



Ingeniero mecánico
especialista en
termofluidos.

El mito del ahorro de energía. Energía, fuentes y entropía

Juan C. Torchia-Núñez



Se lee, se habla y se escucha mucho sobre el problema energético que padece la inmensa mayoría de los países para satisfacer las necesidades de su población y lograr el desarrollo económico. Pero se reflexiona muy poco. Se trata de un problema de dimensiones extraordinarias que abarca los ámbitos económico, político, social, ambiental, científico y también el casi siempre olvidado ámbito ingenieril. Es imposible que la discusión se sostenga desde un solo punto de vista. No es fácil hablar del ahorro de energía, debido a la extensión del tema, a los detalles de cada ámbito y a la inclinación personal o intereses sobre los cuales basamos la mayoría de nuestras opiniones y su defensa.

Para situar en un contexto formal el tema principal de este artículo, que es el ahorro de energía, este documento se compone de dos partes. En la primera, sobre energía y entropía, se aborda los principios fundamentales de la termodinámica, procurando con ello evitar la muy frecuente discusión con términos que no se entienden perfectamente y, sin embargo, se utilizan hasta la saciedad muchas veces equivocadamente. En la segunda parte, sobre fuentes



Volver al índice

de energía, se discute propiamente los aspectos prácticos del ahorro de energía y su ubicación dentro de los diferentes tipos de industria, sin evitar las consecuencias ambientales que su desarrollo plantea.

* * * * *

En termodinámica existen cuatro leyes. Las que nos interesan son la primera y la segunda. La primera define la energía. La energía es una propiedad de todas las sustancias con la capacidad de transformarse en varias formas: cinética, potencial, química, magnética, etc. Es ciertamente complicado definir en general la energía, debido a que se trata de una propiedad que está involucrada en todos los procesos, todos.

Cualquier proceso que ocurra en este universo es una transformación de energía de una forma a otra, sin excepción. Cuando usted se alimenta, existe una transformación de la energía química que tienen los alimentos en formas de energía que usted aprovecha en varias funciones vitales, como mantener la temperatura de su cuerpo dentro de ciertos límites, mover su cuerpo a través del espacio (subir escaleras, cargar bultos, etc.) y enviar señales eléctricas al cerebro, entre muchas otras. Cuando usted habla, aprovecha esa energía de los alimentos para hacer vibrar las cuerdas vocales, que producen una perturbación que llamamos sonido, que se transporta a través del aire y llega hasta nuestros tímpanos. Los tímpanos reciben la energía contenida en la

onda sonora y vibran a su vez. La vibración es convertida a una forma de energía que nuestro cerebro recibe y puede interpretar como la voz de una persona. Todo es una transformación de energía.

Una de las consecuencias más importantes que se extraen de la primera ley es el principio de conservación de la energía, que prohíbe que se obtenga más energía a partir de una cierta cantidad suministrada. La plancha doméstica recibe electricidad y mediante el efecto de Joule se calienta la base de acero. Si la plancha se calentara sin estar conectada a la red eléctrica ocurriría una violación a la ley de conservación de la energía (acompañada de un enorme susto). Igualmente, es impensable que un vaso de agua se congele sin que exista algo en los alrededores que le extraiga suficiente energía para provocar este cambio de fase. La conservación de la energía es un simple ejercicio de contabilidad, donde se suma lo que entra y se resta lo que sale. El resultado puede ser un aumento o una pérdida de energía, como una caja registradora que, cuando se le introduce o retira efectivo, aumenta o disminuye su capital. Si se quiere ver de otra manera, la conservación de la energía es una especie de relación entre causas y efectos. Es imposible calentar el agua de la ducha (efecto) si no existe un suministro de energía suficiente (causa) para lograrlo, como lo es el calentador eléctrico.

La segunda ley de la termodinámica establece que es imposible que ocurran ciertos procesos o transformaciones de energía de determinada manera. Por

ejemplo, si un café olvidado en la mesa de la cocina se enfría, lo que ha ocurrido es que una cierta cantidad de calor ha sido transferida desde el café al aire alrededor de la taza. Como consecuencia disminuye la temperatura del café y aumenta la temperatura del aire en la cocina (que no se percibe fácilmente porque la cantidad de



aire es muy alta). Este fenómeno es completamente natural y cotidiano. Sin embargo, jamás ha ocurrido lo contrario: que un café se caliente, *espontáneamente*, bajando la temperatura del aire en la cocina.

