

# Guía de eficiencia energética y buenas prácticas PARA LAS INDUSTRIAS DE ROSARIO Y LA REGIÓN

NOVIEMBRE DE 2023 | PRIMERA EDICIÓN



<b>7</b> ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE 	<b>12</b> PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES 	<b>13</b> ACCIÓN POR EL CLIMA 	<b>17</b> ALIANZAS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS 
---	---	--	---





# Autores y participaciones

## IDEA ORIGINAL:

CIMPAR, a través de su Mesa de Transición Energética, impulsa un espacio de trabajo colaborativo a través del cual se generan estrategias de divulgación y capacitación vinculadas a las energías renovables, la eficiencia energética y otros temas en relación con la transición en el contexto de la crisis climática. De este modo, CIMPAR contribuye al fortalecimiento de las capacidades de empresas, universidades y gobiernos en esta temática tan relevante en la agenda de sostenibilidad de la región y el mundo.

## Constituyeron la Mesa de Transición Energética durante 2023:

- Daniela Mastrángelo, Municipalidad de Rosario
- Rita Abalone, Laboratorio de Eficiencia Energética del IMAE/Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) / Universidad Nacional de Rosario (UNR)
- Marco A. Massacesi, FCEIA/UNR
- Aldana Mariani. Ingeniería Boggio
- Hector Briata, CIMPAR
- Fernando Lombardo, Energiú.
- Federico Piro, FCEIA/UNR - Schneider Electric
- Héctor E. Srebot, Celulosa Argentina
- Guillermo Favre, Paladini
- Guillermina Mangiaterra, Estudiante de Ingeniería Ambiental, UCA
- Virginia Cabral, Estudiante de Ingeniería Ambiental, UCA
- Ezequiel Magnani, FCEIA/UNR
- Melina Saltaleggio, Acindar-Arcelor Mittal
- Melina Ramos, Molinos
- Marcelo Leonardelli, Solamb

## REDACCIÓN:

Mgr. Ing. Marco A. Massacesi, Matrícula ICIE: 2-4742-1 (FCEIA/UNR)  
Srta. Aldana Mariani (Ingeniería Boggio S.A.)

## COORDINACIÓN:

Ing. Daniela Mastrángelo (CIMPAR)

## REVISIÓN TÉCNICA:

Dra. Rita Abalone (Jefa del Laboratorio de Eficiencia Energética del IMAE/FCEIA/UNR)  
Ing. Federico Piro (Schneider Electric S.A.)

## PARTICIPACIONES:

Un agradecimiento a quienes han compartido sus casos de éxitos:

Héctor E. Srebot

Ricardo Reartes

Fabián Bensi y Diego Serenelli

# CONTENIDO

01. Prólogo .....	4
02. Objetivo de este documento .....	6
03. Definiciones .....	7
04. Estado del arte y prácticas inadecuadas en las industrias del país .....	11
05. Eficiencia energética y buenas prácticas industriales aplicadas .....	13
05.1 Motores eléctricos .....	13
05.1.1 Introducción .....	13
05.1.2 Motores de alta eficiencia y su cálculo para el ahorro .....	14
05.1.3 ¿Para qué sirve un variador de frecuencia? .....	17
05.1.4 Oportunidades en el entorno de los motores y buenas prácticas .....	18
05.2 Sistemas de impulsión y transporte de fluidos líquidos y gaseosos .....	19
05.2.1 Aire comprimido .....	19
05.2.2 Impulsión de líquidos y gases .....	23
05.3 Sistemas de calor directo e indirecto .....	26
05.3.1 Introducción a los mecanismos de transmisión de calor .....	26
05.3.2 Aporte de calor directo .....	27
05.3.3 Aporte de calor indirecto .....	28
05.4 Sistemas de frío .....	32
05.4.1 Refrigeración industrial vs frío de procesos .....	32
05.4.2 Características de estos sistemas integrados .....	33
05.5 Iluminación industrial .....	37
05.5.1 Lámparas .....	37
05.5.2 Luminarias .....	38
05.5.3 Equipos auxiliares .....	38
05.5.4 Equipos de regulación y control .....	39
05.6 Ofimática .....	40
05.6.1 Equipos de oficina .....	40
05.6.2 Climatización .....	41
06. «¿Cómo puedo ejecutar (y demostrar) los ahorros?» El diagnóstico energético .....	43
07. «No hay dinero para medir todos los consumos» .....	47
08. Casos de éxito en industrias de la región .....	49
09. Sistema de gestión de la energía según ISO 50001. Características .....	54
10. ¿Y si aplicamos estas medidas de manera colectiva? Las redes de aprendizaje .....	56
11. Bibliografía y referencias digitales .....	58



# 01. PRÓLOGO

La crisis climática exige una reducción acelerada en las emisiones de carbono. A su vez, la generación de energía a partir de fuentes fósiles contribuye con la mitad de estas emisiones, tanto a nivel mundial [1] como en Argentina [2]. De acuerdo con la comunidad científica, debemos alcanzar reducciones de gases de efecto invernadero del 43 % a 2030 (con respecto a 2019) y la carbono neutralidad a 2050 para evitar daños irreversibles sobre los ecosistemas y las personas.

La carrera para reducir la huella de carbono en todos los sectores ya ha iniciado, y los sectores productivos no son ajenos a ello. Empresas que asumen compromisos, metas y estrategias que alcanzan incluso a sus cadenas de valor; sistemas financieros que exigen como requisito o priorizan a quienes tienen planes de descarbonización; oportunidades en los mercados de carbono y consumidores cada vez más informados, configuran nuevos modos de producir y hacer negocios.

El cambio climático requiere también el desarrollo de medidas de adaptación a los impactos climáticos. Por ejemplo, los climas extremos como las sequías afectan la disponibilidad eléctrica de origen hídrico y pueden impactar en el costo de la energía; las olas de calor generan fluctuaciones en la demanda de electricidad que recargan los sistemas de provisión, provocando riesgos de escasez, desabastecimiento y caídas de tensión.

En este contexto, la eficiencia energética se denomina el «primer combustible» en las transiciones hacia energías limpias, ya que ofrece algunas de las opciones de mitigación de CO<sub>2</sub> más rápidas y rentables, al tiempo que reduce la factura energética y refuerza la seguridad energética. Un uso más inteligente de la energía puede contribuir a una mayor seguridad de abastecimiento y resistencia económica.

En Argentina la transición energética no tiene la velocidad y énfasis que debería tener si el país desea cumplir con sus compromisos ambientales hacia 2030. En este sentido, existen barreras para implementar intervenciones en Eficiencia Energética, no solamente técnicas, sino también económicas, de capacidades y de mercado [3] [4].

A su vez, los incrementos tarifarios de los servicios energéticos repercuten en la competitividad e incluso productividad en el sector productivo. Sin embargo, la Eficiencia Energética propone ahorros de pronta recuperación, y en algunos casos, sus inversiones pueden resultar del orden de un 10 % que si se tuviera que generar la misma cantidad de energía ahorrada. Es decir, **el costo de evitar consumir energía siempre es muy inferior al costo de tener que generarla.**

Esta Guía está dirigida al sector industrial que **enfrenta a diario los desafíos de la realidad socioeconómica en nuestro país**, principalmente a las PyMes, que deben innovar continuamente para la sostenibilidad de sus negocios. En la actualidad es necesario tener una mirada estratégica sobre el tema, anticipando escenarios críticos y tomando medidas que permitan llegar mejor preparados a posibles restricciones del mercado, nuevas normativas o incrementos de tarifas. Este documento busca constituirse como un



apoyo al personal técnico de la planta, brindando herramientas (basadas en bibliografía especializada y experiencias) para afrontar los compromisos económicos, técnicos y ambientales, y contribuir en el análisis de las alternativas incluyendo los aspectos económicos, pero también los ahorros a futuro y los aspectos ambientales que hacen a la competitividad de las empresas.

Desde CIMPAR contribuimos al proceso de transición energética a través de herramientas que faciliten el acceso a la información y a casos concretos con perspectiva local. Para ello se ha constituido una Mesa de Transición Energética que trabaja con la participación de actores privados, académicos y gubernamentales, en cuyo marco se ideó y abordó el desarrollo de esta Guía.

**Mesa de Transición Energética de CIMPAR**

Junio de 2023

## 02.OBJETIVO DE ESTE DOCUMENTO

Esta Guía nace precisamente a raíz de variadas consultas del empresariado industrial acerca de identificar fuentes fiables de información referidas a buenas prácticas en energía y medidas de eficiencia energética aplicables. En virtud de ello, y en el marco de la Mesa de Transición Energética donde participan representantes del gobierno, de empresas y de la universidad, CIMPAR toma la iniciativa de la confección de una Guía que persiga los siguientes objetivos:

- Ser un documento conformado por socios estratégicos de CIMPAR, dentro de los cuales existen instituciones que disponen de capacidades para poder elaborarla con una mirada más territorial;
- Ser una guía de primera mano tanto para cuadros técnicos como para industriales que deseen tener una visión general de los conceptos aquí tratados, sin tener que consumir recursos en seleccionar las fuentes de información de las múltiples que existen en los buscadores;
- Convertirse en una herramienta con más fines prácticos que teóricos, esto es, posicionarse como un breve manual de estrategias por sobre una profundidad académica de sus temas<sup>1</sup>;
- Ser una suerte de acceso directo para los documentos incluidos en las referencias, los cuales profundizan en los tópicos aquí desarrollados;
- Presentar el estado del arte y prácticas inadecuadas en industrias de Argentina, a fin de poder visualizar aspectos comunes entre PyMEs y Grandes Industrias en lo que a un uso con potencial de mejora se refiere;
- Proponer un modelo sencillo de diagnóstico energético, así como un apoyo de consideraciones al momento de determinar mediciones a través de instrumental;
- Ilustrar una manera de estimar los ahorros, los cuales en la mayoría de los casos al inicio de estas prácticas suelen ser los determinantes para la ejecución de las acciones y oportunidades de mejora;
- Conocer experiencias y casos de éxito de Rosario y la región compartidas por sus propios ejecutores, de manera de visualizar ejemplos concretos y reales;
- Integrar las buenas prácticas de eficiencia energética con el sistema de gestión de energía propuesto por la norma ISO 50001 a través de una breve introducción a la misma;
- Mostrar la posibilidad de que los beneficiarios de esta guía puedan involucrarse en las llamadas *Redes de Aprendizaje en Gestión de la Energía*, como lo fue la primera del país a través del Proyecto de Eficiencia Energética en Argentina, realizada en esta provincia.

<sup>1</sup> La eficiencia energética puede ser vista como un enfoque moderno de la ingeniería de la energía, que se basa en acercar la realidad a los modelos físicos establecidos por las disciplinas de la termodinámica, la electrotecnia y la mecánica de los fluidos, fundamentalmente.

## 03. DEFINICIONES

A diferencia de la oferta -generación- de energía (que está concentrada en actores reconocidos del mercado), la demanda tiene otras cualidades. Por empezar, la energía es distribuida para abastecer necesidades en cinco grandes sectores: residencial, industrial, transporte, agropecuario y, finalmente, comercial y público [5].

Por otro lado, debemos diferenciar la «energía secundaria» de la «energía primaria» [5]. Esto es, la energía primaria es el recurso natural como se lo encuentra en la Naturaleza (como la energía solar o eólica), o bien las extraídas mediante exploración (petróleo o gas natural de pozo) o recolección (como la leña). Sin embargo, estos recursos prácticamente no permiten satisfacer las necesidades en ese estado tan primigenio; además, algunos (como los hidrocarburos) se encuentran en determinadas regiones de manera concentrada. Por tal, es preciso transformarlos para poder distribuirlos donde se consumen. Así, a la energía primaria se la procesa (según el tipo) para obtener electricidad, gas natural distribuido y combustibles. Estas últimas formas son las energías secundarias, también llamados vectores energéticos.

A partir de esta definición, entra en juego el Balance Energético Nacional (BEN) [5], el cual es un documento de cuentas públicas en donde se registra la oferta interna de energía primaria, las importaciones y exportaciones y la oferta interna de energía secundaria, así como las cantidades demandadas por los sectores de consumo. Esta información es parte de los elementos de entrada para la planificación energética a mediano y largo plazo de un país.

Según este balance [6], en 2022 la contribución de los hidrocarburos alcanzó el 84 % del total de oferta de energía primaria, lo que indica que somos altamente dependientes de ello. Por otro lado, en lo relativo a energía secundaria, casi la mitad tiene como principal protagonista al gas distribuido (43 %), seguido de cerca por diésel y gasoil (15 %) en casi el mismo nivel de participación que la electricidad (15 %). Este alto porcentaje del gas natural no se traduce en acceso; de hecho, hay gran cantidad de localidades sin disponibilidad de este recurso.

En términos de la demanda de energía secundaria, esta se compuso de la siguiente manera [6]: transporte contribuye con 32 %; residencial con 27 % (pero si consideramos que comparte varios usos de la energía con el sector comercial y público, la suma asciende a 34 %); el sector industrial y agropecuario totalizan 27 %; el restante 7 % corresponde a usos de energías secundarias con fines no energéticos, pero los cuales se realiza en industrias.

El abordaje en las mejoras del consumo energético en transporte no responde solamente a cuestiones técnicas, sino también al estado de los caminos y los modos de transporte. El sector residencial y comercial y público comparte varios de sus usos de la energía, como climatización, producción de agua caliente sanitaria, iluminación, equipos informáticos y hasta conservación de alimentos. Sin embargo, el otro gran sector (industrial y agropecuario) es tan heterogéneo por definición, que los usos de energía son distintos entre sí, por lo que la forma de tratar con ellos es con metodologías de gestión y tecnológicas.

Cuando hablamos de «uso de la energía», nos referimos al para qué se usa, es decir, climatización, neumática, proceso de producción, entre otros, siendo la «energía útil» aquella cantidad de energía asociada a un uso en particular. Para poder satisfacer este requisito, se utiliza un equipo que consume energía, ya sea secundaria o terciaria. Esta última clasificación de la energía refiere a vectores energéticos que suceden dentro del actor que consume energía, por ejemplo, aire comprimido. Esto lleva a una importante característica de la energía: cada vez que se transforma energía, una porción se disipa, es decir, no podrá ser aprovechada (ver figura de abajo). Así, una vez que la energía eléctrica se transforma en mecánica y luego en neumática, no es posible por medios eficientes convertirla en electricidad (y devolverla a su valor inicial), con lo cual, **si no es necesaria la conversión de una forma de energía, entonces conviene que no se produzca tal conversión.**

En línea con esto, cuando nos referimos al «uso racional de la energía» hablamos de medidas que se relacionan con la cantidad de energía que debería consumirse en determinado uso considerando la eliminación del derroche. Dentro de este concepto se enmarca el hecho de, por ejemplo, apagar la iluminación cuando una sala queda vacía, pero también, apostar a reducir el riesgo de error humano mediante la colocación de sensores de iluminación. A nivel industrial, este uso racional permite el desarrollo de, precisamente, las *buenas prácticas* que aquí trataremos. Por caso, más allá de la tecnología del compresor, operar con presiones inferiores a 8 bar es una acción de uso racional, de igual manera que no sobrecalentar vapor si no se lo requiere o aislar tuberías cuando convenga. Uso racional no es eficiencia energética, y, si bien son términos que a veces se usan como sinónimos, son sumamente complementarios.



Ilustración 1: Concepto de Eficiencia Energética

Si la energía que requiere un proceso determinado (o sea, la porción útil) es dependiente de dicho proceso, para poder suministrarla se requiere un equipo pensado para tal fin. Dado que cada vez que se transforma la energía, una porción se disipa (es decir, que no podrá ser aprovechada), la intención es buscar aquel equipo que disipe lo menos posible. Se define así al concepto de «eficiencia energética» como la relación entre la energía útil y la suministrada:

$$\text{Eficiencia [\%]} = \frac{\text{Energía útil}}{\text{Energía suministrada}}$$



Dado que la energía útil es una constante definida a posteriori del equipo, entonces, a mayor eficiencia, menor disipación de energía puesto que realizará una mejor conversión de la energía suministrada en la útil. Es decir, un motor eléctrico con un 85 % de eficiencia disipará un 15 % de la energía suministrada y entregará de manera útil dicho 85 %, mientras que uno de 90 % solamente no convertirá en energía útil el 10 % correspondiente.

A grandes rasgos, en el sector industrial, las oportunidades de mejora son: i) eficiencia de los motores eléctricos; ii) eficiencia de equipos de impulsión de fluidos (bombas, compresores, ventiladores); iii) eficiencia en equipos de calor; iv) tecnología en la iluminación; v) revisión de aislamientos; vi) incorporación de variadores de velocidad; vii) revisión de los parámetros operativos respecto de los de diseño; viii) análisis de la calidad de los vectores energéticos; ix) revisión de condensados y/o recuperación de calor residual; x) instalación de controles, automatismos y maniobras inteligentes; xi) aplicaciones de cogeneración.

Ahora bien, este análisis no garantiza mejora de índole alguna, pues hasta ahora no se tuvo en cuenta si el uso de la energía es el adecuado. Por ejemplo, puede cambiarse un motor de bajo rendimiento por uno superior, pero si continúa trabajando en vacío o fuera de su dimensionamiento, no responderá como esperamos. Esto no lo aborda la eficiencia energética, sino que lo hace un concepto superador e integrador, que es el de «desempeño energético», basado en el uso de la energía, su consumo y eficiencia energética.

