



PROGRAMA NACIONAL PARA PROMOVER LAS ACTIVIDADES VOLUNTARIAS
DE MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN CORPORATIVAS E INSTITUCIONALES

7

GUÍA PARA LA GESTIÓN
DE LA HUELLA
DE CARBONO ORGANIZACIONAL



PROGRAMA NACIONAL PARA PROMOVER LAS ACTIVIDADES VOLUNTARIAS
DE MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN CORPORATIVAS E INSTITUCIONALES

7

GUÍA PARA LA GESTIÓN
DE LA HUELLA
DE CARBONO ORGANIZACIONAL

PROGRAMA NACIONAL PARA PROMOVER LAS ACTIVIDADES VOLUNTARIAS DE MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN CORPORATIVAS E INSTITUCIONALES

7

GUÍA PARA LA GESTIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO ORGANIZACIONAL



Elsa Matilde Escobar
Directora Ejecutiva

Roberto León Gómez
Subdirector Desarrollo Local y Cambio Global



Fabiola Suárez
Directora CAEM



Rafael Mejía
Presidente



Luis Gilberto Murillo
Ministro

Rodrigo Suárez
Director de Cambio Climático



MVC COLOMBIA
Mecanismo de Mitigación Voluntaria de Emisiones de GEI

Director General:
Roberto León Gómez

Componente 1:
Michelle Hernández

Componente 2:
Alexandra Ochoa Herrera

Componente 3:
Margarita Pava

Realizada por:
William Rodríguez Delgado
Consultor – Componente 3 MVC COLOMBIA
Rafael Varón - Apoyo Técnico

Coordinación Institucional y Acompañamiento Técnico:
CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL - CAEM
Fabiola Suárez Sanz / Margarita Pava Medina
William Rodríguez Delgado / Daniela Villalba Rodríguez / Oscar Felipe Saavedra

Diseño:
Andy Rodríguez M.



Cítese como:

Fundación Natura. Guía para la gestión de la Huella de Carbono Organizacional; Rodríguez, W. Bogotá D.C. Colombia, Fundación Natura; CAEM. 2016.

La elaboración, diagramación e impresión de esta guía fue realizada con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial – FMAM -, a través del Banco Interamericano de Desarrollo – BID.

© Fundación Natura

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización de los titulares de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN

1.1	¿POR QUÉ UNA GUÍA?	5
1.2	¿CUÁL ES EL CONTENIDO DE LA GUÍA?	6
1.3	¿POR QUÉ INICIAR ESTE PROCESO?	6

2 DESARROLLO

2.1	¿QUÉ SE NECESITA PARA INICIAR?	9
2.2	¿CÓMO GESTIONAR LA HUELLA DE CARBONO DE UNA ORGANIZACIÓN?	10
2.3	MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	12
2.3.1	Gestión Energética Organizacional	14
	2.3.1.1 Estructura de un Sistema de Gestión de la Energía	15
	2.3.1.2 Caracterización de consumo de energía	16
	2.3.1.3 Alternativas de gestión de energía	23
2.3.2	Otras formas de mitigación de GEI en las organizaciones	42
2.3.2.1	Gases Refrigerantes	42
2.3.2.2	Extintores	45
2.4	COMPENSACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	46
2.5	HUELLA DE CARBONO COMO MECANISMO PARA LA TOMA DE DECISIONES	50
2.6	PROGRAMA DE GESTIÓN DE HUELLA DE CARBONO	53
2.7	CURVAS DE COSTOS MARGINALES DE ABATIMIENTO DE CO ₂	54

3 REFERENCIAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

INTRODUCCIÓN



1.1 ¿PORQUE UNA GUÍA?

La alianza interinstitucional entre; la Fundación Natura, la Bolsa Mercantil de Colombia BMC y la Cámara de Comercio de Bogotá - CCB a través de su filial, la Corporación Ambiental Empresarial - CAEM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el apoyo del Global Environment Facility - GEF a través del Banco Interamericano de Desarrollo - BID, lidera el proyecto: MECANISMO PARA LA MITIGACIÓN VOLUNTARIA DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI) EN COLOMBIA (MVC COLOMBIA), el cual busca promover los mercados voluntarios de carbono en el país.

En el marco del proyecto se identificó que el sector empresarial necesita fortalecer sus capacidades para el cálculo de la huella de carbono organizacional mediante la apropiación de conceptos, metodologías y herramientas, que conlleven a su vez, a que las organizaciones encausen sus esfuerzos para gestionar dicha huella de carbono. Por esta razón, el Proyecto MVC Colombia pone a disposición del público en general un paquete de guías que oriente el ejercicio práctico para el cálculo y gestión de la huella, y de esta forma atender esta necesidad en cualquier sector económico interesado en la materia.

La Huella de Carbono Organizacional mide la contribución de una institución al impacto ambiental del cambio climático, razón por la cual las organizaciones se interesan por medir sus emisiones y en algunos casos, en plantear medidas para la reducción del impacto ambiental ocasionado por sus actividades.

Es recurrente en la actualidad, que las organizaciones calculen su huella de carbono, pero muchas de ellas no dan el siguiente paso llevando este proceso hacia la reducción de las emisiones de gases

de efecto invernadero GEI, con lo cual, todo el esfuerzo relacionado con este primer proceso, servirá solo como un indicador organizacional más y no se le sacará todo el provecho que la metodología de la Huella de Carbono Organizacional puede presentar para sus usuarios.

Por estas razones, es importante que después de realizar el cálculo de la Huella de Carbono Organizacional, esta sea gestionada por las empresas responsables de forma que puedan reducir y optimizar sus costos de operación, aprovechar los beneficios ligados a la imagen publicitaria y reconocimiento de las partes interesadas, cumplir con requerimientos externos de clientes, autoridades o programas de reporte y visibilizar los avances en gestión ambiental que ya realizan las compañías en otros aspectos ambientales diferentes a la emisión de GEI.

Sin embargo, muchas organizaciones no conocen la importancia del desarrollo de un proceso de gestión de su huella de carbono, no saben cómo desarrollar una metodología para llevarlo a la realidad o no conocen los grandes beneficios asociados a su establecimiento; incluso, no se hace evidente que las diferentes actividades de gestión ambiental que ya son realizadas por las empresas para el manejo de otros aspectos e impactos ambientales o con el objetivo de optimizar procesos de producción, también contribuyen a la reducción de emisiones de GEI y por lo tanto a la mitigación del impacto ambiental ocasionado por la organización en este sentido.

La presente guía orienta a las entidades responsables del cálculo de la huella de carbono corporativa, para que optimicen el uso de la información, y puedan usarla para establecer un plan de gestión de huella de carbono que les ayude a sacar el máximo

provecho de este indicador y a reducir el impacto que ocasionan en el medio ambiente, mediante la identificación y priorización de procesos de mitigación y compensación de GEI.

Esta herramienta hace parte de una serie de guías de referencia, las cuales se desarrollan en el marco

de operación del componente de Implementación de un programa nacional para promover actividades voluntarias de mitigación y compensación de emisiones organizacionales, el cual, hace parte de la iniciativa MVC COLOMBIA y se encuentra a cargo de la Corporación Ambiental Empresarial, filial de la Cámara de Comercio de Bogotá.

1.2 ¿CUÁL ES EL CONTENIDO DE LA GUÍA?

La gestión de la huella de carbono es tan específica para cada organización, como lo son sus procesos y actividades productivas; por lo cual no es sencillo desarrollar una guía única que permita a organizaciones de todos los sectores implementar su programa de gestión de huella de carbono, pero si se puede orientar el proceso general y dar a conocer las condiciones que lo motivan y lo dirigen.

La presente guía aborda este reto, y por lo tanto contiene la información necesaria para reconocer las características del proceso de gestión de la huella de carbono organizacional, y las herramientas necesarias para su desarrollo. Está dividida en tres secciones principales: introducción, desarrollo y referencias.

La sección de introducción delimita el alcance, los usuarios potenciales y los beneficios generales relacionados con el proceso, de forma que cualquier usuario en cualquier organización pueda identificar para que le sirve la presente guía. La sección de desarrollo de la guía, comprende toda la información necesaria para conocer en que consiste y orientar el establecimiento de un plan de gestión de huella de carbono en la organización, incluyendo información acerca de los procesos de mitigación y compensación; y de la priorización asociada a estas dos metodologías de gestión. La última sección, muestra algunas referencias para profundizar la información referente a la gestión de la huella de carbono en las organizaciones.

1.3 ¿POR QUÉ INICIAR ESTE PROCESO?

Las organizaciones que desarrollan el cálculo de la huella de carbono y están interesadas en usar este indicador como una estrategia de mejoramiento interno, deben establecer un plan de gestión que les permita alcanzar este objetivo. La gestión de la huella de carbono puede traer beneficios considerables las organizaciones, entre los

cuales se tiene:

- Identificación de oportunidades de mejora ambiental en procesos, a través de la revisión de los puntos críticos de generación de gases de efecto invernadero.
- Reducción de costos relacionada con el ajuste de

los procesos críticos o con el aprovechamiento de las oportunidades de mejora.

- Aumento de la productividad debida a la mejora en las condiciones de proceso y a la relación entre la reducción de los consumos y las unidades producidas.

- Mejora de la imagen de la organización, al proyectar una imagen de compromiso ambiental con la reducción de GEI y la lucha contra el cambio climático.

- Posibilidad de acceder a beneficios privados,

como por ejemplo la posibilidad de constituirse en una organización carbono-neutral al desarrollar la implementación del programa de gestión de huella de carbono.

La organización que implemente un programa de gestión de huella de carbono que incluya procesos de compensación, también contará con beneficios adicionales como la posibilidad de poder ayudar a proyectos de reducción de emisiones, a las comunidades que los hacen y la contribución a iniciativas sociales y económicas relacionadas con esquemas de crecimiento verde.



DESARROLLO



2.1 ¿QUÉ SE NECESITA PARA INICIAR?

El desarrollo de un proceso de gestión de huella de carbono está directamente relacionado con el establecimiento de una estrategia organizacional clara con respecto a este problema ambiental, es decir, las organizaciones que se hacen conscientes del problema y deciden realizar una intervención para reducir el impacto ambiental que causan, trazan una meta para realizar su manejo, que en muchos casos viene dada desde la misma dirección, y plan de trabajo para alcanzar esta meta que normalmente contiene los pasos señalados en el presente documento.

El primer paso para poder establecer un plan de gestión de la huella de carbono es conocer las condiciones iniciales de la organización, para lo cual es necesario que la organización ya tenga calculada su huella de carbono y conozca las fuentes que representan la mayor cantidad de las emisiones GEI¹.

Una vez se conozca la Huella de Carbono de la organización, se pueden iniciar acciones conscientes orientadas a la gestión de las emisiones, y es importante hacerlo luego de establecer un objetivo aunque no es obligatorio tenerlo para iniciar estas acciones; de hecho hablamos de acciones conscientes porque normalmente muchas de las actividades desarrolladas por la organización en materia de gestión ambiental (energía, combustibles, residuos, agua, materias primas, etc) contribuyen a la reducción de emisiones de GEI constituyéndose en acciones inconscientes que no son contabilizadas como aportes organizacionales a la gestión del cambio climático.

El objetivo de reducción de emisiones puede establecerse de diversas formas, una de ellas se ha denominado “iniciativa de objetivos basados en

ciencia”, que ha sido propuesta de la We Mean Business Coalition (con participación de Carbon Disclosure Project CDP y World Business Council for Sustainable Development WBCSD, entre otros socios²), ha sido adoptada por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, que la ha incluido como parte de la agenda global de intervención en el sector empresarial³. El planteamiento relacionado con esta metodología se basa en el desarrollo de un proceso de benchmarking o comparación de la organización con empresas de su sector en términos de intensidad de carbono⁴ y con el potencial de reducción de emisiones de su sector productivo calculado por la iniciativa y alineado con la meta global de los 2°C⁵. Las limitaciones de la metodología están relacionadas con la falta de información específica para algunos sectores y con su desarrollo para un contexto internacional, que puede no responder a las condiciones propias de nuestro país. El obje-

¹ Para profundizar en el método para realizar el cálculo de la huella de carbono organizacional, revisar las demás guías de esta serie, disponibles en www.mvccolombia.co

² We Mean Business es una coalición de organizaciones que trabajan con miles de empresas y los inversores más influyentes del mundo. Estas empresas reconocen que la transición hacia una economía baja en carbono es la única manera de garantizar un crecimiento económico sostenible y la prosperidad para todos. Mayor información puede ser revisada en: <http://www.wemeanbusinesscoalition.org/>

³ Mayor información en: <http://newsroom.unfccc.int/lpaa-es/empresas/iniciativa-de-objetivos-basados-en-la-ciencia-impulsando-una-accion-climatica-valiente/>

⁴ La intensidad de carbono es la relación de la cantidad de emisiones GEI con respecto a una variable de actividad, por ejemplo: tonelada de CO₂e por tonelada producida o tonelada de CO₂e por kilómetro recorrido.

⁵ El acuerdo de París relaciona el deseo de los países firmantes de “mantener el aumento de las temperaturas por debajo de los 2 grados con respecto a los niveles preindustriales y perseguir los esfuerzos para limitar el aumento a 1,5 grados”. El acuerdo puede ser consultado en: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>

tivo también puede desarrollarse, basándose en las condiciones particulares de cada organización y atendiendo a las metodologías que cada organización tenga dentro de su estrategia para este fin.

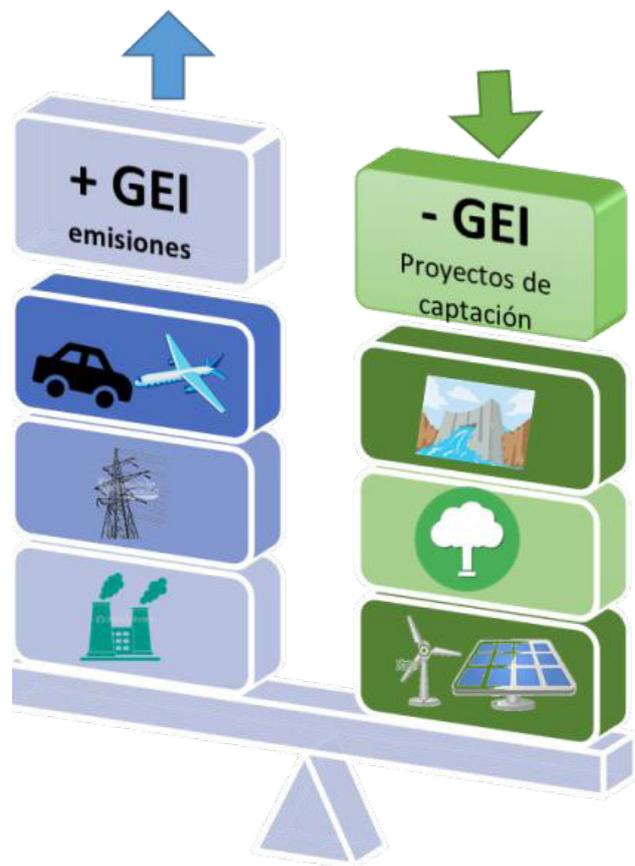
Por último, es importante contar con información específica de cada fuente de generación de GEI, con el mayor nivel de detalle posible en su periodicidad y origen; a modo de ejemplo, para la gestión de la huella de carbono es mucho más productivo

tener los valores de los consumos mensuales de electricidad, que los valores anuales; o valores de consumo por maquina o proceso principal, más que los valores globales de consumo de toda la organización. De cualquier forma, no es una limitante para el desarrollo del programa la forma en la que se presente la información, pero si puede hacer más complejo el desarrollo de los cálculos de reducción de emisiones de los proyectos.

2.2 ¿CÓMO GESTIONAR LA HUELLA DE CARBONO DE UNA ORGANIZACIÓN?

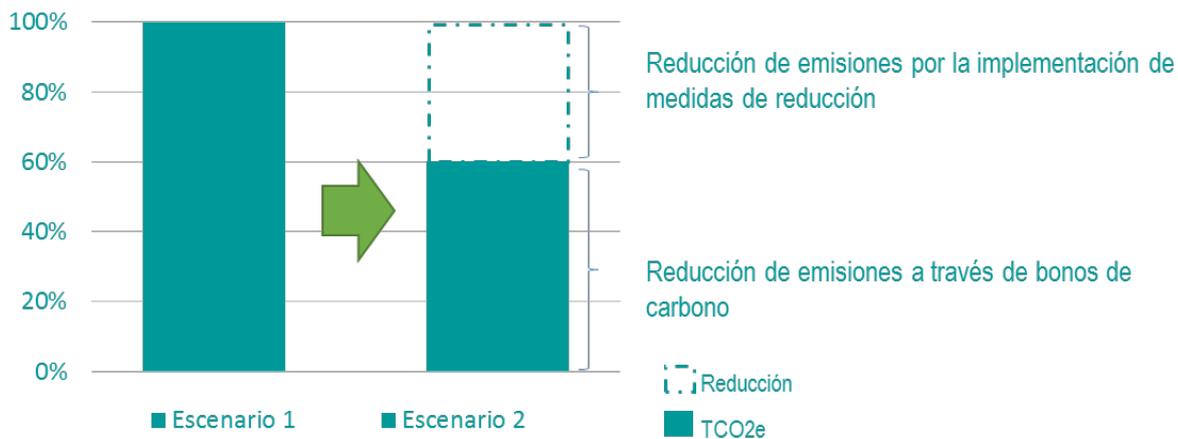
La gestión de la huella de carbono en las organizaciones debe hacerse utilizando la alternativa de desarrollar proyectos orientados a la mitigación interna de GEI en la organización como primera medida de intervención, y el apoyo a proyectos externos de reducción de emisiones bajo un modelo de compensación de emisiones como alternativa complementaria.

Es necesario que el orden de las intervenciones señalado anteriormente se cumpla en la organización, teniendo en cuenta que la mitigación es necesaria para demostrar el compromiso organizacional con relación al cambio climático y permite obtener los beneficios más tangibles para la organización relacionados con la gestión de las emisiones de GEI. La compensación como única estrategia organizacional para afrontar el impacto ocasionado, limita el verdadero potencial que tiene la organización para coadyuvar en la solución al problema del cambio climático y hasta cierto punto reduce o traslada la responsabilidad a otras organizaciones. Las alternativas de mitigación y compensación de la organización pueden ser reseñadas en su plan o programa de gestión de huella de carbono como se describe más adelante.



Teniendo en cuenta que prácticamente todas las actividades del ser humano generan GEI y que es imposible pensar en el desarrollo de la mayor parte de las actividades productivas sin la generación de este tipo de gases, el objetivo para algunas organizaciones (según sus propias características: sector de actividad, nivel de gestión, recursos disponibles, etc) que quieran ocasionar el menor impacto ambiental posible puede ser la carbono neutralidad.

La carbono neutralidad para una organización consiste en desarrollar un proceso de gestión que como resultado obtenga que las toneladas de emisiones de GEI que se generen por los procesos organizacionales (inclusive luego de haber implementado diferentes alternativas para la mitigación de las emisiones), sean iguales a las toneladas de GEI de compensaciones realizadas por la organización, de forma que en una operación de suma



entre emisiones y reducciones (obtenidas a través de mitigación y compensación) el resultado sea cero.

La carbono neutralidad permite a las organizaciones obtener un status superior desde el punto de vista de su responsabilidad con respecto al medio ambiente y existen varios mecanismos de verificación y certificación de esta condición. Es tan importante esta condición para algunas organizaciones en Europa y Estados Unidos, que incluso algunas de ellas se han planteado y trabajan en la posibilidad de ser carbono negativas⁶, es decir, que en la relación entre sus emisiones y las reducciones (obtenidas mediante mitigación y compensación)

estas últimas sean superiores, y por lo tanto el resultado de la cantidad de carbono emitido a la atmósfera como consecuencia de la actividad sea negativa, lo cual dentro de la estructura metodológica y técnica que sustenta el termino, se considera un impacto ambiental positivo de la actividad y por lo tanto de la organización.

