



Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC

Analysis and proposal for energy efficiency measures for the main building of the Eduardo Torroja Institute – CSIC

F. Martín-Consuegra (*), I. Oteiza (*), C. Alonso (*), T. Cuervo-Vilches (*), B. Frutos (*)

RESUMEN

En el marco del 80 aniversario del IETcc-CSIC se elabora una propuesta para la rehabilitación del edificio construido en 1953. Partiendo del análisis del comportamiento energético del edificio principal, se concluye que este no es eficiente energéticamente.

Se proponen mejoras para la eficiencia energética del edificio tomando en cuenta las directivas europeas. Se recomienda incorporar las mejoras de forma escalonada, comenzando por las medidas pasivas para reducir sus necesidades energéticas. A continuación se proponen medidas activas, como la mejora del rendimiento de las instalaciones, de manera que se emplee la menor cantidad posible de energía final para satisfacer el confort de los usuarios. Para completar la intervención se propone el uso de fuentes de generación de energías renovables en la parcela con el objetivo de reducir el consumo de energía primaria no renovable.

Las acciones para la rehabilitación energética e integral del edificio del IETcc-CSIC, deben ser demostradoras para otros edificios públicos con valores patrimoniales.

Palabras clave: Edificio IETcc-CSIC; eficiencia energética; rehabilitación; edificio patrimonial.

ABSTRACT

As part of the 80th anniversary of IETcc-CSIC, a proposal for the rehabilitation of the 1953 building is made. The analysis of the main building's energy performance concludes that it is not energy efficient.

Energy efficiency improvement measures based on European directives are proposed. It is recommended to incorporate them step by step, starting with passive measures to reduce energy needs. Afterwards active measures, such as improving the performance of facilities, are proposed, so that the least possible amount of final energy is used to meet the comfort standards. To complete the operation, the use of renewable energy sources is proposed to reduce the consumption of non-renewable primary energy.

Energy and building rehabilitation improvement measures in the IETcc-CSIC should be demonstrators for other public buildings with heritage values.

Keywords: Building IETcc-CSIC; energy efficiency; retrofit; heritage building.

(*) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: ioteiza@ietcc.csic.es (I. Oteiza)

Cómo citar este artículo/Citation: Martín-Consuegra, F., Oteiza, I., Alonso, C., Cuervo-Vilches, T., Frutos, B. (2014). Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC. *Informes de la Construcción*, 66(536): e043, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.125>.

Licencia/License: Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de **Informes de la Construcción** se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento no Comercial 3.0. España (cc-by-nc).

1. INTRODUCCIÓN

La Unión Europea ha establecido como estrategia prioritaria la reducción de consumos energéticos en el parque edificado. A través de diferentes directivas se ha ido definiendo el papel que deben tener las administraciones públicas en la transición hacia un modelo de eficiencia energética en la construcción.

Se plantea como objetivo el cumplimiento con la Directiva Europea 2012/27/UE (1), que trata sobre eficiencia energética y tiene como principales objetivos ayudar en la reducción de un 20 % del consumo de energía de la Unión Europea en el año 2020, el fomento de las energías renovables, el aumento de la eficiencia energética en el transporte, en los sectores terciario y residencial. Así mismo establece la generación de un Inventario Energético de los Edificios de la Administración General del Estado, para renovar anualmente el 3 % de la superficie total de los edificios con calefacción y/o sistema de refrigeración, «con el fin de que cumplan al menos con los requisitos de rendimiento energético mínimos fijados en aplicación del artículo 4 de la Directiva 2010/31/UE (2), o adoptar el enfoque alternativo del apartado 6, artículo 5». El propio IETcc aspira a encontrarse entre los centros de la Administración General del Estado elegidos para dar un ahorro en el consumo de un 20 % en 2016. Para ello, es necesario hacer un estudio previo de la Demanda y el Consumo, así como de la Calificación Energética del propio edificio.

En el estudio que se presenta se propone la actuación sobre el edificio del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IETcc-CSIC), de carácter público e indudable valor patrimonial, que se terminó de construir en el año 1953 (3) (4).

Lo que se presenta es un avance de un estudio más ambicioso, pero que se ha querido presentar en este número especial del 80 aniversario del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

2. OBJETIVOS

Uno de los objetivos que plantearon los fundadores del IETcc-CSIC, hace más de 60 años cuando se construyó este edificio, fue el de ser un centro donde se pudieran experimentar aspectos innovadores de la construcción y así lo hicieron, con el diseño arquitectónico, con los sistemas constructivos (prefabricación), con las instalaciones y la organización de la obra. Sin duda fue y sigue siendo un edificio demostrador de los avances de la construcción de la época. Hoy 60 años después, cuando se plantean nuevos retos innovadores para las edificaciones desde la Comunidad Europea, en especial los relacionados con la eficiencia energética de los edificios existentes, el IETcc no puede dejar pasar la oportunidad para proponer nuevamente que sea un centro investigación de la construcción que permita experimentar, aplicando las innovaciones que se están desarrollando para la rehabilitación y para la eficiencia energética, que pueda proponer no solo mejoras y ahorros en los consumos actuales, sino llegar a ser un centro que permita generar la energía suficiente para el autoabastecimiento y por qué no, generar excedentes de energía que permitan obtener ingresos para seguir con nuevas investigaciones en el área.

El presente trabajo parte del estudio del comportamiento energético del edificio principal del IETcc-CSIC con la finalidad de:

- Dar respuesta a los requerimientos de las diferentes directivas europeas para los edificios públicos en materia de eficiencia energética a través de los procedimientos y herramientas oficiales habilitados en el estado español.
- Mejorar la eficiencia energética del IETcc, estableciendo las pautas para lograr una mejora progresiva que aproveche el potencial existente.
- Formar equipos para realizar estudios similares en otros institutos del CSIC y edificios públicos.

