



Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Industrial
Universidad de Salamanca



TECNOLOGÍA ENERGÉTICA
ASIGNATURA DEL MÁSTER UNIVERSITARIO
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA 4
Estrategias de auditoría energética

APUNTES Y MATERIALES PARA SEGUIR LA ASIGNATURA

Prof. Norberto Redondo Melchor
Ingeniero Industrial
Doctor por la Universidad de Salamanca

1	Auditoría energética	1
1.1	Definición y contenidos.....	1
1.2	Análisis que son frecuentes en la práctica	1
2	Ejemplo de auditoría.....	3
3	UNE-EN-ISO 50001 Sistemas de gestión de la energía	6
3.1	Estudios comparativos de eficiencia energética.....	6
3.2	Servicios energéticos.....	7

1 AUDITORÍA ENERGÉTICA

1.1 Definición y contenidos

Una auditoría energética es un análisis técnico y económico que trata de indentificar cómo reducir el despilfarro de energía a un coste razonable.

- Una auditoría energética comienza por un análisis exhaustivo del consumo de energía en una instalación.
- Después exige que el auditor busque motivos de ineficiencia en dicho consumo y,
- Finalmente requiere que proponga medidas de mejora, indicando su coste de implantación y el ahorro esperado. Es interesante acompañar cada medida con una estimación de su plazo de amortización.
- La auditoría termina con la elaboración de un informe de resultados, donde aparezcan de forma resumida:
 - Los análisis efectuados.
 - Las ineficiencias detectadas.
 - Las medidas de mejora.
 - La valoración del coste de implantación frente al ahorro esperado.
 - Unas conclusiones en las que el auditor recomiende las líneas de actuación con indicación de los plazos de amortización.

En España hay regulación sobre las auditorías. Puede consultarse el Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, *relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía* [BOE 38, 13 de febrero de 2016].

1.2 Análisis que son frecuentes en la práctica

En función del tipo de energía cuyo despilfarro trata de identificarse o cuyo aprovechamiento se quiere conseguir, se pueden efectuar estos análisis técnico - económicos:

- Energía eléctrica:
 - En cualquier instalación existente siempre es posible identificar el *desequilibrio* de intensidades detectado y el *desfase* entre tensiones e intensidades (factor de potencia). En menor medida resulta interesante reducir también el grado de *deformación* de las ondas de tensión e intensidad y, finalmente, buscar la forma de *distribuir* mejor en el tiempo la demanda de energía, es decir, disminuir la demanda de potencia.
 - En fase de diseño de instalaciones nuevas se deben estudiar los despilfarros de energía a que conducen diferentes configuraciones de las redes de distribución de energía eléctrica, que pueden construirse de manera realmente eficiente. Se empleará el cálculo fasorial para redes ramificadas, en una hoja de cálculo por ejemplo, que permite optimizar los resultados.
 - La luminotecnica ofrece una base teórica muy buena para optimizar los alumbrados. Se puede usar el programa Dialux para identificar medidas de ahorro comparando alumbrados existentes con nuevos alumbrados, y diferentes opciones de estos entre sí.