A continuación se describen con mayor detalle los procesos de mitigación y compensación.

⁶ En algunos países y contextos específicos se ha popularizado el termino carbono positivo para referirse a la misma condición acá señalada.

2.3 MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La mitigación de gases de efecto invernadero puede ofrecer diversas alternativas de reducción de gases de efecto invernadero a la organización que están relacionadas directamente con las características particulares de la organización, es decir, normalmente en ninguna organización las alternativas de mitigación de las emisiones de GEI serán las mismas que en otra, aunque pertenezcan al mismo sector de actividad.

La organización puede identificar fuentes de mayor importancia dentro de su inventario de GEI, y de esta forma revisar las áreas y procesos específicos donde se sitúan esas fuentes con el ánimo

de iniciar su intervención allí. Una metodología aplicable para realizar esta priorización es la de construir un diagrama de Pareto con las diferentes fuentes de emisión, para lo cual se deben conocer las emisiones por fuente bajo un horizonte temporal común, calcular los porcentajes de participación de cada fuente con respecto al total, organizar todos los valores de mayor a menor porcentaje de participación y obtener los porcentajes acumulados. En la siguiente tabla se presentan a modo de ejemplo los resultados de las variables anteriormente señaladas para una empresa.

Tabla 1. Ejemplo de valores para la construcción de diagrama de Pareto de emisiones.

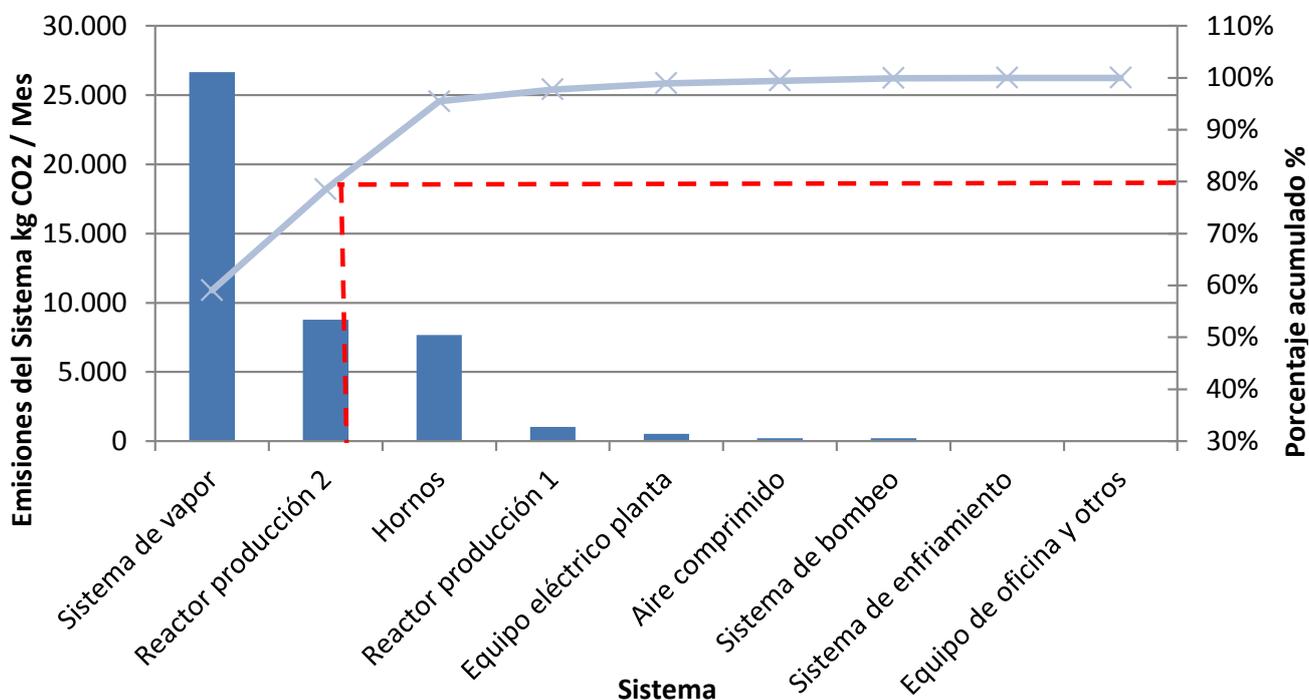
Sistemas	Emisiones GEI (kg CO ₂ e/mes)	% Participación	% Acumulado
Sistema de vapor	26667	59%	59%
Reactor producción 2	8769	19%	78%
Hornos	7659	17%	95%
Reactor producción 1	1027	2%	98%
Equipo eléctrico planta	544	1%	99%
Aire comprimido	224	0%	99%
Sistema de bombeo	216	0%	100%
Sistema de enfriamiento	39	0%	100%
Equipo de oficina y otros	6	0%	100%

Fuente. El autor, 2016.

Una vez que se conocen todos los valores el diagrama de Pareto se construye graficando las emisiones con respecto a su porcentaje acumulado

para todas las fuentes involucradas. La siguiente figura muestra el gráfico correspondiente a los valores de la tabla anteriormente presentada:

Gráfico 1. Ejemplo diagrama de Pareto de emisiones.



Fuente: El autor.

La aplicación del principio de Pareto⁷ en el contexto de las emisiones organizacionales podría llevar a concluir que el 20% de las fuentes ocasiona el 80% de las emisiones de GEI. Según la información presentada en el gráfico anterior el 80% de las emisiones está ocasionado por dos de los sistemas de la organización (el sistema de vapor y el reactor de producción 2). Al identificar las principales fuentes de emisión de la organización se pueden iniciar actividades y proponer proyectos para reducir el impacto asociado a estas dos fuentes principalmente.

No quiere decir esto que las demás fuentes no sean importantes, pero una intervención en las fuentes principales tendrá una incidencia mucho mayor en los resultados que si se realiza en otras

fuentes de menor importancia. Para poder ejemplificar este aspecto, en la empresa del caso descrito en la tabla y gráfico anteriores se identifica un proyecto que puede ocasionar una reducción de 1% en los reactores de producción, pero solamente se puede implementar en uno de ellos por cuestiones económicas, si se realiza la intervención en el reactor uno la reducción de emisiones será de aproximadamente 1,03 toneladas de CO₂ por mes, pero si se implementa la alternativa en el reactor 2 la reducción de emisiones será de 8,77 toneladas de CO₂ por mes.

⁷ También conocido como la regla del 80-20, ley de los pocos vitales o principio de escasez del factor, es una regla con fundamento empírico la cual señala que el 20% de las causas puede ocasionar el 80% de las consecuencias.

Una vez identificadas las áreas de intervención se hace necesario empezar a gestionar las fuentes principales para conocerlas en detalle y poder identificar alternativas de mitigación específicas para cada una de ellas. A continuación se describe la forma de realizar este proceso para la energía eléctrica, los gases refrigerantes y los extintores por ser algunas de las fuentes más importantes y comunes⁸.

2.3.1 Gestión Energética Organizacional

Normalmente el consumo de energía en todas sus formas (combustibles y electricidad) suele ser una de las fuentes principales de generación de emisiones de gases de efecto invernadero en las organizaciones, por lo cual esta parte de la guía se va a centrar en la metodología para poder gestionar este recurso, identificar las condiciones de consumo del mismo y por lo tanto reducir la cantidad de emisiones GEI asociadas.

La gestión energética organizacional se puede definir como el conjunto de estrategias y alternativas orientadas a reducir al mínimo el consumo de energía mientras se mantienen o incrementan los niveles de producción de la organización. La norma ISO 50001⁹ describe la estructura de un sistema de gestión de la energía y define los criterios básicos para su implementación.

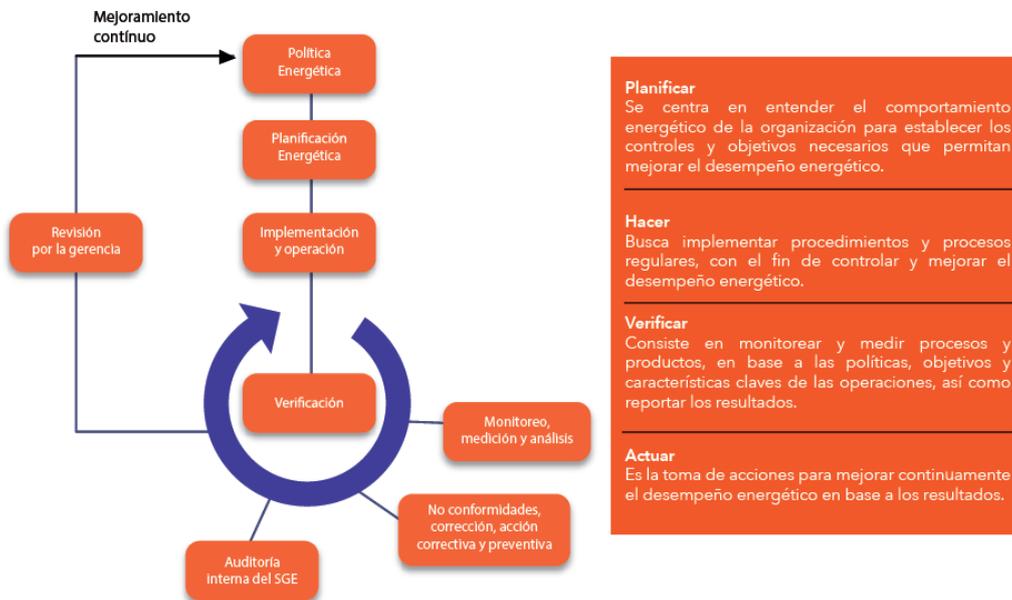
El sistema de gestión de la energía bajo los criterios de ISO 50001 se basa en el ciclo PHVA (Planear - Hacer - Verificar - Actuar) y atiende a la línea metodológica descrita en la siguiente figura:

⁸ Para obtener mayor información acerca de la gestión de emisiones de otras fuentes como combustibles, servicios, residuos, agropecuarias y fuentes de alcance 3; revisar las demás guías de esta serie, disponibles en: www.mvccolombia.co

⁹ Organización Internacional de Normalización ISO. NTC-ISO 50001 Sistemas de Gestión de la Energía. Requisitos con orientación para su uso. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. 2011.

¹⁰ Tomado de: Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE. Guía de implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en ISO 50001. Tercera edición. 2013.

Grafico 2. Modelo sistema de gestión de la energía.



Fuente. ISO 50001¹⁰, 2016.

Aunque no es necesaria la implementación de un sistema de gestión de la energía para poder gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero, su desarrollo al interior de la organización va a reducir el nivel de impacto ocasionado por la organización en este aspecto.

2.3.1.1 Estructura de un Sistema de Gestión de la Energía

La estructura general de un sistema de gestión de la energía contiene entre otros los siguientes requerimientos¹¹:

- Generales: Responsabilidad de la gerencia y política energética
- Planificar: Requisitos legales y otros requisitos; revisión energética; línea base energética; indicadores de desempeño energético IDE; objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía
- Implementación y operación: competencia, formación y toma de conciencia; comunicación; documentación; control operacional; diseño; adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía.
- Verificación: seguimiento; medición y análisis; evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos; auditoria del sistema de gestión de la energía; no conformidades, corrección, acción correctiva y acción preventiva; control de registros.
- Revisión por la dirección

Aunque todos los requisitos son importantes, algunos son considerados principales o medulares¹² por la importancia técnica que revisten, y desde el punto de vista de las emisiones de GEI pueden aportar un valor significativo para el cálculo de las emisiones y posteriores reducciones; entre ellos se pueden mencionar¹³:

- La revisión energética, por la importancia que tiene para identificar la situación de los consumos de energía de la organización y su proyección en el futuro. Sirve además como una herramienta para reconocer las principales fuentes de emisiones ya que la norma requiere entre otras cosas que la revisión energética permita "...identificar las instalaciones, equipamiento, sistemas, procesos y personal que trabaja para, o en nombre de, la organización..." y por lo tanto luego de esta priorización y su posterior revisión desde el punto de vista de emisiones GEI las intervenciones podrían priorizarse atendiendo a su importancia relativa al total. Así mismo se solicita que se identifique su nivel de desempeño, se estime el uso y consumo futuros de la energía y se identifiquen y prioricen oportunidades de mejora en el desempeño energético lo que también guarda relación estrecha con la reducción de emisiones.
- La línea base energética, se constituye en un indicador de estado actual del consumo de energía de la organización y sirve para poder hacer comparaciones futuras y revisar la evolución del desempeño energético. Incluso se puede construir una línea base bajo la misma metodología que la energética, pero teniendo en cuenta las emisiones de GEI.
- Los indicadores de desempeño energético IDE's, sirven para medir aspectos relacionados

¹¹ Tomados de la norma ISO 50001.

¹² Véase: Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE. Guía de implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en ISO 50001. Tercera edición. 2013. Página 11.

¹³ Es importante insistir en que no es necesario el desarrollo de un sistema de gestión de la energía para hacer gestión de la huella de carbono, se hace énfasis en la información del mismo para que las organizaciones que ya los tienen implementado o están en el proceso de hacerlo, puedan maximizar los beneficios del mismo teniendo en cuenta la reducción de las emisiones GEI.

con la energía que permitan medir la evolución del desempeño energético, y por lo tanto serán indicadores indirectos de la evolución de las emisiones de GEI

- Los objetivos, metas y planes de acción exigidos por la norma, pueden constituirse desde el punto de vista de las emisiones de GEI en la parte más importante del Programa de Gestión de Huella de Carbono.
- El control operacional es la herramienta para que en todas las operaciones de la organización se institucionalice la gestión de la energía como mecanismo para el cumplimiento de la política, objetivos y metas energéticas, garantizando de paso la reducción de emisiones GEI.
- El requisito de diseño incluye el hecho de “considerar las oportunidades de mejora en el desempeño energético... en el diseño de instalaciones... de equipos, de sistemas y procesos” lo cual también permitirá la reducción de las emisiones GEI con respecto a un escenario inercial sin los cambios propuestos.
- Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía por considerar la menor generación de emisiones y la más alta eficiencia, además de tener en cuenta otras consideraciones como la vida útil de los equipos y la gestión de proveedores.
- El seguimiento, medición y análisis complementa o alimenta la estructura de cálculo de las emisiones de GEI de la organización y permite cuantificación de las reducciones.

Por su relevancia para el tema de cuantificación y reducción de emisiones GEI, a continuación se describe la forma de realizar algunas actividades para cumplir parte de los requisitos solicitados por el sistema de gestión de la energía, específicamente los que se solicitan en la etapa de revisión energética inicial. Como se mencionaba anterior-

mente, la revisión energética inicial tiene muchas utilidades que al final podrían resumirse en dos: caracterizar el consumo de energía en la organización e identificar las alternativas de mejoramiento del desempeño energético.

2.3.1.2 Caracterización de consumo de energía

Para la caracterización del consumo de energía, además de herramientas generales como evaluación de diagramas de flujo, identificación de fuentes de energía, la revisión de consumos, el análisis de facturas, inspecciones en sitio, etc. se pueden usar herramientas de caracterización como el censo de cargas, el diagrama de Pareto y la regresión lineal. A continuación se describen las metodologías para el uso de las herramientas de caracterización mencionadas.

Censo de cargas o perfil energético. El censo de cargas o perfil energético es una metodología que permite conocer las condiciones generales del consumo de los diversos equipos de la organización, con el fin de identificar los grandes consumidores de la misma.

Para su construcción se hace necesario conocer cuáles son los equipos consumidores de energía eléctrica, cuál es su potencia nominal, la tensión a la que funcionan y el tiempo aproximado de funcionamiento. Con esta información se puede construir una tabla que permita contabilizar la cantidad de energía aproximada consumida por cada equipo de la organización.

Luego de describir cada uno de los equipos consumidores de energía eléctrica en la organización (como en la columna 2 del ejemplo), con el mayor nivel de detalle posible y separándolos preferiblemente por áreas o sistemas para atender a los lineamientos exigidos por el sistema de gestión de la energía (la clasificación se realiza en la columna 1 del ejemplo), se debe identificar el nivel de

potencia con el que trabajan estos equipo. Se recomienda manejar la información de potencia de los equipos en unidades de vatios (W) o kilovatios (kW). Para identificar la potencia eléctrica de un equipo se presentan 4 alternativas:

1. Realizar una medición de potencia empleando equipos especializados (vatímetros). Es el método más exacto, pero también el de más difícil

acceso para muchas organizaciones. Si no se puede acceder a esta primera alternativa de medición, se puede considerar la realización de una medición de tensión (voltaje) e intensidad (amperaje) y aplicar la siguiente ecuación para los sistemas monofásicos:

$$\text{Potencia} = \text{Tensión} \times \text{Intensidad}$$

O en sistemas trifásicos:

$$\text{Potencia} = \sqrt{3} \times \text{Tensión} \times \text{Intensidad} \times \text{Factor de potencia}$$

2. Identificar la potencia nominal. Si la organización no puede utilizar la medición para llegar a conocer la información acerca de la potencia de sus equipos, puede optar por información secundaria

la cual le va a restar exactitud al resultado, pero puede permitir igualmente la identificación de los puntos críticos de consumo de energía eléctrica del proceso evaluado.

Tabla 2. Ejemplo de perfil energético o censo de cargas en el sector floricultor.

PERFIL ENERGETICO SECTOR FLORICULTOR							
SISTEMAS	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA w	HORAS DE USO DIA APROXI.	ENERGIA CONSUMIDA ESTIMADA wh/d	ENERGIA CONSUMIDA ESTIMADA Kwh/d	ENERGIA CONSUMIDA ESTIMADA Kwh/mes
SISTEMA DE ILUMINACION	Bombillo	18	60	5	5400	5,4	162
	lamparas Vapor M	30	400	8	96000	96	2880
SISTEMA DE OFICINA	Computador	6	300	8	14400	14,4	432
	Fotocopiadora	1	1500	3	4500	4,5	135
	Telefono inalambrico	3	25	8	600	0,6	18
	estabilizador de voltaje	6	1000	8	48000	48	1440
	telefax	2	700	8	11200	11,2	336
SISTEMA DE VENTILACION	Impresora	4	400	4	6400	6,4	192
	ventiladores	20	90	8	14400	14,4	432
SISTEMA DE BOMBEO	Bomba insecticida	4	1000	6	24000	24	720
	Bomba de Riego	6	736	8	35328	35,328	1059,84
SISTEMA DE PRODUCCION CLAVEL Y ROSAS	cortadoras	20	552	8	88320	88,32	2649,6
	Motor de Bandeja	20	600	8	96000	96	2880
SISTEMA DE REFRIGERACION	Cuarto Frio	4	800	24	76800	76,8	2304
	refrigerador	1	200	12	2400	2,4	72
AREA DE COCINA	sanduchera	1	800	2	1600	1,6	48
	Horno microondas	2	800	3	4800	4,8	144
	cafetera	1	900	2	1800	1,8	54

Fuente. Morera y Ortega, 2013.

Para optar por esta segunda opción, hay que realizar una inspección y encontrar la placa del equipo eléctrico que se quiere incluir en el censo de cargas. En esta placa hay información técnica del equipo y es donde normalmente se consigna la potencia nominal¹⁴ del mismo, que es uno de los valores que puede usarse para incluirlo en la tabla.

Si en la placa no se consigna la potencia eléctrica nominal del equipo, pero se indica su intensidad o amperaje y se conoce la tensión de la red, puede calcularse la potencia usando la ecuación descrita en el punto 1. En Colombia el nivel de tensión de la red monofásica es de 110-120 voltios, por lo cual, conociendo la intensidad o amperaje es de 1,2 Amperios, la potencia de ese equipo sería de 132 vatios.