Pensemos en el **desempeño energético como la productividad de la energía**, esto es, se busca maximizar su utilidad. **Para mejorar este desempeño, no solamente podemos centrarnos en la eficiencia energética, sino también en cómo se usa la energía y consume.** Si tenemos presente además que la energía no es un fin en sí mismo (y los equipos que consumen tampoco lo hacen de manera arbitraria), sino que es una herramienta para satisfacer una prestación, la atención debe estar en la real demanda, la cual es el servicio donde la energía es el medio que usamos para cumplirlo.

Imaginemos la siguiente situación: proponemos mejorar el sistema de aire comprimido cambiando el antiguo compresor por uno moderno y eficiente. ¿Alcanza esta acción puntual para garantizar el ahorro previsto y esperado por este recambio tecnológico? La realidad es que no. Si seguimos operando con presiones a 8 bar (cuando se podría trabajar con menos sin mayores inconvenientes), no reparamos las fugas, no drenamos el condensado, no instalamos los FRL (o bien, no lubricamos como corresponde), el consumo del compresor nuevo probablemente no se aleje demasiado del anterior o, al menos, no lo hará como esperamos. Esto significa que las medidas de desempeño energético no son puntuales, sino más bien de sostenimiento y gestión. Y, por tal, no sólo la tecnología resulta necesaria, sino también acciones relacionadas con otros sectores de la industria (recursos humanos, compras, mantenimiento).

Finalmente, hay un aspecto que debemos considerar, el cual está presente siempre: el comportamiento natural y espontáneo de la energía. Esto es, en sencillas palabras, que *la energía irá desde el lugar donde está más concentrada hacia donde lo esté menos*. Por ejemplo, ante una fisura en una manguera de aire comprimido, éste siempre saldrá,

pero es casi imposible que ocurra lo inverso, es decir, si por el conducto circula aire a 8 bar, buscará escaparse, cuando se lo permita, a un lugar que esté a menor presión, como la atmosférica, la cual vale 1 bar; sin embargo, es casi imposible que el aire atmosférico ingrese de manera espontánea a un conducto de aire comprimido, aumentando su presión *gratuitamente*. De igual manera ocurre con la energía térmica: todo aquello que transporte un fluido a temperatura mayor que la ambiente buscará de enfriarse y, por el contrario, todo lo que transporte un fluido a menor temperatura que la ambiente se verá afectado por todo lo que lo rodea, lo cual *buscará de calentarlo*. Este comportamiento es lo que explica el desarrollo de la tecnología: diseñamos dispositivos que favorezcan o retarden lo que la Naturaleza eventualmente hará<sup>2</sup>:

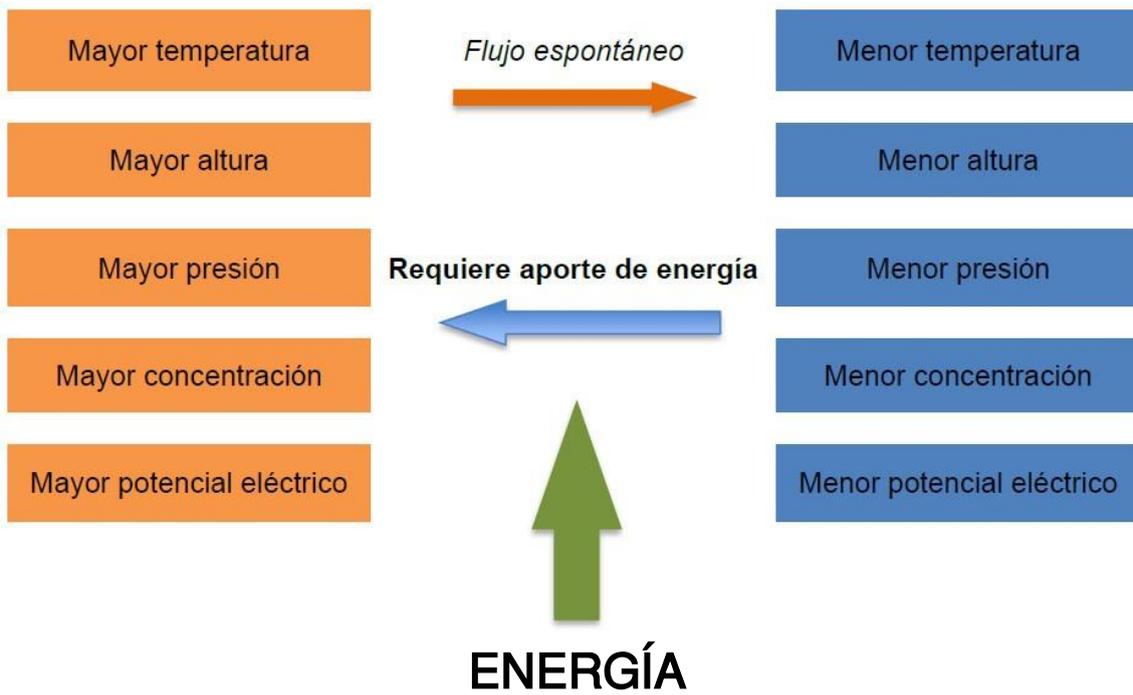


Ilustración 2: Flujo espontáneo de la energía

<sup>2</sup> Es una manifestación del 2do Principio de la Termodinámica.

## 04. ESTADO DEL ARTE Y PRÁCTICAS INADECUADAS EN LAS INDUSTRIAS DEL PAÍS

Acorde con actividades llevadas adelante por el Proyecto de Eficiencia Energética financiado por la Unión Europea (entre 2018 y 2021, en donde se visitaron cincuenta y cuatro industrias de los rubros de alimentos, metalmecánicas, lácteos, automotriz, textil, químico, plástico, aceites, siderurgia, ingenios, frigoríficos, cerámica roja, jabón y materiales de construcción), se indica el siguiente cuadro general de la situación [7]:

- Faltante de mediciones de variables referidas a energía una vez pasado el medidor de la empresa prestataria o eventuales medidores por sector, zona o nave industrial.
- El rango de tecnologías de estos medidores va desde la obsolescencia hasta los de última generación.
- Las instalaciones fueron creciendo y la planificación acompañó como podía. En varios casos los layout no están actualizados, no son adecuados y/o faltan. Falta de diagramas instrumentales (P&ID).
- Diagramas unifilares desactualizados.
- Listado incompleto de dispositivos consumidores de energía, tanto en cantidad como en calidad de información.
- Carencia del registro de mantenimiento vinculado al listado de dispositivos.

Por otro lado, se han detectado varias prácticas inadecuadas que han resultado comunes a los rubros mencionados:

- Equipos que permanecen en marcha sin dar el servicio para el que han sido diseñados.
- Lugares de trabajo con iluminación y/o con aire acondicionado a pleno sin personal trabajando. Paradas de línea por contingencias, descanso del personal y/o cambios de turno con continuidad de equipos encendidos sin necesidad o por un tiempo excesivo.
- Uso inadecuado del aire comprimido (barrido, limpieza de ropa y/o de equipos, como *enfriamiento corpora*l).
- No se han evidenciado corrientes no aprovechadas de fluidos caloportadores al ambiente, sea de vapor o agua caliente (*pérdidas*), pero sí de aire comprimido.
- El estado de los aislamientos térmicos para fluidos caloportadores era satisfactorio (aunque no excelente).
- Si bien en líneas generales la industria conoce el aspecto de la distorsión por armónicos de la red eléctrica (causada por lámparas LED, variadores de frecuencia, reactancias de arranque, balastos electrónicos), no se detectaron inversiones significativas para disminuir este efecto.



Asimismo, hay otras cuestiones a tener presente que se repiten en el contexto industrial en referencia a la importancia que se les da a estos temas (las cuales actúan como barreras):

- Falta de personal formado en las PyMEs para atender cuestiones de esta índole.
- *El árbol tapa el bosque*, es decir, lo urgente tapa lo importante.
- Variada participación del costo de la energía en el total, o sea, entre las industrias, el costo de la energía representa participaciones distintas (2 %, 5 %, 22 %, por ejemplo).
- Falta de apoyo desde la gobernanza para mejorar las condiciones, lo cual dificulta el sostenimiento en la aplicación de programas específicos (como estudios energéticos en plantas donde el Estado financia la contratación de un profesional matriculado).
- Falsa creencia de que «la energía debe ser barata».
- Falta de desarrollo en la visión de la energía como principal materia prima.
- Se exige el mismo retorno económico a una inversión en energía que a una productiva.

*En vistas de este cuadro y de la situación general presentada en el Prólogo, se consideró relevante la confección de esta Guía<sup>3</sup>. Es por ello que, a continuación, se presentan las oportunidades de mejora para hacer frente, o incluso hasta revertir, este estado del arte.*

---

<sup>3</sup> Notará el lector que, a medida que se adentra en el documento, aparecen conceptos y términos que no han sido definidos. En virtud de no sobrecargar de contenido, consideramos que se seleccionarán los pasajes, párrafos y capítulos que más se necesiten, pudiendo expandir los conceptos con las referencias del final del documento.

# 05. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS INDUSTRIALES APLICADAS

A continuación, describiremos los principales sistemas energéticos, características básicas y aportes de buenas prácticas y eficiencia energética para un mejor desempeño energético.

## 05.1 MOTORES ELÉCTRICOS

### 05.1.1 INTRODUCCIÓN

Los motores eléctricos desempeñan un papel de gran relevancia en el consumo de energía eléctrica. La industria argentina es responsable del consumo del 40 % del total del país, de ese total, se estima que los motores representan al menos un 70% del consumo de electricidad (aproximadamente un 30 % del consumo eléctrico del país) [8].

No obstante, es importante resaltar que existe un margen significativo para mejorar la eficiencia en el uso de estos motores. Con frecuencia, nos encontramos con motores que resultan ser ineficientes debido a su tamaño excesivo o a un funcionamiento innecesario en momentos específicos.

Un motor se considera eficiente cuando es capaz de transformar la mayor parte posible de la energía eléctrica que consume en energía mecánica útil. En este sentido, el éxito de un motor se mide por su capacidad para lograr esta conversión con la menor disipación de energía.

La eficiencia de un motor se define mediante el cálculo del rendimiento, que corresponde a la relación entre la potencia mecánica obtenida y la potencia eléctrica absorbida por el motor. En otras palabras, se trata de cuánta energía mecánica útil se obtiene por cada unidad de energía eléctrica consumida. Así:

$$\eta [\%] = \frac{\text{Potencia mecánica}}{\text{Potencia eléctrica}}$$

Los motores eléctricos efectúan la transformación de la energía eléctrica recibida de la red en energía mecánica en su eje. Se destacan los siguientes componentes:

- Estator fijo: Parte fija del motor.
- Rotor móvil: Parte móvil del motor.
- Entrehierro: Es el espacio comprendido entre el rotor y el estator.

Se define *factor de carga* a la relación entre la potencia que se le extrae al motor respecto de la nominal (es decir, para la que fue diseñada). Un equipo a plena carga significa que se le está demandando exactamente la potencia nominal.

Cuando un motor está incorrectamente dimensionado para una aplicación, siendo demasiado grande, su rendimiento y su factor de potencia se ven disminuidos en comparación con un motor seleccionado de manera adecuada. Debe tenerse en cuenta, como lo ilustra la siguiente imagen, que la mayor eficiencia se alcanza trabajando a un

factor de carga de entre el 70 % y el 90 %. Por otro lado, a un factor de carga menor al 50 % la eficiencia comienza a descender abruptamente.

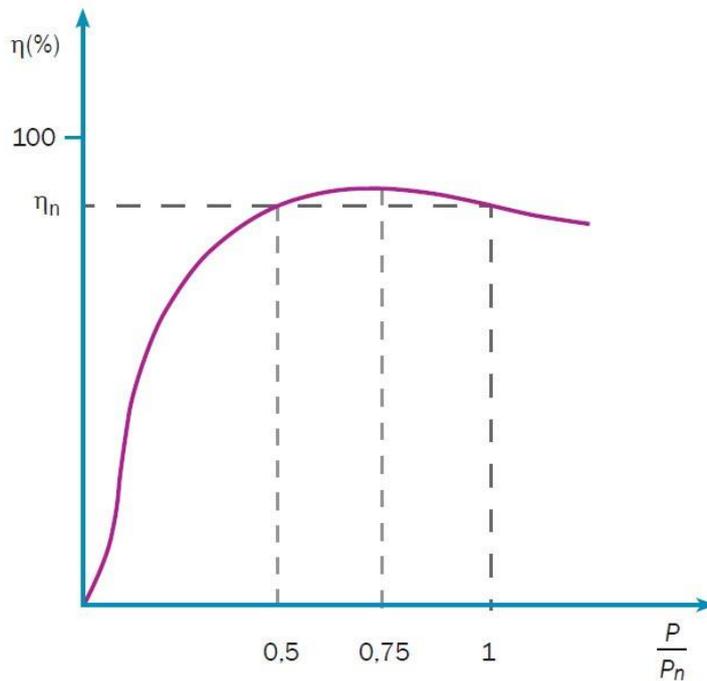


Ilustración 3: Curva de eficiencia de motor de 30 kW en función de la carga [8]

### 05.1.2 MOTORES DE ALTA EFICIENCIA Y SU CÁLCULO PARA EL AHORRO

En el panorama actual de búsqueda constante por la optimización de recursos y la reducción de impactos ambientales, han surgido motores eléctricos de alta eficiencia. Estos motores representan un avance significativo en la tecnología industrial al abordar uno de los desafíos más apremiantes: la máxima eficacia en la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, minimizando las pérdidas y maximizando el rendimiento.

Las pérdidas de un motor pueden dividirse en:

- Pérdidas por efecto Joule en el estator: se generan por la circulación de corrientes en los devanados de cobre en el estator, lo que genera disipación de calor.
- Pérdidas por efecto Joule en el rotor: son disipaciones de calor debido al paso de las corrientes por las conexiones internas del rotor.
- Pérdidas magnéticas: estas pérdidas se originan, por un lado, debido a la histéresis producida en los materiales magnéticos sometidos a re-magnetización (total o parcial) y por otro, debido a la aparición de las corrientes parásitas (denominadas «corrientes de Foucault»).
- Pérdidas por ventilación y rozamientos: son pérdidas de naturaleza mecánica.

A partir de cómo tratar todas estas pérdidas, se han logrado aplicar las siguientes mejoras, resultando así en motores de mayor eficiencia:

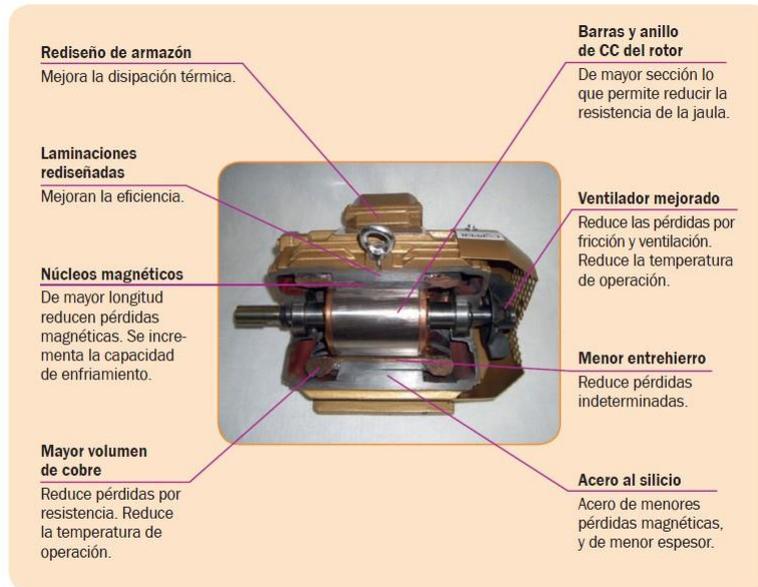


Ilustración 4: Componentes de un motor de alta eficiencia [8]

La eficiencia de los motores se clasifica en distintas categorías dispuestas por la Norma IEC N° 60034, replicada en Argentina como la Norma IRAM N° 62405, en la que se definen cuatro clases de eficiencia: IE0, IE1 (eficiencia estándar), IE2 (alta eficiencia) e IE3 (eficiencia premium), aplicada para motores de potencias de entre 0.75 y 90 kW. A su vez, actualmente se agregó una nueva categoría para motores de muy alta eficiencia, los que se categorizan como clase IE4 (eficiencia súper premium).

