

AUDITORÍAS ENERGÉTICAS

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, 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, y unas conclusiones en las que el auditor recomienda las líneas de actuación con indicación de los plazos de amortización.

1 AUDITORÍA ENERGÉTICA TIPO

1.1 Contenidos explicados

A lo largo de esta asignatura se han ido estudiando diferentes tipos de instalaciones consumidoras de energía, y se han ido explicando los fundamentos para conseguir en ellas el uso más eficiente de la energía. Así,

- Energía eléctrica:
 - Se ha establecido el análisis general para auditar cualquier circuito eléctrico (línea) que alimente un receptor trifásico de tres o de cuatro hilos. Se han estudiado ejemplos de cada una de esas dos instalaciones y se han visto los resultados de mejorar tanto el *desequilibrio* de intensidades como el *desfase* entre tensiones e intensidades (factor de potencia). De esta manera se puede auditar cualquier tipo de instalación eléctrica.
 - Se ha explicado cómo construir redes de distribución de energía eléctrica de manera realmente eficiente, empleado el cálculo fasorial para redes ramificadas en una hoja de cálculo, que permite optimizar los resultados.
 - Se ha introducido la luminotecnia desde el punto de vista de la optimización de los alumbrados, y se ha utilizado el programa Dialux para identificar medidas de ahorro comparando alumbrados existentes con nuevos alumbrados.
 - Se ha estudiado la estructura de la actual facturación eléctrica, para permitir 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 ha explicado un método general para el cálculo de cargas térmicas, aplicable a 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 proyectados.
 - Se ha trabajado con un modelo sencillo de tipo industrial, las cámaras de refrigeración, para identificar los sistemas presentes y las posibilidades de mejora en eficiencia.
 - Se ha estudiado la normativa vigente en cuanto a requisitos de las envolventes de los edificios, y se ha aplicado el modelo a una sencilla edificación mediante el procedimiento general del Código Técnico de la Edificación (programa LIDER).

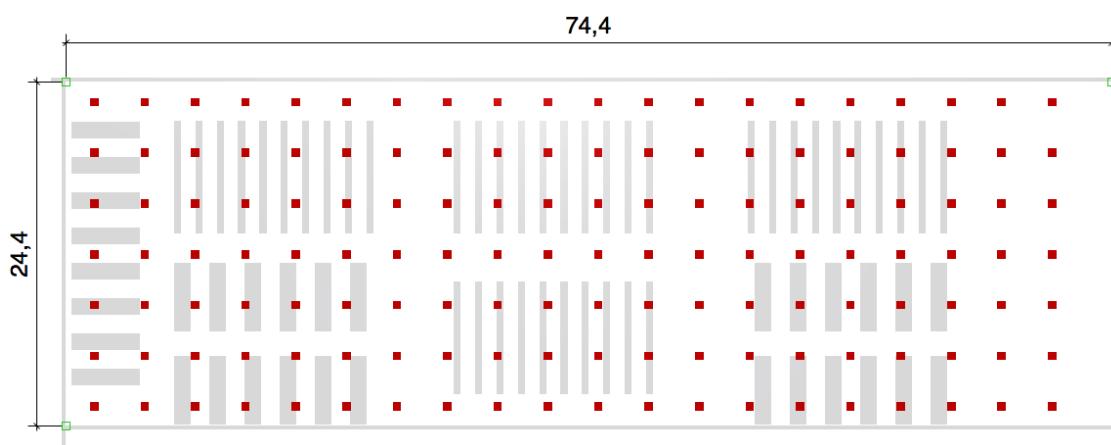
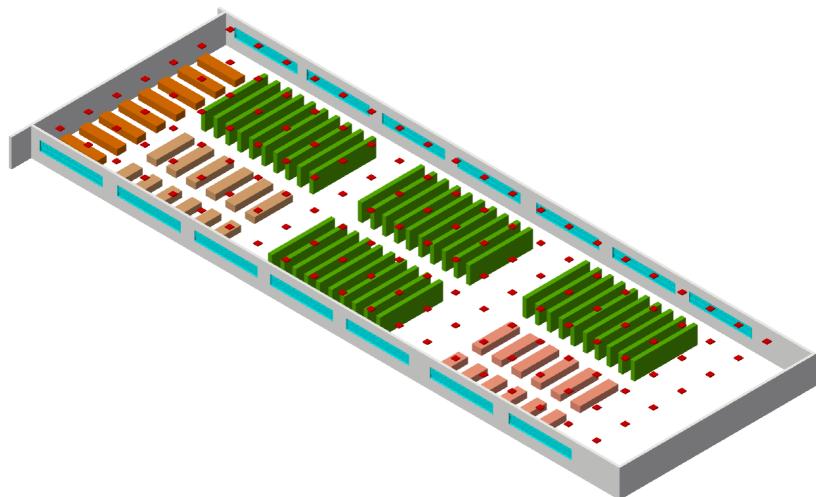
- Se ha obtenido la *etiqueta energética del edificio* mediante un procedimiento también general (programa CALENER) que permite simular diferentes sistemas de climatización y comprobar el porcentaje de mejora que representa el cambio del sistema existente a cualquier otro.
- Energías renovables:
 - Se ha estudiado la manera de reducir el consumo de energías convencionales (eléctrica, combustibles fósiles) mediante el aporte solar a la calefacción de agua sanitaria, empleando para ello el método *f-chart*.
 - Se han explicado los componentes fundamentales de una instalación solar fotovoltaica, que puede aportar energía eléctrica para autoconsumo en una instalación.
- Otras instalaciones:

Se considera que la carga de trabajo para el alumno, con lo mostrado hasta aquí, es más que suficiente para una asignatura de corta duración como ésta. Queda pendiente mostrar cómo auditar más sistemas, como por ejemplo instalaciones de generación, conducción, almacenamiento y utilización de vapor, o métodos de aprovechamiento de energía eólica. Serán tratados al margen de estos apuntes, en tutorías voluntarias hasta final de curso.

1.2 Ejemplo de auditoría

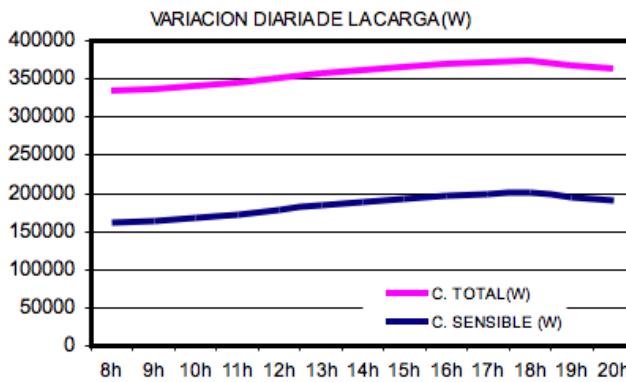
Al finalizar las explicaciones teórico - prácticas de los contenidos anteriores ha sido posible realizar un primer ejemplo de auditoría energética de una instalación.

En concreto, se ha estudiado 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. Sobre este caso de estudio se han aplicado los análisis ya vistos en los temas precedentes de la manera siguiente:



Planta del edificio a auditar.