Potencia = 110 V x 1,2 A = 132 W

3. Si el equipo no tiene un placa de información técnica o si la misma se ha deteriorado con el tiempo, una alternativa es recurrir a las fichas técnicas, manuales de uso o a la información que sobre el equipo se pueda encontrar en los sitios web de los fabricantes

En la actualidad, los fabricantes de equipo eléctrico suelen mantener información y fichas técnicas actualizadas de todos sus equipos en sus páginas web. Conociendo la referencia, modelo y marca del equipo, normalmente se puede acceder a toda la información técnica relacionada con el mismo a través de la web.

Algunos fabricantes mantienen disponible la opción del envío de catálogos impresos bajo solicitud escrita o telefónica, estos catálogos también pueden ser de gran ayuda para obtener información técnica de los equipos eléctricos.

4. Si no se cuenta con información del modelo o de las condiciones técnicas particulares de un

equipo, una última alternativa es tomar los valores asociados a un equipo de similares características aunque no sea del mismo modelo o marca. Esta alternativa genera un alto nivel de incertidumbre en el resultado, pero permite cumplir con el ejercicio como última alternativa.

Cuando se conoce la potencia de todos los equipos incluidos en el censo de cargas de la organización, el siguiente paso es conocer también su tiempo aproximado de funcionamiento. Esta variable puede medirse durante unos días y realizar un promedio (o extrapolación dependiendo el tiempo de medida) o puede preguntarse a los encargados del manejo del equipo. Lo ideal es que la unidad temporal en la que se maneje toda la información sea en horas (preferiblemente horas de funcionamiento al día, aunque si se cuenta con la información de horas de funcionamiento a la semana, al mes o al año, pueden hacerse los cálculos para unificar unidades).

La cantidad de energía consumida estimada se obtiene con la fórmula:

Energía = Potencia x Tiempo

De esta forma al multiplicar las unidades de potencia, normalmente presentadas en vatios (W) o kilovatios (kW) por las unidades de tiempo en horas al día (h/día), el resultado de la energía estará presentado en vatios-hora consumidos al día (Wh/día) o kilovatios-hora consumidos al día (kWh/día), respectivamente.

La información puede ser extrapolada a datos

¹⁴ La potencia nominal es la potencia de diseño de un equipo, es decir, es la potencia para la cual se construyó y se espera que opere en condiciones normales. El tiempo de vida útil, fluctuaciones o variaciones en la calidad de la energía, usos en condiciones diferentes a las del diseño, etc. pueden ocasionar que el equipo funcione por fuera de las condiciones nominales, ya sea con valores superiores o inferiores.

mensuales, es decir kilovatios hora consumidos por los equipos eléctricos al mes, y de esta forma ser comparada con los datos de comportamiento real de la organización (obtenidos por ejemplo de una factura eléctrica de la organización), de manera que se puedan realizar ajustes si se encuentran desfases muy significativos entre el dato real y el estimado. La organización puede también, incluir comportamientos característicos de su operación, como paradas de determinadas áreas de producción de la empresa los fines de semana o en las noches, o incluso evaluar el comportamiento de equipos que tengan la opción de modo de espera (o stand-by¹⁵) o que funcionen a diversos niveles de carga (y por lo tanto con diferentes consumos eléctricos) a lo largo de su ciclo de funcionamiento.

Una vez estructurada esta herramienta, la misma sirve para identificar los equipos de mayor consumo, pero también puede hacerse esta priorización con las áreas, procesos, sistemas, sedes, edificios, etc. según el nivel de agregación que se haga de las variables incluidas.

También es importante aclarar que una vez construida esta herramienta, sirve de base para el desarrollo de un **Diagrama de Pareto** del consumo de la energía eléctrica en la organización, siguiendo los pasos que se mencionaron al inicio del numeral 2.3.

Normalmente los equipos con mayor consumo de energía son también los que más emisiones de GEI producen, y por lo tanto es donde se deberían intensificar las intervenciones, con el ánimo de ser más eficientes en la reducción del consumo de energía y la reducción de emisiones.

Regresión lineal. La regresión lineal es una herramienta muy importante en el marco del sistema de gestión de la energía, porque se constituye en la base para la construcción de una línea base de consumo de energía eléctrica de la organización.

Para la aplicación de esta metodología se debe cumplir con algunas reglas:

- Es aplicable solamente si hay una relación directamente proporcional entre el consumo de la energía y la variable de actividad (que normalmente es la producción o prestación de un servicio).
- Se debe contar con datos suficientes y con una temporalidad adecuada, que permita alcanzar y esté relacionada con el objetivo que la organización está buscando.
- Deben cumplirse todas las etapas y solamente tomar decisiones sobre la información si se cumple con los criterios establecidos.

Para la construcción de la línea base, la organización debe contar con información de consumos energéticos y producción. A modo de ejemplo se presenta la siguiente información correspondiente a una empresa, recogida para todos los meses del 2015 (bajo las mismas condiciones en cuanto a levantamiento de información):

¹⁵ No se pueden equiparar las características de consumo de equipos con estas condiciones de funcionamiento a las de equipos funcionando a plena carga.

Tabla 3. Ejemplo de datos de producción y consumos de energía eléctrica.

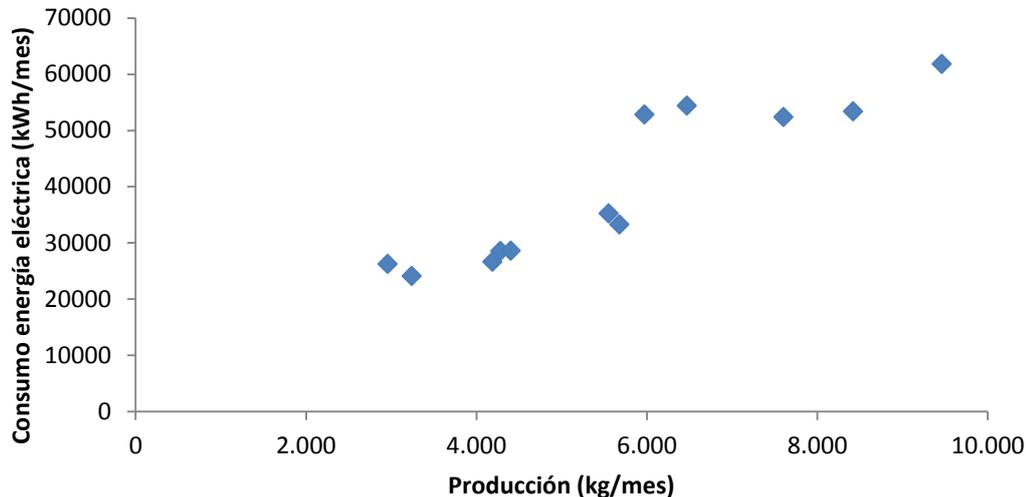
Mes	Producción P (Kg/mes)	Consumo Energía Eléctrica EE (KWh/mes)
Jan-15	4.280	28.524
Feb-15	4.404	28.562
Mar-15	3.240	24.078
Apr-15	2.958	26.210
May-15	4.190	26.622
Jun-15	5.554	35.193
Jul-15	7.603	52.359
Aug-15	8.422	53.363
Sep-15	9.462	61.787
Oct-15	5.972	52.803
Nov-15	5.678	33.254
Dec-15	6.471	54.412

Fuente: El autor, 2016.

Con esta información la organización debe diagramar un gráfico de dispersión en el que la variable independiente (eje "x") sea la producción, y la variable dependiente (eje "y") sea el consumo de energía eléctrica; lo anterior, debido a que es el nivel de la producción el que determina el con-

sumo de energía y no al contrario; es decir, una organización que produzca más seguramente va a consumir más energía, pero no por consumir más energía necesariamente una organización producirá más. El gráfico resultado de esta etapa se describe a continuación.

Gráfico 3. Ejemplo de diagrama de dispersión

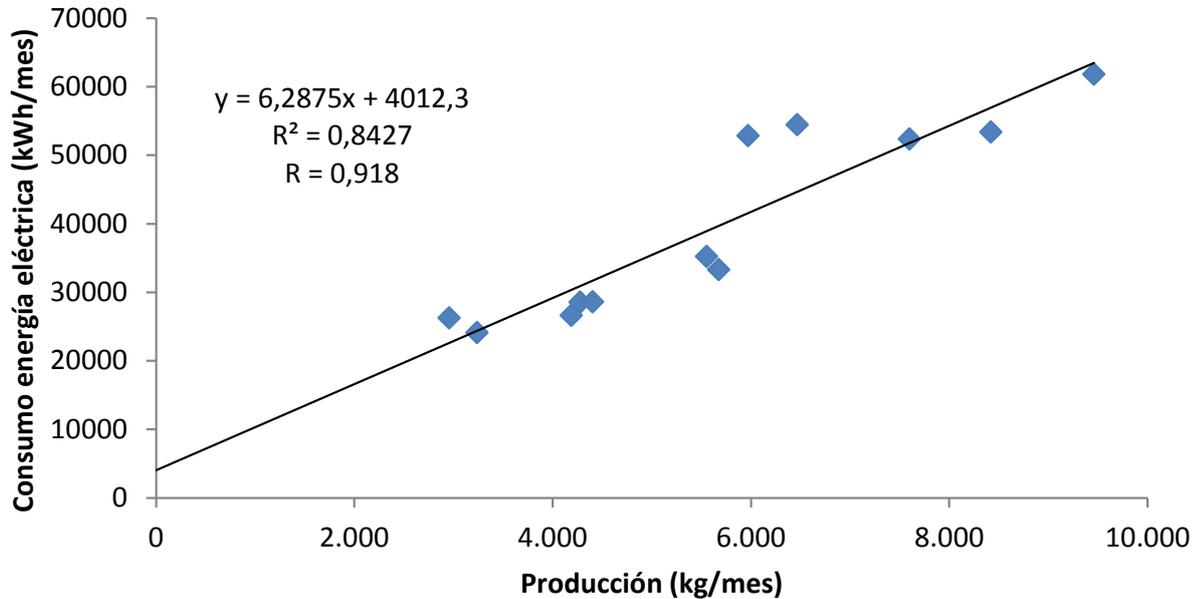


Fuente: El autor, 2016.

Una vez se cuanta con los datos organizados se debe hacer una regresión lineal con la información

y obtener el coeficiente de correlación y la ecuación de la recta resultante.

Gráfico 4. Ejemplo de línea base energía eléctrica



Fuente: El autor, 2016.

Lo primero que hay que comprobar es que el coeficiente de correlación R sea igual o superior a 0,85, lo que demuestra un alto nivel de correlación entre las variables y por lo tanto la posibilidad de hacer proyecciones con los datos. Si este valor es el adecuado, esta es una línea base funcional para la organización. Si el valor está por debajo del adecuado, la línea base necesita una depuración estadística de los datos que están afectando la correlación, o definitivamente no hay una relación directamente proporcional entre la producción y el consumo de energía eléctrica en esa organización.

Con la línea base funcional, ya se puede cumplir el requisito exigido por el sistema de gestión ambiental, y se podrán establecer comparaciones futuras con respecto a las características de produc-

ción y consumo de energía eléctrica usadas en la misma.

La ecuación de la recta resultante también trae información importante para la organización, incluso para ser usada como indicador de desempeño energético en la empresa. La ecuación es del tipo:

$$y = mx + b$$

Donde:

y = variable dependiente, que en el caso del ejemplo es el consumo de energía eléctrica y se maneja en kWh/mes

m = es la pendiente que para el caso del ejemplo corresponde a la cantidad de energía empleada para producir una unidad adicional de producto

(energía asociada a la producción). En el caso del ejemplo corresponde a 6,2875 kWh/kg, lo cual quiere decir que por cada kilogramo adicional de producción de la organización, se consumen 6,2875 kilovatios-hora de electricidad. Este valor puede convertirse en un referente interno de la organización.

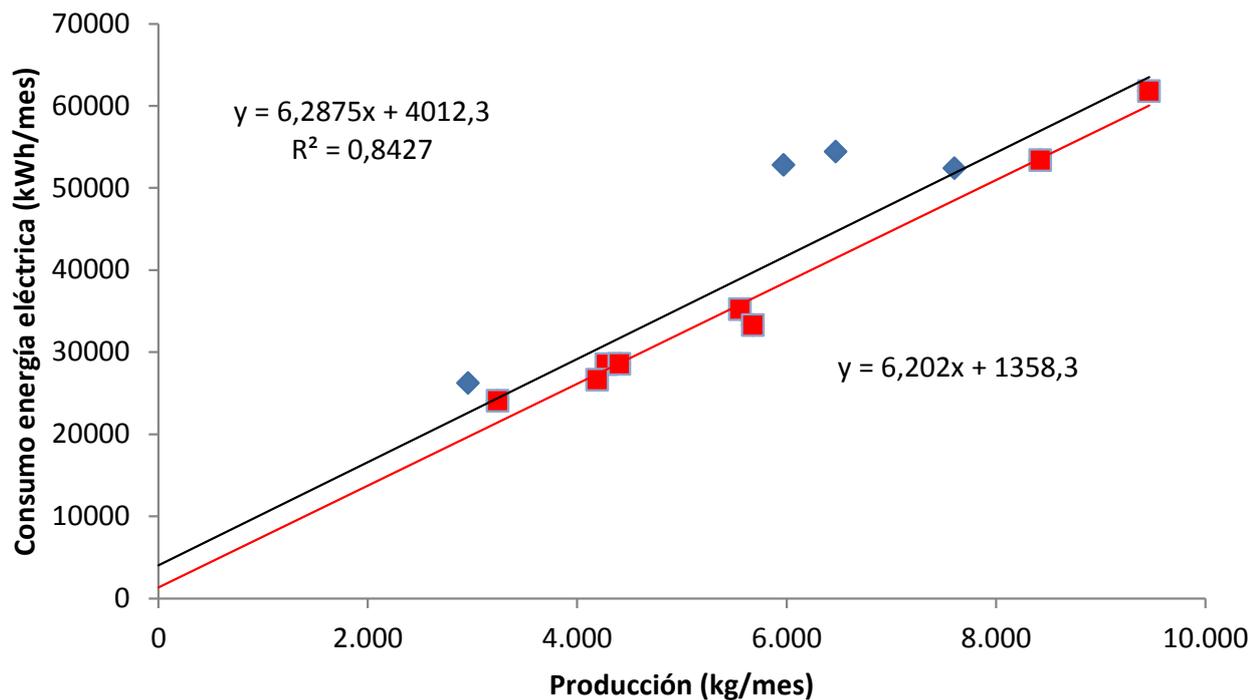
x= variable independiente, que en el caso del ejemplo es la producción y se maneja en kg/mes.

b= es el punto de corte o intercepto, que corresponde a la cantidad de energía utilizada por la organización cuando tiene un nivel de producción de cero (energía no asociada a la producción). Para el caso del ejemplo corresponde a 4012,3 kWh/mes, lo cual quiere decir que aunque la organización no esté produciendo, los procesos de soporte

como iluminación de oficinas y exteriores, uso de equipos administrativos, sistema de vigilancia, etc. consumen 4012 kilovatios-hora en el mes. Este es otro de los indicadores de desempeño energético que pueden ser adoptados por la organización.

La organización puede incluso utilizar los mejores comportamientos registrados (identificados por encontrarse debajo de la línea de regresión) para establecer sus objetivos y metas. Para esto, debe eliminar los datos que se encuentren por encima de la recta y volver a graficar y hacer regresión lineal con los datos restantes, la cual se constituirá en la línea objetivo para la organización, y las variables de la formula en sus valores de referencia. El Gráfico resultante tendrá la siguiente forma.

Gráfico 5. Ejemplo de línea objetivo energía eléctrica



Fuente: El autor, 2016.

En el gráfico, utilizando las ecuaciones de las dos rectas (la línea negra superior corresponde a la línea base, y la línea roja inferior a la línea objetivo), se puede observar que la organización puede reducir su consumo asociado a la producción de 6,2875 kWh/kg a 6,202 kWh/kg; y por otro lado, puede reducir su consumo no asociado a la producción de 4012,3 kWh/mes a 1358,3 kWh/mes. Este mismo procedimiento se puede realizar con las emisiones GEI de la organización, si está dentro de su política hacer seguimiento de este indicador.

Existen otras herramientas de revisión energética inicial que pueden ser usadas por la organización, y que pueden ser replanteadas para que se ajusten a la verificación del comportamiento de las emisiones de GEI. Cada organización decide las herramientas de gestión que van a tener en cuenta en sus propios procesos.

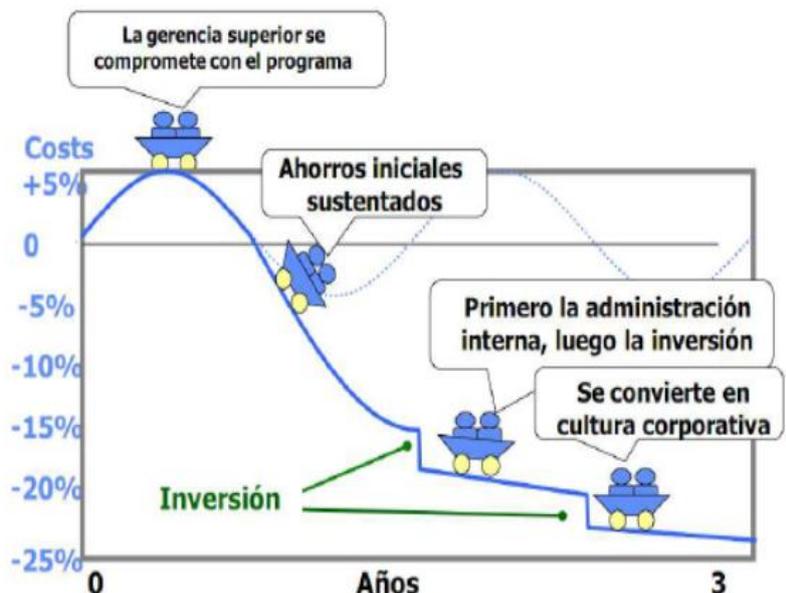
2.3.1.3 Alternativas de gestión de energía

Una vez se tiene caracterizado el consumo de energía de la organización, se debe abordar la identificación y evaluación de alternativas de gestión energética, que por sí mismas contribuirán a la reducción de las emisiones de GEI.

Existen de dos tipos de alternativas de gestión de la energía en cualquier organización las que no requieren ninguna inversión para ser implementadas (como el cambio de hábitos de consumo, regulación del consumo, modificación en procesos de mantenimiento de equipos, etc.) y aquellas que sí necesitan una inversión para su desarrollo (sustitución de equipos, cambios de combustibles, etc.).

Lo ideal para una organización es desarrollar primero todas las alternativas que no tengan inversión, para después con los mismos ahorros generados poder apalancar inversiones en las alternativas que si las tienen.

Gráfico 6. Evolución de la implementación de alternativas de eficiencia energética organizacional



Fuente. ONUDI, 2010.

No es necesario que se presenten incrementos en el consumo de la energía para iniciar los procesos de gestión energética en la organización, pero si es importante que se cuente con el compromiso de la gerencia para la implementación de las medidas.