En la siguiente imagen se comparan las eficiencias mínimas de los motores según esta norma:

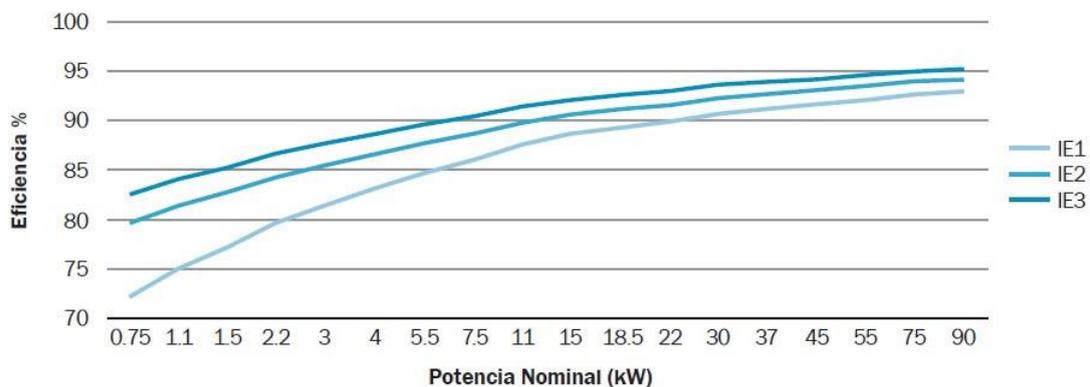


Ilustración 5: Comparación de Eficiencias mínimas de motores según Norma IRAM 62405 [8]

Como hemos de esperar, el cambio de un motor por otro de mejor eficiencia genera un ahorro, con lo cual, dedicaremos unas líneas a cómo cuantificarlo. Tomemos, por ejemplo, un motor de 20 HP de clase IE3; determinaremos el ahorro económico asociado al recambio de un motor antiguo por uno de alta eficiencia, en este caso un 5 % más eficiente:

Motor actual de 20 HP de potencia nominal (Motor 1). Eficiencia al 100 % de carga = 85 %  
Motor nuevo más eficiente de igual potencia (Motor 2). Eficiencia al 100 % de carga = 90.2 %

A partir de la diferencia entre los consumos de los dos motores se calcula el ahorro económico por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro [$/año]} = (P_{C1} - P_{C2}) [kW] * N [h/año] * C [$/kWh]$$

donde:

- $P_C$  [kW] = Potencia consumida por el motor = Potencia nominal/eficiencia del motor
- $P_{C1}$  [kW] = Potencia consumida del motor 1 (motor actual)
- $P_{C2}$  kW = Potencia consumida del motor 2 (motor nuevo)
- $N$  [h/año] = número de horas trabajadas en el año<sup>4</sup>
- $C$  [\$/kWh] = costo del kWh

Como se tiene la potencia en HP, basta con multiplicar por el factor de 0.746 para obtener su equivalente en kW. Así, 20 HP \* 0.746 = 15 kW. Tomando el valor estimado para una hora de utilización y considerando la tarifa 2B1 («Grandes Clientes en Baja Tensión – Demandas menores a 300 kW», según cuadro tarifario EPE para el periodo agosto 2023 de 19.265 \$/kWh [9]), se obtiene el siguiente ahorro:

Ahorro:

$$[(15 \text{ kW}/0.85 - 15 \text{ kW}/0.902)] * (24 \text{ h/día} * 350 \text{ días/año}) * 19.265 \text{ \$/kWh} = \\ \$ 164635/\text{año}$$

Este valor es solo para un único motor, pero teniendo en cuenta que en la mayoría de las industrias poseen varios motores trabajando en conjunto, los valores de ahorro aumentan considerablemente.

Nota: más allá de que los motores probablemente no estén operando las 24 h durante 350 días al año y/o que no sepamos con exactitud y precisión la cantidad de horas para determinar el consumo de energía, a la hora de comparar motores no es absolutamente necesario calcular el valor real de consumo, sino que un hipotético nos permite hacer la comparación y obtener porcentajes. Es decir, si comparamos las potencias de dos motores distintos, pero a igual cantidad de horas, podremos conocer el ahorro producto del recambio en términos relativos (no absolutos, pero a la hora de decidir, muy probablemente alcance).

<sup>4</sup> La cantidad de horas elegida define el horizonte temporal del ahorro (mes, bimestre, año, entre otros).

En definitiva, un motor más eficiente es un motor de mayor calidad y, si bien su precio es mayor, durante su vida útil, el costo de la energía consumida es, por lejos, el mayor costo durante la vida útil del equipo.

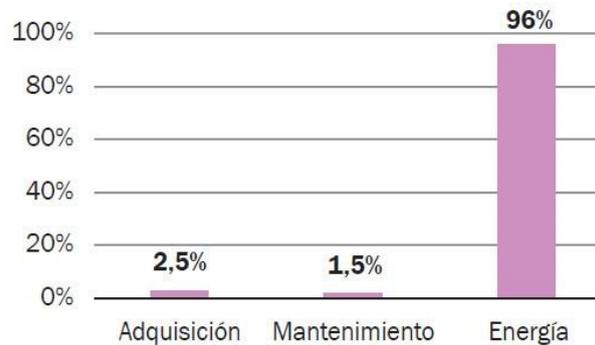


Ilustración 6: Representación de costos en la vida útil de un motor [8]

### 05.1.3 ¿PARA QUÉ SIRVE UN VARIADOR DE FRECUENCIA?

Cuando un motor opera, sólo puede hacerlo en dos estados: plena carga (funcionando) o detenido. Esto es porque la velocidad a la que gira el rotor está en función de la frecuencia de la red eléctrica (50 Hz en Argentina), por tanto, el consumo no depende prácticamente de la carga que tiene acoplada el motor. Así, una baja carga no representa un menor valor de consumo respecto de una alta dado que el motor no puede trabajar a otra velocidad que la que le permite la red y la cantidad de pares de polos. Por lo tanto, un cambio en la demanda (carga del motor) no reporta cambios en el consumo. En este sentido, se volvió necesaria la posibilidad de modificar esta situación, lo que llevó al desarrollo de los variadores de velocidad.

Un importante potencial de ahorro está relacionado con el empleo de variadores para el control de velocidad de motores. Los variadores de frecuencia son dispositivos electrónicos que controlan la velocidad y el rendimiento de un motor eléctrico al variar la frecuencia<sup>5</sup> y, en consecuencia, la velocidad de la alimentación eléctrica suministrada al motor. En este sentido, un sólo aparato de maniobra se encarga de rectificar la tensión alterna de la red que alimenta al motor y convertirla posteriormente a una tensión que puede ser distinta a la de la red, permitiendo modificar la velocidad de giro y adaptar su funcionamiento a la demanda.

Los variadores de frecuencia desempeñan un papel fundamental en la mejora de la eficiencia de los motores eléctricos. **Aquí hay algunas formas en las que contribuyen a esta mejora:**

- Control de velocidad preciso: permiten ajustar la velocidad del motor de acuerdo con las demandas específicas de la aplicación. Esto evita el funcionamiento constante a la máxima velocidad, lo que en muchos casos es innecesario y consume más energía de la requerida.
- Arranque suave: proporciona un arranque suave al motor, evitando picos de corriente que pueden dañar el motor y el equipo circundante. Esto reduce el estrés en el sistema

<sup>5</sup> En inglés, VSD, por variable speed drive. A los equipos integrados con VSD comercialmente se denomina inverter.



eléctrico y mejora la durabilidad del motor.

- Regulación de Par y Carga: pueden ajustar el par del motor según las necesidades de la aplicación. Esto significa que el motor solo entrega la cantidad de torque requerida, lo que a su vez reduce el consumo de energía.

Si se repara en el costo total de un motor y su variador de frecuencia a lo largo de toda su vida útil, experiencias indican que la distribución de los costos es semejante a la ya vista. Podemos concluir que, aunque los costos iniciales sean ligeramente superiores, el consumo de energía sigue siendo el mayor aporte durante la vida útil de los equipos.

#### 05.1.4 OPORTUNIDADES EN EL ENTORNO DE LOS MOTORES Y BUENAS PRÁCTICAS

A continuación, algunos **aspectos para tener en cuenta que pueden ser oportunidades de mejora en el funcionamiento de los motores sean eficientes** o no, tengan variador o no:

- Evitar el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.
- Evitar la operación en vacío de los motores.
- 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.
- Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en los terminales del motor genera un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída de tensión de hasta 5 %. Para ello, utilizar conductores correctamente dimensionados.
- Equilibrar la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe exceder en ningún caso de 5 %, pero mientras menor sea este desequilibrio, los motores operarán con mayor eficiencia.
- Utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores y se logra disminuir las pérdidas durante la aceleración.
- 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 de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia.
- No se recomienda rebobinar los motores más de dos veces, porque puede variar las características de diseño del motor, lo cual incrementa las pérdidas de energía. Cada rebobinado puede representar al menos un 1 % de disminución de su eficiencia [8].

## 05.2 SISTEMAS DE IMPULSIÓN Y TRANSPORTE DE FLUIDOS LÍQUIDOS Y GASEOSOS

### 05.2.1 AIRE COMPRIMIDO

Si hay un vector interno presente en casi todas las industrias es el aire comprimido. Consiste en presurizar el aire (superior a 3 bar -que serían 3 atm aproximadamente- por lo general) con diversos fines para distintos equipamientos: i) aire de servicios, que permite el uso de máquinas neumáticas y máquinas-herramienta, o bien, ii) aire de instrumentos, el cual requiere, además de comprimirlo, almacenarlo, filtrarlo y secarlo [10].

Por propia naturaleza, la compresión del aire convierte gran parte de la energía de ingreso en forma de calor. Así, la eficiencia base de producir aire comprimido es inferior a 20 %. También, a medida que el aire se comprime, una parte del vapor de agua existente en el estado inicial decanta ya que parte de sus moléculas se terminan nucleando por disminución del volumen y precipitan, produciendo condensado. La temperatura ambiente influye, no siendo lo mismo comprimir en verano que en invierno pues, a mayor temperatura, el aire aumenta su volumen específico y requiere mayor trabajo para comprimirlo [11]. Además, a mayor temperatura ambiente, el aire tiene mayor capacidad de absorber humedad, la cual es perjudicial ya que consume energía para ser desplazada, pero, fundamentalmente, porque puede corroer todos los componentes metálicos.

El compresor produce aire comprimido, pero el sistema de generación, transporte y distribución de aire comprimido comprende además enfriadores, filtros, reguladores de presión, lubricadores, secadores, depósitos y drenaje de condensado. La eficiencia de cada componente influye en el desempeño energético del sistema.

Lo más deseable es que la temperatura del aire de aspiración sea lo más baja posible (los fluidos gaseosos aumentan su viscosidad a medida que la temperatura aumenta, a diferencia de los fluidos líquidos). Esto es acompañado con un sistema de ventilación y presurización de la sala con aire filtrado que permitirá retirar el calor generado por los compresores y también generar una sobrepresión de la cabina de aspiración (en lo posible). Este exceso de presión evitará el ingreso de partículas indeseadas debido a la depresión generada por la succión del compresor.

*Se dice que un aumento de 3°C en la temperatura de aspiración representa cerca de un 1 % de consumo adicional de potencia del compresor [10].*

La naturaleza de las disipaciones es: calor de compresión, pérdidas de compresión, pérdidas en el secador, filtros y fugas y las debidas a la conversión de energía neumática a mecánica.

El enfriador luego del compresor permite la reducción de la capacidad del aire comprimido para retener vapor de agua (el aire frío retiene menor cantidad de vapor de agua). Este enfriamiento eliminará posibles condensaciones.

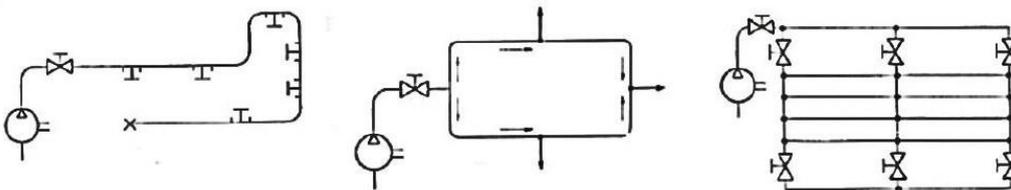
Los filtros ayudan a retener partículas abrasivas, residuos de la tubería y óxido, gotas de agua condensada y de aceite. Además, se evita que el agua se acumule en los puntos bajos de las tuberías y congele, provocando su ruptura.

Los reguladores de presión permiten disminuir la presión de ingreso a los instrumentales y herramientales abastecidos con aire comprimido. Si bien no cambia la presión de descarga, sí regula la demanda del aire (al disminuir la presión), y además disminuye las fugas.

El efecto combinado de reducir la presión de descarga de los compresores y la demanda de aire comprimido al disminuir y controlar adecuadamente la presión del sistema puede representar ahorros de energía significativos, en el orden del 10 % o superiores. Es conocido en la industria que, *por cada 1 bar de reducción en la presión de servicio, el ahorro de energía se ubica entre 5 y 7 %* [10].

Actualmente, la tecnología de compresores más eficiente es la de tornillo, siendo la más difundida en los catálogos de los fabricantes.

Según la distribución de los servicios y de los equipos a abastecer, la instalación puede configurarse de las siguientes maneras:



*Ilustración 7: Tipos de redes: abierta (IZQ), cerrada (centro) y cerrada con interconexiones (DER) (Cortesía de FP e Ingeniería Eléctrica)*

La tipología de red abierta es la más económica, pero su mantenimiento requiere detener y drenar toda la producción de aire comprimido, ya sea para colocar un filtro o reparar una fuga, por ejemplo. Otra característica es que los equipos al inicio de la distribución deben ser los que mayor presión requieren y, el último de la línea debe poder ser abastecido sin inconvenientes, lo que implica un consumo mayor de energía dadas las pérdidas de carga de atravesar toda la instalación.

En la forma cerrada (también conocida como «anillo»), si bien requiere una inversión superior, permite abastecer equipos y/o reparar secciones empleando una válvula inversora. De esta manera, se puede intervenir sin detener necesariamente el flujo de aire; además, las pérdidas de carga pueden ser menores dado que el aire recorre uno u otro lado ante determinadas condiciones (como una reparación).

Finalmente, la configuración más recomendable (y la de mayor inversión) es la cerrada con interconexiones. Aquí, cualquier sección es reparable y las caídas de presión originadas son menores que en los otros dos casos. Así, toda sección puede ser abastecida por la estación inmediata aguas arriba o abajo. El lucro cesante de no usar el aire comprimido (o sea, el costo de oportunidad) es el más bajo de todos.

Dos muy buenas prácticas en las instalaciones de aire comprimido para evitar la acumulación de humedad es instalar las tuberías con una leve pendiente que ayude al escurrido, a la vez que incorporar el «cuello de cisne». Esta conexión permite tomar el aire comprimido de la parte superior para que descienda, evitando aspirar el aire de la parte baja con el consecuente riesgo de absorber humedad (condensado). Una imagen ayuda a visualizar ambos conceptos [12]:

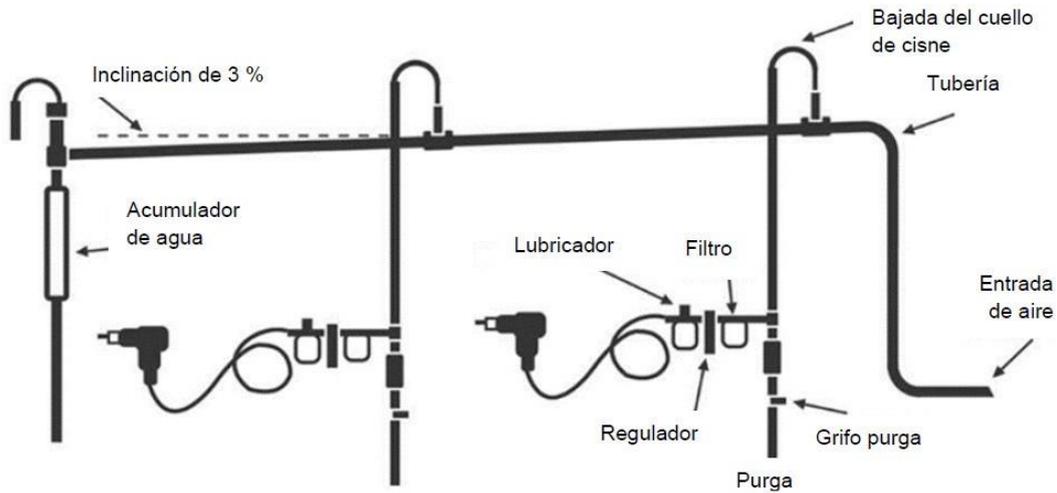


Ilustración 8: Diagrama de una red para distribución de aire comprimido (adaptado de [12])

Más allá del componente tecnológico, respecto del aire comprimido hay una serie de usos que detentan todo ahorro que calculemos. Particularmente, es frecuente encontrar al personal que tiene una bajada de aire comprimido emplearlo para limpiarse la ropa y/o para barrer. Gestionar para desterrar este hábito es tan importante como realizar el purgado de manera frecuente o limpiar los filtros. Tales acciones no son técnicas o tecnológicas, sino de gestión. En este sentido, si no se controlan, los ahorros propuestos no van a poder ser alcanzados.

Si bien la velocidad depende del uso, se recomienda que, en la tubería principal, la misma se ubique entre los 6 y 10 m/s, mientras que, en la secundaria, que oscile entre los 15 y 20 m/s.

Se resumen las buenas prácticas en la siguiente imagen (atender que, por cuestiones del diseño de la propia imagen, faltan los «cuellos de cisne»):

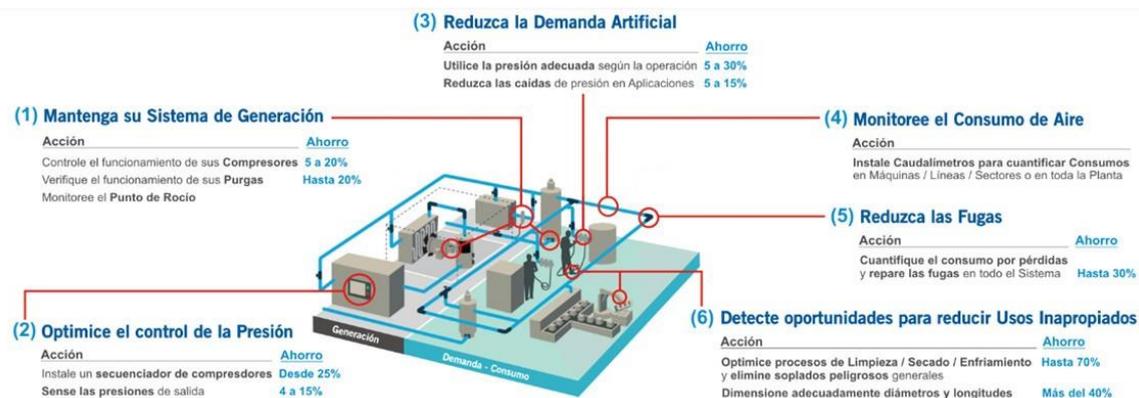


Ilustración 9: Posibilidades de ahorro en un sistema de aire comprimido (Cortesía de Ayrful)



En concordancia con lo anterior, es preciso poder abordar y cuantificar de manera aproximada para poder proponer los proyectos de mejora.