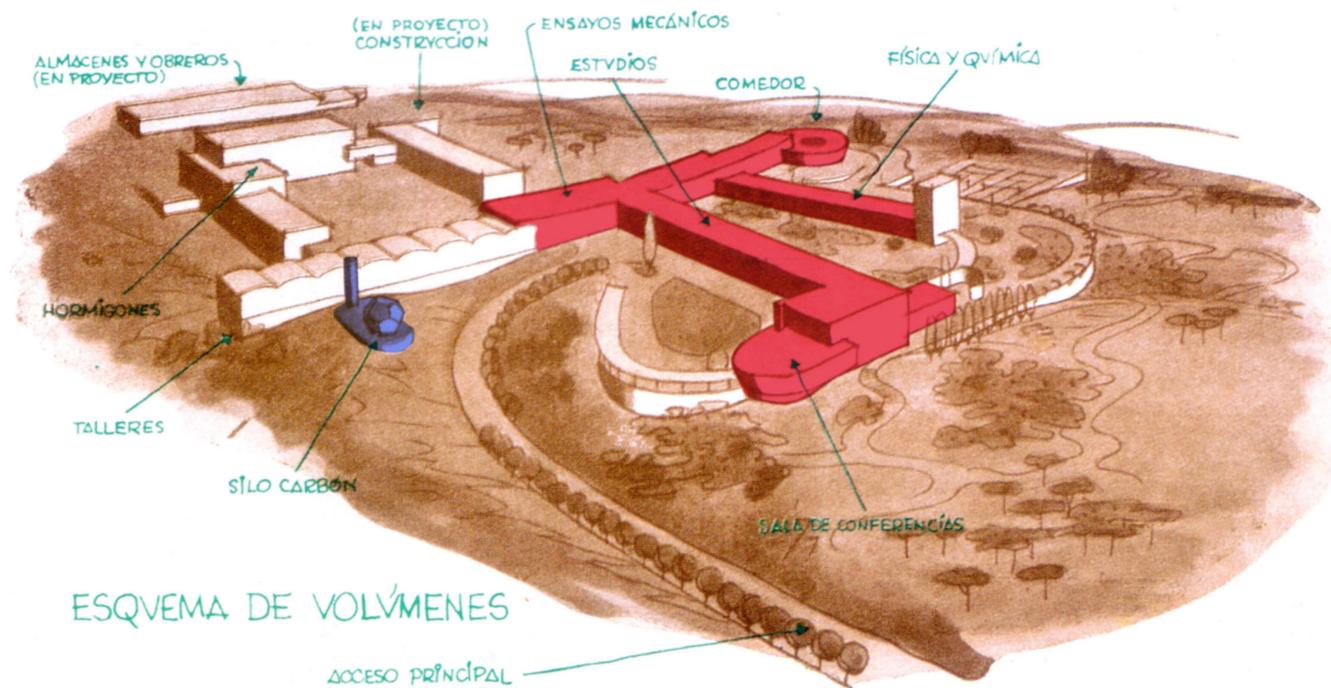


Figura 1. Esquema original del proyecto acabado del complejo «Costillares» (5).

3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El complejo del instituto, situado en la C/ Serrano Galvache 4, 28033 Madrid, cuenta con varias estructuras (Figura 1): el edificio principal, las naves de ensayo (nave original y nave nueva), edificio de materiales, nave de arenas, el edificio de CEMCO y el edificio Caracola. Recientemente se ha recuperado el edificio invernadero. Algunos de estos edificios no estaban previstos en el proyecto original del año 1951. El presente estudio abarca el edificio principal (en rojo en la Figura 1). La sala de calderas aparece marcada en azul. No se han incluido las naves de ensayos, puesto que sus consumos energéticos no corresponden a los modelos estándares de edificios de uso terciario y precisan de estudios particularizados.

Este edificio se terminó de construir en el año 1953, se le han añadido nuevos espacios y cambiado de uso otros. En cuanto al valor patrimonial, se trata de un edificio que cuenta con una protección especial de nivel 2 de grado Estructural definida en el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid (PGOUM).

Como se indica en los artículos publicados en el Centenario del nacimiento del fundador del instituto D. Eduardo Torroja (4) (5), este edificio fue un campo de experimentación de especialistas de diferentes áreas de la construcción, no fue un edificio clásico para su época (ni en el estilo, ni en su técnica constructiva), al contrario, fue innovador en cuanto a los sistemas constructivos (prefabricación de elementos) y a las instalaciones (6). Sin embargo ya han pasado más de 60 años desde su construcción, y muchos han sido los estándares que se han quedado obsoletos, en especial aquellos relacionados con los requerimientos actuales de eficiencia energética y de instalaciones.

3.1. Definición geométrica

No hay duda que el edificio cuenta con una estrategia de diseño bioclimático pionero en su momento. La orientación fue un factor primordial en la definición tanto de las volumetrías como de las protecciones solares. Se establecieron todo tipo de sombras, tanto en el propio edificio en los huecos, como elementos de sombra para espacios abiertos (las costillas, los «sietes» de los aparcamientos, los corta-soles del jardín de dirección, los numerosos voladizos, etc.), los elementos prefabricados de las ventanas, con diferente diseño según la orientación norte o sur, así como la gran idea de abrir el comedor mediante puertas correderas hechas en la propia herrería del complejo, dando paso en verano a la brisa proveniente de los pinos de la parcela (Figura 2).

La luz natural se hace presente en todos los espacios, tanto en las oficinas como en las naves, sin duda como estrategia de ahorro energético para esa época.

3.2. Definición constructiva

El interés por la economía de medios y de producción en tiempo así como la innovación en la construcción, no sólo llevó a optar por la prefabricación, sino que estableció la forma de construir entendida como el todo. Las secciones (Figura 3), al igual que las plantas y la volumetría del conjunto, debían albergar todas esas ideas que conllevaran al confort y eficacia en el trabajo. Sin duda fue un edificio que mostró en su época importantes innovaciones, algunas de ellas se mantienen y otras han quedado superadas por las normativas, en especial las de instalaciones y las ambientales.

Además de los elementos de mayor superficie (fachadas conformadas por muros de carga y cubierta inclinada con desván no habitable), la envolvente del edificio está formada por cubiertas planas (zona de dirección, cafetería), muros enterrados, muros de granito en sótanos y soleras apoyadas directamente sobre el terreno. Se ha considerado que estos últimos elementos tienen una menor influencia en la calificación energética, por contar con superficies relativamente pequeñas o por producir menores pérdidas de calor por su propia naturaleza.

