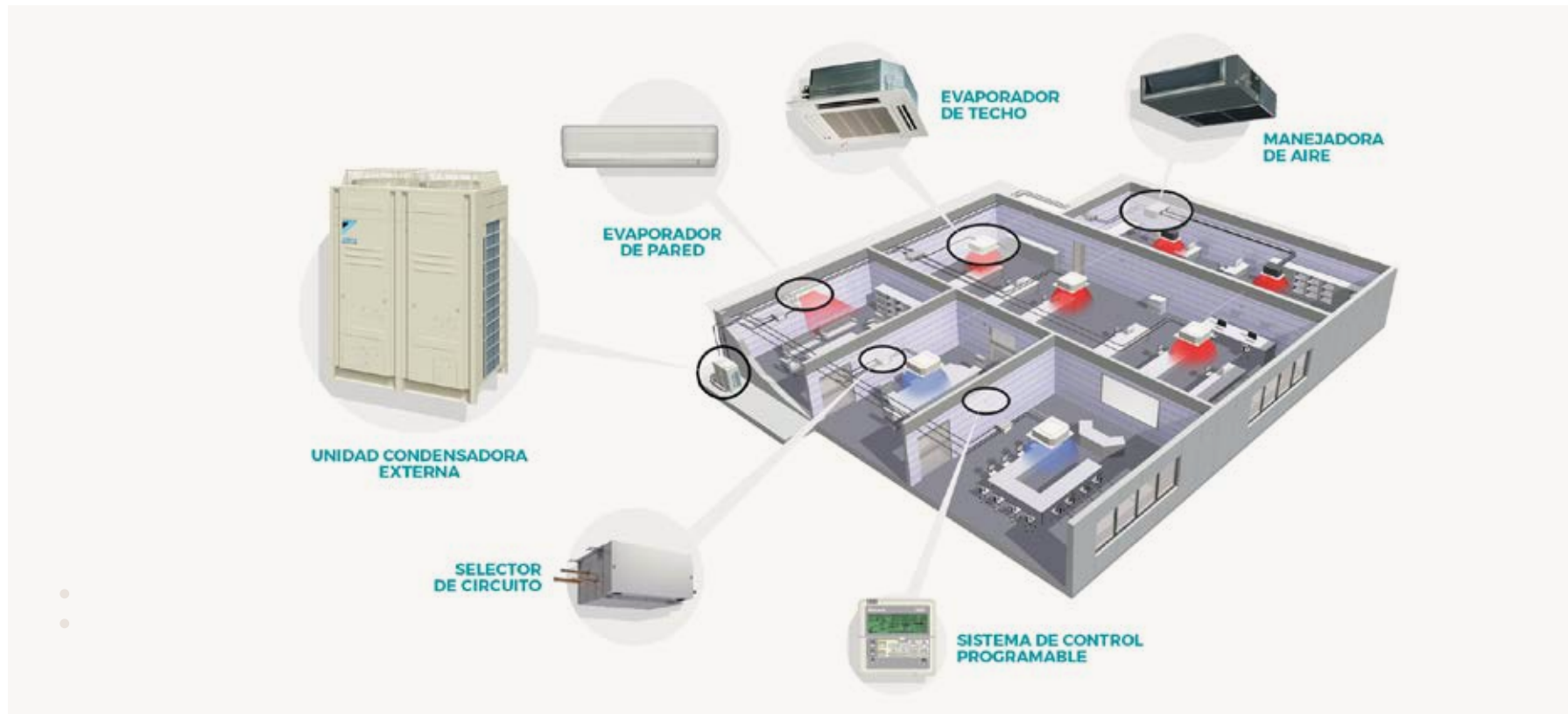


<sup>3</sup>Fuente: <http://yourhome.honeywell.com/en/products/thermostat/wi-fi-7-day-programmable-thermostat-rth6580wf>

En edificios antiguos, la renovación o la instalación de termostatos, permite el control del consumo de AA en diferentes áreas, regular la temperatura dependiendo de las necesidades, e incluso apagar el sistema de AA cuando detecte que no es necesario porque, por ejemplo, no hay huéspedes en la habitación de un hotel.