**¿Qué se debe tener en cuenta para mejorar el desempeño energético del sistema de generación, transporte y distribución de aire comprimido?** El consumo de aire comprimido puede representar entre 10 % y 30 % del consumo eléctrico. Se estima que, sin controles, una instalación consume hasta un 35 % adicional. Así, debemos abordar los siguientes aspectos [10]:

- Orden de pérdidas: red principal (0.03 bar), red de distribución (0.03 bar), red de conexión (0.04 bar), por secador (0.2 bar), por Operaciones y Mantenimiento<sup>6</sup> y mangueras (0.5 bar).
- Reparación de fugas: debe trabajarse desde un Plan de O&M.
- Niveles de presión: determinar el mínimo necesario para los equipos de uso final. Suele ser una práctica anacrónica configurar a 8 bar y que perdure así hasta que haya que realizarle mantenimiento (preventivo o a la rotura).
- Controles y purgas: ambos deben estar correctamente dimensionados.
- Potencial energético para recuperación de calor: si el rendimiento es inferior al 20 %, significa que el restante 80% de la energía eléctrica consumida se disipa en calor en diferentes puntos de la producción. Una alternativa es pensar la posibilidad de aprovechar ese calor residual.
- Sistemas de distribución: debe trabajarse desde un Plan de O&M (pérdidas de carga, drenaje de condensado).
- Elaboración del perfil de consumo (cómo se consume en función del tiempo): para ello se pueden emplear caudalímetros en línea.
- Definir: i) estrategia de control -con o sin variador de velocidad-, ii) presión diferencial -la tolerancia entre la presión a la parada y el inicio de la nueva marcha-, y iii) almacenamiento en los tanques («pulmones»).
- Equipos de Uso Final: se debe revisar el estado técnico y de mantenimiento de los equipos y herramientas. El uso de pulmones locales y de máquinas de menor presión (con alto nivel de eficiencia energética) es clave para mejorar el desempeño energético.
- Evaluar si otros procesos cercanos están alterando las condiciones del aire ambiente, ya sea con material particulado y/o aumento de temperatura y de humedad.

El dimensionamiento del compresor inicia considerando el caudal de aire que requieren todos los equipos por día (se considera un porcentaje de la jornada). Sin embargo, cuando se trabaja con gran cantidad de herramientas neumáticas, ese cálculo puede resultar muy elevado si no se considera cuántos equipos podrían estar en simultáneo funcionando. Es decir, se afecta el valor anterior por un factor entre 0 y 1 que indica la probabilidad de que cierta familia de herramientas esté siendo abastecida en su totalidad. Repitiendo esto para cada familia y sumando se obtiene el caudal útil requerido.

Se corrige el valor anterior aumentándolo en 33 %, compuesto de fugas (8 %), desgaste de máquinas (5 %) y posibles expansiones (20 %).

---

<sup>6</sup> En adelante, O&M.

## 05.2.2 IMPULSIÓN DE LÍQUIDOS Y GASES

Las bombas y ventiladores emplean para su funcionamiento, como es sabido, un motor eléctrico que transforma la energía eléctrica en mecánica. Luego, el propio dispositivo (bomba o ventilador) tiene su construcción de manera tal de transferir esa energía mecánica del eje en energía mecánica del fluido, ya sea potencial o cinética. Esta demanda de energía está relacionada totalmente con la necesidad (su uso), pues el fluido impulsado no deja de ser una energía terciaria para satisfacer una prestación.

A medida que un fluido se desplaza, parte de la energía cinética que tiene se disipa en la fricción ocasionada entre el fluido y las paredes internas de las tuberías, así como en el cambio de flujo y los accesorios hidráulicos que atraviesa. Estas disipaciones se llaman «pérdidas de carga», las cuales varían cuadráticamente con la velocidad del fluido, por lo que también deben ser consideradas al momento de modificar tal magnitud.

El conjunto de dispositivos mecánicos que conforman la tecnología que tiene un sistema hidráulico se denomina «instalación de bombeo». Una instalación de bombeo se compone tanto de los sistemas activos de impulsión (bombas hidráulicas, ventiladores) como de los sistemas pasivos de transporte y distribución (tuberías o ductos y accesorios hidráulicos, como válvulas y codos, entre otros).



*Ilustración 10: Ejemplo ilustrativo de una instalación de bombeo (Cortesía de Fluideco)*

Un proyecto de tuberías puede implicar el diseño de un nuevo sistema o la expansión de uno existente y, en cualquiera de los casos, deben analizarse parámetros tanto técnicos como económicos y financieros a efectos de mejorar su eficiencia.

Teniendo presente el objetivo de estos sistemas energéticos, lo que se busca siempre es que el sistema de tuberías sea capaz de entregar los caudales especificados a las presiones demandadas minimizando el costo total (por lo menos, el de la suma de los costos de operación y mantenimiento).

Considerando una visión sistémica en el cual la bomba o ventilador es un componente del sistema en el cual está instalado, las mejoras en eficiencia energética vendrán por el lado de la revisión de dicho sistema en sí, y en menor medida por el recambio de motores y/o incorporación de variadores de velocidad. A continuación, se ilustra lo indicado:

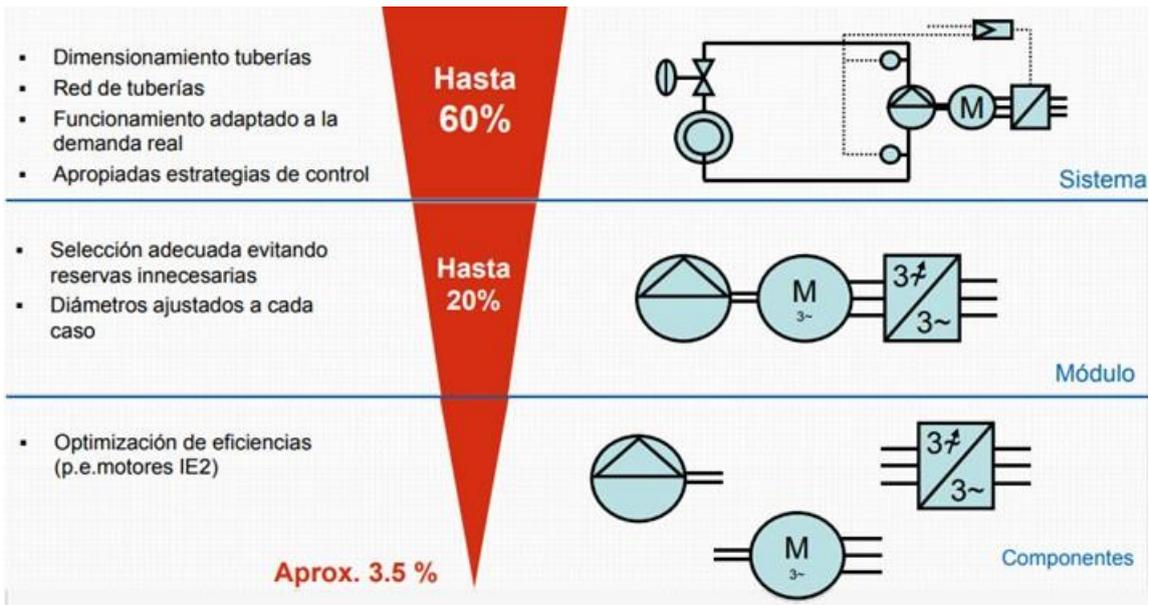


Ilustración 11: Potenciales de ahorro en sistemas de bombeo (Cortesía de KSB)

Como el flujo másico del fluido puede ser variable, y dado que la bomba/ventilador sin variación de frecuencia trabaja en un único punto de operación (resultante entre la curva de la bomba/ ventilador y la curva del sistema al caudal de operación), el equipo estará impulsando flujo de manera constante. Ante un cambio en la demanda, es frecuente (y sobre todo económico) incorporar una válvula a la salida para regular dicho flujo mediante su estrangulación. Sin embargo, eso es ineficiente puesto que, como la regulación es a posteriori de la conversión de energía eléctrica en hidráulica, el consumo ya ha tenido lugar. Para lograr el mismo efecto sin derroche de energía, se propone la incorporación de un variador de velocidad que ajuste el flujo conforme la carga requerida, evitando el consumo de energía innecesario:

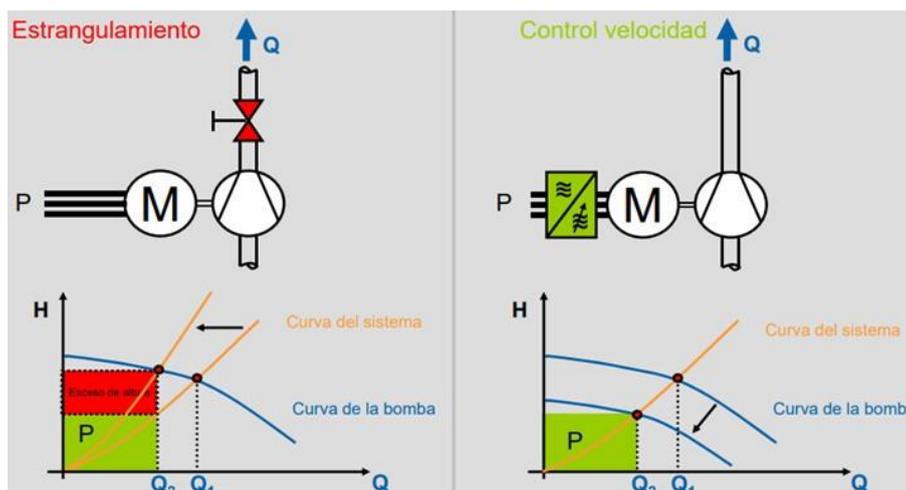


Ilustración 12: Comparación entre válvula y variador en bombeo (Cortesía de KSB)

Nuevamente, el beneficio aquí es evitar que la energía se transforme cuando no es necesario, apostando a conservar su utilidad.

Conforme la implementación de variadores de velocidad avanza, es preciso tener



presente, en lo que respecta a bombas y ventiladores, las leyes de afinidad de los fluidos, dado que la velocidad de giro del motor impacta en el caudal, presión y potencia. Estas tres magnitudes dependen de manera lineal, cuadrática y cúbica respectivamente para con el cambio relativo de velocidad de giro, sea cuando se reduce o aumenta.

A modo de resumen, se enumeran los **principales beneficios que se obtienen con el empleo de variadores de velocidad:**

- Potencial ahorro de potencia y de energía a partir de la disminución de la velocidad de giro del motor sin necesidad de restringir el flujo a posteriori del motor. Estos ahorros, si son monitoreados, resultan inmediatos.
- Aplicación e instalación sencilla en sistemas ya instalados y/o existentes.
- Se constituyen como una alternativa económica en comparación a la necesidad de modificar la instalación para adaptar los flujos a la demanda.
- Reducción del estrés eléctrico y/o mecánico, lo que acompaña a la vida útil del equipo.
- Mejor control del servicio energético para el que fue instalado el variador.

## 05.3 SISTEMAS DE CALOR DIRECTO E INDIRECTO

### 05.3.1 INTRODUCCIÓN A LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Cuando sobreviene la parte térmica de una instalación, ya sea para producir vapor, entrega de calor directo o bien enfriar o refrigerar, es necesario tener presente de qué manera se transfiere el calor<sup>7</sup>:

Los mecanismos de transmisión del calor son:

- **CONDUCCIÓN:** es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de contacto entre superficies. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases (en estos últimos dos, el fluido debe estar quieto). El calor transferido es directamente proporcional a la conductividad del material, al área, a la diferencia de temperaturas, e inversamente proporcional al espesor del material.
- **CONVECCIÓN:** es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. El calor transferido es directamente proporcional a un coeficiente de película que refleja la configuración del sistema, al área y a la diferencia de temperaturas entre la superficie y la del fluido lo suficientemente alejado como para que no se vea afectado por el calor desprendido por la superficie.
- **RADIACIÓN TÉRMICA:** es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. El calor transferido entre dos superficies es directamente proporcional al área de la superficie de mayor temperatura, a la forma en que se ven las superficies, al material con el que está hecha la superficie de mayor temperatura, y fundamentalmente de la diferencia de temperaturas entre ambas superficies elevada a la cuarta potencia. En el caso de operaciones con temperaturas muy altas (por ejemplo, fundiciones o aporte de calor por llama), la radiación es el principal mecanismo de transmisión de calor dada la gran diferencia de temperaturas.

Cuando se debe transmitir calor, según las características del uso y de la tecnología, se puede hacer de manera directa o indirecta. En esta última se da a través de un fluido intermediario que se transporta, como puede ser agua (producción de vapor en una caldera) o aire (un equipo de acondicionamiento de aire en modo calor, que calienta el aire del ambiente). La elección de uno u otro no es arbitraria. El estudio técnico, muy probablemente, vendrá como parte de una revisión dentro de un Plan de O&M, siendo frecuente que se inicie a partir de una merma en la producción (si el tiempo del proceso está fijo) o un aumento del tiempo (si la producción debe permanecer constante).

<sup>7</sup> Recordemos que el frío es la ausencia de calor, por lo que comparte naturaleza.



Desde ya, todo Plan de O&M debe contener el aspecto de la limpieza. La deposición de tierras y hollines actúan como aislantes, con una muy baja conductividad térmica, disminuyendo considerablemente la energía intercambiada. Ahora bien, si lo que buscamos es aislar precisamente, el material debe ser revisado para evitar que tenga infiltraciones de aire y, fundamentalmente, de humedad. Pensemos que tenemos que abrir la puerta de un horno: ¿por qué lo hacemos con un repasador seco y no con uno húmedo? Exacto. La humedad es conductora del calor. Y ya que hablamos de conducción, la transmisión del calor presenta una fuerte analogía para con la conducción de la electricidad. Sin entrar en detalles, por lo general, cuando un material es aislante del calor, también lo es de la electricidad, y de semejante manera si es conductor.

Todas las transferencias de calor se realizan basándose en la combinación de los mecanismos descriptos. Por lo general, un mecanismo predomina y los otros pueden llegar a desprejarse según el caso. La radiación, al no requerir de un medio en particular, siempre estará presente; sin embargo, si la diferencia de temperatura no es elevada pero sí el calor de cambio de fase (un vapor que se condensa lo hace a temperatura constante, así como el agua, que ebulle a 100 °C a 1 atm hasta convertirse todo el líquido en vapor), la cantidad de energía transmitida por radiación puede ser muy pequeña. Cuando dos sólidos están en contacto y/o si la velocidad de un fluido es muy baja sobre una superficie (ausencia de un ventilador, por ejemplo), el mecanismo predominante es conducción. Ahora bien, si encendemos un ventilador, cambia este predominio a la convección.

### 05.3.2 APORTE DE CALOR DIRECTO

Cuando estamos ante equipos que transfieren calor de manera directa (hornos, resistencias, equipos de soldar), debemos considerar siempre cuál es la energía útil y cuál es la energía que consume para lograr ese beneficio. En un horno, por ejemplo, la energía útil es la energía ganada por la pieza (por ejemplo, un ladrillo), y la energía consumida es la desprendida por el combustible.

Así, en lo referido a hornos, debemos atender a los siguientes focos de disipaciones:

- Temperatura de gases de escape alta.
- Mala combustión.
- Temperatura de paredes altas por aislamiento inadecuado.
- Entradas de aire falsas.
- Radiación a través de aberturas.
- Temperatura excesiva en el producto a su salida y transporte.
- Exceso de aire elevado.
- Funcionamiento intermitente.
- Carga inadecuada de las piezas dentro del horno.
- Operación defectuosa.
- Paradas imprevistas.
- Uso de gases de alta temperatura cuando debería/puede trabajar a menor temperatura.

## Buenas prácticas en el manejo de hornos son:

- Aumentar la carga y operarlos a pleno.
- Aislar adecuadamente las paredes y las conducciones calientes. Precalear el aire de combustión con el material que se debe enfriar. Quemar el combustible con bajo exceso de aire.
- Precalear el material con los gases calientes de la zona de cocción.
- En lo posible, operarlos en contracorriente al ingreso de la materia a secar; Secar con los gases calientes que provienen de la zona de precalentado.
- Evitar que la materia prima se humedezca por medios naturales (a la intemperie, por ejemplo, o en cercanías a lugares que afecten el consumo de energía).
- Evaluar la posibilidad de recuperar el calor de los gases de escape.
- Diseñar el tren/línea considerando las necesidades reales de producción, sin sobredimensionamiento en exceso.
- Emplear los quemadores adecuados, luego, los más eficientes. Revisar el estado de los aislamientos.

Finalmente, ante el caso de soldaduras, el empleo de máquinas de tipo *invert* también constituye una buena oportunidad de eficiencia energética. En lo referido a hábitos, el mantenimiento adecuado, incluyendo la revisión del estado del desgaste de los picos de contacto, contribuye a un mejor desempeño del equipo.

### 05.3.3 APORTE DE CALOR INDIRECTO

En un intercambiador de calor, como el evaporador de una heladera o sistema de refrigeración industrial, la energía útil es la extraída de los alimentos o el aire ambiente, mientras que la energía consumida sería la energía que absorbe el refrigerante. A pesar de que los intercambiadores no tengan un motor eléctrico (pueden tener un ventilador para acelerar la transmisión de calor, pero no es el caso), siempre es posible analizar la eficiencia del equipo.