Las características térmicas de los principales elementos de la envolvente térmica se detallan en la Tabla 1.

En cuanto a la protección solar, la envolvente cuenta con cuidados diseños de los elementos de contorno de ventanas para cada orientación de hueco (7) (Figura 4).

4. INSTALACIONES

La zonificación para el estudio de la eficiencia energética del edificio principal se ha realizado atendiendo a criterios de orientación, uso de los espacios y distribución de las instalaciones (lumínicas, de ACS y de climatización). Se han consultado algunos estudios previos sobre el edificio principalmente un estudio realizado por el ISDEFE encargado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE) (8) y el artículo de 1954 de uno de los responsables de las instalaciones en el edificio, J. Laorden (1954) publicado en el año 1999 en la revista Informes de la Construcción (6).



Figura 2. Iluminación natural en la Dirección, interior del comedor y costillas de sombra para zona de jardín.

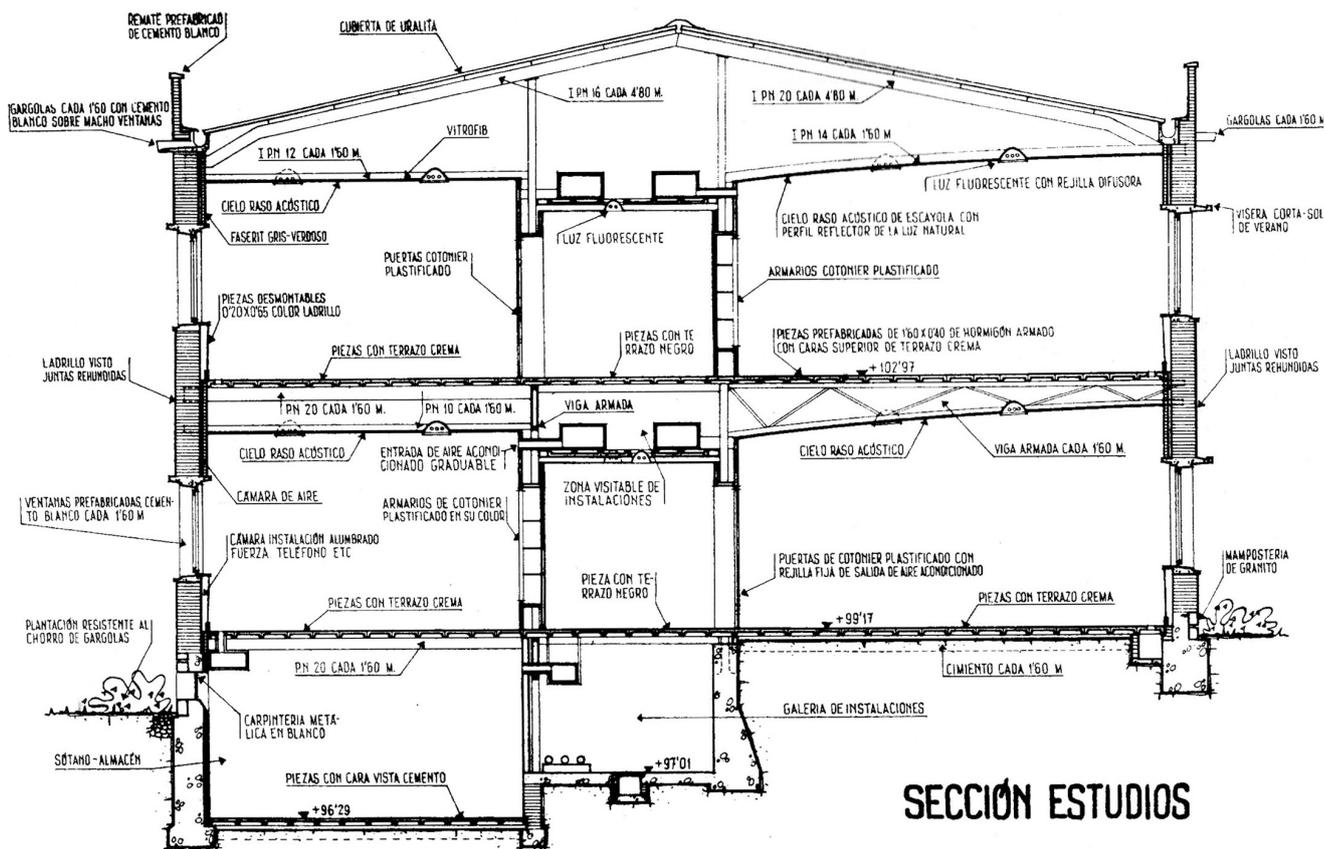


Figura 3. Sección transversal de la Nave de Estudios (6).

Tabla 1. Datos constructivos de los elementos principales de la envolvente del edificio.

FACHADAS		
Las fachadas cuentan con importantes puentes térmicos en los elementos de hormigón prefabricado que conforman el contorno de los huecos.		
Tipo de aislamiento de la fachada		Sin aislamiento
Cámara de aire	Sí	
Transmitancia térmica (aprox.)	1,10	W/m²K
Masa (aprox.)	500	kg/m²
CUBIERTAS		
Las cubiertas son inclinadas, con espacio de desván no habitable que actúa de colchón térmico. El material de cobertura ha sido sustituido recientemente por paneles tipo sándwich.		
Transmitancia térmica (aprox.)	1,03	W/m²K
HUECOS		
Se ha tenido en cuenta el avanzado estado de deterioro de las ventanas existentes, que se traduce en numerosas filtraciones incontroladas de aire.		
Porcentaje de huecos de fachada(*)	20	%
Tipo de vidrio	Vidrio simple	
Transmitancia térmica del vidrio	5,7	W/m²K
Factor solar del vidrio (g)	0,85	
Tipo de carpintería	Metálica sin RPT (**)	
Transmitancia térmica de la carpintería	5,7	W/m²K
Porcentaje de hueco ocupado por el marco (aprox.)	20	%
Transmitancia térmica TOTAL del hueco	5,7	W/m²K
Retranqueo de las ventanas	20	cm
Permeabilidad al aire estimada (aprox.)	146	m³/h.m² a 100 Pa
Factor solar del hueco (aprox.)	0,70	

(*) Porcentaje del área total de la fachada ocupada por los huecos (vidrio+marco), siendo un hueco cualquier elemento semitransparente de la envolvente del edificio. Comprende ventanas y puertas acristaladas.