Algunas medidas de gestión propuestas por la Unidad de Planeación Minero Energética para la reducción del consumo eléctrico son¹⁶:

Sistema de distribución: El sistema de distribución en la industria está constituido por el conjunto de conductores eléctricos (cables, alambres, barras, etc.), cuya función principal es la de transmitir la energía eléctrica requerida para que los equipos de la planta operen bajo condiciones específicas. Las siguientes son medidas que pueden ser implementadas para reducir los consumos de energía asociados a este sistema¹⁷:

- Inspeccionar conexiones y terminales. Las conexiones flojas o inadecuadas aumentan las pérdidas de energía. En estos casos se presentan altas resistencias por lo cual se requieren corrientes más altas, aumentando el consumo de energía.
- Inspeccionar de conductores. Una de las principales causas de pérdidas en el sistema de distribución se relaciona con la sobrecarga de los conductores, la cual ocasiona significativos incrementos de la temperatura. Efectuando una revisión de las temperaturas de los conductores en el mantenimiento permite detectar esta anomalía. Con el reemplazo del conductor por uno de mayor capacidad o la redistribución de la carga se pueden eliminar estas pérdidas adicionales.
- Inspeccionar y eliminar fallas a tierra. En sistemas trifásicos conectados en triángulo se presentan corrientes de fuga permanentes sin que sean detectados por los dispositivos de protec-

ción. Si estas corrientes no se corrigen, existirá un desperdicio de energía y se tendrá un peligro para el equipo.

- Identificar conductores, canalizaciones, tableros u otros equipos con disipación anormal de calor. Si al realizar las inspecciones de mantenimiento se encuentran conductores, canalizaciones, tableros u otros equipos con disipación anormal de calor, se debe estudiar la posibilidad de cambios en las instalaciones. Todo conductor de electricidad al aumentar la temperatura, aumenta su resistencia al paso de la corriente, aumentando finalmente las pérdidas en el cobre.
- Identificar fluctuaciones de voltaje. Las fluctuaciones de voltaje no solo incrementan momentáneamente las pérdidas por calor sino que en mayor grado afectan el funcionamiento, rendimiento y vida útil de los equipos conectados al sistema. La primera acción para controlar las fluctuaciones de voltaje y reducir sus efectos es instalar un alimentador o subestación separada para este tipo de cargas; este método tiende a aislar eléctricamente la carga fluctuante de la carga que requiere voltaje uniforme. Si esto no fuera posible, la variación brusca de corriente deberá limitarse a un mínimo.
- Inspeccionar la regulación de voltaje. Es necesario calcular los porcentajes de caída de tensión que se presentan en las redes de distribución con el fin de garantizar una buena calidad del servicio representado en la eficiencia de los equipos de los usuarios. La caída de tensión mínima aceptable en las acometidas e instalaciones internas no puede exceder el 2%. Para un

¹⁶ Información tomada de: Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Universidad Pontificia Bolivariana - Colciencias - Universidad Nacional de Colombia; Hornos; Curso Virtual E-URE; Bogotá, Colombia; 2008. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Eure/index.html>

¹⁷ Ídem.

circuito a 220 V, la tensión no debe ser inferior de 215,6 V y para un circuito a 440 V la tensión no debe ser inferior de 431,2 V .

- Identificar y eliminar terminales de conductores sulfatados. En muchos casos, por falta de mantenimiento se acumula sulfato en los terminales de los conductores y/o bornes. La acumulación de sulfato en las superficies de contacto eléctrico produce un incremento de la resistencia en esos puntos, creando falsos contactos entre los bornes de conexión y los terminales de los cables conectados a dichos bornes.

- Balancear las fases de los circuitos trifásicos. Es común encontrar una fase cargada. Una carga equilibrada genera temperaturas equilibradas. En el caso de que se produzca un desequilibrio en la carga, las fases con la mayor carga tendrán las mayores temperaturas debido al exceso de calor generado. Las especificaciones de la NETA (International Electrical Testing Association) indican que deben tomarse medidas correctoras inmediatas cuando la diferencia de la temperatura entre componentes eléctricos similares bajo cargas similares supere los 15°C o cuando la diferencia de la temperatura entre las temperaturas de un elemento eléctrico y del aire del entorno superen los 40°C.

- Identificar posibles conductores sobrecargados. Los conductores asociados a fases sobrecargadas se manifiestan con un significativo incremento de la temperatura y con disipación anormal de calor. La detección y corrección de sobrecargas evita incendios y paradas que pueden ser cruciales para la productividad de la Empresa.

- Monitorear la calidad de la energía eléctrica. Este procedimiento permite identificar y medir la contaminación armónica que implica sobrecargas de conductores neutros, sobrecalentamiento de transformadores, operación espon-

tánea de protecciones diferenciales, sobrecarga de condensadores que corrigen el factor de potencia y problemas en motores de inducción.

- Incorporar en las subestaciones eléctricas sistemas de puesta a tierra (SPT) acorde a la norma técnica. Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen en caso de presentarse una corriente transitoria peligrosa. Un sistema de puesta a tierra brinda seguridad a las personas, protege las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección y establece la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación. Un sistema de puesta a tierra puede presentar fallas debido a la falta de normatividad en el diseño y montaje, al desconocimiento o la no aplicación de los principios establecidos en las normas. También se presentan fallas por errores de medición o mediciones incompletas tanto en el terreno como en el sistema completo. Por un mantenimiento incorrecto, o la equivocada creencia de utilizar sistemas pequeños o tierras aisladas. Efectos de la temperatura, terrenos heterogéneos, cambios de humedad de los terrenos, electrodos y materiales utilizados de mala calidad, también disminuyen o limitan altamente a estos sistemas.

Sistema de Transformación: El sistema de transformación en la industria basa su importancia en la necesidad de garantizar el nivel de voltaje adecuado en los equipos eléctricos. Lo anterior se hace debido a que en el sistema interconectado la energía eléctrica es transmitida a alto voltaje (muy superior al requerido en la industria) con el propósito de disminuir las pérdidas técnicas por conducción. Las siguientes son medidas que pueden ser imple-

mentadas para reducir los consumos de energía asociados a los sistemas de transformadores¹⁸:

- Utilizar siempre transformadores de bajas pérdidas. Las pérdidas en transformadores no son despreciables, por lo cual, es importante considerar su magnitud al seleccionar los transformadores del sistema de distribución, las pérdidas totales en cargas de un transformador son iguales a las pérdidas en el hierro (pérdidas en vacío) más las pérdidas en el cobre.
- Desconectar siempre el transformador desde el primario. De esta forma evitará un consumo innecesario de energía debido a las pérdidas en vacío.
- Procurar conocer la carga del transformador para no sobrecargarlo. Así reducirá las pérdidas en el Cobre. Queda entendido que una sobrecarga exige térmicamente al material aislante (dieléctrico) del transformador y puede ocasionarse una disminución en su vida útil.
- Evitar operar el transformador a baja carga (< al 40%), si es posible se aconseja redistribuir las cargas. Elegir un transformador sobredimensionado, presenta un costo de adquisición mayor al que en realidad se necesita, más costos de transporte, ubicación, mantenimiento, mayores pérdidas en el hierro, etc. Los transformadores sobredimensionados tendrán impedancia reducida, por lo que los armónicos circulan más fácilmente. Además se eleva la intensidad de cortocircuito.
- Revisar el nivel y rigidez dieléctrica del aceite cada 6 meses en transformadores sumergidos en aceite. Este procedimiento permite controlar la capacidad aislante y refrigerante del transformador. El aceite aislante de los transformadores en servicio sufre normalmente un deterioro progresivo, de acuerdo con las condiciones de uso a que sea sometido. El control del estado

del aceite aislante es de gran importancia para el seguimiento y la estimación de la vida útil remanente del equipo. En casi todos los casos el aceite está en contacto con el aire y por lo tanto se producen reacciones químicas de oxidación que son aceleradas por la temperatura y por la presencia de sustancias catalizadoras tales como el hierro, el cobre, compuestos metálicos provenientes de los materiales con que se utilizan en la fabricación del transformador, entre otros. La rigidez dieléctrica o rigidez electrostática se define como el valor límite de la intensidad del campo eléctrico en el cual un material pierde su propiedad aisladora y pasa a ser conductor. Se mide en voltios por metro V/m. Valores bajos de rigidez dieléctrica observan síntomas de pérdida de poder dieléctrico o aislante.

- Realizar una limpieza periódica del transformador. La acumulación de suciedad (polvo, partículas, etc.) en la superficie del tanque, aletas disipadoras de calor, bornes, etc, potencializan el deterioro progresivo del transformador e incrementa su temperatura interior hasta niveles críticos.
- Medir con frecuencia la temperatura superficial del transformador. Esta temperatura no debe ser superior a 55 °C, de ser así, debe revisarse el aceite dieléctrico y el factor de carga del transformador. Estos equipos eléctricos se proyectan para operar a una tensión de servicio en el primario y secundario. El incrementar la tensión en su primario, y por tanto la corriente en el mismo, lleva a la saturación del núcleo magnético, con lo que el mismo no es capaz de transferir más potencia al secundario y el exceso de potencia de entrada solo produce sobrecalentamientos del núcleo por corrientes parásitas, y del devanado primario, por efecto Joule, llevando a la rotura

¹⁸ Ídem.

del devanado por fallo del aislante del mismo. Una espira en cortocircuito genera a su vez más calor y provoca el fallo total del devanado.

- Inspeccionar la selección y montaje apropiado del transformador. Estos equipos están diseñados para operar bajo determinadas condiciones de temperatura y altura sobre el nivel del mar. Si no se tienen en cuenta estos puntos, el transformador puede sufrir sobrecalentamiento que le restará vida útil. Se sugiere el uso de análisis termográfico para detectar sobrecalentamiento del transformador.

Sistema de fuerza motriz. El sistema de fuerza motriz es muy importante para muchas organizaciones que basan algunas de sus operaciones en el uso de los motores eléctricos por su gran versatilidad, alto rendimiento, bajos costos, pocas necesidades de mantenimiento y alta durabilidad. Algunas alternativas de gestión para este sistema son¹⁹:

- Evitar el arranque y la operación simultánea de motores. En especial los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda. La demanda máxima representa para un instante dado, la máxima coincidencia de cargas eléctricas (motores, compresores, iluminación, bombas, etc.) operando al mismo tiempo, es decir, la demanda máxima corresponde a un valor instantáneo en el tiempo. No es igual encender una línea de motores al mismo tiempo que hacerlo en arranque escalonado. El medidor de energía almacenará únicamente, la lectura correspondiente al máximo valor registrado de demanda, en cualquier intervalo de 15 minutos de cualquier día del ciclo de lectura. Los picos por demanda máxima se pueden controlar evitando el arranque y la operación simultánea de cargas eléctricas, es decir, se debe evitar el encendido de los motores eléctricos al mismo tiempo. Un in-

cremento súbito de la demanda máxima implica sobrecargas en el sistema eléctrico, conduciendo a caídas de tensión y subidas de corriente, generando un deterioro progresivo en los bobinados de los motores al experimentar incrementos de su temperatura.

- Inactivar motores en tiempos ociosos. La operación en vacío de motores eléctricos es uno de los principales factores de desperdicio de energía eléctrica en muchas empresas, ya que el motor trabaja en una región donde el rendimiento y el factor de potencia no son los óptimos. A modo de ejemplo, un motor de 100 HP operando al 0% de la carga, es decir, operando en vacío, tiene una eficiencia menor al 10% y un factor de potencia menor al 50%. Es importante desenergizar los motores que trabajan en vacío, para evitar los consumos innecesarios y la alta carga reactiva generada. El consumo de energía, es una variable asociada al tiempo y a la potencia nominal de una determinada carga eléctrica; entre más tiempo un equipo esté operando, más energía estará consumiendo, de ahí la necesidad de apagar los equipos que estén encendidos ociosamente.

- Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga. El alineamiento incorrecto ocurre cuando el eje del motor y el eje de la transmisión no están en la misma línea. El alineamiento inadecuado produce excesiva vibración, ruido, incremento en la temperatura del rodamiento y el acoplamiento, y fallo prematuro de acoplamientos y rodamientos. El esfuerzo adicional del motor se ve compensado por un incremento gradual de su consumo energético y una pérdida de su vida útil.

¹⁹ Ídem.

- Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Para una operación satisfactoria de un motor, la caída de tensión en la conexión del motor no debe exceder el 5%. Una tensión reducida en los terminales del motor, genera un incremento de la corriente, sobre calentamiento y disminución de su eficiencia. Para contrarrestar la caída de tensión en la alimentación del motor, se debe utilizar conductores correctamente dimensionados.
- Utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita el calentamiento excesivo en los conductores y se logra disminuir las pérdidas durante la aceleración. Los fabricantes de arrancadores se dieron a la tarea de diseñar arrancadores que permitieran reducir la corriente que demanda un motor de inducción en el momento de iniciar su operación, donde su valor se puede llegar a ser hasta 7 veces la corriente nominal. Se diseñaron varios arrancadores a tensión reducida y entre los principales se encuentra el de resistencias primarias, reactancias, Estrella-Delta, Devanado Bipartido y tipo autotransformador. De estos métodos de arranque a tensión reducida, el más utilizado actualmente es el tipo autotransformador porque permite tener tres diferentes valores de tensión y que el usuario puede seleccionar al momento de hacer el arranque.
- Adecuar los sistemas de regulación en motores de rotor devanado. Sustituir en los motores de rotor devanado, los reguladores con resistencias para el control de la velocidad, por reguladores electrónicos más eficientes, porque las resistencias llegan a consumir hasta un 20% de la potencia que el motor toma de la red.
- Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación en cojinetes de motores de gran capacidad, a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia. Un incre-

mento gradual de la temperatura del lubricante, evidencia síntomas de fatiga mecánica en el cojinete, lo que potencializa esfuerzos innecesarios e incremento del consumo energético, debido a la pérdida de viscosidad del lubricante.

- Evitar la operación de motores rebobinados varias veces. No se recomienda rebobinar los motores más de 2 veces, porque puede variar las características de diseño del motor, lo cual incrementa las pérdidas de energía. Cuando un motor estándar ha tenido reparaciones o mantenimientos inadecuados, es inevitable que sufra una reducción de su eficiencia. Esta reducción puede variar entre un 2 y 20% dependiendo de la calidad de la reparación. Por tal motivo y dado que durante la vida útil del motor, su costo de operación es del orden de 50 veces el costo de inversión del motor.
- Utilizar motores de alta eficiencia en las aplicaciones apropiadas. El motor de alta eficiencia se caracteriza por: Mayor costo de adquisición, pero la inversión es recuperable siempre y cuando las horas de operación sean altas. Diseñados para minimizar las pérdidas en el cobre y en el hierro. Disipan menos calor, por lo tanto la energía requerida para el enfriamiento disminuye. Componentes y sistema de ventilación más pequeños. Gran variedad de aplicaciones y tipos. Presentan eficiencias altas, por lo cual son propios para el uso racional de energía.
- Inspeccionar la operación del motor. Realizar la inspección periódica del motor, incluyendo lecturas de corriente (Amperios-A), potencia (Kilovatios-kW), velocidad (Revoluciones por minuto-rpm), tensión de fase y tensión de línea (voltios-V) y la resistencia de aislamiento (Megohmios). Limpiar la parte exterior para mejorar el enfriamiento. Verificar que las condiciones del suministro de energía eléctrica sean las adecuadas.

- Evitar la operación de motores sobredimensionados o subcargados. El sobredimensionamiento o subutilización de motores eléctricos es uno de los principales factores de desperdicio de energía eléctrica en muchas empresas, ya que el motor trabaja en una región donde el rendimiento y el factor de potencia no son los óptimos. A modo de ejemplo, un motor de 100 HP operando solamente con un 25% de la carga, es decir, haciendo el trabajo de un motor de 25 HP, su eficiencia es de aproximadamente 78% y su factor de potencia es de 50%. Haciendo el mismo análisis con un motor correctamente incorporado de 25 HP, al 100% de la carga los valores de rendimiento y factor de potencia están en un punto optimizado, equivalente a una eficiencia del 90% y un factor de potencia de 82%.
- Evaluar la incorporación de variadores de velocidad. Cuando el régimen de funcionamiento de un motor es muy variable, se puede ajustar por medio de la instalación de variadores de velocidad. Entre las diversas ventajas en el control de procesos proporcionadas por el empleo de variadores de velocidad se destacan: Disminución del consumo energético, incremento de la vida útil de los equipos, operaciones más suaves, control de la aceleración, distintas velocidades de operación para cada fase del proceso, permite operaciones lentas para fines de ajuste o prueba, Ajuste de la tasa de producción.
- Reemplazar bandas convencionales en los motores. Reemplazar las bandas V normales por bandas V de alta eficiencia del tipo COG que ahorran 1,5% de la energía de la transmisión para un período de recuperación de 3 meses sin cambio de polea.
- Balancear la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe exceder en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalance (< del 2%), los motores operarán con mayor eficiencia.

Sistemas de bombeo o ventilación. Este tipo de sistemas también son comunes en la industria y permiten a las organizaciones realizar operaciones de movimiento de fluidos. Algunas de las alternativas de gestión que pueden emplearse en este tipo de sistemas son²⁰:

- Medir la eficiencia de las bombas habitualmente. Implementar un monitoreo permanente de eficiencias para establecer en el tiempo que pérdidas porcentuales presentan estos equipos y su impacto en los costos de operación y mantenimiento. Es importante tener en cuenta que la eficiencia típica de un sistema de bombeo en condiciones técnicas favorables debe estar en el orden de 60 a 65%. Si se presenta un valor inferior, debe ser evaluado el sistema, para establecer los correctivos necesarios, dado que una alta ineficiencia se traduce en un alto costo operativo. Si no se dispone de la información relacionada a la eficiencia real del sistema de bombeo, la empresa no podrá controlar sus costos energéticos, para ser ajustados a un nivel de operación eficiente y sostenible. Determinar la eficiencia de la bomba mediante el conocimiento de las siguientes variables: Presión en la succión de la bomba (kPa), presión en la descarga de la bomba (kPa), caudal suministrado por la bomba (m³/seg), potencia eléctrica de la bomba (kW), eficiencia del motor de la bomba (%).
- Contar en la medida de lo posible con las curvas características de las bombas. En ellas se encuentra descrito el comportamiento de estos equipos y permiten conocer en flujo a partir de las presiones y el consumo energético. La curva de desempeño indica que la bomba descarga cierto flujo a una cierta presión, mientras consume cierta cantidad de energía y presenta una eficiencia determinada. La curva de Cabeza con-

²⁰ Ídem.

tra Caudal indica que la bomba es una máquina diseñada para añadir energía a un líquido con el propósito de elevarlo o moverlo por una tubería. La bomba puede elevar un líquido en un tubo hasta el punto donde el peso del líquido y la gravedad no permiten más elevación. La energía contenida en el peso del fluido es igual a la energía generada por la bomba. Este punto en la curva sería el punto de máxima altura y caudal nulo. Si por el contrario la tubería se encontrara completamente horizontal y no se le ejerciera ninguna restricción al fluido, en ese punto el caudal sería máximo y la cabeza de la bomba sería nula. De esta forma, cualquier valor de caudal intermedio que entregue la bomba contará con una cabeza correspondiente disponible. La curva de potencia es prácticamente lineal y mientras mayor es el flujo entregado por la bomba, mayor es su consumo energético eléctrico. Las bombas presentan una zona donde operan de manera eficiente, la curva de eficiencia delimita dicha zona y debe buscarse siempre funcionar lo más cercano posible al punto óptimo de operación.

- Identificar bombas sobredimensionadas. Es importante no sobredimensionar las bombas y operarlas en su punto de máxima eficiencia. Las bombas sobredimensionadas constituyen la causa número uno de pérdidas de energía en los sistemas de bombeo. El reemplazo de bombas debe evaluarse con relación a otras alternativas de reducción de capacidad, tales como el recorte o sustitución de impulsores o el control de velocidad.

- Mantener calibrados los manómetros en la succión y descarga. Conocer con exactitud las presiones de succión y descarga de la bomba permite establecer su punto de eficiencia, ya que el diferencial de presiones multiplicado por el caudal, permite calcular la potencia hidráulica de la bomba, que se relaciona con la potencia eléctrica del motor, para establecer la eficiencia de

la bomba. La presión de succión también puede revelar una posible cavitación en el interior de la bomba.