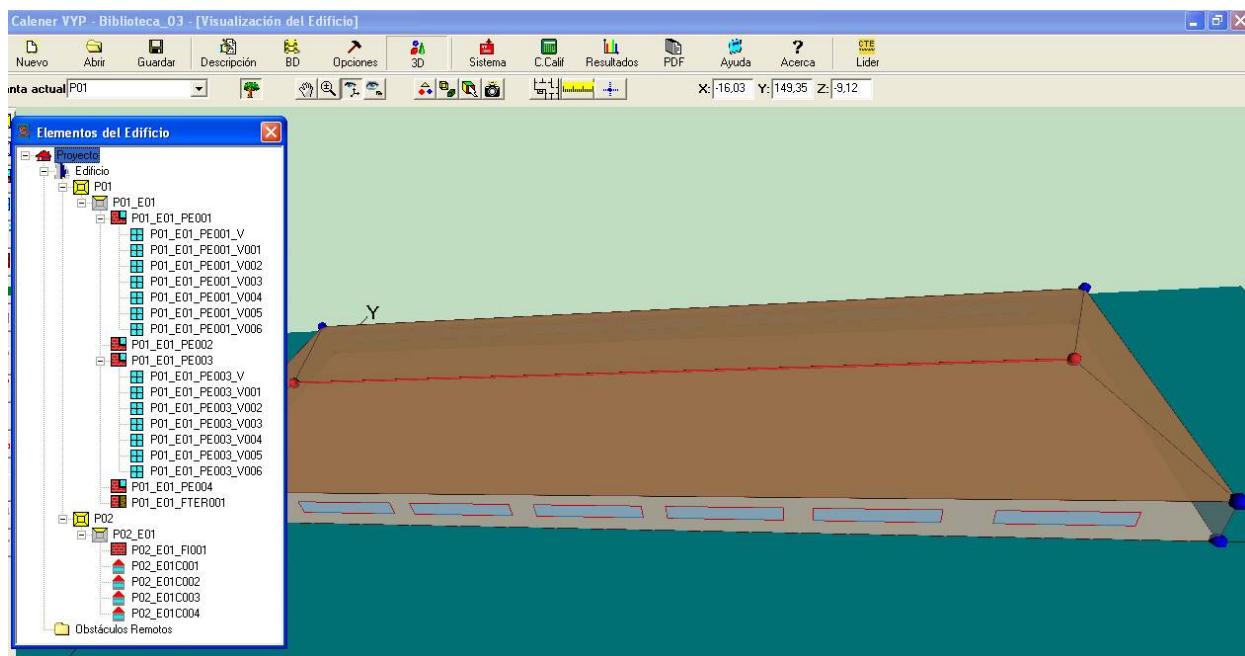
- A. Análisis de la línea general de alimentación: se ha estimado una previsión de cargas eléctrica para climatización eléctrica por bomba de calor, alumbrado y otros usos, de 316 kW. A partir de las instensidades medidas en una línea de sección y longitud conocidas, se han determinado los ahorros por corrección de desequilibrios y desfases. El análisis efectuado es el mismo que se pide en el *ejercicio propuesto* de la página 28 de los apuntes de esta asignatura.
- 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 14 W que, además, tengan un menor consumo en equipos auxiliares (reactancia electrónica). Es un análisis similar al del *ejercicio propuesto* sobre luminotecnia en la página 56 de los apuntes.
- 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"). El análisis es idéntico al del *ejercicio propuesto* de la página 66 de los apuntes.
- D. Se han calculado las cargas térmicas mediante la técnica explicada en la página 68 y siguientes de los apuntes 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 LIDER como se muestra en la página 89 y siguientes.