Hay que ser cuidadosos con lo que se menciona aquí. Un café *sí* se puede calentar con el enfriamiento de otra sustancia,

digamos el aire en la cocina. Las máquinas que realizan este calentamiento se llaman bombas de calor, pero estas máquinas necesitan que gastemos energía en ellas. Lo que queremos decir es que, *espontáneamente*, sin máquinas de por medio, un café tibio o a la misma temperatura que sus alrededores no podrá recibir jamás ni una pizca de calor proveniente del aire de la cocina. Esta prohibición es una consecuencia directa de la segunda ley.

La entropía es una medida de la dispersión de la energía. A los físicos y químicos les gusta hablar de orden y desorden de las partículas, pero como ingeniero siempre me ha resultado muy incómodo utilizar esas palabras, ya que no concebimos nuestros objetos de estudio en las mismas escalas geométricas ni utilizamos las mismas herramientas para estudiarlos.

Para ilustrar lo que es la entropía debemos

tomar en cuenta que la energía es una magnitud que posee tanto cantidad como calidad. La energía que hay en un litro de combustible la medimos intuitivamente en kilómetros recorridos por el vehículo. La energía que proporciona una buena comida sabemos que nos mantiene en buen estado durante unas horas. En general,

tenemos nociones intuitivas sobre lo que es la cantidad de energía y las utilizamos en nuestra vida cotidiana. Pero, además, es necesario reconocer que la energía también posee calidad.

Imagine un recipiente rígido, perfectamente sellado y aislado, en cuyo interior hay una mezcla de aire y gasolina. Si producimos una descarga eléctrica dentro del tanque, se presentará una reacción química que conocemos como combustión. Es el mismo proceso que ocurre muchas veces por minuto en los motores de los automóviles. Al final de este proceso tenemos un tanque lleno de humo o gases producto de la combustión. Antes y después de la combustión la energía que posee el tanque es la misma, porque no puede escapar como calor (aislado) y no puede realizar trabajo sobre las paredes del tanque (rígido). Ahora, si deseamos mover un automóvil le inyectamos aire y gasolina a los cilindros del motor, cosa bastante obvia. Pero ¿por qué no mejor introducimos el humo que sale del escape directamente en los cilindros? Pensará el lector que esto es ridículo pero, en realidad, tanto el humo como la mezcla de aire y gasolina poseen la misma energía como mencionamos anteriormente. Si introducimos el humo dentro de los cilindros, lo que ocurrirá

es que el automóvil avanzará unos metros antes de permanecer quieto. Si introducimos aire y gasolina, el automóvil puede recorrer una decena de kilómetros antes de quedar quieto. Entonces, la pregunta correcta es ¿por qué si ambas sustancias tienen la misma energía no logran realizar el mismo efecto de mover el automóvil? En primer lugar, diremos que la primera ley es incapaz de contestar esta pregunta. Para ella, el asunto energético está resuelto: en ambos casos, la cantidad de energía es la misma, por lo que el automóvil debería moverse la misma distancia.

Entonces se requiere de otra regla que explique por qué el automóvil no recorre la misma distancia con la mezcla aire-gasolina que con humo. Esta regla es la ya mencionada segunda ley y la entropía es la culpable. Cuando la energía se transforma tiende a degradarse. Hay algunas transformaciones en las que claramente hay una degradación y existen otras



transformaciones en las que la energía no se degrada. La entropía de un sistema establece cuán degradada está la energía. Entre mayor es la degradación, mayor la entropía. El automóvil que utiliza humo en sus cilindros está utilizando energía degradada, de alta entropía, mientras que si el automóvil emplea aire-gasolina la energía se encuentra concentrada en los enlaces químicos del combustible. Entre más concentrada se encuentre la energía menor es su valor de entropía y mayor calidad posee.