A la hora de producir vapor (de agua) para un determinado proceso o bien para transportar calor, el mismo se genera en calderas. Si bien estos equipos son intercambiadores de calor por naturaleza, se hace la distinción puesto que el fluido puede llegar a recorrer grandes distancias (por ejemplo, el vapor producido en una agroindustria en la zona del Litoral puede recorrer varios cientos de metros hasta otra planta o inclusive otra unidad de negocio). Aquí, el aspecto de aislamiento es clave para evitar que el vapor ceda energía al ambiente, la cual no sería aprovechada para algo y sería disipada sin utilidad.

Las calderas pueden clasificarse según diversos criterios [13]: i) presión de trabajo (baja, media o alta); ii) la disposición agua-gases de combustión (humotubulares o acuotubulares); iii) cantidad de vapor producido (chica, mediana o grande); iv) tipo de combustible usado (gaseosos, líquidos o sólidos); v) circulación interna del agua (natural, asistida o forzada con una bomba); vi) mecanismo de calor predominante (radiante, convectiva o mediante el calentamiento de un fluido secundario intermediario). No es el objetivo del presente documento profundizar en estas tecnologías (o en alguna



otra), pero sí es necesario tener presentes ciertos conceptos puesto que contribuyen a la eficiencia energética.

Por tanto, una caldera es un equipo que transforma la energía liberada por el combustible en energía térmica para obtener vapor a determinada presión y temperatura. La cantidad de energía que logra absorber el agua depende mayormente de: i) la superficie de intercambio; ii) la temperatura del agua de alimentación; iii) la temperatura de los gases de escape. Una posibilidad de ahorro es entonces evaluar la posibilidad de precalentar el agua de ingreso, sobre todo si hay otros procesos que liberan calor y no están siendo aprovechados (como el calor disipado con los compresores de aire comprimido). Para evaluar esta factibilidad, es necesario un enfoque técnico-financiero de manera de analizar los beneficios.

Eventualmente, a la hora de calcular la eficiencia [13], puede ser difícil medir cuánto vapor se produce y en qué condiciones, por lo que se recurre al método indirecto. En este se parte de un rendimiento del 100 % y se le descuentan las disipaciones de calor debido a: i) gases de combustión liberados por chimenea, ii) formación de monóxido, iii) presencia de hidrógeno en el combustible, iv) humedad del combustible, v) cenizas, vi) purgas de caldera y, vii) radiación.

Un aspecto muy importante para considerar en toda combustión es la eficiencia precisamente de tal reacción. La caldera es alimentada con un quemador, compuesto por un ventilador y un combustor en donde se produce la mezcla de aire y combustible. Luego, una chispa es la encargada de iniciar la ignición. Si *desarmamos* el equipo, el ventilador es un motor eléctrico que impulsa el aire, tecnología que ya hemos abordado.

Otro aspecto por tener presente es que el aire contiene una proporción variable de vapor de agua. Si esta cantidad es elevada, parte de la energía del combustible se consumirá al calentar esta humedad, la cual debemos considerarla como energía *no útil*.

La relación combustible-aire es la proporción química entre el aire y el combustible que hace reaccionar a todo el reactivo. Sin embargo, dadas las disipaciones, se aumenta la cantidad de aire para garantizar que no haya combustible inquemado, y sobre todo monóxido de carbono, (esto se llama aire en exceso). En una combustión perfecta, las sustancias producto son el CO<sub>2</sub> y el vapor de agua (si consideramos el PCI -poder calorífico inferior- del combustible).

Para tener una referencia de que no solamente debemos abordar la generación de vapor, se ilustran las disipaciones a través del siguiente diagrama [14]:

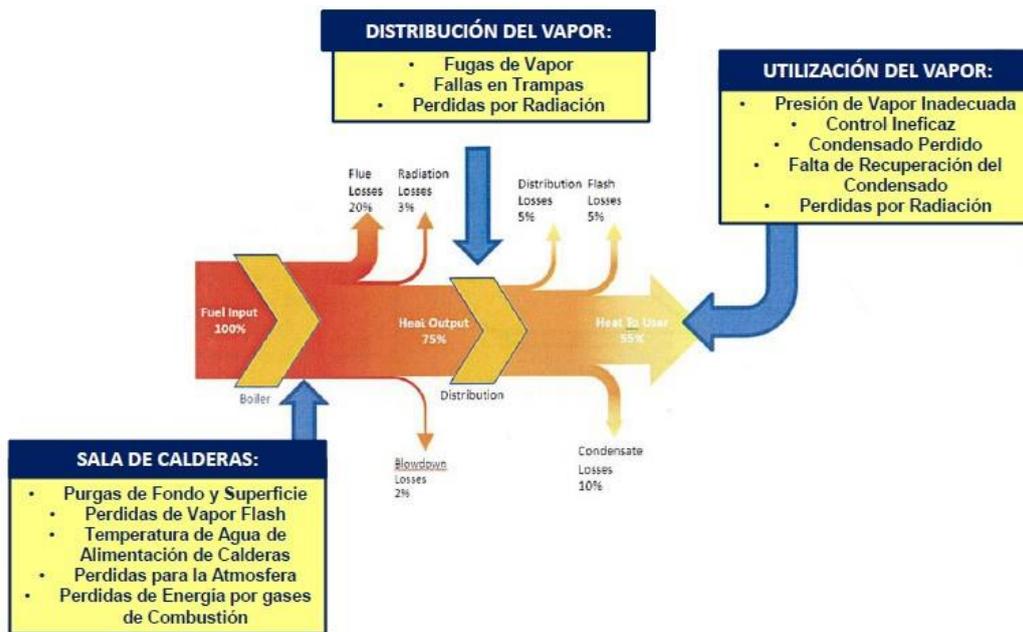


Ilustración 13: Distribución de energía en una caldera [14]

Se indican las siguientes buenas prácticas en sistemas de vapor [10]:

- Buena limpieza en las superficies de los tubos de los intercambiadores de calor, tanto interna como externa (evita perjudicar el coeficiente global de transmisión de calor al retirar la tierra depositada que actúa de aislante).
- Regular el tiro del hogar a un nivel bajo que garantice la evacuación de los gases, lo suficiente como para contrarrestar las caídas de presión a través de la caldera, y que brinde mejor superficie de contacto para con el vapor.
- Mantener en el mejor estado posible el resto de los componentes del sistema de vapor (trampas/purgas, revisión del condensado, calidad del agua de ingreso y sólidos totales disueltos, diámetros de las tuberías y velocidades (en líneas principales, no debe exceder los 25-35 m/s y, en derivaciones, 20-25 m/s).
- Conservar en el mejor estado posible y calibrados los instrumentos de medición, sensores, pulverizadores, atomizadores, entre otros.
- Evitar incrustaciones en las superficies de intercambio, ya que operan como aislantes. Almacenar los combustibles de manera tal que su calidad no se vea afectada.
- Evaluar la posibilidad de trabajar con ventiladores y bombas de alta eficiencia y control variable. Apuntar a recortar los picos de carga, ya sea: i) analizando la demanda lo mejor posible, y ii) apostar por controles variables en lugar de on-off.

Finalmente, para tener un orden de magnitud de las mejoras, se muestra la siguiente tabla con los ahorros posibles de obtener en una caldera (adaptado de [14]):



VARIABLE	AHORRO
Cada 6°C de aumento de temperatura de agua de alimentación de caldera	1 % de combustible
Cada 22°C de reducción de temperatura de gases de escape en chimenea	1 % de combustible
Cada 22°C de aumento de temperatura de aire de alimentación a quemadores	1 % de combustible
Cada 2.2 % de reducción de oxígeno en chimenea	1 % de combustible
Cada 40 ppm de reducción de TDS (sólidos totales disueltos) en agua de alimentación	1 % de purga de superficie
Cada 40 ppm de reducción de TDS en agua de alimentación	1 % de purga de fondo

## 05.4 SISTEMAS DE FRÍO

### 05.4.1 REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL VS FRÍO DE PROCESOS

Se denomina *frío de proceso* a la extracción de calor necesaria que requiere un proceso industrial como parte de la transformación de materias primas en bienes (no refiere a confort o enfriamiento de dispositivos para evitar que se deterioren) [15]. Se suelen emplear chillers, inclusive mediante refrigeración por absorción, para retirar el calor de los procesos de producción dado que son muy flexibles para trabajar con distintas temperaturas ambiente y cargas térmicas. Algunas industrias que requieren este tipo de aplicaciones son las de alimentos y bebidas, lácteos, farmacéuticas y químicas. Las torres de enfriamiento son muy usadas en esta aplicación.



*Ilustración 14: Chiller de tornillo enfriado por agua (cortesía de EcoChillers)*

Por otro lado, se define a la *refrigeración industrial* como el uso de frío para mantener temperaturas bajas en la manufactura, transporte y almacenamiento de productos específicos [15]. Ejemplos son cámaras frigoríficas, depósitos a temperatura controlada, conservación de alimentos bajo ciertas condiciones particulares, farmacéutica, entre otros. También, la aplicación se refiere a poder obtener agua a temperaturas bajas sobre su punto de congelación (por ejemplo, la industria de la panificación requiere agua a 4°C). Las torres de enfriamiento también son muy usadas en esta aplicación. Según la carga térmica requerida de extraer, los sistemas son configurables de manera ad hoc, es decir, a escala de la necesidad. Para ello se diseña el sistema y se eligen los componentes por separado, incluyendo la posibilidad de configuraciones constructivas específicas.

## 05.4.2 CARACTERÍSTICAS DE ESTOS SISTEMAS INTEGRADOS

Teniendo presentes la manera en que se desplaza el calor y los mecanismos por medio de los cuales lo hace, el enfoque necesario para los sistemas de refrigeración se describe en lo siguiente.

Técnicamente, los sistemas de refrigeración son equipos que consumen energía para que se logre revertir la dirección en la que el calor se transfiere espontáneamente. Es decir, naturalmente el calor se transfiere de la región más caliente a la más fría; el proceso inverso requiere de un dispositivo (sistema de refrigeración) que retire calor de una región fría para volcarlo a una caliente, con el consiguiente consumo de energía. Se ilustra el diagrama de bloques básico [16]:

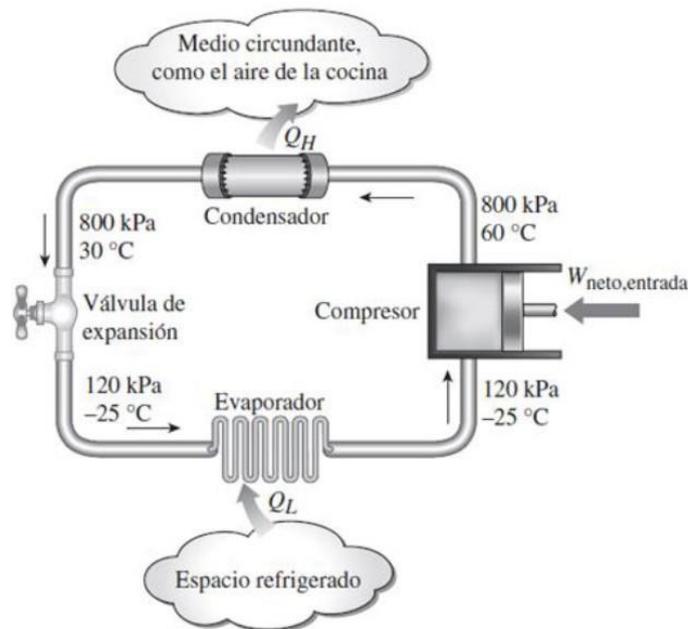


Ilustración 15: Ciclo de refrigeración convencional de una heladera doméstica [16]

Estos sistemas logran extraer una cantidad de energía muy superior a la consumida, con lo cual su eficiencia (o COP, por *Coefficient Of Performance*) es siempre superior al 100 %<sup>8</sup>, por lo general entre 200 % y 400 %. No obstante, debemos tener presente que estamos comparando energía térmica (la extraída del lugar que queremos refrigerar) y energía eléctrica (que es la electricidad consumida). Ya hemos comentado sobre las calidades y utilidades de las formas de energía.

La sustancia que es capaz de transportar la energía térmica de un lado a otro es el refrigerante a partir de sus propiedades y su cambio de fase (se evapora cuando recibe el calor del lugar que queremos enfriar y se condensa cuando lo libera en el ambiente u otro receptor).

Mención especial tienen las bombas de calor, que es el modo en que los equipos de

<sup>8</sup> Aunque no nos resulte intuitivo por lo ya visto en este documento.



acondicionamiento de aire pueden operar de manera inversa al ciclo de refrigeración convencional. Aquí, la utilidad no está en la zona de donde se extrae calor, sino en donde lo libera. En la realidad, se usa en invierno para calefaccionar ambientes: *enfrian* el aire ambiente exterior quitándole calor y suministrándolo a la vivienda, alternando las funciones del evaporador y condensador del ciclo convencional. Su eficiencia es incluso superior a la eficiencia del mismo equipo en modo refrigeración, y es la alternativa más eficiente para calefaccionar ambientes (su COP puede alcanzar valores de 300 o 500 % según la tecnología).

Este circuito que recorre el refrigerante también está en los equipos de acondicionamiento de aire, así como en los grandes sistemas de refrigeración industrial por compresión. La diferencia está en las tecnologías, refrigerantes y sus cantidades y etapas de compresión. Precisamente, una mejora en los sistemas industriales de refrigeración es la posibilidad de comprimir en más de una etapa, con enfriamiento intermedio. Cuando se comprime un gas (aire o refrigerante), se requiere gran cantidad de trabajo mecánico para lograrlo ya que las moléculas tienden a separarse, motivo por el cual se suele hacer en dos o más etapas, y en el medio se le permite enfriar. De esa manera se produce un ahorro respecto de un único compresor.

Como estamos tratando con desplazamiento de calor, no podemos prescindir de estudiar los mecanismos de transmisión de calor, ya sea a beneficio del sistema como en perjuicio. Dado que en estos ciclos se está yendo *en contra de la Naturaleza*<sup>9</sup>, debe protegerse el sistema de ingreso de calor no deseado, el cual intentará hacerlo de cualquier manera en todo momento. Esto debe reforzarse más aún si estamos trabajando en el evaporador con temperaturas mucho menores a la temperatura ambiente.

Los siguientes aspectos son claves para evitar que el desempeño sea bajo:

- Tener presente que el frío no existe, sino que es la ausencia de calor. Por tal, se debe evitar aumentar la carga térmica que no sea la útil (sea tanto para refrigeración industrial como para frío de procesos).
- Aplíquense los conceptos para intercambiadores de calor (evaporador y condensador) en cuanto a coeficiente global de transmisión de calor y todo elemento de diseño. Además, la ubicación de los equipos también influye pues puede dificultar o facilitar la transferencia de calor.
- La temperatura de evaporación influye significativamente en el consumo energético. Se sugiere revisar si debe ser tan baja como está siendo (mientras más baja, mayor es el consumo de energía). La cantidad de energía liberada en el condensador depende del medio donde se descargue. No necesariamente debe ser aire ambiente, sino que puede ser otro fluido cuya temperatura pueda preservarse a valores menores (como una cuba con agua).
- Tener presente que el consumo del compresor depende de las temperaturas de evaporación, de condensación y del refrigerante en sí.
- Evaluar la posibilidad de aprovechar el calor liberado en el condensador para precalentar otro fluido en otro sistema.
- Si se emplean torres de enfriamiento, el dimensionamiento del ventilador del tiro y las superficies es fundamental.

---

<sup>9</sup> El Principio Cero de la Termodinámica indica que el calor va del cuerpo más caliente al más frío.

- 
- El empleo de equipos remotos en lugar de autocontenidos permite separar la liberación de calor de la instalación física en donde se produce la evaporación.
  - Lograr el aislamiento adecuado del recinto a refrigerar y de las tuberías de refrigerante.
  - Una menor temperatura de evaporación no significa que enfriará más rápido, sino que el compresor tardará más en alcanzar el diferencial para la parada. Esto sucede ya que la regulación del compresor es binaria (on/off), salvo que sea de tecnología *inverter* y tenga instalado un VSD.
  - No cubrir o bloquear los flujos de ventilación. Esto se manifiesta en una menor capacidad de enfriamiento y, si se hace descender aún más la temperatura sin corregir el bloqueo, se corre el riesgo de que el evaporador se *bloquee* (esto es, que la humedad del aire en la zona del evaporador se solidifique sobre el mismo, actuando el hielo como aislante).
  - Optimizar el diseño y desempeño de los recintos a refrigerar.
  - No descuidar el dimensionamiento correcto del ventilador, así como las condiciones del régimen del aire.
  - Tener presente que estamos yendo en contra de la Naturaleza, por lo que prácticamente todo atenta contra el desempeño de los sistemas de refrigeración.