- El rendimiento de todas las máquinas que consumen energía eléctrica está regulado a nivel europeo. Los Reglamentos UE de "ecodiseño" prohíben la venta y la puesta en funcionamiento de aparatos que no alcancen un rendimiento mínimo tabulado. Esto es aplicable a todos los dispositivos de alumbrado, electrodomésticos, motores, transformadores y, en general, a todo receptor que consuma energía eléctrica. El cambio a aparatos de gran utilización que sean más eficientes generalmente se amortiza en plazos muy interesantes.
- Conociendo la estructura de la facturación eléctrica se puede reducir el coste del suministro mediante el ajuste de los parámetros del contrato o la redistribución de la demanda en el tiempo.
- **Energía térmica:**
 - Se debe aplicar cualquier método general para el cálculo de cargas térmicas en cualquier tipo de edificio, cumpliendo la normativa vigente. De esta manera es posible averiguar los efectos sobre el consumo de energía para climatización (calefacción y refrigeración) que tienen los cambios en la envolvente considerados.
 - En instalaciones industriales se deben aplicar los modelos teóricos de estimación de pérdidas térmicas, que están muy simplificados y son muy sencillos de usar, para cuantificar los despilfarros de energía y las posibilidades de mejora y su coste.
 - La normativa vigente en cuanto a requisitos de las envolventes de los edificios (Código Técnico de la Edificación CTE) viene acompañada de una Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC), que es son dos programas de ordenador gratuitos.
 - El primero trata de la Limitación de la Demanda enERgética (LIDER), e incluye una base de datos en la que se encuentran los coeficientes de transmisión térmica U ($W/(m^2K)$) más comúnmente usados para comparar pérdidas/ganancias de calor con unos cerramientos u otros.
 - El segundo es el programa CALENER permite incorporar a los resultados sobre la envolvente térmica del anterior las estimaciones de eficiencia de las instalaciones térmicas (calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria ACS). Con él se pueden comparar diferentes tecnologías y obtener la etiqueta energética de conjunto (edificio más instalaciones).
 - Igual que con los aparatos que consumen energía eléctrica, también hay Reglamentos UE sobre "ecodiseño" de calderas, generadores de vapor, enfriadoras, equipos de aire acondicionado y, en general, cualquiera que produzca o disipe calor. Está prohibido poner en el mercado y hacer funcionar aparatos con eficiencias menores que las tabuladas.
- **Energías renovables:**
 - El cálculo del aporte solar térmico a la producción de agua caliente sanitaria se lleva a cabo mediante el método *f-chart*, que estima el porcentaje mensual de demanda que se puede cubrir con calor solar. De esta manera se puede obtener el diseño óptimo de una instalación de este tipo.
 - Las instalaciones solares fotovoltaicas resultan sencillas de implementar y se amortizan rápidamente si el porcentaje de energía consumida en la propia instalación receptora (autoconsumo) se acerca al 100%. En algunos casos se puede obtener cierta remuneración por la energía excedentaria que se vierte a la red, pero hay que contar con autorización para hacerlo.
 - Los aprovechamientos de energía eólica son técnicamente sencillos, pero se enfrentan, en la práctica, a los inconvenientes del emplazamiento. Son especialmente interesantes los estudios de campo dirigidos a estimar correctamente el potencial energético del viento a la altura sobre el suelo de la posible turbina, teniendo en cuenta los obstáculos,

orografía y vientos dominantes de la zona.

- La energía geotérmica es adecuada para la climatización a baja temperatura, es decir, la calefacción y refrigeración por suelo radiante. Esta posibilidad es mucho más asequible de lo que parece, pues no se necesitan yacimientos termales o volcánicos para obtener la energía necesaria si se dimensionan bien los circuitos intercambiadores de calor con el terreno.
- Otras instalaciones:
 - Se pueden auditar más sistemas, como instalaciones de generación, conducción, almacenamiento y utilización de vapor, y obtener grandes ventajas por ejemplo de la sabia reconducción de los condensados de nuevo hacia la caldera, o de la mejora del aislamiento de tuberías.
 - La cogeneración de calor y energía eléctrica es posible en todas aquellas instalaciones donde haya una fuente de muy alta temperatura pero el calor se necesite a temperatura mucho menor: se puede aprovechar el salto térmico para obtener energía eléctrica, normalmente a través de turbinas y alternadores, sin perder por ello la energía a baja temperatura requerida. Esa energía eléctrica se puede autoconsumir o incluso exportar a cambio de una pequeña remuneración, si se cuenta con las autorizaciones para ello.
 - Modernamente se considera que al medir el consumo energético de forma minuciosa y descentralizada (por ejemplo, en cada uno de los cuadros eléctricos de una fábrica) se pueden detectar ineficiencias que, al eliminarse, conducen a interesantes ahorros en la facturación. Se necesita una red de medidores que aporten continuamente sus datos a un servidor informático donde programar las herramientas de análisis más o menos automático que permitan identificar esas oportunidades. De esta forma se crean los llamados *sistemas de gestión de la energía* que veremos después.
- Tecnologías inmaduras:
 - El almacenamiento de energía eléctrica en baterías está cerca de alcanzar el umbral de eficiencia que permite amortizar su coste en un plazo razonable. Poco falta para conseguir que formen parte de la instalación habitual de autoconsumo fotovoltaico, con la que se integran a la perfección.
 - El tránsito a combustibles hoy exóticos como el hidrógeno permitirá gozar de fuentes de energía inagotables si se obtiene del agua mediante energía eléctrica de origen renovable (solar, eólica, geotérmica...) Actualmente no hay instalaciones generalizadas que aprovechen este combustible, y tampoco abundan generadores eléctricos a partir de hidrógeno (pilas de combustible) por los problemas técnicos y de coste que implican.