La palabra degradación en nuestro contexto significa dispersión o liberación. Hay sistemas donde la energía está dispersa, es decir, posee entropía alta, mientras que en otros sistemas se encuentra concentrada, es decir, su entropía es baja. Dependiendo de ciertas condiciones, un vaso con agua posee un valor medio de entropía. Si tuviéramos un cubo de hielo, la entropía sería menor; en el caso de tener un vaso únicamente con vapor, la entropía sería mayor. Es decir, la manera en las que están colocadas las partículas dentro del cuerpo establece, en líneas generales, si se encuentra dispersa la energía o no: el valor de su entropía. Es importante decir que la calidad de la energía, sea que esté dispersa o concentrada, no modifica la cantidad de energía. Pensemos que una sustancia tiene 100 unidades de energía. Si la energía está concentrada o liberada, sigue teniendo las mismas 100 unidades. Podríamos utilizar toda nuestra vida la primera ley contando unidades de energía sin saber

que existe un elemento adicional de enorme importancia que es la calidad de energía. Las consecuencias de la existencia de la entropía son en extremo relevantes. Introduce una jerarquía dentro de las formas de energía y de las transformaciones entre ellas.

No explicaremos todos los aspectos de esta jerarquía dictada por la entropía, sino que iremos directamente al sentido que tiene esta discusión sobre el ahorro de energía. La mayoría de los combustibles que utiliza el ser humano para el transporte de vehículos marítimos, aéreos y terrestres, producción de electricidad, sistemas de calefacción, refrigeración y aire acondicionado, son fuentes de energía de baja entropía, y alta calidad porque su energía se encuentra concentrada. Una vez que se libera la energía, el combustible pierde en cierto grado la capacidad de desarrollar su tarea.

El problema energético no existe. Existe un problema de fuentes de energía concentrada, de alta calidad o baja entropía. Los países invierten gran parte de su riqueza en la obtención y uso de fuentes de energía de baja entropía, ya que no les interesan aquellas fuentes de energía de alta entropía como, digamos, el océano. El océano es un sistema que posee enormes cantidades de energía, ¿por qué no aprovecharla? Hay varias razones, algunas de carácter técnico que son difíciles de solucionar (ambiente hostil para los materiales, variabilidad de condiciones climáticas, etc.), pero la más importante es que se trata de una fuente cuya energía se encuentra dispersa. Se requieren grandes

cantidades de agua del océano para poder producir un efecto útil, digamos electricidad, en comparación con la cantidad de petróleo para el mismo efecto.

La alta entropía tiene como consecuencia que sea imposible extraerle el suficiente jugo a una fuente de energía para lograr un movimiento mecánico o una corriente eléctrica, pero no porque esa fuente carezca de energía, sino porque carece de calidad energética. Entonces, lo correcto es hablar de *ahorro de calidad energética*.

* * * * *

Dentro del panorama energético mundial el hombre cuenta con un abanico relativamente amplio de fuentes de energía para satisfacer su demanda energética: petróleo, carbón, gas natural, biomasa, uranio, saltos de agua, velocidad del viento, energía solar, mareas y energía geotérmica, entre otras.

La demanda de energía en el planeta aumenta cada año y no parece que eso vaya a cambiar en las siguientes décadas, a pesar de las preocupaciones por el cambio climático y la escasez de fuentes de energía cuya obtención sea viable económicamente. Cada vez existe más interés en establecer medidas que limiten las emisiones contaminantes y el uso creciente de combustibles fósiles y físi-les. Sin embargo, en sentido opuesto se encuentran algunos países con sus poderosas empresas y los grandes consumidores que no están dispuestos a limitar su producción ni crecimiento económico.

De manera que nos encontramos frente a un panorama preocupante por el conflicto desatado entre dos fuerzas notablemente opuestas: el concepto moderno de desarrollo que la humanidad parece exigir y el creciente cuidado por las condiciones a las cuales hemos sometido a nuestro ambiente cada vez más afectado por las actividades humanas.

Existe desconocimiento y desinterés respecto de los conceptos energía y entropía por parte de los actores involucrados en la problemática energética, desde las compañías dedicadas al ramo de la energía hasta los mismos consumidores o usuarios finales. La consecuencia de ese desconocimiento es que se hable de ahorro de energía siempre desde un punto de vista limitado e incluso equivocado. La discusión debería centrarse directamente en la entropía que poseen las fuentes de energía.