Tipo (E/KWh-año)	13.17146	7.90339	5.26858			
Tarif. (cE/KWh-m)	18,7211	14,9714	6,7783			
React. (kVA/m²n)				D,062332	D,041554	
Potencia contratada (kW)	45D	382,5	472,5			
45B	382,5	472,5	472,5			
45S	382,5					
Duración potencia (mes)	1			4,864%	1,05113	
Impuesto eléctrico						
Ajustar consumo (C/mes)	14					
Ajustar consumo	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						
P5						
P6						
Energía reactiva (kWh)						
P1	14400	15100	14100	14500		
P2	43200	44350	42900	44100		
P3	0	0	0	0		
P4						
P5						
P6						
Máximo (kW)						
P1	315	320	275	215		
P2	316	315	285	290		
P3	0	0	0	0		
P4						
P5						
P6						
Término de potencia						
Pmedida PP	315	320	275			
Pmedida PLL	316	315	285			
Pmedida PLL	0	0	0			
Pfactura PP	382,5	382,5	382,5	38		
Pfactura PLL	382,5	382,5	382,5	382,5	38	
Pfactura PV	382,5	382,5	382,5	382,5	38	
Precio PP	1.097622	1.097622	1.097622	1.097		
Precio PLL	0,619737	0,619737	0,619737	0,619737	0,619737	
Precio PV	0,439948	0,439948	0,439948	0,439948	0,439948	
Importe PP (€)	419,84	419,84	419,84	419,84	419,84	419
Importe PLL (€)	251,90	251,90	251,90	251,90	251,90	251
Importe PV (€)	167,94	167,94	167,94	167,94	167,94	167
Importe total potencia (€)	839,68	839,68	839,68	839,68	839,68	839
Término de energía						
E factura reda EP (kWh)	19200	21200	18900	20500	20	
E factura reda ELL (kWh)	57600	58800	57200	57900	57	
E factura reda ELL (kWh)	0	0	0	0	0	
Importe EP (€)	3594,45	3968,87	3538,29	3831,		
Importe ELL (€)	8315,53	8509,18	8277,64	8376,		
Importe EV (€)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Importe total energía (€)	11295,98	12478,05	11815,93	12221		
Energía reactiva						
ER medida ERP (kWh/n)	14400	15100	14100	14		
ER medida PLL (kWh/n)	43200	44350	42900	44100	44	
ER medida PV (kWh/n)	0	0	0	0	0	
ER factura reda ERP (kWh/n)	8064	8104	7863	7		
ER factura reda ELL (kWh/n)	24193	24946	24242	249		
Factor de potencia P	0,80	0,81	0,80	0,81	0,81	
Precio de potencia LL	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Precio de potencia PLL	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Precio de potencia PV	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Precio ERP (kWh/n)	0,041554	0,041554	0,041554	0,041554	0,041554	0,041554
Precio ELL (kWh/n)	0,041554	0,041554	0,041554	0,041554	0,041554	0,041554
Importe ERP (€)	335,09	336,75	326,74	321,		
Importe ELL (€)	1005,27	1036,61	998,29	1035,		
Importe total reactiva (€)	1346,35	1373,36	1325,03	1335,		
Impuesto eléctrico						
Base impuesto (€)	14110,03	14691,99	13989,64	14414		
Precio abulto (€)	5,1127%	5,1127%	5,1127%	5,1127		
Importe total impuesto (€)	721,40	751,11	714,79	731,		
Ahorro de energía medida						
Duración de la medida (mes)	1	1	1	1		
Precio abulto (€)	14	14	14	14		
Importe total ahorro (€)	14,00	14,00	14,00	14,00	14	
Base impuesto (€)	14845,42	15456,20	14709,43	15167		
21% IVA (€)	3177,54	3245,80	3088,98	3181		
Total factura (€)	17962,96	18702,00	17984,41	1835,		

De esta manera se han estimado los ahorros derivados de ambas mejoras (aislamiento en techo o cambio de ventanas) como en el *ejercicio propuesto* de la página 86. Tras suponer un coste aproximado de dichas actuaciones, se han calculado los períodos de amortización de las dos inversiones.

- E. Etiqueta energética: la auditoría también puede incluir la obtención de la etiqueta energética mediante la aplicación CALENER como en el *ejercicio propuesto* de la página 95 de los apuntes. Suele ser habitual emplear esta herramienta para determinar los beneficios potenciales de distintos sistemas de climatización.
- 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 análisis es idéntico al pedido en el *ejercicio propuesto* de la página 111.



- G. Energía fotovoltaica para autoconsumo: la auditoría puede estimar también qué instalación solar fotovoltaica sobre cubierta sería adecuada para aportar un cierto ahorro en el coste energético bajo la forma del autoconsumo. Se trata de un ejercicio de diseño como el pedido en el *ejercicio propuesto* de la página 144 de los apuntes de la asignatura.