2 EJEMPLO DE AUDITORÍA

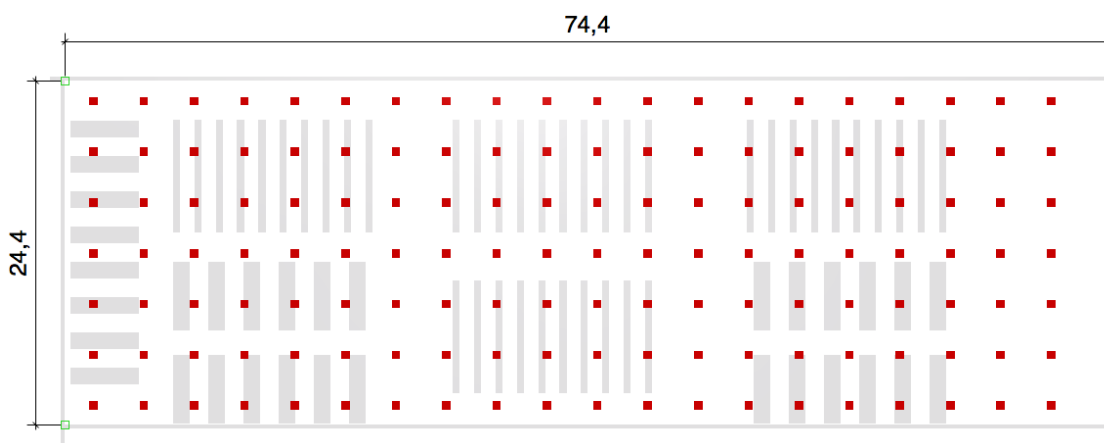
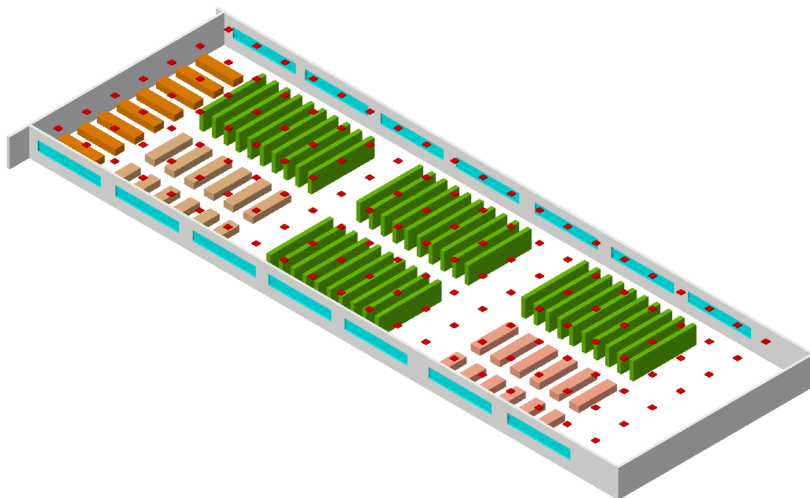
Algunos de los análisis anteriores pueden ser de aplicación al caso siguiente:

Se trata de una biblioteca pública que constituye un edificio aislado de planta rectangular, cuyas medidas aproximadas son 75 m x 25 m en planta y 3.5 m de altura interior.