En sistemas más complejos, el control se integra con las diferentes áreas del edificio. En la figura 2 se presenta un esquema de control de aire acondicionado para un piso completo de un edificio en el cual se usan diferentes tecnologías de evaporación de acuerdo al área y sistemas de control centralizado, que permite el bloqueo de las temperaturas para que no salgan del rango establecido.

**Figura 2.** Sistema de control de AA para múltiples áreas.<sup>4</sup>



<sup>4</sup> Fuente: <https://www.daikin.com/products/ac/lineup/vrv/>



**b. Edificios que operan con sistemas centralizados tipo chillers:** la optimización energética se hace mediante la instalación de sistemas que monitorean temperatura y flujo y adaptan las condiciones de operación del sistema de acuerdo con la carga térmica del edificio, mediante variadores de frecuencia en el enfriador, las bombas de recirculación de agua y las bombas del sistema de torre de enfriamiento. Este sistema de control se complementa con válvulas de regulación de caudal que operan de acuerdo con los termostatos instalados en cada área del edificio o en las habitaciones del hotel.

#### 4.1.2. Sistemas de control de la iluminación.

Para grandes sistemas de iluminación como los que se encuentran en los centros comerciales, almacenes de retail y bodegas de almacenamiento, se instalan sistemas de control de iluminación centralizados, que tienen entre otras, algunas funciones como: dimerización de la iluminación de acuerdo con la disponibilidad de la iluminación natural, control de iluminación sectorizada y control de número de luminarias que se encienden o se apagan en distintos sectores de la instalación.

#### 4.1.3. Gestión de la demanda eléctrica.

Entre las opciones para hacer gestión de la demanda eléctrica en edificios se encuentran:

**Sistemas de almacenamiento de energía.** Estos sistemas están entrando al mercado gracias al incremento de las tarifas eléctricas y a la reducción de precios e incremento de calidad de las baterías eléctricas. Hoy es posible encontrar sistemas de almacenamiento con capacidad hasta de varios MW y que tienen vida útil superior a 10 años. El principio de operación es simple, se almacena energía cuando las tarifas son bajas (normalmente en la noche y en la madrugada) y se entrega al edificio cuando la energía es cara, tramos del día con tarifa pico. De esta forma, se logra reducir el pico de demanda y se reduce el precio promedio de la energía del edificio.

Normalmente estos sistemas se encuentran en contenedores acondicionados que se instalan al lado de los edificios como se observa en la figura 3.

**Figura 3.** Sistema de almacenamiento de energía con baterías industriales con capacidad de 5 MWh.<sup>5</sup>

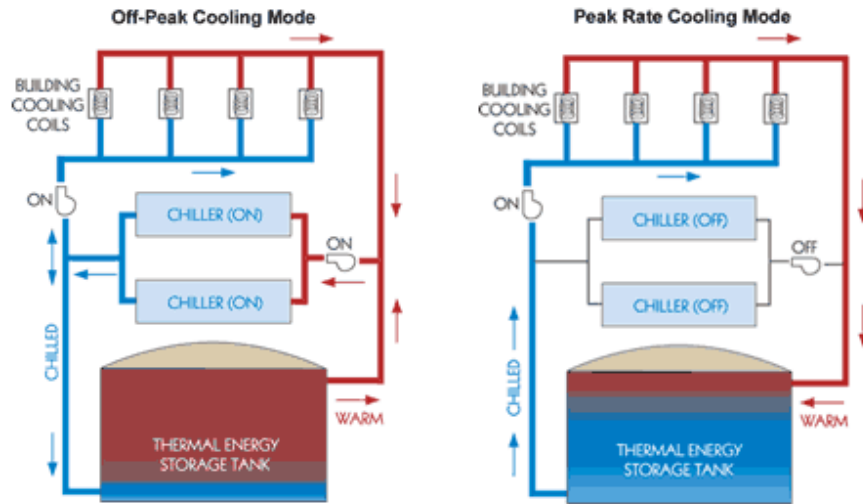


Sistemas de almacenamiento de frío. Teniendo en cuenta que el AA es el sistema que más energía consume en los edificios, se han desarrollado sistemas para operar almacenando frío en tanques de agua con glicol, de esta forma, cuando la demanda de frío baja en la noche y las tarifas eléctricas son más baratas, se almacena agua fría que se usa durante el día para suplir los picos de demanda de AA que coinciden con los tramos horarios de tarifas más altos.