Se resumen las posibilidades de ahorro para los sistemas de refrigeración industrial en la siguiente tabla (adaptada de [15]):

Medida	Reducción en el consumo de energía [%]	Tiempo estimado promedio para recuperar la inversión [meses]
Instalación de aislamiento térmico en tuberías, válvulas y bridas del sistema de refrigeración en las secciones frías	1-4	5-12
Nivel óptimo de carga de refrigerante	1-2	6
Disminuir las malas prácticas de mantenimiento y operativas en las cámaras frías	4-8	12
Cambio de refrigerante tradicional por ecológico	10-15	6
Monitoreo de variables de importancia e incluso automatización de dichos sistemas para una adecuada operación	10-15	12-36
Mantenimiento, correcta operación y reducción de la carga térmica de la unidad condensadora	2-6	< 12
Mantenimiento, correcta operación y reducción de la carga térmica de la unidad evaporadora	2-6	< 12
Limpieza de los evaporadores y condensadores	4-8	2-5
Instalación del mejor aislamiento térmico en las cámaras de frío	1-2.5	15-60
Selección e instalación adecuada de los sistemas de instrumentación y control de los equipos del sistema	10-15	36-48
Lograr subenfriamiento aprovechando la temperatura del ambiente	1-9	(sin datos)
Sustitución de condensadores de aire por aquellos evaporativos	3-9	(sin datos)
Sustitución de motores estándar por aquellos de alta eficiencia en los forzadores (ventiladores) de los evaporadores y condensadores	3-15	(sin datos)
Sustitución de compresión de pistón por aquellos rotativos (del tipo scroll)	6-16	(sin datos)

## 05.5 ILUMINACIÓN INDUSTRIAL

La iluminación industrial es un componente esencial en cualquier entorno de producción, donde la visibilidad adecuada es crucial para la eficiencia y seguridad de las operaciones. Sin embargo, también puede representar una parte significativa del consumo energético total de una instalación industrial.

El uso óptimo de la luz natural, combinado con la implementación de tecnologías de iluminación eficientes y sistemas de control, posibilita una reducción significativa en el consumo de energía de los sistemas de iluminación industrial, logrando ahorros que oscilan entre el 15 % y 50 %.

### 05.5.1 LÁMPARAS

Las lámparas desempeñan un papel fundamental en la eficiencia de los sistemas de iluminación, y, para elegir el tipo más adecuado, es necesario considerar varios aspectos como el flujo luminoso, la eficacia o rendimiento, la vida útil y la temperatura de color.

Con el fin de asegurar un uso eficiente de las lámparas, es importante seguir algunas medidas de mantenimiento. Esto incluye ajustar el nivel de iluminación de acuerdo con las necesidades específicas, limpiar regularmente las lámparas y reemplazar aquellas en las que el flujo luminoso se haya reducido a niveles inadecuados. La acumulación de polvo en los sistemas de iluminación puede ocasionar una disminución de hasta un 10 % en la calidad de la iluminación.

Asimismo, se recomienda utilizar colores claros en las paredes, muros y techos, ya que los colores oscuros absorben más luz y requieren un mayor número de lámparas.

En cuanto a las medidas de eficiencia relacionadas con los equipos, se sugiere reemplazar las lámparas fluorescentes antiguas por modelos más eficientes, entre las que se destaca la tecnología LED.

En la siguiente tabla se ilustran los ahorros por mejora de la eficiencia energética:

Sustitución	Por	Ahorro [%]
Fluorescente convencional	Fluorescente alta eficiencia	40
Halógena convencional	Halógena alta eficiencia	50
Halógena convencional	Fluorescente compacto	70
Halógena convencional	LED	80
Incandescencia	Fluorescente compacto	80
Incandescencia	LED	90



Finalmente, un parámetro [10] que permite la comparación entre las distintas tecnologías es la *eficacia luminosa*, que consiste en la relación entre la cantidad de lúmenes emitidos y la potencia eléctrica consumida. Así, una lámpara que entregue 15000 lúmenes y consuma 150 W tiene una eficacia de 100.

## 05.5.2 LUMINARIAS

Una luminaria es un dispositivo que alberga y dirige una o varias lámparas para proporcionar iluminación focalizada y controlada.

En cuanto al mantenimiento de las luminarias, es importante realizar una limpieza regular para obtener el máximo rendimiento. Además, se recomienda utilizar luminarias apropiadas, como pantallas difusoras con rejillas, y evitar el uso de difusores o pantallas opacas, ya que generan pérdidas de luz. La instalación de superficies reflectoras también es beneficiosa, ya que dirigen e incrementan la iluminación, permitiendo reducir la cantidad de lámparas necesarias en la luminaria.

En cuanto a las medidas de eficiencia relacionadas con los equipos, se sugiere utilizar reflectores de alta eficiencia, que permiten aprovechar al máximo la luz emitida por la lámpara. Asimismo, es recomendable considerar los componentes ofrecidos por los fabricantes para sus lámparas, como rejillas y difusores, ya que mejoran el nivel y la calidad de la luz emitida. Cabe destacar que el rendimiento de la luminaria se define como la cantidad de dicha luz emitida que se aprovecha, teniendo en cuenta que parte de ella es absorbida por la propia luminaria.

## 05.5.3 EQUIPOS AUXILIARES

Los equipos auxiliares, como las reactancias o balastos, son accesorios utilizados en combinación con las lámparas de descarga para regular la corriente que circula por ellas y garantizar su funcionamiento correcto.

Es importante tener en cuenta que el consumo de los equipos auxiliares puede representar un incremento del 5 % al 30 % sobre el consumo de la lámpara. Por ejemplo, las lámparas halógenas de baja tensión (12 V) requieren un transformador para su funcionamiento, y este transformador tiene pérdidas que pueden variar entre el 10 % y el 20 % debido a la transformación en calor.

En cuanto a las medidas de eficiencia relacionadas con el mantenimiento, el uso de balastos electrónicos puede eliminar el zumbido y el parpadeo de las lámparas, lo que reduce la fatiga visual. Además, utilizar balastos electrónicos permite ahorrar energía hasta un 10 %, corrige el factor de potencia y aumenta la vida útil de las lámparas fluorescentes. Estos balastos también generan una baja aportación térmica, lo que contribuye a disminuir las necesidades de aire acondicionado.

En cuanto a las medidas de eficiencia relacionadas con los equipos, se recomienda



utilizar balastos electrónicos en lugar de las reactancias convencionales electromagnéticas. En el caso del alumbrado exterior, existen reactancias de doble nivel de potencia que permiten controlar el descenso del nivel de iluminación según el tipo de lámpara utilizado. Por último, es recomendable emplear reactancias de elevado factor de potencia para mejorar la eficiencia energética.

#### 05.5.4 EQUIPOS DE REGULACIÓN Y CONTROL

Son aquellos elementos encargados de gestionar la energía en los sistemas de iluminación. Estos equipos son utilizados tanto en el alumbrado interior como en el exterior para optimizar el consumo energético y garantizar un funcionamiento eficiente.

En el caso del alumbrado interior, se emplean diferentes dispositivos. El *pulsador* temporizado permite activar la iluminación de forma manual y desactivarla automáticamente después de un tiempo preestablecido. El *detector de presencia* activa la iluminación en respuesta a movimientos y la apaga después de un tiempo programado. La *célula fotosensible (o fotocélula)* se activa en función del nivel de luz exterior. Por último, el *dimmer* regula la intensidad luminosa de las lámparas, ya sea manualmente o en combinación con células fotosensibles.

En el caso del alumbrado exterior, se utilizan distintos equipos de control y regulación. El *reloj astronómico* enciende y apaga la iluminación según las horas de ocaso del lugar donde está instalado. La *célula fotosensible o interruptor crepuscular* enciende y apaga la iluminación en función del nivel de luz ambiente, generalmente en combinación con el reloj astronómico. La *reactancia de doble nivel* permite activar un flujo de luz reducido según un horario programado. Además, se emplean *estabilizadores y reductores de tensión* para controlar y estabilizar la tensión de alimentación de las lámparas.

En cuanto a las medidas de eficiencia en el mantenimiento, se recomienda aprovechar el ingreso de luz natural mediante el uso de protecciones solares móviles, claraboyas y lucernarios. En áreas que requieren diferentes niveles de iluminación de forma variable, es aconsejable instalar reguladores de intensidad luminosa. También se sugiere sectorizar los circuitos de iluminación para conectar únicamente las lámparas necesarias en la zona de trabajo.

En cuanto a las medidas de eficiencia en los equipos, se recomienda utilizar detectores de presencia en áreas de paso o de poco uso. En zonas con luz natural disponible, se debe aprovechar la iluminación artificial mediante el uso de células fotoeléctricas. Para el alumbrado exterior, se recomienda utilizar relojes astronómicos y células fotoeléctricas que permitan variar los tiempos de encendido y apagado. Además, se instalan reguladores de flujo en la cabecera de línea del alumbrado público para reducir la tensión de alimentación. Combinar varios subsistemas de control y regulación permite aumentar el ahorro energético y económico de manera efectiva.

## 05.6 OFIMÁTICA

Los edificios de oficinas representan un importante consumo de energía eléctrica. En una oficina típica, el consumo eléctrico se reparte principalmente entre la iluminación, los equipos de cómputo y los sistemas de climatización.

El amplio empleo de sistemas de climatización, iluminación y el creciente número de dispositivos ofimáticos (como computadoras, impresoras, fotocopiadoras y escáneres) tiene un impacto significativo en el aumento del consumo de energía eléctrica en los lugares de trabajo. La cantidad de energía consumida está influenciada por diversos factores, entre ellos, la eficiencia energética de los equipos utilizados, los patrones de consumo adoptados por los usuarios y las características de construcción del edificio donde operan dichos dispositivos.

### 05.6.1 EQUIPOS DE OFICINA

A continuación, se indican **aspectos claves de la eficiencia energética y buenas prácticas en relación con equipos de ofimática**:

- Equipos eficientes: En Argentina se ha implementado un etiquetado obligatorio donde se indican los Estándares de Eficiencia Energética para promover el uso de equipos más eficiente<sup>10</sup> [16]. Esta figura establece un sistema de etiquetado obligatorio que informa a los consumidores sobre el consumo de energía de los productos.

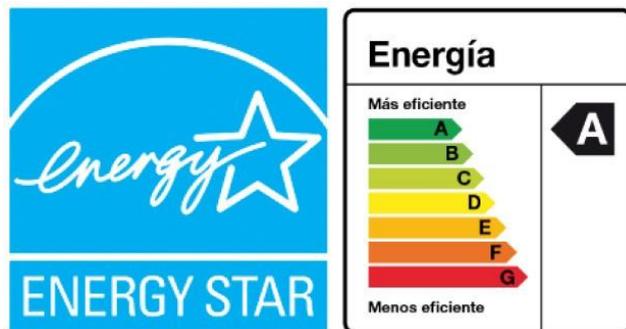


Ilustración 16: Etiquetas de eficiencia energética para ofimática (izq) y genérica (der)

Asimismo, los equipos de oficina tienen su propia normativa, llamada *Energy Star*, la elección de equipos con esta etiqueta contribuye a un mejor desempeño y ahorro energético. Al optar por productos con calificaciones más altas, se estará realizando una mejora del rendimiento, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y, sobre todo, a los recursos financieros de la organización.

- Cuando los equipos pueden pasar varios minutos sin ser requeridos, la mayoría de los dispositivos modernos ofrecen modos de ahorro de energía, como el modo de suspensión o hibernación, que disminuyen el consumo cuando el equipo no está en uso. Estos modos permiten ahorrar energía cuando los dispositivos no están activos, pero se mantienen listos para su uso inmediato.

<sup>10</sup> Estos estándares se conocen mundialmente como MEPS, por *Minimum Efficiency Performance Standard*.

- 
- Mediante gestión de hábitos de uso, tales como apagar los dispositivos después de cierto tiempo de inactividad o durante la noche o bien configurar la suspensión de equipos pasados X minutos, es posible de racionalizar el uso de energía sin perder productividad. Estos hábitos también pueden aplicarse en impresoras, primeramente, definiendo qué se imprimirá, y luego cómo (doble faz, monocromático económico, tipo de papel, entre otros). Si bien puede parecer minúsculo, en organizaciones la cantidad de copias puede ser significativa.
  - La digitalización y colaboración en línea pueden fomentar el uso de documentos digitales, reducir la necesidad de imprimir y copiar o enviar documentos físicos, así como de disponer de servidores de gran capacidad con demanda de mantenimiento continuo.
  - Finalmente, promover la formación y la concientización del personal acerca de las prácticas de eficiencia energética en la oficina puede generar una mayor participación y un uso más responsable de los equipos. Aquí se propone la posibilidad de una comunicación ascendente fluida, es decir, un mecanismo eficaz donde el personal pueda hacer sus propuestas de mejora.

## 05.6.2 CLIMATIZACIÓN

Una climatización adecuada es esencial para garantizar la comodidad y el bienestar del personal, pero también suele representar un componente significativo del consumo de energía en cualquier edificio (generalmente, el mayor en oficinas). Para promover la eficiencia energética en sistemas de climatización, una de las medidas más importantes es considerar la adquisición de equipos más eficientes. Como vimos anteriormente, muchos de estos dispositivos están etiquetados con indicadores de eficiencia energética facilitando así al consumidor a identificar rápidamente aquellos equipos que cumplen con altos estándares de eficiencia [14].

Además de invertir en equipos más eficientes, es esencial garantizar un adecuado aislamiento de los diferentes sectores, asegurándose de que las ventanas y puertas estén bien selladas para evitar fugas/ingresos de aire (las cuales generan que los equipos de climatización deban trabajar más tiempo para mantener la temperatura deseada). En Argentina los equipos más comunes para este tipo de aplicación son:

- **Equipos de acondicionamiento de aire:**

Son dispositivos comúnmente conocidos y extendidos tanto para enfriar como para calentar espacios. Para maximizar su eficiencia energética, es recomendable ajustar el termostato a una temperatura adecuada y evitar configuraciones extremadamente altas o bajas. Por ejemplo, un split eficiente (clase A o superior) pequeño de 2200 calorías en modo calor genera un consumo de 1.01 kWh si se ubica a 20° C. Por cada grado que se sube el termostato, la demanda de energía puede incrementarse entre 7 y 9 %.

Además de ajustar adecuadamente la temperatura, es importante tener en cuenta la limpieza regular de los filtros del aire acondicionado. La acumulación de suciedad y polvo en los filtros puede obstruir el flujo del aire, lo que reduce el desempeño del equipo.

Para mejorar aún más la eficiencia, se puede considerar la combinación del uso del aire acondicionado con ventiladores de techo o ventiladores portátiles, los cuales ayudan a distribuir mejor el aire fresco o cálido por toda la habitación, lo que permite reducir el tiempo de funcionamiento del equipo principal.

- **Estufas a gas:**

En Argentina, las estufas a gas desempeñan un papel importante como sistemas de calefacción en hogares y espacios comerciales. Para aprovechar eficientemente esta fuente de calor<sup>11</sup> es esencial cerrar puertas y ventanas cuando estén encendidas, realizar un mantenimiento regular, limpiar las boquillas y quemadores y verificar el estado de las conexiones para asegurar que no haya fugas de gas. Es importante evitar obstrucciones cerca de las estufas para asegurar un flujo de aire adecuado y apagarlas cuando no se necesiten para ahorrar energía.

- **Estufas eléctricas:**

La calefacción eléctrica se ha convertido en una opción conveniente para mantener ambientes cálidos y confortables en hogares y espacios comerciales; alrededor de 6 de cada 10 productos ofrecidos en casas de artículos para el hogar son eléctricos. Por esta razón, es fundamental considerar su uso y seguir recomendaciones para optimizar su eficiencia energética.

Así como hemos visto en el caso de los aires acondicionados, la programación de la temperatura juega un papel crucial en el rendimiento de estos equipos. En el caso de los calefactores eléctricos, la temperatura ideal en invierno oscila entre 19 °C y 21 °C, y cada grado de ajuste impactará directamente en el consumo eléctrico.

Cada equipo posee características distintas, lo que se traduce en consumos diferentes. A continuación, se detallan los consumos promedios en kWh y el valor estimado para una hora de utilización, considerando la tarifa 2B1 [9]:

Artefacto	Consumo [kWh]	Costo por hora de uso [\$]
Caloventor 2000 W	2.00	\$ 38.53
Estufa de cuarzo de 2 velas	1.20	\$ 23.12
Aire acondicionado a 20 °C	1.01	\$ 19.46
Radiador eléctrico estándar	0.96	\$ 18.49
Panel calefactor simple	0.60	\$11.56

<sup>11</sup> Antes, es necesario asegurar que la combustión no genere CO (monóxido de carbono), el cual resulta mortal.

## 06. «¿CÓMO PUEDO EJECUTAR (Y DEMOSTRAR) LOS AHORROS?» EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

A uno de los próceres de la Termodinámica, William Thomson (titulado Lord Kelvin) se le atribuye la siguiente frase:

*«Lo que no se define, no se puede medir.  
Lo que no se mide, no se puede mejorar.  
Lo que no se mejora, se degrada siempre.»*

En líneas generales, para poder comparar un estado anterior y posterior a una intervención (por ejemplo, de eficiencia energética o de uso racional), necesitamos una métrica o forma de medir de manera objetiva. «¿Cómo sabemos si el ahorro esperado se concreta ante determinada acción» y «¿Cómo sabemos cuánto se ahorró?» son dos de las cuestiones que siempre debemos tener presente a la hora de planificar nuestras acciones.

Cuando un uso de la energía representa un consumo de bastante peso dentro del total (por ejemplo, el sistema de aire comprimido que representa un 30 % del consumo eléctrico del total), o bien presenta un potencial de mejora inmediato (como el recambio de tubos fluorescentes por LED), ese uso es considerado significativo [17]. Así, el concepto de «Uso Significativo de la Energía» nos permite saber hacia dónde dirigir los esfuerzos y canalizarlos en pos del mejor resultado esperado. Es decir, en lugar de distribuir los pocos esfuerzos en múltiples usos, conviene enfocarnos en los dos o tres que más impacto positivo tengan.

Entonces, la pregunta ahora es: «¿cómo sabemos cuándo un uso es significativo?» Para poder determinarlo, intrínseca y necesariamente estamos requiriendo comparar los usos entre sí. Para ello nos valdremos de una herramienta de relevamiento y estimación de consumos: el diagnóstico energético.