Se han efectuado los siguientes estudios:

- A. Análisis de la línea general de alimentación: se ha estimado una previsión de cargas eléctrica para climatización eléctrica por bomba de calor, alumbrado y otros usos, de 316 kW. A partir de las intensidades medidas en una línea de sección y longitud conocidas, se han determinado los ahorros por corrección de desequilibrios y desfases. Se estima un ahorro del 3.5% de la facturación anual.

B. Análisis del alumbrado existente: se ha supuesto que la instalación consta de 140 luminarias fluorescentes de 4 x 18 W y baja eficiencia (mal rendimiento luminoso) y bajo factor de potencia, y se ha comprobado, mediante Dialux, que el mismo nivel de alumbrado puede conseguirse mediante luminarias de 4 x 9 W LED que, además, tienen un menor consumo por la simplicidad de sus equipos auxiliares (no llevan reactancia electrónica sino una fuente de alimentación conmutada). Se estima un ahorro del 35% de la facturación anual.



Planta del edificio a auditar.

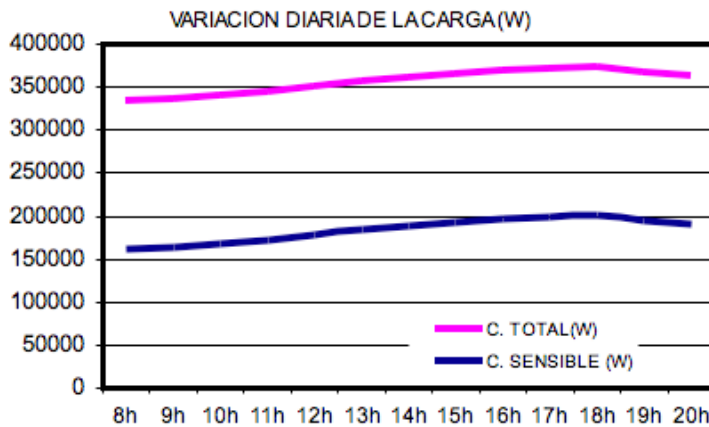
C. Se ha auditado el coste del suministro a partir de las estimaciones de consumo planteadas, que son función de la potencia instalada y del régimen de funcionamiento. Aplicando la estructura de tarifa 3.0A en baja tensión se han valorado los ahorros derivados de la optimización de la potencia contratada y la mejora del factor de potencia de la carga (eliminación de la penalización por "consumo de reactiva"). Se ha estimado un ahorro del 6,5% de la facturación anual.

D. Se han calculado las cargas térmicas bajo tres tipos de envolvente distintos: el primero constituye la situación de partida; en el segundo se ha duplicado el espesor del aislamiento del techo; y en el tercero se ha mejorado el tipo de ventanas.

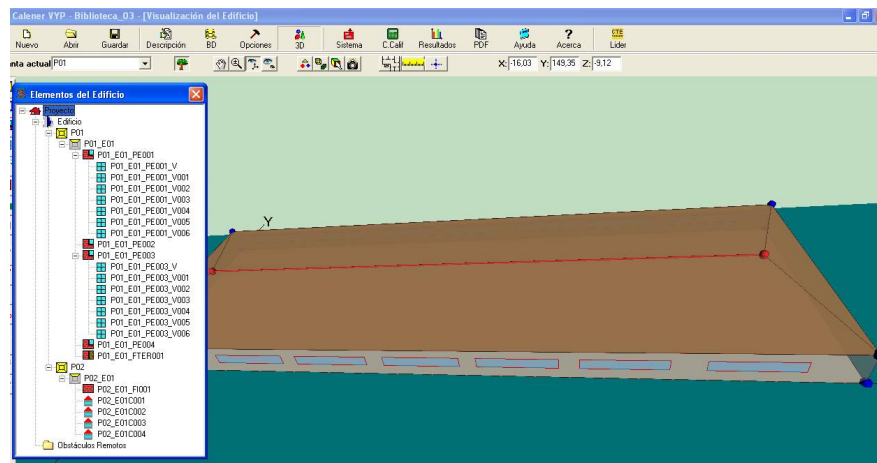
Los parámetros de aislamiento se han obtenido de la base de datos del programa LIDER.