(**) En el proyecto original eran marcos de madera, y fueron sustituidos por perfiles de aluminio.



Figura 4. Protección solar en huecos mediante pieza prefabricada (7).

Se analizan y proponen acciones en este trabajo para algunas de las instalaciones del edificio principal que afectan aquellos aspectos relacionados con la eficiencia energética, principalmente las instalaciones de iluminación, las de climatización y las de ACS.

4.1. Iluminación

Una parte de este estudio tiene la finalidad de mejorar los niveles de iluminación de los espacios y mejorar la eficiencia energética. Las zonas de estudio a tratar en el trabajo han sido despachos, laboratorios, salón de actos, sala de reuniones, biblioteca, sala de lectura y zonas comunes. Existe diversidad de geometrías de despachos, por lo que se tratan los esquemas más comunes. El cálculo de la iluminación se ha realizado mediante el software DIALux. (9).

La iluminación, natural y artificial, interior y exterior del edificio principal, fue objeto de un profundo estudio en el proyecto original, y de consideraciones económicas como se lee en el artículo firmado por Oñate en 1954, publicado en *Informes de la Construcción*. (10).

4.2. Climatización

Actualmente la instalación cuenta con dos calderas en funcionamiento en régimen de invierno, y para la refrigeración, existe una torre, unida mediante un circuito de condensación a la planta enfriadora. Ambas producciones están desviadas (*bypass*) al igual que en la instalación original para aprovechar el resto del circuito hidráulico, el transporte a unidades terminales (climatizadores originales) y distribución a los distintos espacios acondicionados. El sistema de climatización cuenta con 13 climatizadores (potencia del motor 42 kW y caudal total $-Q$ 127.960 m³/h), aunque de ellos sólo se estudian ocho, aquellos que dan servicio en el edificio principal (alrededor del 68 % de la potencia y del caudal Q). Los restantes sirven a las naves de ensayos y otras oficinas más distanciadas.

Este sistema de climatización ha tenido muy pocos cambios desde su instalación original, actualmente es muy poco eficiente, existen muchas pérdidas tanto en verano como en invierno. El Instituto en principio no se plantea modificar el trazado ni elementos de la instalación, por lo que el primer objetivo debería ser la mejora de la producción de la caldera (9).

4.3. Agua Caliente Sanitaria (ACS)

El sistema de producción de ACS existente está formado por termos eléctricos ubicados en los diferentes servicios y vestuarios del edificio, y algunos calentadores instantáneos de gas. El sistema actual de ACS se basa principalmente en el efecto Joule.

5. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO A PARTIR DE DATOS DE FACTURACIÓN Y MONITORIZACIÓN

Se resumen a continuación algunos datos significativos que se desprenden del análisis de la facturación de consumos energéticos en el IETcc.

5.1. Facturación energética

El consumo medio para calefacción es de 79.252 litros de gasóleo C al año tomando como referencia los últimos años, 2010-2012. Aunque la recarga del tanque se puede producir en diferentes meses, el consumo cada año se mantiene relativamente estable. Esto supone un coste medio de 59.401 € al año destinados a las necesidades de calefacción del edificio principal y diferentes naves. Los datos de los últimos años (2009 al 2012) se muestran en la Figura 5.

Tomando como referencia los últimos años de 2009 a 2012 se puede ver cómo el consumo eléctrico es de 112.009 kWh/mes de media. Es de destacar que la factura total incluye los consumos de las naves de ensayos y otros usos específicos que añaden incertidumbre al modelo. La discriminación de los consumos por zona sería una de las primeras medidas a tomar.

El consumo aumenta ligeramente en los meses de marzo, abril, julio, agosto y septiembre. El consumo anual medio de electricidad (2010-2012) es de 1.341.086 kWh, lo que supone un coste medio anual de 199.736 € en electricidad.

5.2. Emisiones de CO₂

Tomando los mismos datos de facturación real en los últimos años se pueden estimar las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de estos consumos energéticos anuales.

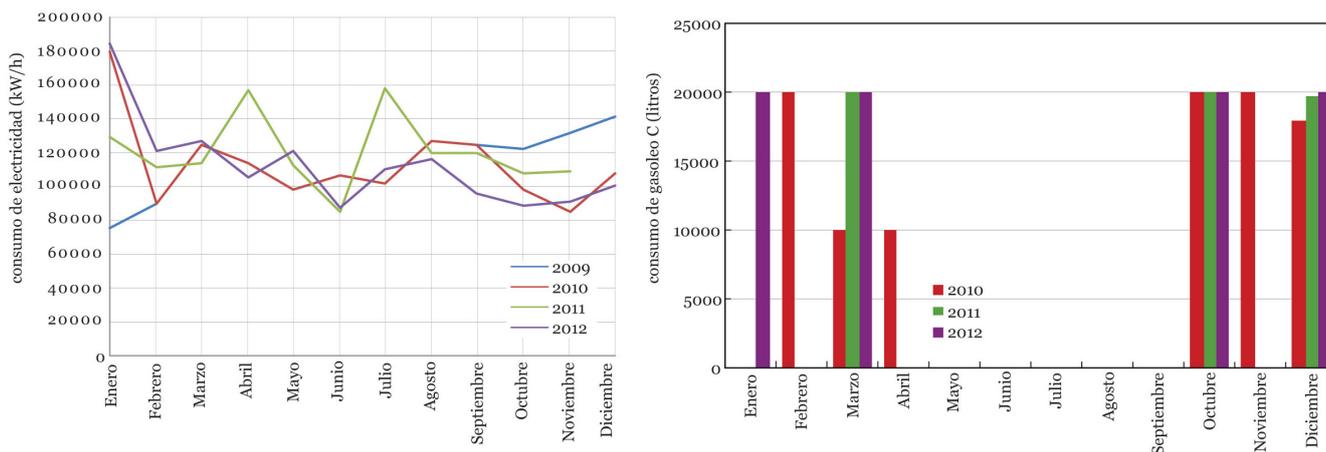


Figura 5. Consumos de electricidad (kWh) y recargas puntuales del depósito de gasóleo C (litros) por meses. Periodo 2009-2012 y 2010-2012

A partir del consumo de gasóleo en el periodo 2010-2012 y un factor de emisión de 2,79 KgCO₂/litro, se pueden estimar unas emisiones directas en el IETcc de 221,1 toneladas de CO₂ al año de media.