Un diagnóstico energético<sup>12</sup> es un proceso de identificación de usos y consumos de energía, y sus niveles de eficiencia asociado. Este permite: i) comprender las variables que afectan el consumo y caracterizarlo; ii) identificar los Usos Significativos de la Energía; iii) detectar oportunidades de mejora del desempeño energético; iv) reducir costos y mejorar las prestaciones de los procesos. En otras palabras, lo que buscamos es tener un modelo de cálculo relativamente sencillo (pero robusto) que nos permita interpretar cómo se consume la energía una vez que ingresa a la planta, y que luego es la que factura la distribuidora (el valor facturado es un valor mensual que llega luego de efectuado el consumo del período, pero no nos informa sobre *cómo* se distribuyen los consumos).

<sup>12</sup> Obtenido de NCh ISO 50001:2014 «Auditorías energéticas — Requisitos con orientación para su uso», definición 3.3, «auditoría energética».

Este modelo de cálculo será elaborado a partir del relevamiento de los equipos de la industria y de la información en cuanto a su uso. Una vez que podamos realizarlo, cuando sumemos los consumos de, digamos, electricidad, el valor obtenido en el período de un mes debería ser cercano al facturado por la distribuidora (por cercano se entiende, en una primera instancia, menor a un 15-20 % de diferencia).

Lo anterior será explicado a través del siguiente sencillo e hipotético caso: una microPyME recibe una factura de electricidad por 3500 kWh y otra de 500 m<sup>3</sup> de gas natural para el mes de julio, y desea llevar adelante un diagnóstico energético para apuntar a mejorar cómo consume la energía (y fundamentalmente atraído por la posibilidad de reducir costos). Para ello, inicia con un proceso de relevamiento de sus equipos según la fuente de energía<sup>13</sup>, considerando también entrevistas al personal para determinar el tiempo de uso. Tomando en cuenta toda la información recogida, se llega a lo siguiente:

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria de placa	Tiempo de uso a plena carga	Uso asociado	Energía secundaria diaria consumida	Energía secundaria a mensual consumida	Total por uso	Participación de cada uso en el total
	[u]	[kW]	[h]		[kWh/día]	[kWh/mes]		[%]
(ACLARACIONES)		→			([u]*[kW]*[h])	(20 días háb)	(suma de c/Items/uso)	
Compresor de aire	1	15	3	Neumática	45	900	900	26,4%
Torno	4	2	3,5	Mecanizado	28	560	1620	47,5%
Sierra	10	1	3,5		35	700		
Plegadora	2	3	3		18	360		
Tubos fluorescentes interiores	24	0,1	8	Iluminación interior	19,2	384	384	11,3%
Lámparas LED exteriores	10	0,05	12	Iluminación exterior	6	120	120	3,5%
Dispensers de agua	6	0,25	8	Hidratación/ agua caliente	12	240	240	7,0%
PC	3	0,3	8	Gestión	7,2	144	144	4,2%
TOTAL						3408		
							3408 kWh/mes	

<sup>13</sup> No se deben sumar los consumos de electricidad con gas natural porque no son de igual utilidad, es decir, uno no reemplaza al otro. En realidad, no corresponde sumar cantidades de energía secundaria, sino en primaria. Por tanto, es impropio sumar kWh de electricidad con kcal de gas natural, más allá de un cambio de unidades nominal.

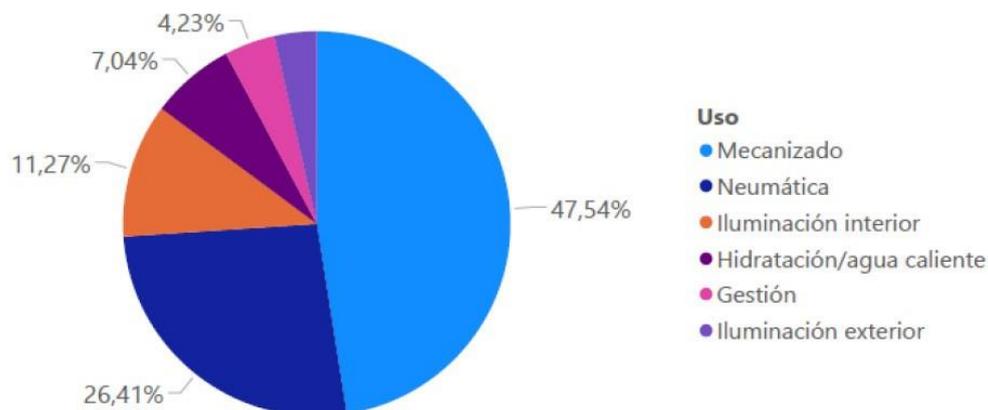


Ilustración 17: Distribución de consumos según los usos de electricidad (elaboración propia)

A partir de esta información pueden obtenerse varias conclusiones. En términos cuantitativos, el global estimado es de 3408 kWh/mes vs 3500 facturado (subestimado en menos de 3 %).

¿Está acaso mal facturado? Lo más probable es que no, y la diferencia puede deberse a una o varias de las siguientes situaciones: i) la precisión en la cantidad de horas de uso a plena carga;

ii) la potencia de placa que eventualmente puede haber sido modificada por antigüedad y/o por mantenimiento; iii) otros equipos que no hayan sido contados, como los cargadores de celulares, equipos de radio, alarmas y/o CCTV, entre otros; iv) otras causas no detectadas.

Estudiando los porcentajes y el gráfico de torta, vemos que los usos de «neumática» y «mecanizado» son los de mayor peso, y podríamos considerarlo como significativos. Sin embargo, no serían los únicos: la «iluminación interior», si bien no tiene un peso relevante en comparación con los usos productivos, sí presenta un gran potencial de ahorro puesto que con un recambio a LED la mejora es inmediata. Por tanto, es también un uso significativo. A la hora de diseñar estrategias para mejorar los costos, deberíamos enfocarnos en estos tres usos.

A nivel productivo, cambiar las máquinas-herramienta por otras de mejor tecnología no sería la opción más acertada y, es más, no debería proponerse en una etapa tan inicial. Aquí tendríamos que tratar de no enfocarnos en la parte energética, sino en mejorar la productividad de su uso, es decir, tratar de aprovechar al máximo el tiempo en que estén operando y reducir los tiempos en que no debería estar encendida. En relación con el compresor, deberíamos diseñar un plan de reparación de fugas y luego reducir la presión de servicio (una reducción de 1 bar significa un ahorro de entre 6 y 7 %). Finalmente, sobre la iluminación interior la opción a evaluar es el recambio tecnológico y, donde corresponda, ver de colocar sensores de movimiento.

Así, esta simple pero efectiva metodología nos da una situación de partida para el cual comparar cualquier mejora que propongamos de hacer. Mediante la estimación de, por ejemplo, la sustitución de tubos fluorescentes por su equivalente en LED, la potencia en iluminación se puede reducir entre un 50 y 70 %. A igual cantidad de horas, esto significa un ahorro promedio de más de 150 kWh/mes (más de un 4 % de ahorro).

Con este mismo mecanismo analizamos el gas natural para el caso (no se genera vapor):

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria de placa	Tiempo de uso a plena carga	Uso asociado	Gas natural diario consumido	Gas natural mensual consumido	Total por uso	Participación de cada uso en el total
	[u]	[kcal/h]	[h]		[m <sup>3</sup> /día]	[m <sup>3</sup> /mes]		[%]
(ACLARACIONES)		→			$([u] \cdot [kcal/h] \cdot [h]) / 8400$	(20 días háb)	(suma de c/ítems/uso)	
Calefón	1	20000	2	Agua caliente	4,76	95,24	95,24	19,5%
Estufas de pantalla	10	2900	3	Calefacción en oficina	10,36	207,14	207,14	42,4%
Tubo radiante	1	19500	4	Calefacción en pañol	9,29	185,71	185,71	38,0%
TOTAL						488,10	m <sup>3</sup> /mes	

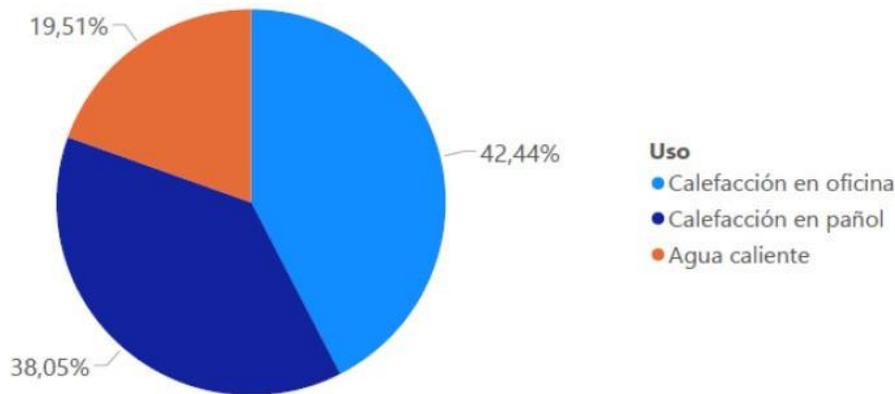


Ilustración 18: Distribución de consumos según los usos de gas natural (elaboración propia)

Se observa que la calefacción tanto en oficina como en el pañol son los dos usos más representativos. Habría que analizar la posibilidad de algún cerramiento en el pañol, como medida de mejora, para evitar que el calor se disipe (al sólo efecto de dar un ejemplo); también, podría pensarse en reemplazar las estufas de pantalla por tecnologías más eficientes, además de realizar un mantenimiento periódico en sus quemadores.

Para el mes en estudio, este diagnóstico nos puede dar una idea de hacia dónde *apuntar nuestros cañones*, sin embargo, deberíamos repetir esta metodología para abarcar por lo menos un año. De esta manera podríamos determinar un comportamiento mucho más cercano a la realidad, apostando por la consistencia de la información relevada y trabajando para que el modelo sea lo más robusto posible. Esto presupone que tomar decisiones considerando sólo un mes de los doce del año supone el riesgo de acciones que pueden no ser del todo efectivas.

Si tenemos la posibilidad de reforzar nuestras estimaciones con instrumentos de medición, podremos elaborar mejores decisiones a partir de su empleo.

## 07. «NO HAY DINERO PARA MEDIR TODOS LOS CONSUMOS»...

De lo redactado anteriormente, se desprende que *parece que es necesario* comprar instrumentos de medición y colocarlos por doquier, relevando todo lo que seamos capaces de percibir. Claramente que, si hacemos esa propuesta a las y los industriales, obtengamos una respuesta como la del título. Sin embargo, lo que deseamos transmitir es que: «No, no hay que medir todo. Es más, hay que elegir qué es lo que medimos». No solamente porque de aquello que se mida, luego se debe procesar su salida (es decir, analizar el resultado de la medición), lo cual puede demandar bastante recurso técnico, sino también porque debemos considerar, en una primera instancia, al instrumental como un elemento que nos ayude a mejorar la precisión de nuestras estimaciones y cálculos.

Si sabemos o sospechamos cuál de nuestros sistemas es el que más consume (por ejemplo, en lo referido a generación y distribución de aire comprimido), entonces debería iniciarse colocando un equipo de medición que monitoree de manera continua durante determinado tiempo al equipo activo (en el ejemplo, el compresor). Así, en esta primera etapa podemos considerar que el valor de la medición podría ser atribuible plenamente a dicho sistema y todos los otros consumos se distribuyen en los restantes usos. Es decir, si en el mes del caso ya planteado se consumió 3500 kWh -según factura- y el equipo de medición registró, en el mismo período, un consumo de 870 kWh para el sistema de aire comprimido, a los restantes 2630 kWh los distribuiremos en todos los usos excepto el de aire comprimido. Para ello, debemos valernos entonces de un buen relevamiento y un mejor aún diagnóstico energético.

Además, debemos tener presente que se pueden alquilar o contratar servicios profesionales que se dedican precisamente al monitoreo de variables energéticas a través de instrumentos, como analizador de redes, pinzas amperométricas -true RMS o verdadero valor eficaz en lo posible- termografías, multímetros, termómetros sofisticados, luxómetros, caudalímetros, entre otros.

No obstante, hay que considerar algunas cuestiones para no propagar errores:

- Ante todo, cualquier intervención en una instalación energizada supone un riesgo humano, por lo tanto, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar poner en peligro a las personas, luego a la tecnología (existen medidas de seguridad generales, pero también pueden agregarse específicas según el instrumental empleado).
- Emplear instrumentos cuyo certificado de calibración esté vigente, de manera de asegurar exactitud y precisión en las repetidas mediciones.
- Respetar el protocolo de instalación y manipulación de los equipos dado que son dispositivos sensibles y su calibración ante una falla, o bien su reposición, puede tener alto costo.

- 
- En simultáneo a las mediciones, registrar qué eventos ocurren en planta, para determinar si representan el normal funcionamiento de la planta o una situación esporádica y/o de baja ocurrencia.
  - En el caso de que se dejen instrumentos de manera continua durante determinado tiempo, evaluar, a la hora de comparar con las facturas de electricidad o gas, qué consumos corresponden a un período y cuáles no. Por ejemplo, en el caso de clientes de la EPESF con potencia menor a 50 kW en las cuales su factura es semejante a la residencial, el período facturado puede no coincidir con el primer día del mes. Si, digamos, inicia y cierra el día 15 y colocamos el instrumento el día 1 del mes, la factura reflejará el consumo hasta el momento de cierre, quedando lo restante medido para el siguiente período facturado.
  - Definir qué equipos de medición se desean usar en función de la precisión buscada, lo que además repercutirá en la tarea profesional asociada.
  - Interpretar apropiadamente la salida del registro de medición según el software y funcionalidad del modelo de equipo empleado.

## 08. CASOS DE ÉXITO EN INDUSTRIAS DE LA REGIÓN

Se presenta a continuación una selección de casos de éxitos de industrias de la región, cuyo objetivo es dar a conocer su forma de implementación y resultados<sup>14</sup>.

<b>Empresa</b>	Celulosa Argentina S.A.
<b>Rubro</b>	Fabricación de pasta celulósica y papel
<b>Localidad</b>	Capitán Bermúdez
<b>Nos comparte el caso</b>	Hector E. Srebot, Asesor en Energías e Ingeniería Eléctrica de la dirección
<b>Título</b>	Variador de frecuencia en ventilador de tiro forzado de la caldera de recuperación
<b>Objetivo de la mejora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Eliminar el sistema de arranque por resistencia del motor;</li> <li>. Eliminar el damper de restricción con su accionamiento neumático;</li> <li>. Reducir el consumo de energía.</li> </ul>
<b>Descripción</b>	<p>El ventilador de tiro forzado provee el aire de combustión a la caldera de recuperación. La regulación de presión en el ducto principal se hacía a través de un damper para la restricción del flujo de aire, mientras que el motor se mantenía a velocidad nominal de 1430 rpm tomando una potencia de 205 kW. Con la instalación del variador de frecuencia ABB se logró controlar la presión variando la velocidad del motor, eliminando el damper de restricción. La velocidad se redujo a un promedio de 1250 rpm tomando una potencia de 168 kW.</p> <p>La reducción de potencia promedio fue de 47 kW, lo que representa un 20 % menos de energía consumida.</p>
<b>Plazo de ejecución</b>	1 semana
<b>Resultados</b>	<p>El ahorro de energía anual se estimó en 309.692 kWh. Dado el costo actual de la energía –según factura de julio 2023 de la EPE de \$/kWh 30.6–, se tiene un ahorro anual de AR\$ 9.476.587. Según la cotización del dólar de BNA equivalen a 25.927 U\$D. La inversión realizada fue de \$ 48.280 U\$S aproximadamente. Realizado el VAN para esta inversión, resulta que el repago se obtendría en 24 meses.</p>
<b>Información adicional</b>	<p>El uso de un variador de frecuencia ofrece ventajas adicionales al ahorro de energía, como simplificar el arranque de los motores eléctricos, reducir el mantenimiento de las instalaciones de regulación, mejorar la protección eléctrica y aumentar la interacción con un sistema de control.</p>

<sup>14</sup> La siguiente información ha sido recolectada a través de un formulario tipo encuesta distribuida entre los socios de CIMPAR, quienes desinteresadamente han publicado y dado a conocer sus datos. Los mismos han sido brindados a través de su consentimiento y el único objetivo que tienen es dotar al documento de experiencias y casos de éxitos concretos y reales. La información aquí presentada ha sido evaluada y revisada a efectos de redacción únicamente. Si Ud y/o la organización tiene la intención de presentar otros casos para la próxima edición de este documento, puede dirigirse vía correo electrónico a las casillas indicadas al final de este escrito.

<b>Empresa</b>	Celulosa Argentina S.A.
<b>Rubro</b>	Fabricación de pasta celulósica y papel
<b>Localidad</b>	Capitán Bermúdez
<b>Nos comparte el caso</b>	Hector E. Srebot, Asesor en Energías e Ingeniería Eléctrica de la dirección
<b>Título</b>	Reemplazo de motores comunes IE1 por motores de alta eficiencia IE3
<b>Objetivo de la mejora</b>	Reducir el consumo de energía reemplazando los motores actuales clase IE1 por motores clase IE3.
<b>Descripción</b>	<p>La planta funciona las 24 h, parando solo por mantenimiento, contabilizando 340 días de marcha por año. El principal consumo de energía lo realizan los motores eléctricos de variadas potencias que van de 1 a 1200 HP.</p> <p>Para realizar un cambio gradual de los motores actuales en servicio por otros de alta eficiencia, se modificó la especificación para la compra de motores de más de 60 HP. En la nueva descripción se especificó que deberán ser clase IE3. El reemplazo se realizará en forma gradual según vayan saliendo de servicio los motores actuales IE1.</p> <p>Además, se solicitarán motores clase IE3 en las especificaciones para nuevas plantas o equipos.</p>
<b>Plazo de ejecución</b>	Recomendación recién adoptada.
<b>Resultados</b>	La inversión aproximada es de un precio superior en un 25 % al de un motor común IE1 (para la misma potencia). Realizando el VAN para esta inversión, resulta que el repago se obtendría en 20 meses.
<b>Información adicional</b>	El uso de motores de clase IE3 ofrece ventajas adicionales al ahorro de energía, como es el aumento de su vida útil por la alta calidad de los materiales para su fabricación.