De esta manera se han estimado los ahorros derivados de dos mejoras (aislamiento en techo o cambio de ventanas), cuyos costes se amortizan en 12 años y a partir de ahí se mantienen los ahorros del 12% de la facturación en combustibles de calefacción anual.

- E. Se han estudiado diferentes sistemas de climatización y se han comparado sus eficiencias con el sistema actual mediante la herramienta CALENER. El resultado es que no se obtienen mejoras de rendimiento significativas para sustituir la actual calefacción por suelo radiante con caldera de condensación de gas, cuyo plazo de amortización no supere los 15 años.
- F. Agua caliente solar: se ha estimado un pequeño consumo de agua caliente en el edificio estudiado y se ha buscado la manera de aportar un porcentaje significativo del calor necesario mediante captadores solares en la cubierta. El coste se amortizará en 28-30 años pero se aconseja esta inversión por cuestiones de ética medioambiental.
- G. Energía fotovoltaica para autoconsumo: la instalación solar fotovoltaica sobre cubierta más adecuada tendría una potencia de 25 kW nominales, de forma que se amortice en 8 años si el porcentaje de autoconsumo se aproxima al estudiado del 45% y el 55% restante se exporta a la red a cambio de una remuneración media de 12 c€/kWh.



Tipos (€/MW/año)	13,17146			
	7,90288			
	5,26858			
Ten (c€/kWh)	18,7211			
	14,4714			
	6,7783			
React. (€/kWh/a)		0,062332	0,041554	
Potencia contratada (kW)	450	382,5	472,5	
	450	382,5	472,5	
	450	382,5	472,5	
Duración potencia (mes)	1			
Impuesto eléctrico		4,864%	1,05113	
Alquiler contador (€/mes)	14			
Alquiler contador	C1	C2	C3	C4
Duración (mes)	1	1	1	1
Energía activa (kWh)				
P1	19200	21200	18900	20500
P2	57600	58800	57200	57900
P3	0	0	0	0
P4	0	0	0	0
P5	0	0	0	0
P6	0	0	0	0
Energía reactiva (kWh/a)				
P1	14400	15100	14100	14500
P2	43200	44350	42900	44100
P3	0	0	0	0
P4	0	0	0	0
P5	0	0	0	0
P6	0	0	0	0
Máxima (kW)				
P1	315	320	275	215
P2	316	315	285	290
P3	0	0	0	0
P4	0	0	0	0
P5	0	0	0	0
P6	0	0	0	0
Término de potencia				
P medida PP	315	320	275	
P medida PLL	316	315	285	
P medida PV	0	0	0	
P facturada PP	382,5	382,5	382,5	38
P facturada PLL	382,5	382,5	382,5	38
P facturada PV	382,5	382,5	382,5	38
P precio PP	1,097622	1,097622	1,097622	1,097
P precio PLL	0,658573	0,658573	0,658573	0,658
P precio PV	0,439048	0,439048	0,439048	0,439
P importe PP (€)	419,84	419,84	419,84	415
P importe PLL (€)	251,99	251,99	251,99	251
P importe PV (€)	167,94	167,94	167,94	167
P importe total potencia (€)	839,68	839,68	839,68	839
Término de energía				
E facturada EP (kWh)	19200	21200	18900	20
E facturada ELL (kWh)	57600	58800	57200	57
E facturada EV (kWh)	0	0	0	0
P importe EP (€)	3594,45	3968,87	3538,29	383
P importe ELL (€)	8335,53	8509,48	8277,64	8376
P importe EV (€)	0,00	0,00	0,00	0
P importe total energía (€)	11929,98	12478,05	11815,93	12211
Energía reactiva				
ER medida ERP (kWh/a)	14400	15100	14100	14
ER medida ERL (kWh/a)	43200	44350	42900	44
ER medida ERV (kWh/a)	0	0	0	0
ER facturada ERP (kWh/a)	8064	8104	7863	7
ER facturada ERL (kWh/a)	24192	24946	24024	24
ER facturada ERV (kWh/a)	0,80	0,81	0,80	0
Factor de potencia LL	0,80	0,80	0,80	0
Factor de potencia V	1,05113	1,05113	1,05113	1,051
P precio ERP (€/kWh/a)	0,041554	0,041554	0,041554	0,041
P precio ERL (€/kWh/a)	0,041554	0,041554	0,041554	0,041
P importe ERP (€)	335,09	336,75	326,74	321
P importe ERL (€)	1005,27	1036,61	998,29	1038
P importe total reactiva (€)	1340,36	1373,36	1325,03	1359
Impuesto eléctrico				
Base imponible (€)	14110,02	14691,09	13980,64	14416
Porcentaje aplicable	5,11270%	5,11270%	5,11270%	5,1127
P importe total impuesto (€)	721,40	751,11	714,79	731
Alquiler equip. medida				
Duración alquiler (mes)	1	1	1	
P precio alquiler (€/mes)	14	14	14	
P importe total alquiler (€)	14,00	14,00	14,00	14
Base imponible (€)	14845,42	15456,20	14709,43	15167
21 % IVA (€)	3117,54	3245,80	3088,98	3181
Total factura (€)	17962,96	18702,00	17798,41	18351