2 EJERCICIO DE EVALUACIÓN

Se propone efectuar una auditoría energética similar a la mostrada más arriba, en la que se aborden los contenidos de al menos tres ejercicios propuestos en los apuntes, que corresponden con los siete apartados (letras A ... G) de la sección anterior. Se trata, por tanto, de elaborar una auditoría en la que figuren al menos tres análisis de los enumerados A ... G más arriba, pero con una condición más: debe haber un contenido relacionado con cada tema, es decir, al menos uno sobre uso eficiente de la energía eléctrica, al menos otro sobre la térmica y al menos otro sobre la solar. La tabla siguiente lo explica:

Tema	Contenidos a incluir para la evaluación del alumno
2. Uso eficiente de la energía eléctrica	A) Auditoría de líneas de alimentación B) Auditoría de sistemas de alumbrado C) Auditoría de facturación eléctrica
3. Uso eficiente de la energía térmica	D) Auditoría de mejoras en envolvente térmica E) Auditoría de sistemas de climatización y etiqueta energética
4. Uso eficiente de la energía termosolar	F) Aporte de agua caliente solar
5. Uso eficiente de la energía fotovoltaica	G) Aporte de energía fotovoltaica para autoconsumo

El alumno es libre de incluir, además, otros análisis de los anteriores, incluso los siete explicados si lo desea, u otros originales no expuestos en clase. Pero el ejercicio no se considerará apto para su evaluación si no incluye al menos tres de los anteriores, y uno de cada tema.

El alumno es libre también de proponer el tipo de sistema a auditar, y debe mantenerlo a lo largo de los contenidos auditados, de manera que el informe que elabore reúna las características de una verdadera auditoría de una instalación concreta bajo tantos aspectos como contenidos haya considerado conveniente tratar. No es un ejercicio de evaluación aquél que, aunque incluya los análisis mínimos pedidos, no los aplique a un mismo sistema. Por ejemplo, no es válido auditar una línea de alimentación a un restaurante, obtener la etiqueta energética de una vivienda unifamiliar y rediseñar una planta fotovoltaica en una parcela. Sí lo sería auditar la línea del restaurante, obtener su etiqueta energética y considerar una instalación fotovoltaica sobre su cubierta.

La auditoría debe comenzar por introducir el tipo de instalación que se va a estudiar. Ejemplos de instalaciones pueden ser un restaurante, un establecimiento comercial, una iglesia, un instituto, un hotel, un almacén de frutas, un gran recibidor de una estación de tren, las oficinas de una empresa, un concesionario de coches, un "todo a cien", una fábrica de calderas, una embotelladora de gaseosas, un pequeño hospital comarcal... Recomiendo elegir un tipo de construcción sencillo y un tipo de actividad con un régimen de consumo también sencillo. También recomiendo trabajar con potencias y consumos elevados, que resultarán en un conjunto de resultados más atractivo que si las cifras manejadas fueran más pequeñas.

La auditoría debe seguir, tras la introducción, con el análisis de cada uno de los aspectos elegidos por el alumno. Un capítulo para cada uno sería lo apropiado.

Debe concluir con el resumen de lo estudiado y destacar las conclusiones, entre las que sin duda debe aparecer la recomendación del autor acerca de qué medidas de mejora son prioritarias y cuáles aconsejaría a continuación.

Se valorarán positivamente la apariencia de realidad, la correcta sintaxis, la claridad y concisión de la exposición, la buena presentación y la justificación de los resultados. No se valorará positivamente ni la extensión del trabajo ni el lujo de su presentación. Tampoco la corrección de los resultados, sólo la corrección de su justificación. Esto significa que vale considerar que, por ejemplo, cambiar una ventana solo cuesta cien euros (un precio varias veces menor de lo habitual hoy día), pero no vale olvidar el coste de cambiar la ventana al obtener los resultados de la auditoría.

No se admiten ejercicios de evaluación con faltas de ortografía. Los así entregados se devolverán como no presentados.