Este tipo de sistemas permiten reducir la capacidad de los sistemas de AA acondicionado, no es necesario diseñarlos para el pico de demanda de frío, y además se reduce el pico de demanda de EE y se reducen las tarifas promedio con las que funciona la instalación. En la figura 4 se presenta un diagrama de operación de un sistema de almacenamiento de frío.

<sup>5</sup> Fuente: <http://www.businesswire.com/news/home/20140605005409/en/NEC-Commissions-5.7MWh-Grid-Energy-Storage-Installations>

**Figura 4.** Sistema de almacenamiento de frío.<sup>6</sup>



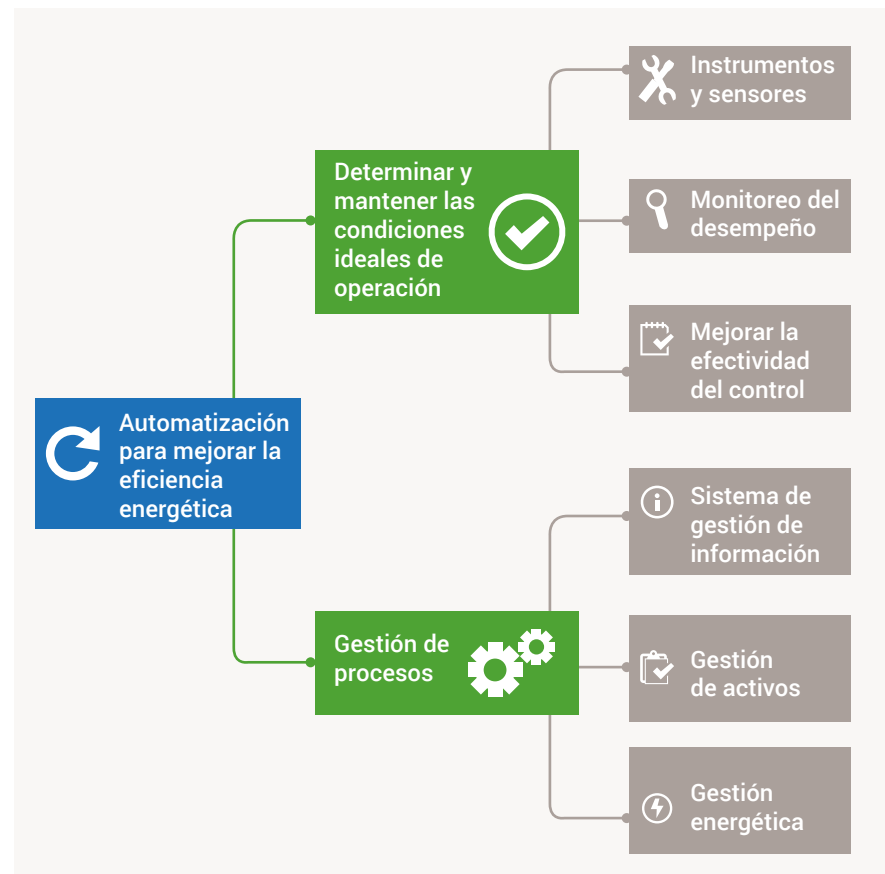
<sup>6</sup>Fuente: <https://faisal308.wordpress.com/2011/01/23/ice-storage-air-conditioning-isac-by-ice-energy-2/>

**4.2. Automatización y control industrial.**

En la industria, la automatización y control de procesos, permiten mejorar la eficiencia energética de los procesos, así como mejorar la productividad porque mantiene las mejores condiciones operativas, evitando la generación de desperdicios y reduciendo la cantidad de productos de baja calidad.