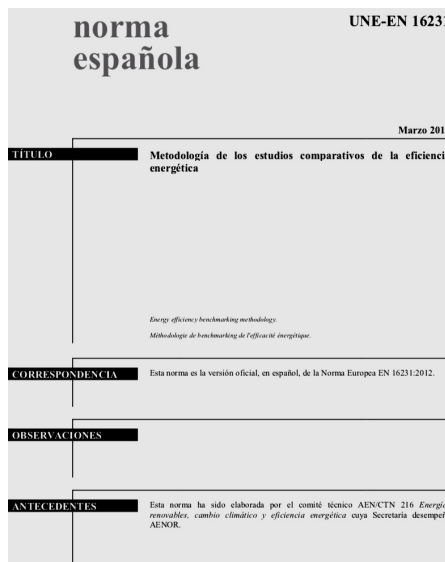
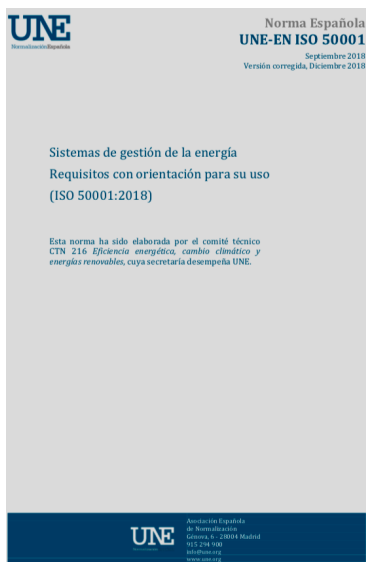


Envolvente en el programa LIDER

3 UNE-EN-ISO 50001 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

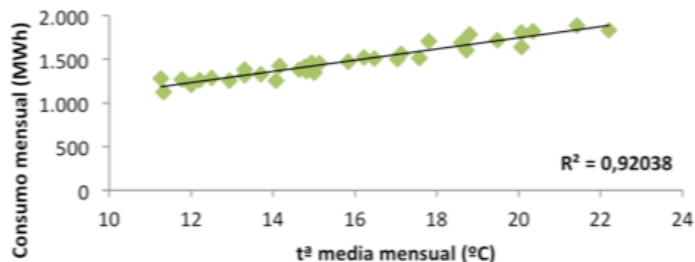
La norma ISO 50001, publicada en junio de 2011, establece los requisitos que debe tener un **Sistema de Gestión de la Energía** (en adelante, SGE) para aumentar la eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, mejorando la posición de las empresas frente a sus competidores.