- Evitar problemas de cavitación al interior de la bomba. La cavitación es la formación y el derrumbamiento (explosión e implosión) subsiguiente de burbujas de fluido dentro de una bomba. Presenta un sonido característico similar al de piedras chocando unas con otras al interior de la bomba. Si la presión absoluta de un fluido alcanza la presión de saturación ocurre el cambio de fase a vapor, cuando la presión aumenta de nuevo las pequeñas burbujas colapsan violentamente y estallan sobre las superficies que las rodean. Una bomba que se encuentra cavitando presenta disminución en su eficiencia, picaduras en las aletas, fallos y desgastes prematuros en los rodamientos y sellos mecánicos. Más o menos el 40% de las bombas que se encuentran en reparación, están allí debido a problemas de cavitación que no son detectados a tiempo.

- Mantener las tuberías limpias. Cuando se transportan sólidos mezclados con líquidos, se requieren sistemas de lavado de las tuberías y velocidades suficientes para evitar las sedimentaciones.

- Realizar un mantenimiento periódico de las bombas. Reemplazar las tuberías incrustadas, válvulas y accesorios deteriorados. Evitar fugas tanto en la bomba como en las redes de tubería. Medir y evaluar la presión y el caudal. Ajustar acoplamientos y revisar bridas de unión a las tuberías. Reemplazar sellos, rodamientos y juntas deterioradas. Inspeccionar la bomba al presentar vibración. Efectuar evaluaciones periódicas sobre el consumo energético de la red ya que un aumento súbito puede representar problemas de operación en las bombas.

- Evaluar la incorporación de variadores de velocidad en el sistema de bombeo. Revisar la ener-

gía perdida en los elementos de regulación y estudiar la posibilidad de trabajar con variadores de velocidad en los motores. Cuando los regímenes de operación de los sistemas de bombeo son variables, es más económico lograr dicha regulación variando la velocidad del motor que restringiendo el flujo mediante una válvula de paso. El variador de velocidad está programado para disminuir el régimen de operación de las bombas y evitar posibles sobrepresiones cuando cae la demanda. El variador de velocidad, regula la operación de la bomba a diferentes cargas de bombeo y su consumo se ve claramente disminuido.

- Utilizar múltiples bombas. El empleo de varias bombas conectadas en paralelo ofrece una alternativa a los métodos de control de capacidad por estrangulamiento, recirculación o variación de velocidad. Los ahorros resultan al poder sacar de servicio una o más bombas a bajas demandas, logrando que las bombas en servicio operen a alta eficiencia. Un sistema con bombas múltiples debe considerarse en los casos en que la demanda se mantiene en periodos prolongados por debajo de la mitad de la capacidad unitaria de la bomba instalada.
- Sacar de servicio bombas innecesarias. Esta es una medida obvia, pero que muchas veces no sea aprovechada. Si el exceso de capacidad en funcionamiento se debe a que los requerimientos de flujo varían, se puede pensar controlar el número de bombas en operación mediante un sistema automático, instalando sensores de presión e interruptores en una o más bombas.
- Sellos y transmisión de bombas adecuados. El tipo y la calidad de los sellos de bomba pueden afectar significativamente la eficiencia de las bombas debido a la fricción entre el eje y el sello, y a la pérdida del líquido que se bombea. Si las condiciones del espacio lo permiten,

emplear acoples directos en vez de acoples por bandas y poleas. Sustituir, si es posible, los tipos de transmisión (bandas, cadenas, etc.) existentes por otros de mayor eficiencia y que demandan un menor consumo de energía.

- Evaluar la eficiencia de la ventilación mecánica. La eficiencia de un ventilador está determinada en la curva característica y depende en gran medida de los elementos constitutivos del equipo, el tipo de diseño de los álabes y sobre todo el punto de operación del sistema. Entre los ventiladores centrífugos, el de palas de ala portante es el que presenta mayor rendimiento (cerca al 88%) cuando opera a un caudal entre el 50 y el 65% del de la descarga libre, seguido por el de palas inclinadas hacia atrás con un rendimiento máximo del 80%. El ventilador radial presenta la menor eficiencia de todos los ventiladores centrífugos, alcanzando valores máximos del 60%. En ventiladores axiales, quien presenta mayor rendimiento es el ventilador tubular con directrices con un 88%, seguido por el tubular con un 75% y finalmente el helicoidal con tan solo un 60% de eficiencia máxima.
- Evaluar el uso de ventiladores de alta eficiencia. Los ventiladores de alta eficiencia proporcionan mayor caudal de aire (CFM), a menor potencia, implicando menor consumo energético. La eficiencia de un ventilador puede calcularse midiendo la potencia eléctrica demandada en un tiempo representativo y midiendo presión total a la entrada y salida del ventilador.
- Inspeccionar la correcta operación de los ventiladores. Evitar fugas en los ductos, pueden generar caídas de presión y disminuciones de flujo importantes en el sistema, mantener en buen estado los rodamientos, verificar la correcta operación del mecanismo de transmisión de potencia del motor al ventilador. Si las condiciones de espacio y operación lo permiten se recomien-

da acoplar directamente, realizar evaluaciones periódicas sobre el consumo energético de la red ya que un aumento súbito puede representar problemas de operación en el ventilador. Es importante verificar si existe un correcto tiro inducido en las rejillas de extracción y si existe un correcto tiro forzado en los difusores o rejillas de ventilación, ya que puede estar operando el sistema de ventilación mecánica, demandando un consumo energético, sin efectuar su trabajo.

- Evaluar el uso de ventiladores o extractores eólicos. Incorporar ventiladores eólicos para sustituir ventiladores eléctricos que presentan un alto consumo eléctrico. Este es un sistema de ventilación mecánico que opera a través de extractores o aireadores los cuales funcionan con la energía del viento en el exterior de la cubierta aprovechando el diferencial de temperaturas externa e interna al edificio. Al colocar un determinado número de extractores eólicos sobre el techo de un inmueble, se genera un proceso continuo de circulación de aire. El aire más caliente, que en condiciones normales se acumula en la parte superior del interior del edificio, es succionado por los extractores -los cuales son impulsados por el viento exterior- y desplazado hacia afuera. Este vacío es compensado naturalmente por la entrada de aire fresco en la parte inferior del edificio a través de ventanas, puertas, portones, rejillas de ventilación, etc.

Sistemas de aire comprimido. Los compresores en una organización, suministran aire para el control e instrumentación de la planta, pero también para algunos procesos que requieren aplicación directa o como catalizador. Algunas de las alternativas que se pueden implementar en este tipo de sistemas son²¹:

- Conocer el potencial de eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido. Los ahorros

de energía y de facturación se pueden disminuir entre un 5 a 10% con la optimización del funcionamiento de estos sistemas. En cuanto a las pérdidas energéticas, se han encontrado sistemas en los que pueden llegar a ser de un 50%. El aire comprimido es altamente costoso ya que para producir 1 unidad de potencia neumática (aire comprimido) se requiere 8 unidades de potencia eléctrica. 1 pie cubico por minuto (cfm) de aire comprimido a 100 psig de presión, requiere 250 W aproximadamente.

- Reducir la temperatura de captación del caudal de aire del compresor. El control de la temperatura de admisión en el sistema de aire comprimido es indispensable para mantener niveles de eficiencia elevados, puesto que un incremento en temperatura, implica una reducción de la densidad y por lo tanto a la reducción de capacidad del flujo másico y la presión del sistema. Debe procurarse la admisión de aire del exterior con la temperatura más baja posible durante la operación de los compresores, ya que por cada 4°C de incremento en temperatura del aire aspirado se aumenta el consumo de energía en 1% para el mismo caudal, mientras que por cada 3°C de disminución en la temperatura del aire aspirado se presenta 1% más de aire comprimido para el mismo consumo de energía.

- Reducir la presión de descarga del compresor. El sistema de aire comprimido implica el suministro de presión a los equipos neumáticos que demandan el servicio, mediante la instalación de válvulas en las redes de distribución, que aseguran valores de caudal y presión requeridos. Mediante la incorporación de este tipo de dispositivos, es posible suministrar la presión específica a las partes que no necesiten la presión general

²¹ Ídem.

del sistema, reduciendo de esta manera el consumo y la posibilidad de fugas. Adicionalmente, la presión de trabajo puede ser ajustada al valor mínimo necesario para los usos finales.

- Aprovechar el calor del proceso de compresión. La compresión conlleva un incremento de temperatura tanto del aire comprimido (fluido de trabajo) como del sistema de compresión. Esta situación exige la eliminación de calor que conlleva la operación eficiente del compresor. La recuperación de calor mediante un medio refrigerado por agua permiten recuperar hasta el 90% de la energía de entrada. Esta recuperación se da en forma de agua caliente a temperatura de 70 a 80 °C, para ser empleada en la alimentación de calderas y dispositivos de calefacción. Adicionalmente, es posible recuperar calor del sistema de lubricación del compresor, al instalar un intercambiador de calor que permita poner en contacto el aceite caliente con agua fría, mejorando el desempeño de este sistema.

- Determinar el porcentaje de las fugas de aire comprimido en el sistema. Incorporación la prueba de fugas por operación sin demanda de aire comprimido. Las fugas de aire comprimido representan una rápida caída de presión en todo el sistema. Esta situación origina varios problemas operativos como son: 1) Un trabajo ineficiente de los equipos que utilizan aire comprimido, lo que equivale a menor productividad. 2) Un incremento de la frecuencia de los ciclos de compresión, lo cual disminuye la vida útil del compresor (Oportunidad expuesta arriba) y un incremento en los requerimientos de mantenimiento. 3) Un mayor consumo energético. 4) Para contrarrestar las fugas se debe elevar innecesariamente la capacidad del sistema de compresión, práctica altamente ineficiente. El porcentaje de fugas, en términos de la capacidad del compresor, deberá ser menor al 10%, si el sistema recibe un buen mantenimiento, de lo contrario, este porcentaje puede llegar a ser del orden del 30% de pérdida

en la capacidad del compresor.

- Determinar eficiencia en el ciclo de operación del sistema de aire comprimido. En un Compresor, con sistema de regulación intermitente (on-off), se considera que su régimen de trabajo es óptimo cuando el tiempo transcurrido entre la conexión del motor y su desconexión (tiempo de llenado), es igual al tiempo transcurrido entre la desconexión y la conexión (tiempo de vaciado). Durante el tiempo de llenado, la mitad del caudal de aire suministrado por el Compresor es empleado en rellenar el acumulador y la línea de distribución y la otra mitad es absorbida por el consumo de la instalación (Sistemas neumáticos). Para compresores con sistemas de regulación arranque-parada, la capacidad del acumulador o tanque pulmón debe ser seleccionada de acuerdo al consumo de aire (teóricamente sin fugas) y la capacidad del compresor, de tal manera que el compresor haga como máximo 10 arranques por hora (1 cada 6 minutos). Eliminar las fugas de aire comprimido existentes en la línea de distribución y en los equipos, disminuye progresivamente el excesivo número de arranques y brinda la mejor operación del compresor, reduciendo sus costos de operación y mantenimiento.

- Controlar las fugas de aire comprimido en acoples y líneas de distribución en los puestos de trabajo. Se recomienda hacer partícipe al personal en labores mantenimiento menor referente a las fugas de aire comprimido existentes. Una intervención prematura en las fugas por acoples y herramientas neumáticas posibilita una disminución en los desperdicios con su correspondiente costo de generación, usando equipos de medición ultrasónica.

- Regular adecuadamente la temperatura del aire en el secador. El agua contenida en el aire comprimido al condensarse en la red de distribución puede causar oxidación y corrosión de

las tuberías, atascamiento de los actuadores y daños a herramientas e instrumentos neumáticos. La selección de un secador de aire depende de la aplicación que se le va a dar; pero también debe haber otras consideraciones, como son la temperatura y el contenido de humedad del aire ambiente. Los secadores refrigerativos proveen temperaturas de rocío de 3°C a 10°C. Se utiliza un sistema de refrigeración para bajar la temperatura del aire comprimido y condensar el vapor de agua, para ser removida del sistema. Es importante regular la temperatura del secador para no generar un sobreconsumo energético al enfriar el aire comprimido a una temperatura menor que la requerida para remover el condensado.

- Incorporar control adecuado en el banco de compresores. Los controles de los sistemas de aire comprimido son los encargados de coordinar el trabajo de todos los compresores interconectados. Los controles secuenciadores (single-master) controlan las unidades individuales a partir de una unidad central (master) variando la capacidad o sacando y metiendo en línea compresores a partir del monitoreo de la presión del sistema (demanda). Este sistema permite alcanzar una mayor eficiencia al reducir el rango de control alrededor de la presión predeterminada de ajuste. Este rango más estrecho permite a su vez reducir la presión promedio del sistema, teniendo cuidado en mantener la presión por encima de los valores mínimos admisibles durante los periodos de alta demanda, a lo cual puede contribuir una adecuada capacidad de almacenamiento de aire en los tanques de almacenamiento.
- Realizar análisis de lubricantes en el compresor. Es importante incorporar el análisis de los lubricantes como herramienta del diagnóstico técnico en el mantenimiento predictivo de los

compresores. El análisis del aceite puede ser realizado con facilidad y ofrecer muchas condiciones de operación del equipo y del estado del aceite. Por tal razón, a partir de los resultados del análisis del aceite se puede determinar si el lubricante y la máquina se encuentran en buen estado y utilizar esta información para el planteamiento de los programas de mantenimiento predictivo. El análisis de aceite es una técnica simple, que realizando medidas de algunas propiedades físicas y químicas proporciona información con respecto a: La salud del lubricante, contaminación del lubricante y desgaste del compresor. El análisis de aceite no sólo va a permitir monitorear el estado de desgaste del equipo, detectar fallas incipientes, sino también establecer un programa de lubricación basado en las condiciones operativas.

- Realizar análisis termográfico para detectar puntos calientes en partes móviles. La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de las superficies con precisión. Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para identificar estas longitudes de onda. Esto permite medir la energía radiante emitida por un objeto y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto. Al manifestarse un punto caliente en los rodamientos del compresor, evidencia fatiga mecánica por esfuerzos innecesarios que se traducen en mayor consumo de energía.
- Inspeccionar las caídas de presión en el sistema e Identificar y relevar los cuellos de botella existentes. Al establecer la presión de operación del sistema hay que tomar en consideración la

caída de presión que se produce desde la presión de aire a la descarga de los compresores hasta los puntos de uso final. Se considera que un sistema bien diseñado debe tener una caída de presión inferior al 10% de la presión de descarga. La caída de presión en la red de distribución se produce por fricción en las tuberías y por la resistencia al paso del aire en accesorios, válvulas reguladoras, conexiones, filtros, etc. Para reducir la caída que se produce en las tuberías hay que tratar de reducir al mínimo la distancia que recorre el aire y dimensionar adecuadamente los diámetros de las líneas. Se debe tener en cuenta que una de las causas que más repercute en la caída de presión, son los filtros saturados. Se sugiere no incrementar el valor de la presión de generación para compensar las pérdidas; en vez de ello, es importante revisar las posibles causas del problema.

- Incorporar un tanque pulmón o acumulador al sistema de aire comprimido. El tanque pulmón o tanque acumulador es indispensable para la operación de compresores alternativos y en algunas situaciones, resulta conveniente para los demás tipos de compresores. Este elemento permite eliminar las pulsaciones en el flujo debido al ciclo de compresión, proporciona capacidad de almacenamiento, permite eliminar en parte la humedad del aire y evita ciclos cortos de carga y descarga en el compresor, reduciendo su consumo energético. Para compresores con sistemas de regulación arranque-parada, la capacidad del tanque pulmón o acumulador debe ser seleccionada de acuerdo al consumo de aire (teóricamente sin fugas) y la capacidad del compresor, de tal manera que el compresor haga como máximo 10 arranques por hora (1 cada 6 minutos), en caso de presentarse un mayor número de arranques el tanque pulmón tiene una alta probabilidad de estar subdimensionado.

- Mantenimiento adecuado de filtros de aire en la admisión del compresor. La carga del motor del compresor aumenta 5% por cada 5 pulgadas de caída de presión de succión en los filtros de aire que se usan para limitar la entrada de contaminantes sólidos al sistema, causantes de erosión y corrosión de los componentes principales. Al estar saturados de polvo e impurezas, se impide la admisión de aire atmosférico al compresor, creando una caída de presión que es contrarrestada por el mismo compresor, incrementando su consumo energético.

- Inspeccionar el uso de presiones adecuadas en los procesos. Verifique que las herramientas o equipos neumáticos tengan un regulador de presión instalado, justo antes de la misma, para que trabaje con la presión adecuada. De lo contrario, utilizará la presión total del sistema, incrementando con ella la demanda de aire y, por lo tanto, el consumo de energía.

- Incorporar preferiblemente sistemas de distribución en anillos o semicerrados. El aire es transportado desde el compresor hasta los sistemas de consumo por medio de una línea o tubería principal. El dimensionamiento de estas tuberías se hace mediante criterio técnico y económico, por lo tanto el diámetro debe ser lo suficientemente grande para evitar grandes caídas de presión y lo suficientemente pequeño para mantener bajos costos de inversión. De esta línea principal se derivan tuberías secundarias y de servicio, que están en contacto directo con los equipos neumáticos. El sistema de distribución puede instalarse en configuraciones abiertas o en anillos o semicerrados. La configuración en línea abierta se utiliza cuando las tuberías no presentan longitudes muy extensas. De las ventajas principales de este tipo de configuración, se relacionan con el menor costo de instalación y la flexibilidad para futuras expansiones. Como

desventaja se tiene en el hecho de presentar altos valores de caída presión en los extremos finales. Los sistemas de distribución en anillo o semicerrados se emplean cuando se espera tener tramos de tubería de longitud extensos. Su implementación, trae como ventajas la posibilidad de distribuir uniformemente el aire, con menor caída de presión que la configuración en ciclo abierto.

- Inspeccionar la selección y montaje apropiado del sistema de aire comprimido. Con el fin de asegurar la calidad del aire suministrado y evitar el deterioro de equipos y sistemas accionados, la red de distribución debe garantizar poca caída de presión entre el compresor y los puntos de consumo, valores mínimos de fugas y un alto grado de separación de condensados en todo el sistema. Esto se logra teniendo en cuenta los siguientes aspectos: Evitar empotrar las tuberías durante la instalación, Instalar la tubería principal con una caída del 2%, para permitir la eliminación de condensados, realizar las derivaciones siempre hacia arriba, prolongar las tuberías secundarias después de la toma de la máquina para recoger el agua condensada. Las tuberías deben poderse desarmar fácilmente y ser resistentes a la corrosión. Pueden emplearse materiales como cobre, acero galvanizado o plástico. Debe prestarse atención a las uniones, especialmente en las tuberías de acero, ya que son puntos claves para la aparición de oxidación.

- Identificar y replantear usos inadecuados de aire comprimido. Los principales usos inadecuados del aire comprimido son: soplado, inyección de aire para simular agitado mecánico, aspirado, atomización, obtención de vacío, refrigeración o aseo personal, soplado con pistolas de mano, cabinas de refrigeración, tubos Venturi para vacío, entre otras. Este tipo de aplicaciones pueden ser

desarrolladas a partir de métodos y herramientas potencialmente más económicas y eficientes que el aire comprimido. Dentro del rango de posibilidades se destacan los ventiladores y sopladores de baja presión, las bombas de vacío, pistolas de soplado adecuadas, escobas, entre otros.

- Reducción de demandas pico y ancho de bandas de presiones de proceso. Los controles por etapas (part-load) operan en condiciones de dos o más condiciones de carga parcial, permitiendo mantener la presión más cerca del valor prefijado sin necesidad de parar y arrancar el compresor tan frecuentemente como con un control de dos posiciones. Estos controles se utilizan con frecuencia en compresores recíprocos y se diseñan para que el compresor trabaje en tres (0%, 50%, 100%) y hasta cinco (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) condiciones de carga diferentes.