<b>Empresa</b>	ArcelorMittal Acindar
<b>Rubro</b>	Metalúrgico
<b>Localidad</b>	Villa Constitución
<b>Nos comparte el caso</b>	Ricardo Reartes, Gerente de Área de Energía Fluidos e Intendencia en Otras Localizaciones
<b>Título</b>	Eficiencia Energética en Áreas No Operativas
<b>Objetivo de la mejora</b>	<p>Creamos el Programa de Eficiencia Energética buscando reducir la potencia instalada y, por consecuencia, el consumo de energía en las diferentes localizaciones de Acindar mediante la implementación de acciones concretas con un sistema de gestión y concientización de todo el personal, produciendo más con menos energía</p> <p>La idea surgió buscando optimizar el consumo de energía en las áreas nooperativas de Acindar .</p> <p>La Eficiencia Energética es el uso eficiente de la energía, de manera de optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía</p>
<b>Descripción</b>	<p>El equipo de trabajo fue integrado por diferentes áreas de Acindar en todas las localizaciones con un gran entusiasmo y espíritu de avance usando metodología, estudios y mediciones impactando en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. Cambios de luminarias LED en naves, parques y depósitos.</li> <li>. Control de horarios de los edificios y su potencia asociada.</li> <li>. Control del uso de la potencia en uso en las oficinas.</li> <li>. Cambios de correas por aquellas de mejor prestación.</li> <li>. Controles en Torres de Enfriamiento.</li> <li>. Optimizaciones en compresores.</li> <li>. Incorporación de sensores de iluminación en Baño.</li> <li>. Instalación de luminarias LED en cocheras con sensores.</li> <li>. Control del uso de los equipos de acondicionamiento de aire.</li> <li>. Optimización de transformadores.</li> </ul>
<b>Plazo de ejecución</b>	1.5 años
<b>Resultados</b>	Los resultados medidos a través de KPI recurrentes traccionan y tienen valor medido de 1.5 % del total del consumo de la compañía, lo que equivale a unaproximado de 20540 MWh/año.
<b>Información adicional</b>	Es de gran motivación para la compañía y hoy está en el ADN el continuar y fomentar la Eficiencia Energética, ser sostenibles sumando a la Transición Energética y traccionando la reducción de la huella de carbono.

<b>Empresa</b>	Pampa Energía S.A.
<b>Rubro</b>	Petroquímico
<b>Localidad</b>	Puerto General San Martín
<b>Nos comparte el caso</b>	Fabian Bensi, Jefe del Departamento Eléctrico, y Diego Serenelli, Jefe de Higiene, Seguridad y Medioambiente
<b>Título</b>	Optimización del consumo energético de la planta
<b>Objetivo de la mejora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Lograr ahorros energéticos.</li> <li>. Disminuir el mantenimiento de las máquinas asociadas.</li> <li>. Diseñar una estrategia de control/optimización (automático) sobre el proceso/sistema de utilización de la bomba.</li> <li>. Eliminar el riesgo ergonómico (por apertura y cierre de válvulas).</li> </ul>
<b>Descripción</b>	<p>En la actualidad, el control del caudal de suministro de agua a planta (bombeo desde el Río Paraná) se realiza mediante la operación de válvulas que restringen el paso de la misma por la cañería siendo que las bombas trabajan a régimen constante y por consiguiente consumo eléctrico «nominal».</p> <p>Se colocarán variadores de velocidad en los motores de las bombas de toma de agua de río, donde se busca a partir de estos equipos obtener un control acorde con la necesidad. En planta tenemos diferentes consumos de agua (red de incendio, clarificada y filtrada (sanitarios), para procesos (por ejemplo: enfriamiento), para calderas, para la comunidad, entre otros) que fluctúan en función del consumo.</p>
<b>Plazo de ejecución</b>	180 días
<b>Resultados</b>	Se prevé un ahorro aproximado del 65 % del consumo actual correspondiente (312 MWh/año)

<b>Empresa</b>	Pampa Energía S.A.
<b>Rubro</b>	Petroquímico
<b>Localidad</b>	Puerto General San Martín
<b>Nos comparte el caso</b>	Fabian Bensi, Jefe del Departamento Eléctrico, y Diego Serenelli, Jefe de Higiene, Seguridad y Medioambiente
<b>Título</b>	Tomacorrientes temporizadores para dispensers de agua
<b>Objetivo de la mejora</b>	Eliminar el consumo no útil de equipos que quedan encendidos fuera del horario de trabajo
<b>Descripción</b>	<p>Los dispensers de agua potable fría y caliente dispuestos en nuestros lugares de trabajo se encuentran conectados a la red eléctrica de manera permanente haciendo que mantengan las condiciones de temperaturas de sus reservorios durante las 24 h los 365 días del año siendo que el personal que hace uso de ellos tiene un régimen de trabajo de 8 horas de lunes a viernes</p> <p>Se persigue instalar tomacorrientes temporizadores horarios en los lugares donde están conectados los dispensers de agua (fría/caliente).</p>
<b>Plazo de ejecución</b>	180 días
<b>Resultados</b>	Por dispenser se estima un ahorro de un 66 % (contemplando jornadas de 8 horas de trabajo). Cada dispenser consume entre 80 y 100 kWh al mes. En planta contamos con aproximadamente 125 dispenser, lo que supone un ahorro estimado de más de 7000 kWh/mes.

## 09.SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA SEGÚN ISO 50001. CARACTERÍSTICAS

Para mejorar el desempeño energético, desde 2011 ISO dispone de un estándar, ISO 50001, que propone un modelo de sistema de gestión de la energía en sintonía con lo anterior. La norma vigente es la edición ISO 50001:2018, que plantea los requisitos de un sistema de gestión de la energía basado en el círculo de Deming (P-H-V-A) [19].



Ilustración 19: Ciclo P-H-V-A de un SGen según ISO 50001 [19]

Un Sistema de Gestión de la energía (abreviado como SGen) es un «sistema de gestión para establecer una política energética, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para alcanzar los objetivos y las metas energéticas» [19]. El círculo de Deming aplicado a un SGen consiste en Planificar (capítulo 6) – Hacer (Apoyo y Operación, capítulos 7 y 8) – Verificar (capítulo 9) – Actuar (capítulo 10); todo ello soportado por el pilar de Liderazgo (capítulo 5) aplicado en una organización que tiene un contexto definido y partes interesadas identificadas (capítulo 4).

Esta estructura es compartida por todas las normas de sistemas de gestión desde 2015, tales como ISO 9001 e ISO 14001, facilitando enormemente la integración de



documentos y evitando el doble trabajo. Las organizaciones que ya tengan implementado alguna de estas dos últimas normas ya tienen gran parte del recorrido hecho para integrar ISO 50001.

El tiempo de implementación total varía según el compromiso de la alta dirección, pero suele ubicarse entre diez y doce meses pues involucra planes de acción, recopilación de datos, oportunidades de mejora, construcción de líneas de base e indicadores, entre los principales aspectos técnicos.

La aplicación de este estándar no es exclusiva del sector industrial, sin embargo, es quien más lo ha capitalizado. De igual manera, aplica a todo tipo de organización. Si bien son las grandes industrias quienes más lo han aplicado en Argentina, existen casos de éxito en PyMEs. Los ahorros obtenidos se ubican en el orden del 5 al 20 %.

## 10. ¿Y SI APLICAMOS ESTAS MEDIDAS DE MANERA COLECTIVA? LAS REDES DE APRENDIZAJE. CARACTERÍSTICAS

A lo largo de esta guía se ha visibilizado un contenido con bastante carga técnica. Además, en las PyMEs, la realidad indica que los profesionales y/o cuadros técnicos que trabajan en ellas tienen múltiples funciones, lo que dificulta una aplicación de la eficiencia energética de manera sostenida y adecuadamente gestionada. Si bien no se requiere mucha inversión financiera al inicio, sí se puede necesitar una buena cantidad de recursos en cuanto a dedicación profesional.

Esta situación tampoco es ajena a las grandes industrias, no obstante, es altamente probable que puedan disponer de perfiles dedicados enteramente a la función energética.

«¿Cuánta energía hubiéramos ahorrado de haber empezado hace X tiempo?» A veces nos preguntamos esto, pero es sólo una parte de la situación, porque debemos preguntarnos también qué otras cosas deberíamos haber postergado dado que los recursos son finitos.

En este escenario, comenzó a desarrollarse el concepto de «redes de aprendizaje en gestión de la energía» en Europa hace ya unos diez años. El Proyecto de Eficiencia Energética trajo, como una de sus principales iniciativas en el sector industrial, la implementación de seis redes, siendo la primera la desarrollada en la provincia de Santa Fe entre octubre de 2018 y noviembre de 2019, con posibilidades de continuación.

«Una Red de Aprendizaje es una metodología que implica un espacio de colaboración donde se reúnen diferentes actores que persiguen un objetivo común, valiéndose para lograrlo, del intercambio de experiencias, así como del acompañamiento técnico brindado por expertos en la materia.

Las Redes de Aprendizaje de Eficiencia Energética o de Sistemas de Gestión de la Energía, tienen por objetivo mejorar el desempeño energético de las organizaciones participantes, acompañándolas en la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía.

Las mismas están conformadas por 10 a 12 empresas que analizan su desempeño energético compartiendo información en la red, fijan una meta conjunta con base en los potenciales de mejora identificados y se reúnen periódicamente para intercambiar experiencias, consultas, y avances en talleres.» [20] [21]

En la siguiente imagen se presentan las industrias que participaron en la edición de Santa Fe:



Ilustración 20: Participantes de la RdA de Santa Fe [17]

Esta implementación de la norma puede ser parcial y no necesariamente certificarse, sino que se adopte como mecanismo para aplicar medidas tendientes al ahorro. El objetivo más pragmático es que todas las empresas participantes puedan colaborar en la resolución de situaciones de cada una de las industrias de índole energética, apostando por el desarrollo de una solución más sencilla con aportes colectivos. Una certificación es sugerida para lograr sostener los ahorros obtenidos, entre otros aspectos positivos no cuantificables, como mejora de la imagen corporativa y cumplimiento de compromisos ambientales.

Finalmente, es posible armar una red con diferentes industrias de una región como estrategia conjunta para perseguir ahorros en materia energética.

# 11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS DIGITALES

[1] International Energy Agency, «Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer,» 02 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>. [Último acceso: 25 09 2023].

[2] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, «Cuarto Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,» 2021. [En línea]. Disponible en el siguiente enlace: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/4to\\_informe\\_bienal\\_de\\_la\\_republica\\_argentina.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/01/4to_informe_bienal_de_la_republica_argentina.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[3] GFA Consulting Group, «Medidas de eficiencia energética y barreras para su implementación en las PyMEs del sector industrial argentino,» 11 2019. [En línea]. Disponible en enlace: [https://eficienciaenergetica.net.ar/img\\_publicaciones/11261651\\_04-INFORMEDEMEDIDASYBARRERASResultadosdelosTallersdePyMEs.pdf](https://eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/11261651_04-INFORMEDEMEDIDASYBARRERASResultadosdelosTallersdePyMEs.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[4] GFA Consulting Group, «Medidas de eficiencia energética y barreras para su implementación en las Grandes Empresas del sector industrial argentino,» 11 2019. [En línea]. Available: [https://eficienciaenergetica.net.ar/img\\_publicaciones/11221414\\_03-INFORMEDEMEDIDASYBARRERASResultadosdelosTallersdeGrandesIndustrias.pdf](https://eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/11221414_03-INFORMEDEMEDIDASYBARRERASResultadosdelosTallersdeGrandesIndustrias.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[5] ex Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico, ex Ministerio de Energía y Minería de la Nación, «Balance Energético Nacional - Documento Metodológico,» 2015. [En línea]. Available: [https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion\\_del\\_mercado/publicaciones/energia\\_en\\_gral/balances\\_2016/documento-metodologico-balance-energetico-nacional-final-2015.pdf](https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balances_2016/documento-metodologico-balance-energetico-nacional-final-2015.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[6] Subsecretaría de Planeamiento Energético, Secretaría de Energía de la Nación, «Balance Energético Nacional 2022,» 2023. [En línea]. Disponible en el siguiente enlace: [https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion\\_del\\_mercado/publicaciones/energia\\_en\\_gral/balances\\_2022/balance\\_2022\\_V0\\_horizontal.xlsx](https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/energia_en_gral/balances_2022/balance_2022_V0_horizontal.xlsx). [Último acceso: 25 09 2023].

[7] GFA Consulting Group, «Capacitaciones Virtuales Taller 2: Herramientas de Análisis Energéticos,» Proyecto Eficiencia Energética en Argentina, 10 06 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=QBCysCAsVKE>. [Último acceso: 25 09 2023].

[8] ex Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética de la Nación, ex Ministerio de Energía y Minería de la Nación, «Guía de Eficiencia Energética para Motores Eléctricos,» 11 2017. [En línea]. Disponible en el siguiente enlace: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia\\_de\\_eficiencia\\_energetica\\_para\\_motores\\_electricos.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_eficiencia_energetica_para_motores_electricos.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[9] Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe, «CUADRO TARIFARIO COMPLETO MENSUAL PARA TARIFA 2 - GRANDES DEMANDAS,» 08 2023. [En línea]. Available: [https://www.epe.santafe.gov.ar/fileadmin/archivos/Comercial/Grandes\\_Clientes/Cuadro\\_Tarifario\\_Agosto\\_T2\\_2023.PDF](https://www.epe.santafe.gov.ar/fileadmin/archivos/Comercial/Grandes_Clientes/Cuadro_Tarifario_Agosto_T2_2023.PDF). [Último acceso: 25 09 2023].

[10] ex Secretaría de Estado de la Energía de Santa Fe, «Programa «Gestores Energéticos en la



Industria»,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.santafe.gob.ar/ms/eficienciaenergetica/programa-industrias/gestores-energeticos/>. [Último acceso: 25 09 2023].

[11] Compressed Air and Gas Institute, «RESOURCE LIBRARY,» [En línea]. Available: <https://www.cagi.org/resource-library#education-resources>. [Último acceso: 25 09 2023].

[12] E. Colombrero, «Introducción al Aire Comprimido y estudio de redes de aire,» 13 06 2013. [En línea]. Available: <https://tecnicayateismo.wordpress.com/>. [Último acceso: 25 09 2023].

[13] Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía, «Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor,» 2020. [En línea]. Disponible en el siguiente enlace: [https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img\\_publicaciones/05221623\\_GuiaSistemasdevaporFIN\\_AL.pdf](https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/05221623_GuiaSistemasdevaporFIN_AL.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[14] Spirax Sarco, «SteamFlix,» 2020. [En línea]. Disponible en el siguiente enlace: <https://marketingsxs.wixsite.com/spiraxsarco-ondemand/descargas>. [Último acceso: 25 09 2023].

[15] UNIDO's Industrial Energy Accelerator, «Industrial Energy Accelerator/Resources/Brochure,» UNIDO, [En línea]. Disponible en el siguiente enlace: [https://www.industrialenergyaccelerator.org/area-of-work/energy-efficiency/?resource\\_tag=brochure&iea-posts=resources](https://www.industrialenergyaccelerator.org/area-of-work/energy-efficiency/?resource_tag=brochure&iea-posts=resources). [Último acceso: 25 09 2023].

[16] Y. Cengel, M. Boles y M. Kanoglu, Termodinámica, McGraw Hill, 2019.

[17] USAID, «Guía de prácticas de eficiencia energética en los sistemas de refrigeración industrial,» 07 2011. [En línea]. Available: [http://cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/docu\\_tecnicos/OTROS/Guia\\_de\\_practica\\_de\\_EE\\_en\\_sistemas\\_de\\_refrigeracion\\_a\\_iso\\_8859\\_1\\_Q\\_in\\_dustrial.pdf](http://cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/docu_tecnicos/OTROS/Guia_de_practica_de_EE_en_sistemas_de_refrigeracion_a_iso_8859_1_Q_in_dustrial.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[18] Secretaría de Energía de la Nación, «Etiquetado en Eficiencia Energética,» [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/etiquetado-en-eficiencia-energetica>. [Último acceso: 25 09 2023].

[19] ISO, «IRAM-ISO 50001:2018 «Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso»». 04 07 2019.

[20] ex Dirección de Eficiencia Energética en Sectores Productivos y Transporte, ex Secretaría de Gobierno de la Energía de la Nación, «Redes de Aprendizaje en Eficiencia Energética (RdA),» 2019. [En línea]. Available: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/folleto\\_informativo-rda.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/folleto_informativo-rda.pdf). [Último acceso: 25 09 2023].

[21] GFA Consulting Group, «Redes de aprendizaje,» 2021. [En línea]. Available: [https://eficienciaenergetica.net.ar/industria\\_redes\\_de\\_aprendizaje.php](https://eficienciaenergetica.net.ar/industria_redes_de_aprendizaje.php). [Último acceso: 25 09 2023].



NOVIEMBRE DE 2023