Todas las grandes empresas deberán realizar auditorías energéticas de sus instalaciones cada cuatro años, o tener un sistema de gestión energética ISO 50001 certificado.



Ejemplo:

Un SGE ISO 50001 puede conducir a determinar, en forma de acuación lineal como la mostrada a la derecha, la correlación entre la temperatura media ambiente y el consumo de energía calorífica, lo que permitirá detectar la influencia de las mejoras en eficiencia descontando el influjo del ambiente.



Otras normas europeas que se pueden utilizar para gestionar la energía son:

- UNE-EN 16231 que define la metodología de los estudios comparativos de la eficiencia energética.
- UNE-EN 15900 de servicios de eficiencia energética.

3.1 Estudios comparativos de eficiencia energética



Proceso de los estudios comparativos de eficiencia energética según UNE-EN 16231

La norma UNE es larga y generalista, pero incluye algunos detalles que pueden venir bien en cualquier proceso de toma de datos y elaboración de resultados. A este respecto dice así:

Los datos de entrada recibidos para el estudio comparativo deben verificarse por su verosimilitud y fiabilidad. Para ese propósito, podrían utilizarse las siguientes herramientas:

- verificación de verosimilitud mediante el uso de límites matemáticos, termodinámicos y físicos para eliminar errores tipográficos y entradas incorrectas;
- si están implicados procesos de producción, los balances de materia y energía podrían ser útiles;
- en caso de duda, la reputación del proveedor de los datos (compañía productora) puede sugerir investigar más los datos de entrada;
- el conocimiento y experiencia en la fabricación del producto sometido a estudios comparativos o en el suministro del servicio sometido a estudios comparativos deberían permitir al coordinador evaluar que los datos de entrada no están fuera del rango posible.

Lo siguiente es verificar los resultados preliminares del estudio comparativo de la eficiencia energética. En el caso de que estén ordenados en orden ascendente, se obtiene una curva con un valor mínimo y un valor máximo. Se sugieren las siguientes comprobaciones:

- comprobar la proporción entre el valor máximo y el mínimo: una regla general es que esta proporción no debería exceder de tres sin explicación;
- comprobar la forma de la curva: una curva normal de estudio comparativo es suave sin saltos o interrupciones. Si no es así, el coordinador debe investigar para ser capaz de explicar la razón de esta forma no estándar: posiblemente el cuestionario no se rellenó consistentemente por todos los proveedores de datos, por ejemplo, en algunas entradas de datos se incluye CHP, en otras no;
- comprobar el mejor punto de la curva: comprobar que los primeros puntos de la curva se siguen unos a otros con intervalos normales: en caso de que haya unos pocos puntos muy alejados de los otros, el coordinador debería establecer la razón de este fenómeno;
- comprobar el peor punto de la curva: comprobar si las cifras de la eficiencia energética de los últimos puntos de la curva son realistas o si parecen imposibles;
- comprobar el valor numérico de los factores de corrección potenciales: en general las correcciones deberían ser pequeñas y razonables. Si son demasiado grandes, o la información para los factores de corrección se aplica de manera incorrecta o el método de cálculo es inadecuado.

3.2 Servicios energéticos

Prestar servicios energéticos suele consistir en venderle a un cliente la energía transformada que justamente necesita a partir a un precio interesante:

- El cliente obtiene la iluminación, el confort térmico y la potencia eléctrica que realmente necesita a cambio de un precio.
- El prestador del servicio compra la energía primaria y la transforma mediante las instalaciones del cliente que habrá mejorado para ganar en rentabilidad:
 - Puede obtener la energía primaria (eléctrica, combustibles) a mejor precio que el cliente final porque pueden comprar al por mayor para todos sus clientes.
 - Puede auditar la instalación del cliente y evitar despilfarros de energía reduciendo el suministro hasta el mínimo imprescindible.
 - Puede reformar las instalaciones del cliente mejorando su eficiencia de manera que se consuma menos energía con el mismo resultado.