En el caso de la electricidad facturada, considerando las variaciones en los factores de emisión que han ido en aumento cada año en el mismo periodo, se puede ver cómo la media de emisiones indirectas es de 387,4 toneladas de CO₂ al año (Tabla 2). Aunque el consumo en estos tres años se ha mantenido relativamente estable, las emisiones han ido en aumento por la disminución en la participación de energías renovables dentro del mix eléctrico.

Durante el periodo 2010-2012 se contemplan los alcances 1 (consumo de combustibles en el edificio) y 2 (consumo eléctrico). Los factores de emisión utilizados son: 2,79 Kg CO₂/litro de gasoil, 0,247 kg CO₂/kWh eléctrico en 2010, 0,29 kg CO₂/kWh en 2011 y 0,33 kg CO₂/kWh en 2012.

5.3. Toma de datos *in situ* para la caracterización térmica del cerramiento estándar

La toma de datos experimental permite recoger información empírica de diferentes aspectos que afectan al comportamiento energético del edificio. En el presente trabajo se han utilizado dos equipos para tomar datos de transmisión de calor a través de los cerramientos tipo (Equipo TESTO 435 y equipo de medida de flujo de calor HUKSEFLUX).

Se pretende obtener un rango de transmitancia *in situ* de la fachada actual y poder valorarlo conjuntamente con el apoyo de los datos del catálogo, donde el cálculo teórico del muro, según CTE, nos ofrece una U (Transmitancia térmica) de 0,90 W/m²K.

Como conclusiones de los ensayos de transmisión de calor, se puede afirmar que aunque los datos con ambos métodos no reflejan una transmitancia constante (por definición de la norma), si se han podido obtener valores de transmitancia dentro del rango que ofrece el catálogo de elementos constructivos del CTE para las capas estimadas que conforman el cerramiento. De esta manera ha sido posible validar las tablas y escoger el dato apropiado de transmitancia para la simulación energética.

5.4. Estudio de pérdidas térmicas mediante imagen de infrarrojos

Con esta técnica se ha pretendido detectar la aparición de puentes térmicos en la envolvente del edificio, así como patologías de pérdidas puntuales no detectadas mediante otras herramientas.

Se ha usado una cámara termográfica de alta definición con la que se ha hecho una inspección a las distintas partes de la envolvente. Las termografías fueron tomadas en época de invierno, con temperaturas exteriores bajas, y el interior del edificio se mantenía en un rango de 20-25 °C.

Se ha podido observar que en las fachadas no se manifiestan puentes térmicos en los cantos de los forjados, como corresponde a una estructura de muros de carga. En cambio se observan las pérdidas de calor a través del contorno de los huecos. Además la unión de los elementos de cubierta con la fachada sí que presenta faltas de estanquidad que afectan al aislamiento del edificio (Figura 6). Por otro lado, se ha visto que el sistema de conducción de la climatización, tanto en su fase en aire como en agua, presenta faltas de aislamiento que provocan pérdidas térmicas.

Tabla 2. Consumo y estimación de emisiones directas e indirectas en el IETcc según las facturas energéticas.

	2010	2011	2012
(1) consumo gasoil (litros)	98.000	59.679	80.076
(2) consumo electricidad (kWh)	1.355.173	1.323.149	1.344.935
emisiones directas (kgCO ₂)	273.420	166.504	223.412
emisiones indirectas (kgCO ₂)	334.727	383.713	443.828



Figura 6. Vista de las ventanas de la fachada norte del IETcc. Termografía de la fachada norte.

5.5. Muestra de confort interior en invierno en espacios del edificio principal

A modo de ejemplo en la Figura 7 se muestra la variación de la temperatura interior medida en varios despachos del edificio principal con cuatro diferentes orientaciones (N, S, E y O), respecto a la temperatura en el exterior en invierno. Se pueden observar los siguientes aspectos de interés:

- A lo largo del periodo que se muestra no se alcanza una temperatura de consigna estable y precisa.
- En general las oscilaciones diarias en el interior no son grandes, de dos o tres grados en horario de oficina.
- El edificio mantiene el calor durante el fin de semana.
- Se aprecian diferencias importantes entre los despachos según la orientación solar. Estas son claramente apreciables en la fachada sur y oeste, donde los picos diarios máximos y mínimos se acentúan y se sitúan por encima del resto, y en la fachada norte, que mantiene a lo largo de este pe-

riodo una temperatura inferior y con menores diferencias entre los máximos y mínimos. Estas diferencias también se pueden acentuar por la zonificación del sistema de climatización.

Las diferencias y falta de control de temperatura en los despachos se aprecian también en el sentir general de confort térmico de los trabajadores del centro y en el uso frecuente de calefactores y ventiladores adicionales en algunos despachos, en invierno y en verano.

6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO A PARTIR DE LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA

A partir de los datos de definición arquitectónica, constructiva y operacional, se realiza una estimación de las necesidades del edificio para las condiciones de confort exigidas por la normativa vigente.