Sistema de refrigeración y aire acondicionado. Es otro sistema importante para los procesos productivos en la industria, pero también para el confort térmico en diferentes espacios de trabajo y oficinas. Algunas alternativas clasificadas por el tipo de sistema que se usen, son:

Torres de enfriamiento

- Inspeccionar la correcta operación de las torres de enfriamiento. Verificar que las bombas de la torre estén operando en el punto de mayor eficiencia. Bombear únicamente la cantidad de agua requerida por el sistema de enfriamiento y evitar el sobredimensionamiento. Utilizar filtros que den baja caída de presión de 5 a 8 psi (34,55 kpa a 76,89 kpa) y alta densidad de filtración 3 Gpm/pie (122,16 lpm/m). Inspeccionar los relleños, comprobar el buen estado, la correcta colocación y la posible formación de algas que obstruyan el paso del aire. Efectuar una inspección

visual sobre ventiladores, motores y reductores de velocidad, debe hacer correcta lubricación y la correa del ventilador debe estar tensada.

- Monitorear las temperaturas de entrada y salida de agua en la torre de enfriamiento. Gracias al monitoreo de las temperaturas de entrada y salida de agua de la torre de enfriamiento es posible registrar con exactitud el salto térmico de la torre, es decir, la diferencia de temperatura entre el agua fría que sale de la torre y el agua caliente que entra. Una torre eficiente y bien seleccionada brinda, en condiciones atmosféricas favorables, un salto térmico cercano a los 10°C. Cuando las condiciones ambientales no son buenas, es decir, la temperatura de bulbo húmedo es alta y/o la humedad relativa está por encima del 75%, no pueden esperarse buenos saltos debido a que la evaporación de agua se ve reducida. Si se tiene una temperatura elevada a la salida de la torre, puede deberse a un excesivo flujo de agua, rellenos mal colocados o en mal estado o aire insuficiente. Se recomienda comparar las condiciones de operación con las condiciones de diseño y comprobar el estado de los rellenos.
- Monitorear la eficiencia de la torre de enfriamiento. El agua caliente ingresa a la torre y mediante enfriamiento evaporativo en contacto con aire atmosférico disminuye la temperatura del agua para continuar el ciclo de enfriamiento. Es importante monitorear las temperaturas presentes en el intercambio térmico de la torre de enfriamiento para determinar su eficiencia y su operación óptima en el tiempo, a fin de establecer estados ineficientes prematuramente, de esta forma, se reduce la probabilidad de fallas que pueden afectar el proceso de enfriamiento. Para monitorear la eficiencia de la torre de enfriamiento, se debe incorporar tres (3) termómetros en los siguientes puntos de medición: Entrada de agua a la torre, salida de agua de la torre y en-

trada de aire en la torre. Para calcular la eficiencia de la torre es necesario conocer la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra a la torre. Esta variable se determina conociendo la humedad relativa y temperatura del aire que entra a la torre, mediante el uso de un termohigrómetro y una carta psicométrica. Una eficiencia superior al 60% refleja un buen desempeño de la torre, valores inferiores a este indican posibles problemas en los rellenos o flujos inadecuados de aire debido a fallas del ventilador.

- Optimizar el tratamiento del agua de la torre de enfriamiento. Para proporcionar una buena transferencia de calor y fiabilidad (baja corrosión), se debe realizar una evaluación de la calidad del agua de recirculación para evitar niveles de acidez y alcalinidad inadecuados que generen problemas de incrustaciones en los rellenos, corrosión en las tuberías y erosión sobre los materiales.
- Evaluar e integrar automatización. Instalar controles automáticos de temperatura que manejen las bombas y ventiladores de las torres de enfriamiento, para que estos no operen sino durante los períodos estrictamente necesarios. Instalar controles de nivel en todos los tanques para evitar pérdidas de agua por los reboses.
- Incorporar rellenos de alta eficiencia en las torres de enfriamiento. Utilizar rellenos de alta eficiencia y boquillas que den baja caída de presión de 5 a 7 psi (34,55 kPa a 48,36 kPa), mantener en óptimo estado los eliminadores de rocío. Si se piensa en un cambio a gran escala puede considerarse lo siguiente: Conversión de torre de tiro atmosférico a torre de tiro forzado, conversión de torre de tipo forzado a torre de tiro inducido, conversión de torre de flujo cruzado a torre de flujo en contracorriente.

Sistemas de refrigeración y chillers

- Establecer nivel crítico de almacenamiento permitido en los cuartos fríos para evitar una alta subutilización. Al establecer un nivel crítico de almacenamiento y su respectivo monitoreo, se puede evitar periodos largos de alta subutilización, representada en un alto consumo energético innecesario. Si se detecta una subutilización prolongada en un periodo determinado, es importante migrar a espacios de refrigeración más reducidos para el almacenamiento de volúmenes inferiores al nivel crítico de almacenamiento.
- Disminuir la temperatura de condensación de los cuartos fríos. Es importante disminuir la temperatura en la proximidad de las unidades de condensado, siendo un valor óptimo 20 a 25°C. Una disminución de la temperatura, implica un mejor comportamiento energético del equipo de refrigeración al operar a un mayor nivel de eficiencia. Por cada 1°F de disminución en la temperatura del aire circundante en el condensador, la carga del compresor disminuye un 0,5%. Se espera que para una disminución de 10 °C en la temperatura del aire próximo a las unidades condensadoras, se consuma del 3 al 5% menos energía por equipo. Es importante realizar la limpieza habitual del condensador, para evitar que la suciedad impida la disipación de calor a la atmósfera y conduzca a un incremento en la presión del refrigerante, que se traduce en un mayor consumo energético del compresor.
- Disminuir la frecuencia en la apertura de las puertas en cuartos fríos. Una alta frecuencia en la apertura de las puertas de los cuartos fríos, incrementa considerablemente la carga térmica a las unidades de refrigeración, por la entrada continua de aire a temperatura ambiente. Es importante determinar con exactitud el tiempo que permanecen las puertas de los cuartos fríos abiertas, a fin de planificar una estrategia para

contrarrestar este factor que afecta directamente la eficiencia del equipo. De igual forma, las fallas en la hermeticidad del cuarto frío producen un aumento en el intercambio de calor, ocasionando un mayor consumo energético. Incorporar cortinas plásticas de cierre hermético, en la entrada de los cuartos fríos es una buena práctica para confinar el frío y evitar carga térmica exterior al sistema de refrigeración.

- Eliminar escarcha en los sistemas de refrigeración. Es de suma importancia retirar la escarcha que se forma en los equipos o sistemas de refrigeración. La escarcha se forma cuando la humedad del aire se solidifica al contacto con las superficies frías, siendo factor de ineficiencia. De igual forma, al detectar escarcha en el tramo válvula de expansión- evaporador, es un indicador de ineficiencia en el equipo, ya que este conducto es necesario aislarlo para evitar carga térmica adicional al evaporador, ya que solo en el evaporador se debe concentrar la refrigeración y el tramo sin aislamiento está recibiendo calor externo, manifestándose en la formación de escarcha.
- Aumentar la temperatura de evaporación de los cuartos fríos. Mientras mayor sea la temperatura de evaporación de un sistema de refrigeración, menor será su consumo energético. Es posible estimar que por cada 1°C de aumento en la temperatura de evaporación, podría obtenerse un aumento de un 4% a un 6% en la capacidad frigorífica del compresor. La reducción del volumen específico del refrigerante, asociado al aumento de la temperatura de evaporación, afecta la capacidad frigorífica del compresor y las pérdidas en la línea de succión. Algunas maneras de reducir la temperatura de evaporación son: Mantener los evaporadores libre de hielo (escarcha). Evitar obstrucciones al flujo de aire en las cámaras de frío. Mantener los intercambiadores de calor libre de obstrucciones, aceite, etc. Evitar la acumulación de aceite de los compresores en los evaporadores, para esto es ne-

cesario dimensionar correctamente las líneas de succión y utilizar separadores de aceite eficientes. Limpiar o cambiar periódicamente los filtros de refrigerante, con el fin de evitar minimizar las pérdidas de presión a través de ellos.

- Evaluar la eficiencia energética del sistema de refrigeración. Para realizar una evaluación de la eficiencia se requiere que el sistema tenga instalado los medios de diagnósticos imprescindibles, con el objetivo de poder medir los parámetros de presión y temperatura en los principales puntos del ciclo térmico.
- Reducir el trabajo del compresor. El compresor es el equipo de mayor consumo energético dentro del sistema de refrigeración y por tanto una reducción en el trabajo aplicado al mismo traerá un ahorro considerable para el sistema completo. Para lograr esto se pueden cambiar por compresores flexibles que permitan variación de la carga; disminuir la presión de descarga al disminuir la temperatura de condensación; aumentar la presión de succión al aumentar la temperatura de evaporación; mejorar el enfriamiento de los compresores, o cambiar el tipo de refrigerante.
- Incorporar regulación y control en el sistema de refrigeración. Para favorecer la eficiencia energética y para mantener un buen funcionamiento de estos sistemas, en el tema de regulación y control de los procesos frigoríficos se busca automatizar en lo posible todas las instalaciones; mantener en buen estado los sistemas de control como presostatos y termostatos, debe revisarse con frecuencia la calibración de los elementos de regulación del sistema, controlar el descongelamiento de la escarcha en los evaporadores, verificar los ciclos de encendido y apagado de los compresores y ventiladores, entre otros.
- Monitorear el coeficiente de operación (COP) de chiller y sistemas de refrigeración. El COP es la relación entre la refrigeración producida en

kW, y la potencia total consumida en kW, equivalente a la operación del compresor, de esta forma, es posible calcular la eficiencia del sistema ya que relaciona el enfriamiento obtenido en el equipo de refrigeración por cada kw consumido por su compresor. Es importante evitar caídas del valor del COP y mantenerlo en un valor lo más alto posible.

- Aislar las redes de distribución de agua fría de los chiller's. Es importante incorporar aislamiento térmico a la totalidad del tramo que conduce el agua fría suministrada por los chiller's. El tramo se calienta como efecto de la temperatura ambiente, ocasionando carga térmica al sistema de enfriamiento. El incremento de temperatura del agua de descarga genera inconvenientes en la refrigeración o uso final del agua fría y para asegurar una óptima temperatura de enfriamiento, el chiller incrementa su consumo para eliminar la carga térmica adicional por el nulo o bajo aislamiento térmico.

Sistemas de aire acondicionado

- Inspeccionar la correcta operación de los sistemas de acondicionamiento de aire. Mantenga puertas y ventanas cerradas en los ambientes acondicionados con el fin de evitar la entrada de aire caliente del exterior. Apagar los equipos de acondicionamiento de aire en las áreas desocupadas. Contemple la posibilidad de apagar los equipos de acondicionamiento de aire durante las horas de refrigerio, una hora o media hora antes de la hora de salida. En los espacios acondicionados disminuya en lo posible la carga de calor introducida por la excesiva iluminación, por maquinarias o equipos que permanezcan encendidos innecesariamente. Mantenga en condiciones de correcto funcionamiento los acondicionadores y además, en estado de buena limpieza los filtros, serpentines y ventiladores.

- Incorporar regulación y control en los sistemas de acondicionamiento de aire. Verificar que el sistema tenga termostato con lectura numérica. Inspeccionar que el sistema de aire acondicionado no baje de los 25°C. Reducir un 1°C la temperatura implica un aumento del 7-8% del consumo de energía.
- Utilizar ventanas de doble cristal en madera o aluminio con rotura de puente térmico. Puede ahorrar hasta el 10% de energía, además de tener mayor tranquilidad con menos ruido exterior.
- Incorporar los principios de la arquitectura bioclimática. Otra reducción en las cargas de los acondicionadores de aire se logra rediseñando los espacios siguiendo las normas de la Arquitectura bioclimática que aconseja, entre otras cosas, favorecer la circulación de aire a través de determinados espacios. Por todos los medios posibles favorezca la arborización alrededor de las edificaciones con ello se consigue disminuir la transferencia de calor hacia el interior de las mismas, el resultado será la reducción sensible de las cargas de los acondicionadores de aire.

Sistema de Iluminación. La iluminación es necesaria en espacios internos y externos para prácticamente todas las organizaciones, y por lo tanto su gestión es un común denominador para todas ellas, encontrando oportunidades significativas para reducir el consumo de energía eléctrica. A continuación se presentan algunas de las medidas de gestión asociadas a este sistema²²:

- Realizar mantenimiento sistemático en los sistemas de iluminación. Limpiar periódicamente las luminarias, porque la suciedad disminuye el nivel de iluminación de una lámpara hasta en un 20%.
- Inactivar iluminación no requerida. Apagar las

luces que no se necesitan, como por ejemplo cuando el personal está en descansos, en tiempos de refrigerio o al culminar sus actividades.

- Evaluar la posibilidad de utilizar luz natural. Aprovechar este recurso, siempre que se brinde un nivel adecuado de iluminación en las áreas de trabajo y circulación de personas instalando tejas o laminas translucidas, claraboyas, domos solares o similares.
- Incorporar colores claros de alta reflectividad. Usar pinturas y materiales en techos, paredes y pisos en colores claros para aprovechar sus altos índices de reflectividad, porque los colores oscuros absorben gran cantidad de luz y obligan a utilizar más lámparas.
- Reemplazar tecnologías obsoletas de iluminación. Sustituir lámparas T12 y balastos electromagnéticos convencionales de baja eficiencia por lámparas T8 o T5 y balastos electrónicos y al mismo tiempo, incrementar el índice de reflexión hasta un 95% mediante la utilización de reflectores especulares de aluminio. El remplazo de las lámparas fluorescentes del tipo T12 con balastro electromagnético por T8 o T5 y balastro electrónico implica: Mayor vida nominal, flujo luminoso similar, menor diámetro, mayor calidad, menor consumo energético (30-45%). El remplazo de un balastro electromagnético por un balastro electrónico implica: Menores pérdidas, mayor eficiencia (15-20%), mayor vida nominal (50,000-80,000 h), menor efecto estroboscópico, mínima aportación de calor, operación silenciosa. También es posible evaluar la factibilidad técnica y financiera de migrar directamente a la tecnología LED, inclusive si se tiene en la actualidad, iluminación T8 o T5.

²² Ídem.

- Independizar y sectorizar los circuitos de iluminación. De esta forma se encenderá las luces sólo en los lugares que necesita y distribuirá la carga eléctrica. Disponer de sistemas de iluminación en grupos y alternados, reduce el nivel de iluminación sin afectar la totalidad del sistema.
- Instalar superficies reflectoras (pantallas eficientes). Estos dispositivos direccionan e incrementan la iluminación y posibilitan la reducción de lámparas en cada luminaria.
- Ajustar los niveles de iluminación y los coeficientes de uniformidad a las necesidades reales de cada zona de la organización. Relacionar la iluminación con la actividad que desarrolla, de forma que si hay cambio de actividad, cambiar también el nivel de iluminación. Seleccionar las lámparas que suministren los niveles de iluminación requeridos en las normas de acuerdo al tipo de actividad a desarrollar.
- Reemplazar las lámparas cuando hayan cumplido su vida útil o cuando empiecen a presentar fallas. Resulta ser más económico y los niveles de iluminación no se ven reducidos cuando se realiza el mantenimiento en grupo. Evitar incorporar luces indicadoras en interruptores asociados a lámparas fluorescentes compactas, ya que su vida útil se ve visiblemente afectada. Para este tipo de tecnologías, es mejor hacer uso de señales luminiscentes (brillan en la oscuridad).
- Instalar sistemas de control de iluminación. Incorporar sensores de presencia, dimmers individuales y fotoceldas para el apagado y encendido automático. Evitar iluminar en horas nocturnas la totalidad de las áreas si solo concurre actividades de aseo sectorizado.
- Utilizar luminarias apropiadas como las pantallas difusoras con rejillas. No utilizar difusores o pantallas opacas porque generan pérdidas de luz por lo que se requiere utilizar más lámparas.

- Contemplar sustitución de bombillas de mercurio por bombillas de sodio de alta presión o iluminación LED en áreas externas. Las lámparas de Sodio Alta Presión aceptan como máximo, sin degradar su vida útil, una reducción de potencia del 50%. La mayoría de las lámparas de Mercurio no admite reducción de potencia ya que puede llegar a producir una variación irreversible de color. Sólo algunas de éstas permiten reducciones entre 10% y 20% y por lo tanto la amortización del sistema no resulta económicamente conveniente.

Compensación de reactiva. En una instalación industrial, a medida que el factor de potencia disminuye, la energía reactiva consumida crecerá y, por consiguiente, la energía aparente suministrada por la red será también más elevada. De esta forma se presenta un aumento inútil de la corriente total requerida por la carga, con los consecuentes gastos por penalización. Adicionalmente, habrá un aumento de las pérdidas por conducción, un incremento de la temperatura en los componentes, una mayor caída de tensión en conductores y una sobreutilización de la capacidad de la instalación. Las siguientes son las medidas que pueden usarse para reducir consumos asociados a las variaciones del factor de potencia:

- Monitorear el bajo factor de potencia, que puede ocasionar facturación de energía reactiva e ineficiencias. La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto con-

sumo de energía reactiva puede producirse por la subutilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.

- Conocer la normatividad vigente en compensación reactiva. La CREG en la resolución 108-97 en su artículo 25 reguló lo siguiente: "Artículo 25°. Control al factor de potencia en el servicio de energía eléctrica. En la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica, se controlará el factor de potencia de los suscriptores o usuarios no residenciales, y de los residenciales conectados a un nivel de tensión superior al uno (1). Parágrafo 1°. El factor de potencia inductiva (coseno phi inductivo) de las instalaciones deberá ser igual o superior a punto noventa (0.90). La empresa exigirá a aquellas instalaciones cuyo factor de potencia inductivo viole este límite, que instalen equipos apropiados para controlar y medir la energía reactiva. Parágrafo 3°. A partir de la vigencia de la presente resolución, y hasta tanto la Comisión reglamente el suministro y consumo de energía reactiva en el Sistema Interconectado Nacional, en caso de que la energía reactiva sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) consumida por un suscriptor o usuario, el exceso sobre este límite se considerará como consumo de energía activa para efectos de determinar el consumo facturable."

- Realizar compensación reactiva al identificar bajo factor de potencia. Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, por medio de la instalación de bancos de condensadores eléctricos estáticos, o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria (algo menos económico si no se dispone de ellos). Midiendo la energía activa y reactiva que consumen las instalaciones existentes, se puede calcular la potencia necesaria (KVAR) que deben tener

los condensadores para lograr la compensación deseada. Sin embargo, es recomendable la instalación de registradores de potencia durante el tiempo necesario para cubrir (medir) por lo menos un ciclo completo de operación de la industria, incluyendo sus períodos de descanso.

2.3.2 Otras formas de mitigación de GEI en las organizaciones

Aunque el uso de energía eléctrica y por lo tanto su gestión, es una de las alternativas más importantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la mayor parte de los casos, las organizaciones también tienen opciones de intervención en otros ámbitos, buscando reducir su impacto ambiental.

Dos de las fuentes que son recurrentes en las organizaciones, y que por esta razón se tienen en cuenta para revisar las alternativas de mitigación que tienen, son el uso de gases refrigerantes y extintores .

2.3.2.1 Gases Refrigerantes

Los gases refrigerantes son sustancias muy utilizadas por las organizaciones es sistemas de refrigeración industriales (cuartos fríos o chillers), pero también en aplicaciones más generalizadas como el aire acondicionado de edificaciones. Este tipo de gases tienen una composición química normalmente muy compleja, cuentan con un muy alto potencial de calentamiento global y una importancia significativa dentro de las causas del cambio climático. Es por esta última razón que se hace necesario realizar gestión sobre los mismos.