EJEMPLO:

El prestador de servicios energéticos contrata con el titular de un aparcamiento subterráneo el suministro de iluminación, ventilación y funcionamiento de los sistemas eléctricos (control de accesos, detección y extinción de incendios) para que la actividad se pueda desarrollar con normalidad.

Todos esos servicios implican transformación de energía eléctrica exclusivamente, y el proveedor de servicios energéticos, cuando audite la instalación, sabe de antemano:

- Que el aparcamiento viene demandando una media de 45 MWh/año de energía eléctrica.
- Que el alumbrado absorbe el 75% de esa demanda (33 750 kWh/año), la ventilación el 20% (9000 kWh/año) y el 5% restante lo absorben los demás sistemas eléctricos.
- Que el alumbrado demanda 11,5 kW y es de tubos fluorescentes.
- Que la instalación de ventilación data del año 2005 y sus motores trifásicos de 4 kW tienen un rendimiento aproximado del 82%.

Dicha auditoría energética permite estimar también que:

- Con 5,5 kW de luminarias LED se proporciona incluso mejor iluminación que hasta ahora.
- Cambiando los motores de los extractores (ventilación) por otros similares más modernos (eficiencia mínima IE4 del Reglamento UE de "ecodiseño") se mejora el rendimiento hasta el 90% (1 par de polos) o 91,1% (2 pares de polos).

Un sencillo cálculo permite saber que:

- En alumbrado habrá una reducción de consumo:

$$\Delta_{\eta} \% = \frac{11,5 - 5,5}{11,5} \times 100 = 109\% \quad \Delta_E = 33\,750 \left(1 - \frac{5,5}{11,5} \right) = 17\,609 \text{ kWh/año}$$

- En ventilación habrá una reducción de consumo:

$$\Delta_{\eta} \% = 90\% - 82\% = 8\% \quad \Delta_E = 9000 \times 8\% = 720 \text{ kWh/año}$$

- En total 18 330 kWh/año

Las inversiones necesarias consisten en:

- Cambiar el alumbrado a LED: 12 600 €
- Cambiar los motores de los extractores: 5 200 €
- En total: 17 800 €

Los costes para ambas empresas serían:

- El cliente paga 45 000 kWh/año x 0,26 €/kWh = 11 700 €/año
- El prestador de servicios energéticos podrá calcular su oferta a 10 años considerando sus costes, que son:
 - Por la energía eléctrica (45000 - 18330) kWh/año x 0,24 €/kWh = 6400 €/año
 - Para amortizar la inversión 17800 € / 10 años = 1780 €/año
 - Costes netos para él: 6400 + 1780 = 8180 €/año
 - Otros costes (mantenimiento, intereses, seguros) 15% sobre costes netos = 1225 €/año
 - Margen comercial 25% sobre costes netos = 2040 €/año
 - Total oferta para el cliente: 8180 + 1225 + 2040 = 11 445 €/año

Por tanto, el prestador de servicios energéticos puede ofrecerle al cliente:

- El servicio de iluminación y ventilación que necesita pero de mejores prestaciones y a partir de instalaciones nuevas sin tener que afrontar la inversión inicial ni tener que coordinar las obras.

- Un precio 255 €/año menor, lo que constituye un pequeño detalle comercial que realmente significa "no se va a incrementar precio".
- Un servicio de mantenimiento permanente garantizado por contrato, según el cual el prestador de servicios energéticos correrá con los gastos de mantenimiento y reposición del servicio si los hubiera (algo poco probable con la instalación renovada).
- Una instalación de solo 10 años de antigüedad al término del contrato.

Este planteamiento está simplificado: el acuerdo debe incorporar todos los detalles legales no mencionados aquí. Pero el negocio para ambas partes suele consistir en lo que se ha mostrado.

En España, esta actividad está regulada por el Real Decreto 56/2016 del 12 de febrero, *por el que se traspone la Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a las auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía* [BOE 38, 13 de febrero de 2016].