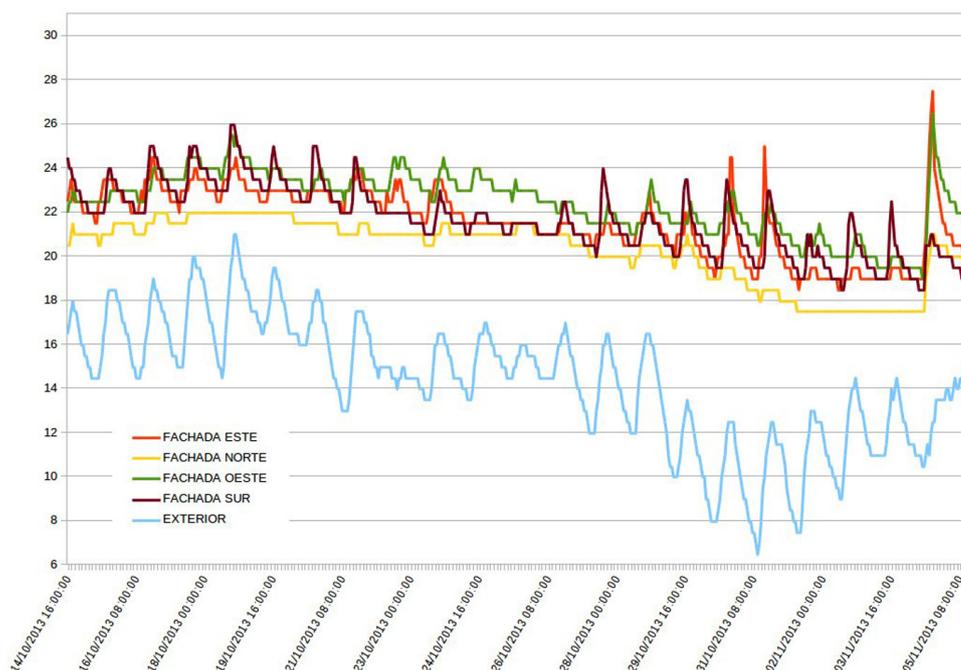


Figura 7. T exterior y T interior en espacios del IETCC con orientaciones diferenciadas. 5 al 14 /11/2013.

Los primeros resultados de verificación de los requisitos mínimos del CTE-DB-HE1 (11), arrojan que el edificio presenta problemas de incumplimiento en concreto:

- El aislamiento térmico es insuficiente en todos los elementos de la envolvente (fachadas, huecos, cubiertas y suelos).
- Exceso de permeabilidad al aire en las ventanas, que se traduce en altas infiltraciones descontroladas.
- Riesgo de aparición de condensaciones superficiales en los elementos prefabricados de hormigón de las fachadas que conforman las ventanas, en los muros de sótano y en cubiertas planas.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3. La demanda de calefacción supera el valor de referencia del CTE. La demanda de refrigeración cumple con la exigencia para un edificio de este uso.

La distribución mensual de estas demandas se representa en la Figura 8. Se observa que existen meses con demandas energéticas bajas (mayo, junio, septiembre y octubre), en los que se debería poder alcanzar el confort térmico mediante actuaciones bioclimáticas, sin necesidad de consumo energético.

En cuanto a la distribución espacial, la mayor demanda de calefacción se produce en los espacios situados bajo la cubierta y en los de orientación norte. La mayor demanda de refrigeración se produce en espacios acristalados como el comedor y el hall de entrada y en los espacios con orientación sur, este y oeste, con una mayor incidencia en los espacios bajo cubierta. El aumento generalizado de ambas demandas en los espacios bajo cubierta indica un aislamiento insuficiente de la misma.

En cuanto a la distribución de la demanda por conceptos, la simulación señala como causa principal para la demanda de calefacción, la infiltración de aire y para la de refrigeración, las fuentes internas. En cuanto a la contribución de la envolvente térmica a la demanda de calefacción, los elementos que

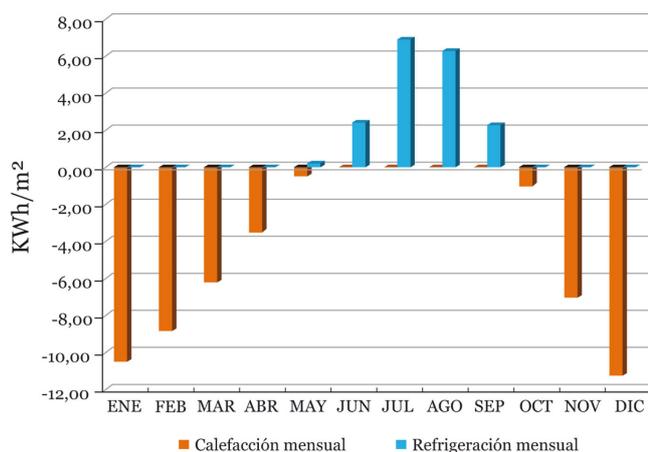


Figura 8. Demanda energética mensual del edificio principal.

Tabla 3. Demanda energética anual del edificio principal.

	Calefacción	Refrigeración	
Valor por unidad de superficie	-48,77	18,10	kWh/m²
Demanda total	-362.074,30	134.364,53	kWh
Edificio de referencia (CTE)	-31,70	23,46	kWh/m²

más penalizan son las ventanas, seguidas de las fachadas y las cubiertas.

Para tener una mayor similitud con la realidad, se ha tenido en cuenta en el modelo que las grandes fachadas del edificio están compuestas por una parte de ladrillo con doble hoja y otra de hormigón que conforma los huecos de las ventanas y que tiene menor superficie pero una transmisión térmica mayor.

La parte de hormigón es responsable de prácticamente la mitad de las pérdidas de la fachada en invierno y de la mayor parte de la transmisión de calor al interior en verano. Esta circunstancia, unida a la imposibilidad de intervenir la fachada por el exterior debido a su protección patrimonial, hace que el planteamiento de mejoras en fachada resulte delicado.

Si se analiza en detalle la demanda para dos zonas de despachos con diferente orientación (norte/sur), se observa que el aporte solar de las ventanas soleadas es importante en invierno pero aparece amortiguado en verano debido al buen diseño de la protección solar existente (Figura 9).

Para la estimación de las demandas se ha utilizado el programa LIDER y para la elaboración del informe de calificación energética del edificio se han utilizado las herramientas CALENER GT y CEX (Figura 10).

7. PROPUESTAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

En este apartado se presenta un resumen de las primeras propuestas que se hacen para la eficiencia energética, sin dejar cerrado, ni mucho menos las posibilidades de nuevas ideas. Se divide este punto en Medidas pasivas y medidas activas de mejora.

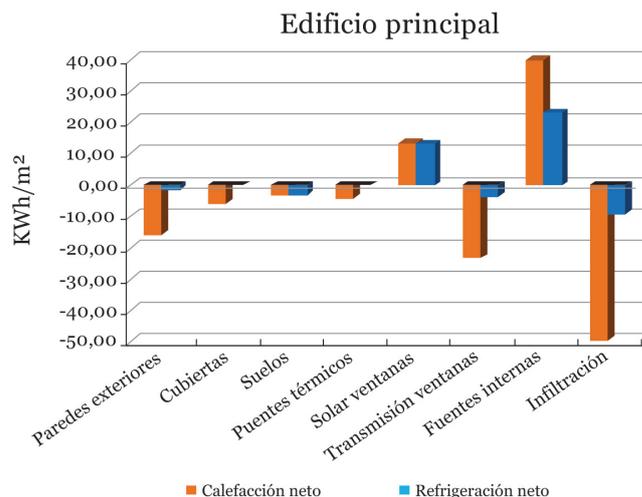
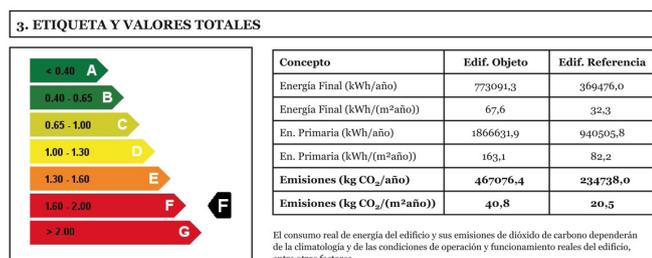


Figura 9. Demanda energética de calefacción y refrigeración anual por conceptos.

Figura 10. Calificación del estado actual (emisiones de CO₂).

7.1. Medidas pasivas de mejora

Se exponen tres medidas ordenadas por su potencial de reducción de la demanda de calefacción, que de acuerdo con el diagnóstico realizado en el apartado 6. Las medidas escogidas van dirigidas fundamentalmente a la mejora de la demanda de calefacción, puesto que es la que está produciendo unos mayores consumos, si bien se analiza su repercusión en la refrigeración. El desarrollo de esta propuesta y el análisis de los costes se puede consultar en una comunicación de las Jornadas del IETcc (2014) (12).

a) Sustitución de ventanas

Se propone la incorporación de carpinterías de madera por sus altas prestaciones térmicas y reducidos valores de energía incorporada. Se ha previsto la sustitución del vidrio monolítico por doble acristalamiento aislante con cámara de 16 mm. En los huecos de orientación norte se propone además la inclusión de una capa de baja emisividad que le aporte un valor U máximo de 1,4 W/m²K.

En este estudio no se contempla la sustitución de las ventanas singulares del comedor y recibidores (entrada principal y salón de actos). Se han evaluado solamente las ventanas de despachos y laboratorios en plantas semisótano, baja y primera. Esta medida permite reducir las pérdidas de calor en invierno a la vez que se controlan las infiltraciones de aire (Tabla 4). Este último aspecto es difícilmente cuantificable mediante la simulación de demandas.

b) Aislamiento de cubiertas

Se ha contemplado la incorporación de aislamiento térmico de $\lambda=0,031$ W/mK en el suelo de desván en primera y segunda planta por ser una medida de incorporación sencilla y muy económica. El espacio bajo cubierta se mantiene no habitable y ventilado, como se proyectó en su momento. En la valoración

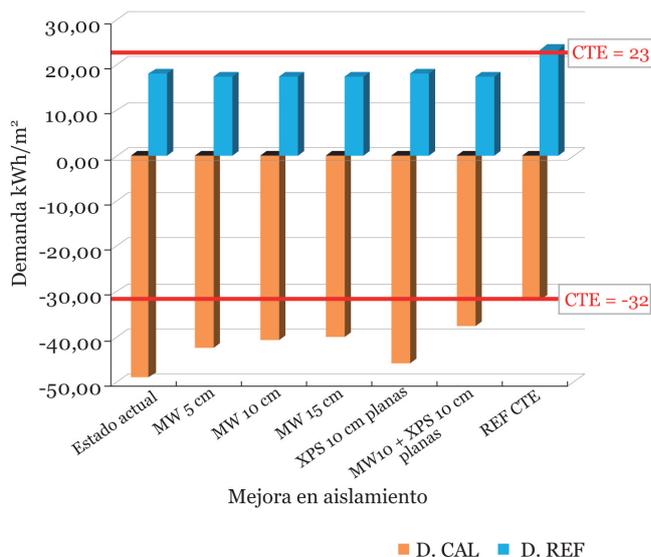


Figura 11. Resultados de diferentes mejoras en cubiertas.

de esta mejora se ha supuesto que los techos originales se conservan (Tabla 5).

Finalmente se valora la opción 5 que se considera óptima: la incorporación de 10 cm de aislamiento térmico en el desván de cubierta inclinada y 10 cm en las cubiertas planas, incluyendo una protección de grava (Figura 11).

c) Aislamiento de fachadas

Las opciones existentes para esta fachada serían el aislamiento térmico por el interior o el aislamiento térmico mediante inyección de cámaras de aire, puesto que el carácter patrimonial del edificio impide actuar por el exterior. Las dos medidas son generadoras de puentes térmicos en los cantos de los forjados. El aislamiento por el interior podría solucionar los problemas de transmisión a través de los contornos de huecos, pero exigiría la demolición de la cámara de aire existente y por consiguiente tiene una afección mayor al funcionamiento diario del centro.