En la primera parte de este artículo vimos que la energía es una propiedad que permanece constante en cualquier tipo de proceso. El hablar de ahorro de algo que permanece constante es un sinsentido. ¿Cómo se puede consumir algo que permanecerá constante antes y después del consumo? Obviamente, se requiere una manera distinta de enfrentar el problema energético. El problema energético es real, más allá de si se nombra de manera inadecuada el fenómeno. Evidentemente, el primer paso para abordar un problema es definirlo correctamente y las frases “ahorro de energía” y “consumo de energía” están en contradicción con el

principio de conservación de la energía. Se debe cambiar la manera de pensar sobre lo que es en realidad el problema de satisfacer la demanda energética y suministrar electricidad, refrigeración o grandes cantidades de calor. El problema global de la energía en realidad es el problema de las fuentes de energía de baja entropía.

Alrededor del mundo existe un gran número de compañías, consultoras, desarrolladoras de tecnología y distribuidoras de equipo industrial que colocan en sus nombres la palabra “energía” reflejando el giro de la empresa, el ámbito de trabajo o sus capacidades laborales. Sin embargo, colocar las palabras “masa” o “momentum” en sus nombres o propaganda tendría el mismo sentido, ya que también son propiedades que tienen asociado un principio universal de conservación. La mayoría de las compañías que trabajan en el ramo de la energía tienen un concepto utilitario de lo que esta significa. Sus propios intereses o los de sus clientes giran alrededor de la solución de problemas que faciliten la extracción, la producción, el uso, el almacenamiento, el transporte, el consumo y, a veces, la eliminación de residuos de las fuentes de energía siempre que impliquen un beneficio económico. Seamos

claros, las empresas adoptan el ahorro de energía porque representa ahorro de dinero. Es desafortunado que las decisiones importantes relacionadas con la energía no sean, en las empresas privadas y públicas, tomadas por expertos en ella.

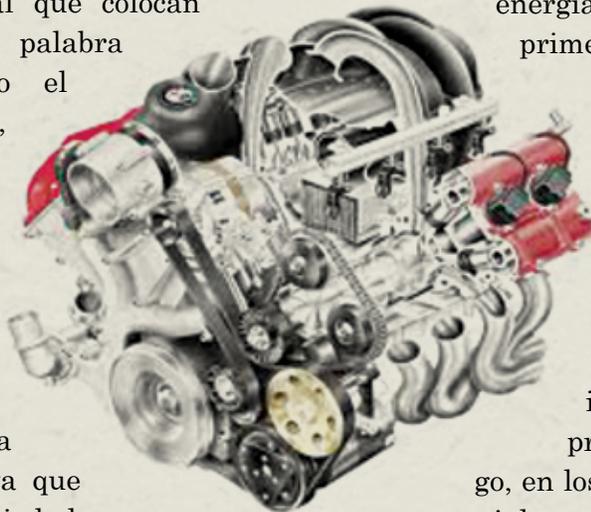
En los ámbitos industrial, residencial y comercial el ahorro de energía se refiere a dos prácticas muy concretas: (1) mantener los equipos y las instalaciones sin consumo cuando sea posible y (2) reducir al máximo las pérdidas de energía de los equipos. La

primera práctica no tiene demasiada utilidad. Básicamente significa

apagar los equipos, la iluminación, el transporte, etc.

En caso de hacer frecuente esta práctica, dentro del campo industrial no existiría producción. Sin embar-

go, en los campos residencial y comercial se puede obtener ahorros significativos en los costos de consumo cuando se desconectan de la corriente eléctrica los aparatos electrodomésticos y de iluminación cuando no son necesarios. En este sentido, el ahorro de energía existe cuando no se consume ningún combustible. Si se cierran por completo las bombas de gasolina del país, se habrá ahorrado energía. Si se apagan las luces de todas las casas y habitaciones de una ciudad, se ahorrará evidentemente energía. Sin embargo, no es este un ahorro



que sea útil; es más bien un ahorro de carácter trivial que nos conduciría a un escenario energético similar al de la Edad Media. La segunda práctica es parte de un procedimiento fundamental en la industria aunque algo menos importante en el ámbito comercial y residencial debido a que las temperaturas, presiones y cantidades de energía consumidas en los dispositivos y equipos son menores. El aislamiento térmico de las líneas de vapor, turbinas de gas, motores de combustión interna, intercambiadores de calor, digestores, equipos de refrigeración y todos los sistemas que disipan calor es parte esencial de los balances financieros de las empresas relacionadas con la energía. El aislamiento térmico influye en el logro de altas eficiencias y, en consecuencia, en la disminución de los costos de energía. En palabras simples, la segunda práctica es tapar todas las fugas de calor.