²³ Las opciones de mitigación para otras fuentes diferentes pueden ser consultadas en el paquete de guías de MVC Colombia, en: www.mvccolombia.co.

Para caracterizar la cantidad de refrigerantes que se manejan en una organización se debería contar con un inventario que incluya como mínimo: la descripción general del equipo que usa el gas, tipo de refrigerante usado, cantidad contenida y registro de recargas (con fecha, cantidad y responsable). La identificación de la cantidad de refrigerante contenido en un equipo puede hacerse directamente sobre la placa del mismo, donde normalmente se cuenta con esta información para desarrollo de los programas de mantenimiento o a través de la ficha técnica.

Otro dato importante para la gestión de los gases de efecto invernadero es saber cuánto gas refrigerante se pierde en el equipo, para lo cual se presentan dos alternativas:

- Cuantificar las pérdidas de gas a la atmósfera como una relación directa de la cantidad de refrigerante recargada. Las organizaciones que optan por esta metodología asumen que la cantidad de refrigerante recargada en un sistema es equivalente a la cantidad de refrigerante que se perdió a la atmósfera. Para poder calcular las emisiones se necesitan los registros detallados de las cantidades recargadas en cada mantenimiento.
- Cuantificar las pérdidas tomando como relación la cantidad total de refrigerante en el equipo y los valores de perdidas propuestos por el IPCC en su metodología 2006²⁴ para diferentes tipos de equipos:

Tabla 4. Fugas anuales promedio de refrigerantes en aires acondicionados y equipos de refrigeración

Sistema de refrigeración	Cantidad de refrigerante en el equipo (kg)	Fugas anuales de refrigerantes (%)
Refrigeración doméstica	0,05 - 0,5	0,1 a 0,3%
Aplicaciones comerciales	0,2 - 6	1 a 15%
Refrigeración en transporte	3 - 8	15 - 50%
Refrigeración Industrial de procesamiento de alimentos o almacenamiento en frío	10 - 10000	7 a 25%
Chillers	10 - 2000	2 a 15%
Aires acondicionados comerciales/residenciales	0,5 - 100	1 a 10%
Aires acondicionados de vehículos	0,5 - 1,5	10 a 20%
Aires acondicionados de vehículos europeos (modelo 1996 o mas reciente)	0,5 - 1,5	5,3 a 10,6%

Fuente: IPCC, 2006.

De esta forma si un chiller tiene 6 kilogramos de refrigerante R134 y se asume el valor más conservador en las emisiones (teniendo en cuenta que el rango esta entre 2 y 15% para este tipo de equipos, el valor más conservador seria el 15%, pero la organización también puede justificar el uso de un valor diferente según sus características particula-

res), las emisiones de ese año serán de:

²³ IPCC. Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. 2006. Volumen 3: Procesos Industriales y uso de productos, Capítulo 7: Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono; disponible en:

Emisiones Refrigerante = Cantidad refrigerante en el equipo x % de Fugas anuales

Emisiones de refrigerante = 6 kg R-134 x 15% = 0,9 kg de R-134 / año

Una organización que cuente con gases refrigerantes, y quiera considerar una gestión de las emisiones asociadas, debería tener en cuenta entre otras alternativas:

- Establecer un programa de mantenimiento que permita la identificación y corrección de fugas en el proceso. Las fugas pueden ser identificadas mediante diversas metodologías como: aplicación de fluidos ultravioleta en el refrigerante (siempre que sea posible según el fabricante),

soluciones de burbujas o espumas, condiciones de presión por debajo de la normal del sistema, no alcanzar la temperatura deseada en el sistema, menor consumo de corriente en el compresor, presencia de burbujas en los visores de líquido, necesidad de recargas habituales, etc.

- Realizar un mantenimiento preventivo de los sistemas de frío, en el que se garantice la captura del refrigerante del equipo, evitando que se escape a la atmósfera y acercando las emisiones de la organización a cero en cuanto a este aspecto

Imagen 1. Identificación de fugas en sistemas de refrigeración.



Fuente: Fenercom, 2013.

Imagen 2. Recipiente y máquina de recuperación de refrigerante



Fuente: Gas-Servei²⁵, 2016.

(pueden existir pérdidas mínimas en el proceso de captura). En la actualidad existen recipientes de recuperación (provistos de una válvula especial de doble fase con dispositivo de seguridad para proteger al usuario en caso de sobrellenado y eliminar el riesgo de explosión) y máquinas de recuperación que pueden facilitar este proceso, por lo cual la organización debe revisar que la empresa que presta este servicio realice este proceso durante el mantenimiento.

- Los gases refrigerantes capturados pueden ser reciclados (separando aceites, humedad, gases incondensables y otras impurezas) o destruidos (por medio de incineración en plantas autorizadas para tal fin)²⁶.
- Reemplazar los refrigerantes obsoletos por refrigerantes con menor potencial de calentamiento global que tengan características similares en cuanto a su funcionamiento. Es importante aclarar que el principal objetivo del gas es cumplir con el ciclo termodinámico de refrigeración, y

este objetivo es el más importante; debe estudiarse muy bien que las prestaciones del nuevo gas refrigerante sean iguales o superiores a las del que se está retirando.

- Mantener actualizadas las fichas técnicas de los equipos y las características del refrigerante usado, especialmente cuando por procedimientos técnicos y por condiciones ambientales se introducen cambios en las condiciones originales de los mismos.
- Reemplazar equipos obsoletos, que presenten fugas frecuentes de refrigerante o que no cumplan con las características de trabajo para las que fueron diseñados. Este tipo de equipos aumentan las necesidades de mantenimiento y generan gastos significativos para la organización, que terminan haciendo mucho más viable el reemplazo del equipo que el mantenimiento del mismo cuando está obsoleto.

2.3.2.2 Extintores

Otra de las fuentes de generación de emisiones de gases de efecto invernadero que reviste algún nivel de importancia para el desarrollo de procesos de mitigación son los extintores. Aunque en algunas organizaciones puede representar un valor insignificante, existen otras organizaciones que incluso se apoyan en el uso de softwares de administración para este tipo de equipos, por la importancia que reviste para su proceso.

Los agentes extintores que tienen relevancia para el proceso de cálculo de emisiones son aquellos

²⁵ Disponible en: <http://www.gas-servei.com/es/gestion-de-residuos/>

²⁶ Fenercom. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Manual de manipulación de gases refrigerantes. 2013. Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Manual-de-manipulacion-de-gases-refrigerantes-fenercom-2013.pdf>

que han sido utilizados por la organización y por esta razón deben ser enviados a su recarga, y que poseen sustancias con un potencial de calentamiento global caracterizado por el IPCC. De acuerdo a lo anterior, si el extintor se envía a mantenimiento preventivo, pero no ha sido descargado por la organización, debería considerarse el tipo de mantenimiento realizado ya que no siempre hay recarga o las emisiones son responsabilidad de la empresa. Así mismo, si el extintor usado tiene como agente expulsante el nitrógeno (como en los extintores de polvo químico seco), no se hace necesario incluir estos valores dentro del inventario de emisiones de GEI al no tener este gas un potencial de calentamiento global caracterizado (no es un GEI).

Aunque las organizaciones suelen llevar información acerca de las recargas de los extintores, se hace necesario que adicionalmente a la información que suelen registrar (cantidad de extintores, tipo de extintor, fecha de recarga, cantidad recargada, responsable, etc), se empiece a llevar información sobre la razón por la cual se hace el mantenimiento o reemplazo (normalmente va a ser por el cumplimiento de su periodo útil, por descarga accidental o voluntaria).

También es importante mencionar que existen algunos agentes extintores denominados comercialmente como "limpios", lo cual en muchos casos indica que no dejan residuos al ser usados, mas no, que no tengan un impacto ambiental asociado; razón por la cual, conviene revisar el agente extintor en la ficha técnica en todos los casos y hacer comparaciones tendientes a identificar su potencial de

calentamiento global.

En el caso de los extintores, algunas medidas que pueden implementarse para gestionar las emisiones asociadas a los extintores son:

- Reemplazar agentes extintores con un alto impacto ambiental o potencial de calentamiento global, por otros con menores valores o que usen sustancias que no los tengan. Es importante advertir que no siempre este tipo de cambios es viable en las organizaciones, dependiendo de las condiciones para las cuales sea usados el mismo; razón por la cual hay que mencionar que tiene prelación la funcionalidad y seguridad a la hora de usar el extintor que su nivel de impacto. En este último caso, la organización puede desarrollar o aplicar otras metodologías de gestión.
- Los equipos extintores requieren un mantenimiento periódico que debe ser respetado también desde el punto de vista ambiental, para evitar fugas no intencionales del fluido usado. Cuando un extintor se envía a mantenimiento preventivo sería importante poder capturar los gases que tengan un potencial de calentamiento global, aunque esta práctica en la actualidad no es usada normalmente.
- En los mantenimientos preventivos en los que los extintores sean entregados con plena carga a la empresa encargada del trabajo, debería definirse la responsabilidad por las emisiones generadas al liberar el agente extintor, con el ánimo de evitar doble contabilidad de las emisiones y responsabilizar a los encargados de la operación con respecto a sus actividades.

2.4 COMPESACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La compensación de emisiones es un mecanismo para reducir indirectamente las emisiones de ga-

ses de efecto invernadero, a través de la participación económica o apoyo financiero a proyectos de

captura o reducción de emisiones. Es una medida complementaria a la mitigación y permite a las organizaciones complementar sus programas de gestión, al contrarrestar la cantidad total o parcial de emisiones GEI generadas por la organización.

Existen básicamente dos alternativas para realizar una compensación, la primera es desarrollar un proyecto de siembra de árboles y la segunda es participar en un mercado voluntario o adquirir la reducción de emisiones de un proyecto externo.

Algunas organizaciones optan por sembrar árboles como una opción para sus procesos de compensación, y aunque esta alternativa es viable desde el punto de vista técnico, porque eviden-

temente se reducen las emisiones a la atmósfera, no se pueden garantizar las reducciones o capturas de carbono de la atmósfera, o su verificación puede costar mucho más que el proyecto mismo.

La compensación de emisiones con bonos de carbono (o VERs²⁷) es un instrumento voluntario, pero debe cumplir con ciertas características para que puedan ser consideradas legítimas. El primer aspecto es que las reducciones de emisiones sean legítimas y estén avaladas por un estándar internacional o nacional reconocidos. Esta legitimidad se alcanza con la participación de una tercera parte que realice un proceso de verificación del proceso.

Algunas de las metodologías internacionales existentes se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Estándares internacionales para procesos de verificación de emisiones reducidas

Estándar	Tipo de Estándar	Incluye Metodologías para		
		REDD	A/R	Otros
Verified Carbon Standard (VCS)	Carbono	No	No	Sí
VCS - AFOLU	Carbono	Sí	Sí	No
Climate, Community and Biodiversity Standard (CCBS)	Proceso	Sí	Sí	No
Gold Standard	Carbono	No	No	Sí
Gold Standard – Land Use and Forest (Carbon Fix)	Carbono	No	Sí	No
Plan Vivo (PVS)	Carbono	Sí	Sí	No
Social Carbon	Proceso	Sí	Sí	Sí
Chicago Climate Exchange (CCX)	Carbono	No	Sí	Sí

Fuente: Fundación Natura, 2016.

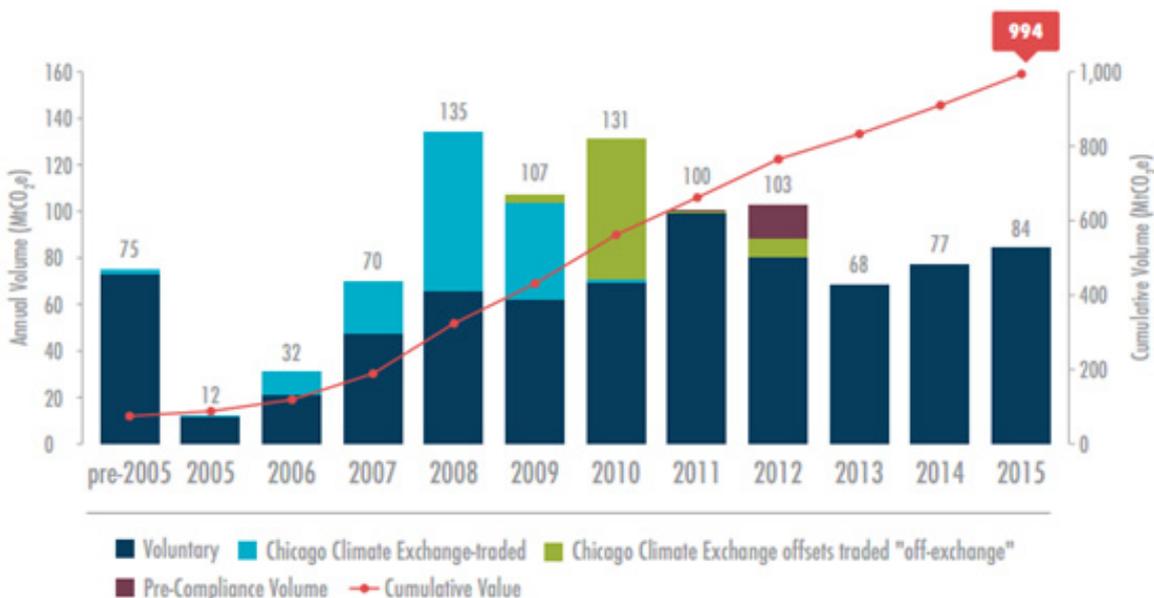
REDD: Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación. A/R: Aforestación/Reforestación

Por otro lado, otro factor relacionado con la legitimidad de las compensaciones es el registro de las mismas. El registro se realiza en una plataforma en la que cada vendedor debe dar a conocer las características de los bonos de carbono o VERs que pone en el mercado y una vez que estos son comercializados, se adjudican a nombre de su nuevo dueño, lo cual garantiza que van a tener un único

comprador y se evita la doble contabilidad o la compensación de más de un agente con un solo bono de carbono o VER. Las metodologías internacionales garantizan o están ligadas a mecanismos

²⁷ Sigla en inglés de reducción de emisiones verificada (Verified Emission Reduction), correspondiente a una tonelada de CO2 reducida o capturada de la atmósfera.

Gráfico 7. Volumen histórico de transacciones de compensación en los mercados voluntarios



Notes: Based on survey responses representing 992 MtCO_{2e} transacted pre-2005 to 2015. The Chicago Climate Exchange (CCX) volume represents transactions from US-based projects by US buyers anticipating regulation. It is considered "pre-compliance" because at the time, buyers were acting voluntarily in anticipation of cap-and-trade in the United States. After the legislation failed to pass in 2009, CCX tonnes continued to be traded on a voluntary basis, "off-exchange." Additional pre-compliance volumes were documented in the lead-up to California cap-and-trade and Australia's (now repealed) carbon tax.

Fuente: Ecosystem Marketplace, 2016.

efectivos de registro, pero hay que revisar que este aspecto se cumpla para todas las metodologías usadas en procesos de compensación.

Otro aspecto importante en el caso de las compensaciones, es que los bonos o créditos de carbono con que se realizan deben cumplir con el criterio de adicionalidad, que consiste en que el proyecto con el cual se realizan las compensaciones aporte reducciones adicionales a las que normalmente se hubieran realizado sin el proyecto. El aporte de quien realiza la compensación es determinante para la realización del proyecto o, dicho de otra forma, el mismo no se habría podido desarrollar sin el aporte de las organizaciones externas interesadas en la compensación. El principio de adicionalidad indica que en un proyecto donde

no se necesitan los aportes de los interesados en compensar, la reducción de emisiones se realizaría de cualquier forma y realmente no habría una reducción adicional que compense las emisiones de la actividad externa. Todas las metodologías suelen considerar este aspecto y se trata de un tema crítico en los procesos de validación y verificación.

Otro de los aspectos a tener en cuenta durante un proceso de compensación consiste en evidenciar que los proyectos de reducción de emisiones contribuyan a la sostenibilidad y tengan en cuenta no solo la dimensión ambiental, sino también la social y económica en el entorno donde son desarrollados. Algunas metodologías comprometen o incluyen este aspecto como una de las variables de mayor relevancia en el desarrollo y aplicación de sus

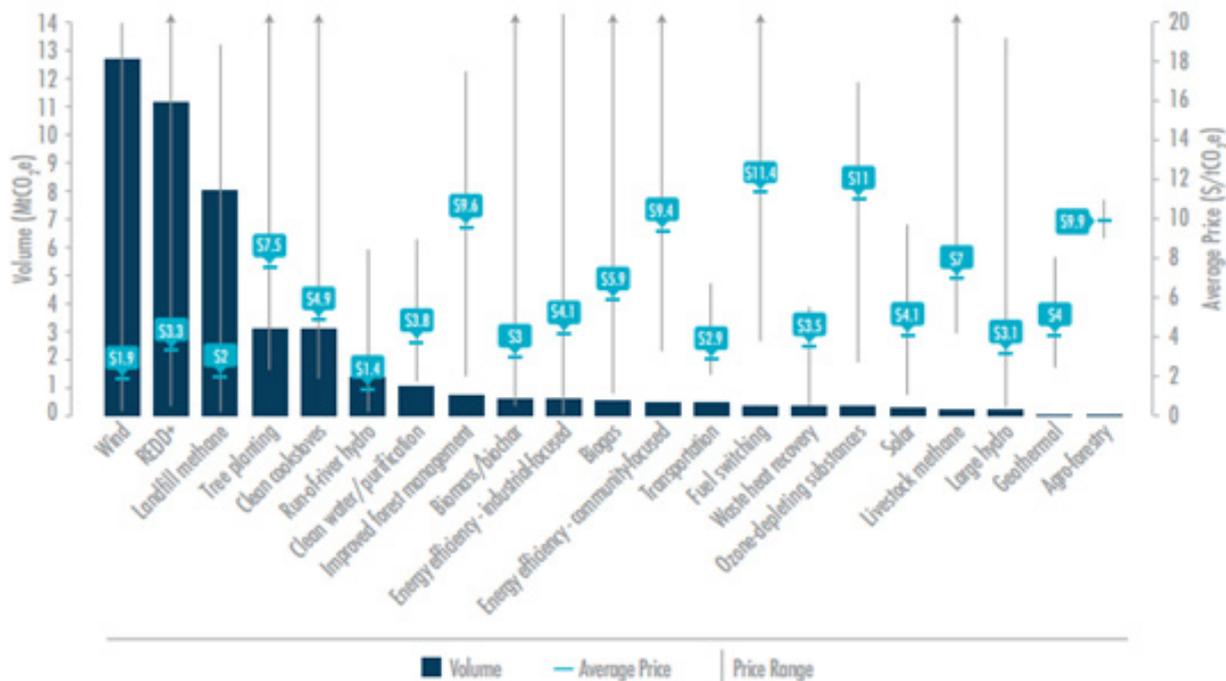
lineamientos, y este suele ser un factor decisivo en el momento de tasar los VERs.

Los mercados voluntarios internacionales han demostrado una evolución considerable en el tiempo, con una tendencia positiva en la cantidad transada a pesar de las condiciones externas de la economía mundial y de la voluntariedad del proceso para las organizaciones. El Gráfico 7, de

Ecosystem Marketplace, obtenido del estudio denominado "State of the Voluntary Carbon Markets 2016"²⁸ demuestra la anterior afirmación.

En cuanto a los precios de mercado, el mismo estudio demuestra que las características del proyecto y otros aspectos como su ubicación y sus implicaciones en la sostenibilidad, son determinantes para incidir en el precio de mercado, como se evidencia en el siguiente gráfico.

Gráfico 8. Volumen transado, precio promedio y rango de precio por tipo de proyecto en 2015



Notes: Based on transactions representing 48.8 MTCO_{2e} for which both price and project type was provided, and for which there were at least three respondents.