En la figura 5 se presentan las principales oportunidades de desarrollar proyectos de eficiencia energética en los sectores industriales y comerciales.

**Figura 5.** Oportunidades para mejorar le eficiencia energética a través de instrumentación y control en el sector industrial.



#### 4.2.1. Determinar las condiciones ideales de operación.

La automatización de procesos puede contribuir a mejorar la eficiencia energética de las plantas de producción industrial de muchas maneras. La implementación de mejores estrategias de monitoreo, control y optimización mejora el rendimiento energético directamente, a través de la reducción de pérdidas (muy a menudo asociadas con oscilaciones indebidas en los parámetros principales del proceso), e indirectamente, a través de mejores prácticas de mantenimiento que ayudan a prevenir un aumento en el uso de energía.

Instrumentación y sensores. Tienen el objetivo de proporcionar mediciones físicas de variables oportunas y precisas. Esto incluye no sólo los dispositivos de medición tradicionales (termopares, caudalímetros, sensores de presión y nivel), sino también equipos más complejos como analizadores o instrumentación avanzada (dispositivos diseñados para procesos específicos como hornos de cemento, altos hornos o unidades de recuperación de azufre).

Así por ejemplo, es posible automatizar los procesos de combustión en hornos y calderas mediante la instalación de sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y temperatura en los gases de combustión, y con base en estos parámetros operar los ventiladores de aire de combustión y mantener la relación aire/combustible en un valor óptimo en todo momento de la operación.

Monitoreo del desempeño. Las herramientas de monitoreo de rendimiento son soluciones de software que explotan tecnologías de vanguardia en estadísticas, procesamiento de datos y teoría de control para extraer información oculta en los datos del proceso, que es crucial para monitorear con precisión los procesos y la operación del equipo.

La instalación de medidores permite el control de la eficiencia de los procesos a través de indicadores de desempeño, como son la relación entre el consumo de combustible o energía eléctrica y la producción. La medición continua de estos indicadores permite la generación de estadísticas y encontrar desviaciones del rendimiento energético debido a condiciones de

operación, producción e incluso condiciones ambientales, como sucede por ejemplo, en los procesos de secado de productos.

Efectividad del control. La mejora del rendimiento del control tiene un impacto directo en el consumo de energía a diferentes niveles. Los controladores de base mejor ajustados representan el primer paso que incluye control avanzado hasta el control predictivo de modelos multivariables. El impacto sobre la eficiencia energética puede ser muy relevante, gracias principalmente, a la reducción de la variación de una variable de proceso, a menudo relacionada con el desperdicio de energía y la producción fuera de especificación.

#### 4.2.2. Gestión de procesos.

Una vez que las condiciones de funcionamiento ideales han sido identificadas y aplicadas, la gestión de procesos puede mejorar la eficiencia energética de una planta aún más. Esto implica evaluar la información del proceso disponible en su conjunto y elaborar la mejor estrategia para lograr los objetivos de eficiencia.

El fundamento de esta oportunidad son los sistemas de gestión de la información (IMS, por sus siglas en inglés), que proporcionan la infraestructura crucial para obtener cifras fiables y en tiempo real e indicadores clave de rendimiento para la concepción y ejecución de planes y estrategias de producción.

Los IMS pueden ser utilizados por herramientas adicionales y específicas, que mejoren el funcionamiento general de la planta. La gestión de equipos y procesos tiene un papel relevante, ofreciendo la posibilidad de evaluar en tiempo real el rendimiento de equipos y dispositivos de proceso tales como:

- Intercambiadores de calor, hornos, calderas y enfriadores.
- Equipos de bombeo.
- Sistemas de refrigeración.
- Sistemas de generación de energía eléctrica y renovable.





## 5. Descripción del proyecto

Un proyecto de automatización y control para la eficiencia energética, consiste en determinar en una planta industrial o en un edificio comercial, cuáles sistemas o equipos tienen oportunidad de ser mejorados y optimizados mediante la instalación de sistemas de monitoreo y control.