Sin embargo, existen excepciones de carácter práctico. Si usted cubre perfectamente el motor de su automóvil para ahorrar lo más posible la energía del combustible, se sobrecalentará y en poco tiempo podría llegar incluso a derretirse. El sistema de enfriamiento está diseñado precisamente para que existan fugas de calor y

mantener el metal dentro de condiciones de trabajo adecuadas; pero si existiera un material que soportara muy altas temperaturas con las cuales pudiéramos fabricar las partes del motor, no habría necesidad de enfriarlo. Lo mismo ocurre con los motores eléctricos que se calientan cuando fluye una corriente eléctrica a través del embobinado. El calentamiento es una consecuencia desfavorable pero imposible de evitar por completo, de manera que el enfriamiento del equipo va en contra de la segunda práctica y, sin embargo, es necesario para la vida útil del equipo.

Estos son, a muy grandes rasgos, los pasos para el mejoramiento de la eficiencia energética en cualquier nivel de la industria energética. Hagamos una analogía con un negocio que vende jugo de naranja. Para ahorrar materia prima (naranjas), seguimos las dos anteriores prácticas. La primera dice que para ahorrar naranjas no hay que hacer jugo. La segunda dice que no deben existir pérdidas de jugo.



En resumen, esta es la manera en la que se suele tratar el ahorro de energía: que no se produzca y que no se pierda. Esta manera de enfocar el ahorro es limitada y aquí es cuando la segunda ley de la termodinámica plantea un nuevo acercamiento a la problemática. Ella establece que la mejor manera de transformar la energía es de manera *reversible*. No vamos a explicar el término pero diremos que entre menos reversible sea la transformación de energía mayor es la entropía y, por lo tanto, menor es la calidad de energía después de esta transformación. Así que, sin entrar en tecnicismos, estamos obligados a transformar la energía, no hay escapatoria si es que queremos electricidad en casa y automóviles en las calles. La mejor manera de transformar la energía es diseñando dispositivos, equipos, sistemas y configuraciones en las que la energía se logre transformar reduciendo lo *menos posible* su calidad.

En términos del ejemplo del jugo de naranja, necesitamos diseñar exprimidores de naranja que extraigan lo más y lo mejor posible la pulpa de la fruta para tener un jugo de mejor calidad, pero esto no lo sabríamos si no supiéramos que existe la entropía y que la energía posee calidad.

Las empresas fabricantes de motores invierten una enorme cantidad de recursos en diseñar la mejor forma de introducir el combustible en el cilindro, o la mejor forma de la cabeza del pistón, con el fin de extraer lo más posible la energía de baja entropía que posee la mezcla aire-combustible. La empresa necesita que

la transformación de energía química del combustible en energía mecánica sea lo mejor posible y lo mejor posible significa que el pistón se mueva lo más posible.

Las empresas que fabrican turbinas de vapor, por ejemplo, diseñan los álabes de las turbinas de manera que el vapor suministrado no produzca demasiada fricción con los álabes. Aquí se quiere transformar la energía del vapor en movimiento rotatorio en la flecha de la turbina, y la mejor manera de hacerlo es evitando que aumente la entropía de la sustancia y, en consecuencia, logrando la mayor calidad de la energía del vapor. Entre más fricción exista, peor transformación se presenta y mayor entropía se produce. El diseño de estas máquinas se basa en la reducción de entropía en la transformación. No se basa en evitar usar vapor o en disminuir las pérdidas de calor al ambiente. Se basa en optimizar el aprovechamiento de la energía de alta calidad.

Cambiamos el chip del convencional “ahorro de energía” y tomemos otro rumbo como consumidores o productores de energía. Debemos exigir suficiente información para poder decidir correctamente sobre la manera en que se produce nuestra electricidad, el tipo de automóvil que usamos y los productos que compramos. Hay que pensar en términos de la entropía y no únicamente de energía.