En Colombia ya está operando el Mercado Voluntario de Carbono²⁹ que se constituye en una plataforma para poder hacer la compensación de emisiones con proyectos propios de nuestro país, y por lo tanto apoyando iniciativas de construcción propia.

²⁸ Ecosystem Marketplace. 2016. State of the Voluntary Carbon Markets 2016. Disponible en: http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_5242.pdf

²⁹ Marketplace. 2016. State of the Voluntary Carbon Markets 2016. Disponible en: http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_5242.pdf

2.5 HUELLA DE CARBONO COMO MECANISMO PARA LA TOMA DE DECISIONES

Si bien los criterios que normalmente se emplean a la hora de llevar a cabo un proyecto de cambio tecnológico en las organizaciones se centran en los aspectos financieros, económicos y en la productividad que pueda representar dicho cambio, el aumento de las exigencias ambientales de los mercados y los consumidores hacen que cada día sea más importante el componente ambiental en estas mejoras y, por lo tanto, en las decisiones que se toman al interior de las organizaciones.

La Huella de Carbono organizacional puede convertirse en una herramienta para la toma de decisiones, teniendo en cuenta que, al hacer comparaciones entre las tecnologías actuales de las organizaciones y las que potencialmente puedan usar para reducir el consumo y aumentar la productividad de la organización, la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) se convierte en un factor de decisión que apoya, o no,

la realización del proyecto de cambio tecnológico.

Mientras mayor sea la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por cuenta del cambio tecnológico, mayor será la calificación de esa tecnología y más posibilidades se tendrán de implementar la mejora tecnológica. Las evaluaciones consisten en identificar la cantidad de emisiones que genera una tecnología actual en comparación con la cantidad de emisiones que potencialmente generaría una tecnología de reemplazo.

A continuación se presenta un ejemplo de cambio tecnológico su evaluación en términos de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se propone un cambio tecnológico en un horno, que pasaría de funcionar con carbón a funcionar con gas natural; las características del cambio tecnológico son las siguientes:

Tabla 6. Ejemplo de información para la comparación de tecnologías

Características	Tecnología actual	Tecnología potencial (posible reemplazo)
Combustible	Carbón	Gas Natural
Rendimiento (cantidad de combustible necesaria para la producción)	239 kg de carbón / ton de producto	98 m ³ de gas natural/ tonelada de producto
Costo unitario	422 \$/ kg de carbón	830 \$/ m ³ de gas natural
Poder calorífico	22,42 Megajulios de energía/ kg de carbón	42,67 Megajulios de energía/ m ³ de gas natural
Factor de emisión	2,01234 ton de CO ₂ / ton de carbón	0,0023512 toneladas de CO ₂ / m ³ de gas natural

Fuente. El autor, 2016.

En este caso, se cuenta con todos los datos asociados al rendimiento de cada uno de los sistemas, de manera que la comparación de las tecnologías se hace teniendo en cuenta el aumento de eficiencia del sistema, y la cantidad de emisiones generadas. Es importante señalar que este tipo de evaluaciones se puede hacer antes de la implementación con los datos conocidos de la instalación actual y la proyección del comportamiento del proyecto entregada por los proveedores o investigada por la organización misma.

Cálculo de la eficiencia energética del cambio:

Para calcular la eficiencia de cada uno de los sistemas del ejemplo, se debe identificar la cantidad de energía necesaria para procesar una tonelada de producto, por lo cual se debe asociar el consumo al poder calorífico del combustible usado en cada tecnología; En el caso del horno actual, que funciona con carbón, el rendimiento en términos de energía se calcula haciendo la siguiente operación:

Rendimiento energético de tecnología actual = 239 kg carbón/tonelada producto x 22,42 MJ/kg carbón
Rendimiento energético de tecnología actual = 5.358,38 MJ/tonelada producto.

En el caso de la tecnología potencial que se está evaluando, y que funciona con gas natural, el ren-

dimiento en términos de energía se calcula haciendo una operación similar a la anterior:

Rend. energético tecnología potencial = 98 m³ gas natural/ton producto x 42,67 MJ/m³ gas natural
Rendimiento energético tecnología potencial = 4.181,66 MJ/tonelada producto

Para poder calcular el aumento o la reducción en la eficiencia del proceso se deben comparar las dos tecnologías, la actual y la potencial.

El aumento o la reducción en la eficiencia energética de una conversión tecnológica (VEE), desde el punto de vista del consumo de energía de combustibles, se puede calcular con la fórmula:

$$VEE = \left(1 - \frac{\text{Rendimiento energético de la tecnología potencial}}{\text{Rendimiento energético de la tecnología actual}} \right) \times 100\%$$

De esta forma, en el caso propuesto en el ejemplo, la variación en la eficiencia del

proceso ante el cambio tecnológico (VEE) es:

$$VEE = \left(1 - \frac{\text{Rendimiento energético de la tecnología potencial}}{\text{Rendimiento energético de la tecnología actual}} \right) \times 100\%$$

$$VEE = \left(1 - \frac{4.181,66 \text{ MJ/tonelada producto}}{5.358,38 \text{ MJ/tonelada producto}} \right) \times 100\% = 21,96\%$$

En el caso del ejemplo, con el cambio tecnológico se obtiene una variación positiva en la eficiencia energética del proceso del 21,96%.

Cálculo de la eficiencia económica del cambio:

La cantidad de dinero asociada a esta reducción se puede calcular de forma similar al anterior cálculo:

Costos Unitarios de tecnología actual = 239 kg carbón/tonelada producto x 422 \$/kg carbón

Costos Unitarios de tecnología actual = 100.858 \$/tonelada producto

En cuanto a la tecnología potencial, sus costos son:

Costos Unitarios de tecnología potencial = 98 m³ gas natural/tonelada producto x 830 \$/ m³ gas natural

Costos Unitarios de tecnología potencial = 81.340 \$/tonelada producto

De esta forma el cambio en el costo unitario de producción generado con el cambio de la tecnología sería:

Cambio costo de producción = Costos Unitarios tecnología potencial - Costos Unitarios tecnología actual

Cambio en el costo de producción = 81.340 \$/tonelada producto - 100.858 \$/tonelada producto

Cambio en el costo de producción = -19.518 \$/tonelada producto

Como el resultado es negativo, es evidente que, con la nueva tecnología, la organización se va a ahorrar \$19.518 pesos por cada tonelada que produzca, lo que representa una reducción de costos del 19,35% por tonelada producida. En principio, esta información sería suficiente para que una organización considere hacer un estudio con un mayor nivel de profundidad para evaluar la alternativa; pero como se mencionó anteriormente, la variación en la generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociada al cambio tecnológico, puede ser un factor adicional para llevarlo a cabo, especialmente en organizaciones con alto nivel de sensibilización, hacia los temas ambientales por parte de sus directivos, o con escalas de producción lo suficientemente altas como para considerar la posibilidad de lograr, además, financiamiento de carbono por la

generación y venta de créditos en mercados voluntarios o regulados.

Es claro que estos costos, puramente operativos, deberán también integrarse en un análisis financiero con los costos de desarrollo, o adquisición, e implementación de la nueva tecnología y de sus mecanismos de financiación, para tener un panorama completo de las implicaciones económicas y de temas tales como los flujos de fondos, los desembolsos, la rentabilidad y el valor presente neto de la inversión propuesta.

Cálculo del impacto en las emisiones de GEI del cambio tecnológico: Para hacer el cálculo de la variación de las emisiones se deben calcular los GEI de cada tecnología en las mismas unidades, y posteriormente, hacer las comparaciones entre las mismas:

Emisiones tecnología actual = 239 kg carbón/tonelada producto x 2,01234 t CO₂e/kg carbón

Emisiones tecnología actual = 480,95 t CO₂e/tonelada producto

En cuanto a la tecnología potencial, sus emisiones son:

Emisiones tecnología potencial = 98 m³ gas natural/tonelada prod. x 0,0023512 t CO₂e/Nm³ gas natural

Emisiones de tecnología potencial = 0,23 t CO₂e/tonelada producto

De esta forma el cambio en las emisiones generado con el cambio de la tecnología se calcula:

Cambio de emisiones = Emisiones de tecnología potencial- Emisiones tecnología actual

Cambio de emisiones = 0,23 t CO₂ e/tonelada producto - 480,95 t CO₂ e/tonelada producto

Cambio de emisiones = - 480,72 t CO₂ e/tonelada producto

Como resultado del cambio tecnológico, se puede indicar que con la nueva tecnología, la organización va a reducir sus emisiones en 480,72 t CO₂e por cada tonelada producto procesado, lo que representa una reducción de emisiones del 99,95% por tonelada producida.

Si un empresario o directivo de la organización, conoce esta información en el momento de tomar la decisión de cambiar la tecnología, o de hacer un estudio más profundo de la posibilidad de hacerlo, puede tener más argumentos para orientar su decisión y, si su nivel de sensibilidad ambiental es alto, éste puede ser un factor determinante

para llegar a una decisión final, o incluso generar a partir del cambio un ingreso adicional para la empresa.

En conclusión, es importante incluir en las políticas empresariales consideraciones de mitigación del cambio climático, ya que estas acciones por parte de las empresas van a impactar el cálculo y la gestión de la Huella de Carbono Corporativa y, además, permitirán conseguir resultados más robustos en las decisiones productivas tomadas al interior de la empresa, así como en cuanto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero GEI y la lucha contra el calentamiento global.

2.6 PROGRAMA DE GESTIÓN DE HUELLA DE CARBONO

El desarrollo del plan o programa de gestión de huella de carbono PGHC puede contribuir a cumplir y debe estar alineado con las metas de la organización en materia de cambio climático. Un plan de gestión debe tener una fecha de inicio que

puede relacionarse con la fecha de su año base de cálculo de emisiones y una fecha de fin que debe coincidir con la fecha para la cual han sido planteadas sus metas. El contenido que puede tener el PCHC puede ser: nombre y descripción de la or-

ganización, descripción del año base y de las emisiones separadas por alcances, otra información relacionada con sus emisiones GEI (indicadores de intensidad, evolución en el tiempo, proyección de las emisiones bajo escenarios “business as usual”, etc), descripción del objetivo y las metas de la organización, descripción de los proyectos de mitigación y compensación, priorización de proyectos, descripción del proceso de cálculo de emisiones, conclusiones y bibliografía³⁰.

El PGHC puede contener la información de uno o varios proyectos de mitigación y compensación

con los que la organización vaya a reducir sus emisiones GEI e inclusive de acciones implementadas que estén dentro del horizonte temporal del plan; el nivel de detalle con el que la información de los proyectos de gestión de huella de carbono sea presentada depende de cada organización, pero deberían tenerse claras entre otras variables: el nombre del proyecto, los responsables, la fecha de inicio y fin (o su vida útil en caso de tecnologías), descripción de las condiciones iniciales, aspectos técnicos, ambientales y económicos del proyecto, comparación de emisiones con y sin proyecto, evaluación de permanencia, etc³¹.

2.7 CURVAS DE COSTOS MARGINALES DE ABATIMIENTO DE CO₂

Las curvas de costos marginales de abatimiento de CO₂ se constituyen en una herramienta útil para poder priorizar todos los proyectos con lo que cuenta una organización para poder gestionar su huella de carbono.

El costo marginal de abatimiento se define como el costo (o beneficio) de reducir la última unidad de emisión (costo marginal) mediante un cambio de una tecnología de referencia por una alternativa de bajas emisiones de carbono.

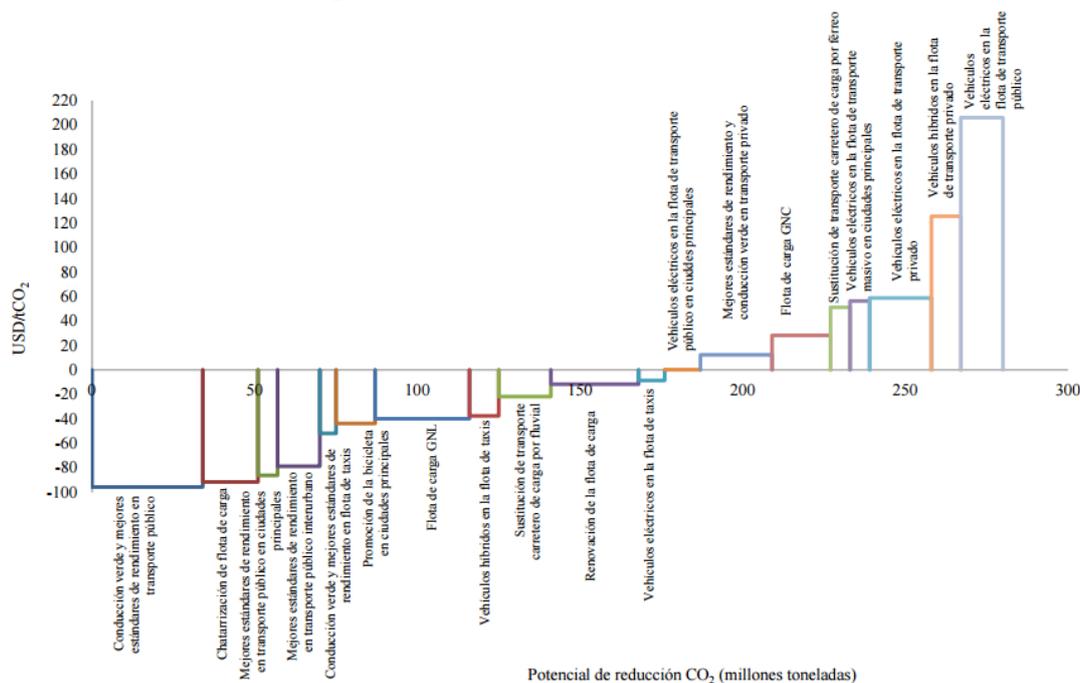
Una curva de costo marginal de abatimiento es una gráfica que indica el costo (o beneficio percibido) por reducir una tonelada de CO₂ mediante diferentes alternativas de gestión y el potencial de reducción de cada una de ellas y sirve como mecanismo de priorización de las intervenciones a realizar, teniendo en cuenta aspectos económicos, ambientales y técnicos. En el eje “y” la curva

presenta el costo de abatimiento de carbono de las diferentes alternativas y en el eje “x” la cantidad de emisiones que pueden ser abatidas con dicha tecnología. La sumatoria de todas las reducciones de emisiones de las diferentes alternativas evaluadas, se constituye en el potencial máximo total de reducción de emisiones para la organización evaluada.

³⁰ La información presentada es una orientación para las organizaciones interesadas. Los PGHC pueden contener más información u omitir algunos de los contenidos mencionados que no sean considerados relevantes por la organización.

³¹ Mayor información sobre la descripción de la reducción de emisiones a través del desarrollo de proyectos puede encontrarse en la norma ISO 14064-2 “Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento de remociones de gases de efecto invernadero”.

Gráfico 9. Curva de costo marginal de abatimiento del sector transporte carretero en Colombia



Fuente: Universidad de los Andes³², 2014.

Para la construcción de una curva de costos marginales de abatimiento, primero se debe tener toda la información técnica, de reducción de emisiones y financiera las diferentes alternativas de gestión de la huella de carbono que van a ser tenidas en

cuenta, tanto las de mitigación como las de compensación.

Una vez que se tienen estas variables el costo de abatimiento de cada alternativa puede ser calculado con la expresión³³:

$$\text{Costo de Abatimiento} = \frac{CA_{\text{opción}} - CA_{\text{BAU}}}{Emis_{\text{opción}} - Emis_{\text{BAU}}} \quad [\$/\text{ton de CO}_2\text{e}]$$

CA_{opción}: Costo anual equivalente de la nueva tecnología implementada. (\$/año).

usual"). (ton CO₂e/año).

CA_{BAU}: Costo anual equivalente de la tecnología existente (bajo un escenario inercial - "business as usual"). (\$/año).

Emis_{opción}: Emisiones anuales de la nueva tecnología implementada. (ton CO₂e/año).

Emis_{BAU}: Emisiones anuales de la nueva tecnología existente (bajo un escenario inercial - "business as

³² La Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial: curvas de abatimiento para Colombia. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/imagenes/cambioclimatico/pdf/estudios_de_costos_de_abatimiento/general/General.pdf

³³ Clerc, J; Díaz, M; Campos, B. Banco Interamericano de Desarrollo BID. Desarrollo de una metodología para la construcción de curvas de abatimiento de emisiones de GEI incorporando la incertidumbre asociada a las principales variables de mitigación.

Los costos anuales equivalentes se estiman a partir del valor presente de los costos incrementales e inversiones durante el horizonte de tiempo del proyecto multiplicado por el factor para estimar cuotas constantes:

$$CA = VPC \times \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

VPC: Valor presente de los costos del proyecto.

i: Tasa de descuento.

n: Tiempo de vida útil o periodos de proyección del proyecto.

Una vez se tienen todos los costos de abatimiento de carbono de todas las tecnologías, se deben

organizar de menor a mayor y se grafican en ese orden revisando que el ancho de cada columna guarde estrecha relación con la cantidad de emisiones que pueden ser reducidas en el año con la tecnología relacionada. El ancho total de todas las alternativas debería ser equivalente al total de emisiones anuales del inventario de la organización.

La alternativa de la compensación puede ser incluida también en la curva de abatimiento, teniendo en cuenta que no hay que hacer ninguna operación para calcular el valor de abatimiento, sino que el mismo valor al que se adquieran los VERs o bonos de carbono será el valor de abatimiento de esta alternativa (\$/ton CO₂ reducida). El ancho de la columna de las alternativas de compensación dentro de la gráfica de costos de abatimiento, debe guardar estrecha relación con la cantidad de toneladas de CO₂ compensadas.

REFERENCIAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- **Ministerio de Minas y Energía de Colombia:** www.miniminas.gov.co
 - **Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:** www.minambiente.gov.co
 - **Unidad de Planeación Minero-Energética:** www.upme.gov.co
 - **Sistema de información minero-energético de Colombia SIMEC:** www.simec.gov.co
 - **Sistema de información de eficiencia energética y energías alternativas SI3EA:** www.si3ea.gov.co
 - **Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá:** www.ambientebogota.gov.co
 - **Mercado Voluntario de Carbono de Colombia:** www.bmcco2.com.co
 - **Iniciativa MVC Colombia:** www.mvccolombia.co
 - **Fundación Natura:** www.natura.org.co
 - **Corporación Ambiental Empresarial CAEM:** www.caem.org.co
 - **Plataforma financiamiento climático para Latinoamérica y el Caribe:** www.finanzas-carbono.org
 - **Agencia Internacional de la Energía:** www.iea.org
 - **Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España:** www.idae.es
 - **Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas:** www.ciemat.es
 - **Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid:** www.fenercom.com
 - **United Nations Framework Convention on Climate Change:** www.unfccc.int
 - **Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC:** www.ipcc.ch
 - **United Nations (UN):** www.un.org
 - **Sustainable Development Solution Network SDSN:** www.unsdsn.org
 - **UN Climate Change:** www.newsroom.unfccc.int
 - **Forest Trends:** www.forest-trends.org
 - **The Climate Reality Project:** www.climate-reality-project.org
 - **Science Based Targets:** www.sciencebasedtargets.org
-
- <http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3988179/Gu%C3%ADa+programa+para+el+uso+eficiente+de+los+recursos+energ%C3%A9ticos.pdf>
 - <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/11678/Consejos%20practicos.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
 - http://www.upme.gov.co/terminos/083_TDR_seminario.pdf introducción
 - <http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3988179/Gu%C3%ADa+caracterizaci%C3%B3n+energ%C3%A9tica+e+h%C3%ADdrica.pdf>

GUÍA PARA LA GESTIÓN
DE LA HUELLA
DE CARBONO ORGANIZACIONAL

ISBN: 978-958-6753-09-6



9 789568 175309 >