### 5.1. Línea de 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 determina bajo dos métodos:

- **Medición directa:** este método es el más recomendable, ya que los procesos y equipos trabajan en diferentes condiciones de operación, de esta manera se recomienda instalar medidores de consumo de combustibles y medidores del consumo energético del equipo o el proceso, para establecer un indicador de eficiencia en unidad de energía por unidad de producto. En el caso de un edificio, es posible instalar medidores por cada uno de los sistemas, de tal forma que se puedan establecer indicadores de consumo de energía en relación con el área, por ejemplo.
- **Calculo teórico:** mediante la eficiencia o los indicadores energéticos estimados de los equipos sin sistema de control y monitoreo, y la eficiencia o los indicadores energéticos de los sistemas con control y monitoreo, es posible establecer un cálculo aproximado de las reducciones en los consumos de combustibles y de energía eléctrica que se puede lograr con la implementación del proyecto.

### 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 se calcula teniendo en cuenta, el consumo de energía actual menos el consumo de energía con los nuevos AA. En general, el potencial de ahorro puede establecerse entre un 20 y 35% del consumo de energía actual, dependiendo de las condiciones de operación y del tipo de sistema que se tenga.

$$\text{Ahorro energético} = \frac{(\text{Indicador de eficiencia ex ante} - \text{Indicador de eficiencia ex post})}{\text{Indicador de eficiencia ex ante}}$$

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

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

Proyecto	Unidad	Fuente/Formula	Proyecto	Unidad	Fuente / Fórmula
<b>A. Producción del proceso o equipo antes de la automatización.</b>	Unidades/año	Medición en campo.	<b>H. Ahorro energético anual</b>	Unidad/año	$G * B$
<b>B. Consumo energético medido del proceso o el equipo antes de la automatización.</b>	Unidades/año	Medición en campo.	<b>I. Inversión en el sistema de automatización y control.</b>	USD	Dato de inversión .
<b>C. Indicador de eficiencia del proceso o el equipo actual.</b>		B/A	<b>J. Precio de la energía eléctrica o del combustible.</b>	Unidad/año	Dato de operación.
<b>D. Producción del proceso o equipo después de la automatización.</b>	Unidades/año	Medición en campo.	<b>K. Ahorro económico.</b>	USD/año	$H * J$
<b>E. Consumo energético medido del proceso o el equipo después de la automatización.</b>	Unidades/año	Medición en campo.	<b>L. Periodo de retorno simple.</b>	Años	I/K
<b>F. Indicador de eficiencia del proceso o el equipo futuro</b>		E/D	<b>M. Factor de emisión.</b>	Kg CO <sub>2</sub> /Unidad	Dato Agencia Internacional de Energía o red nacional de energía.
<b>G. Porcentaje de ahorro energético calculado.</b>	%	$(C - F) * 100 / C$	<b>N. Reducción de emisiones anuales.</b>	Kg CO <sub>2</sub> /año	$H * M$

La reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta al factor de emisión de la energía eléctrica que se consume en el sistema de aire acondicionado. 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 de aire acondicionado es autogenerada o cogenerada, el factor de emisión deberá calcularse para el caso específico.

\*Los EERs no siempre son reportados en BTU-h/W, por lo que se deben hacer las conversiones respectivas.

## 6. Requerimiento de inversión

En la tabla 4 se resumen los niveles de inversión en diferentes opciones de automatización y control, que se podrían desarrollar en los diferentes sectores. Debe entenderse que estos son valores de referencia que no incluyen costos de instalación, dado que dependen de las condiciones específicas del sitio donde se desarrolle el proyecto. En ningún caso corresponden a valores definitivos de inversión.

**Tabla 4.** Requerimientos de inversión en sistemas de automatización y control.

Oportunidad	Potencial de Ahorro energético (%)	Características	Inversión aproximada	Periodo de retorno simple (Años)
<b>Automatización de los sistemas de AA en edificios comerciales, hoteles y hospitales.</b>	20 a 30%	Instalación de equipos de monitoreo y medición de carga térmica y variables ambientales.	100.000 a 300.000 USD dependiendo de la capacidad del sistema.	2 a 5 años dependiendo de las horas de operación de los equipos y el precio de la energía eléctrica.
<b>Instalación de sistemas de almacenamiento para hacer gestión de demanda de energía eléctrica.</b>	30 a 40%	Instalación de sistemas de acumulación de energía eléctrica.	1.000 a 1.500 USD/kW instalado.	5 a 8 años dependiendo del precio de la energía eléctrica y de la potencia eléctrica
<b>Instalación de sistemas de almacenamiento de frío para hacer gestión de la demanda eléctrica.</b>	20 a 30%	Instalación de sistemas de almacenamiento de agua fría para operar los sistemas de AA en tarifas valle o nocturnas.	200 a 500 USD/Ton de capacidad de almacenamiento.	2 a 3 años dependiendo del precio de la energía eléctrica y de la potencia eléctrica
<b>Automatización de los sistemas de iluminación en edificios comerciales, retail y hoteles y hospitales.</b>	30 a 50%	Dimerización de los sistemas, sectorización de la iluminación, aprovechamiento de la luz natural.	50.000 – 150.000 USD dependiendo del área del edificio.	2 a 5 años dependiendo de las horas de operación de los equipos, el precio de la energía eléctrica y el precio de la demanda.
<b>Automatización de sistemas de combustión en el sector industrial.</b>	10 a 20%	Instalación de sensores de O <sub>2</sub> , CO y temperatura para gobernar los sistemas de combustión.	15.000 a 50.000 USD dependiendo de la capacidad del equipo.	3 a 5 años dependiendo del precio del combustible.
<b>Medición inteligente del consumo de energía de la red eléctrica.</b>	10 a 20%	Instalación de medidores que permiten hacer gestión de la demanda dependiendo de la carga.	50.000 – 150.000 dependiendo de la capacidad de la instalación	2 a 4 años dependiendo del precio de la energía eléctrica en las franjas horarias.
<b>Automatización de sistemas de bombeo.</b>	30 a 40%	Instalación de medidores de presión y caudal junto con variadores de frecuencia.	50.000 – 150.000 USD dependiendo de la capacidad de los equipos de bombeo.	2 a 5 años dependiendo del precio de la EE.

Es importante mencionar que uno de los ahorros económicos más importantes que generan los proyectos de automatización y control, tiene que ver con los costos de personal para la operación de los diferentes sistemas, estos ahorros en muchos casos pueden ser aun mayores que los ahorros económicos por el consumo de energía eléctrica y combustibles, y sin duda mejoran la rentabilidad de los proyectos de inversión en estas tecnologías.





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

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

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

Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
 <b>Operación adecuada de los sistemas de control.</b>	Técnico	Realizar un análisis adecuado de las condiciones de operación de los sistemas antes de instalar el sistema de control para maximizar la eficiencia de la instalación.
 <b>Generación de residuos especiales y peligrosos en los proyectos de gestión de la demanda con baterías.</b>	Ambiental	Verificar que los equipos de almacenamiento de energía se entreguen a una compañía que haga la disposición final de manera adecuada, cumpliendo con la legislación ambiental del país.
 <b>Vida útil de los equipos.</b>	Técnico	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 o reducción de emisiones de GEI.
 <b>Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.</b>	Técnico/Financiero	Verificar que el diseño del proyecto es correcto y que se usan tecnologías con certificación de EE. Incluir en la inversión sistemas para monitorear de manera remota y en tiempo real la operación de los equipos y verificar los ahorros energéticos.



## 8. Criterios de elegibilidad

Los proyectos de eficiencia energética relacionados con automatización y control presentan potenciales de reducción de consumo de energía entre el 10% y el 30% en condiciones normales de operación. El potencial de reducción de consumo depende de las condiciones de control del sistema o equipo actual y su potencial optimización.

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 sistemas de automatización y control tienen periodos de retorno simple entre 3 y 5 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 **5** años



## 9. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto

Los proyectos de automatización y control 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 automatización y control puede hacerse de dos maneras:

**Monitoreo continuo:** instalación de medidores de energía o combustibles de tal forma que es posible monitorear el consumo y la operación de equipos y los procesos de manera permanente.

**Monitoreo puntual:** en el caso de sistemas que no cuentan con monitoreo permanente, se recomienda hacer mediciones periódicas de consumo de energía y/o combustibles y producción para establecer indicadores que permitan hacer un seguimiento al proyecto.

Los indicadores que se recomienda utilizar para el reporte de monitoreo del proyecto se presentan en la tabla 6.

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

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Producción.	Unidades/año		
Indicador de consumo de energía.	kWh/unidad de producto		
Indicador del consumo de combustible.	Unidad de combustible/ Unidad de producto.		

Los indicadores que se pueden utilizar para la medición de reducciones de consumo de energía y emisiones se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7.** Indicadores de monitoreo del proyecto.

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



## 10. Caso de estudio

Una empresa de producción de lácteos, desea automatizar la operación de los sistemas de combustión de su caldera de producción de vapor, de tal forma que pueda incrementar la eficiencia del equipo actual sin necesidad de sustituirlo.

La capacidad de la caldera actual es de 400 BHP, produce 6.000 Kg de vapor por hora y opera un promedio de 6.000 horas/año con una eficiencia del 75% y tiene un consumo de combustible de 550 m<sup>3</sup> de gas natural por hora. El costo del gas natural es 0,5 USD por m<sup>3</sup> y el factor de emisión es de 1,8 Kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

La inversión en el sistema de automatización que consiste en la instalación de un sistema automático para el control de la combustión tiene un valor de 250.000 USD.

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



**Tabla 8.** Información obtenida para el caso de estudio.

Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Valor	Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Valor
A. Producción del proceso o equipo antes de la automatización.	Kg/año	Medición en campo.	36.000.000	H. Ahorro energético anual.	m <sup>3</sup> /año	G*B	475.000
B. Consumo energético medido del proceso o el equipo antes de la automatización.	m <sup>3</sup> /año	Medición en campo.	3.300.000	I. Inversión en el sistema de automatización y control.	USD	Dato de inversión.	250.000
C. Indicador de eficiencia del proceso o el equipo actual.	m <sup>3</sup> /kg	B/A	0,092	J. Precio de la energía eléctrica o del combustible.	USD/m <sup>3</sup>	Dato de operación.	0,5
D. Producción del proceso o equipo después de la automatización.	Kg/año	Medición en campo.	36.000.000	K. Ahorro económico anual.	USD/año	H*J	237.500
E. Consumo energético medido del proceso o el equipo después de la automatización.	m <sup>3</sup> /kg	Medición en campo.	2.825.000	L. Periodo de retorno simple.	Años	I/K	1,05
F. Indicador de eficiencia del proceso o el equipo futuro	m <sup>3</sup> /kg	E/D	0,078	M. Factor de emisión.	Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Dato Agencia Internacional de Energía o red nacional de energía.	1,8
G. Porcentaje de ahorro energético calculado.	%	$(C - F)/(C \times 100)$	14,39	N. Reducción de emisiones anuales.	Kg CO <sub>2</sub> /año	H*M	855.000

Para este proyecto se puede observar que se alcanzan ahorros anuales de 237.500 USD por la automatización de la caldera, el periodo de retorno simple de la inversión es de 1,05 años y se pueden reducir las emisiones anuales de la empresa 855 Ton CO<sub>2</sub>/año por la instalación del nuevo sistema, 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 9,5 USD por cada dólar invertido en un periodo de 10 años.



Ahorros económicos del 14,4%.



Reducción en el consumo energético del 14,4% con respecto a la situación actual



Reducción de emisiones del 14,4 % con respecto a la situación actual



Tiempo de retorno inferior a 5 años.



## 11. Referencias

- > Navigant Research, White Paper. Next-Generation Building Energy Management Systems. New Opportunities and Experiences Enabled by Intelligent Equipment.
- > N. Bonavita. How process automation can increase energy efficiency. Process Plant Optimization.
- > Carbon Trust. Building controls. Realising savings through the use of controls.
- > Pacific Northwest National Laboratory Energy Management and Control System: Desired Capabilities and Functionality.

## 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

---