En la propuesta (12) se ha optado por la inyección en cámaras por la sencillez de ejecución y la posibilidad de compatibilizar la incorporación de esta medida durante el funcionamiento normal del centro. Se ha considerado un espesor homogéneo de la cámara de 5 cm, conforme a los planos de construcción Figura 12. Esta medida presenta algunos problemas como son las dificultades para una ejecución homogénea y el agra-

Tabla 4. Resultados de mejoras en ventanas.

	Demanda calefacción KWh/m ²	Demanda refrigeración KWh/m ²	Demanda conjunta ponderada KWh/m ²	% respecto al valor inicial
Estado Actual	-48,77	18,10	61,44	
1) Todo Doble acristalamiento	-41,41	19,17	54,83	89,23 %
2) Todo Bajo Emisivo	-40,89	18,44	53,80	87,56 %
3) Bajo Emisivo Norte y Doble acristalamiento Sur	-40,90	18,78	54,05	87,96 %
REFERENCIA CTE	-31,70	23,46	48,12	78,32 %

Tabla 5. Resultados de mejoras en cubiertas.

	Demanda calefacción KWh/m ²	Demanda refrigeración KWh/m ²	Demanda conjunta ponderada KWh/m ²	% respecto al valor inicial
Estado Actual	-48,77	18,10	61,44	
1) MW 5cm	-42,22	17,58	54,53	88,74 %
2) MW 10cm	-40,69	17,42	52,88	86,07 %
3) MW 15cm	-39,99	17,36	52,14	84,86 %
4) XPS 10cm planas	-45,60	18,13	58,29	94,87 %
5) MW10 +XPS10 planas	-37,54	17,50	49,79	81,03 %
REFERENCIA CTE	-31,70	23,46	48,12	78,32 %

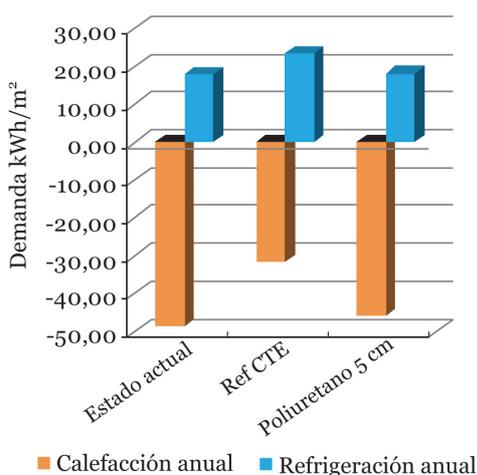


Figura 12. Resultados de mejora en fachadas.

vamiento de los puentes térmicos aumentaría el riesgo de condensaciones.

7.2. Medidas activas de mejora

a) Iluminación

Se propone sustituir las actuales luminarias, fluorescentes e incandescentes en su totalidad, por las de tipo LED teniendo en cuenta principalmente el criterio de consumo energético. En determinados despachos se plantea mantener el falso techo original, por lo que se propone instalar luminarias adosadas como existe actualmente (9). Se han elegido varios dispositivos de regulación y control dependiendo de la zona que se trate. Existen dos tipos de dispositivos de control: todo/nada, o sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen proporcionalmente y de manera automática por sensor de luminosidad el nivel de iluminación.

b) Utilización de biomasa como combustible

Se propone recuperar las instalaciones de almacenamiento de carbón, el dodecaedro, silo de carbón que alimentaba por conductos de descarga a unos alimentadores automáticos que finalmente lo transferían a la caldera. El objeto es contribuir al ahorro de energía modificando la producción en régimen de invierno, ya que es una de las cargas por instalaciones que más penaliza al total de la demanda del edificio. La propuesta además opta por una solución de energía renovable, como es la biomasa por biocombustible sólido.

Con esta medida se ha calculado un ahorro de emisiones de CO₂ a la atmósfera (9), de 224.534,7 tCO₂/año, si se sustituye la caldera actual por la nueva para biomasa. Cabe destacar que el edificio del IETcc-CSIC está ubicado en una zona verde de 4 Ha rodeado de pinos, con posibilidad de suministrar parte de las fuentes de biomasa.

c) ACS- Solar térmica

Como se indicó en el punto de las instalaciones, el sistema de producción de ACS existente está formado por termos eléctricos, y calentadores instantáneos de gas. Se propone sustituir el sistema de producción de ACS actual por agua cliente obtenida por energía solar térmica, a través de captadores ubicados en la cubierta del edificio, ver análisis de la propuesta en el trabajo de Cuerdo-Vilches *et al.* (2014) (9).

7.3. Otras medidas activas a experimentar

Existen otras medidas activas que pueden ser experimentadas en nuestro centro, para lograr una mayor eficiencia energética y hasta el autoabastecimiento energético, pero que aún están por analizar y evaluar, como son los sistemas fotovoltaicos, los eólicos (micro y macro generadores), así como los sistemas de refrigeración con energía solar, actualmente en estudio por investigadores de nuestro instituto. Así como otros sistemas de producción de energía que se encuentran en desarrollo actualmente.

8. A MODO DE CONCLUSIONES

La calificación energética del estado actual del edificio es desfavorable. Es posible mejorar sustancialmente esta calificación, para lo cual es necesario elaborar un plan de mejora y rehabilitación del IETcc, innovador y experimental, con el objetivo de disminuir su consumo energético y huella de carbono.

El consumo de gasóleo facturado no se corresponde con los valores de la simulación energética. Probablemente los estándares de confort no se están alcanzando en la totalidad de los espacios.

Para lograr una mayor eficiencia es necesaria una auditoría energética en la que se estudien los consumos desagregados por espacios y por usos diferenciados del IETcc, especialmente de los consumos eléctricos. El conocimiento en mayor profundidad del tipo de consumo va a permitir una propuesta ajustada de mejora en la eficiencia y por tanto una reducción del impacto ambiental y sus costes de uso correspondientes.

Es necesario abordar medidas de mejora de la eficiencia energética tanto de tipo pasivas, como activas. Las propuestas de mejora estudiadas son una primera aproximación. Las mejoras deberán aplicarse de forma escalonada. Se propone empezar por las medidas pasivas de mejora de la construcción actual para reducir las demandas. A continuación se actuará en las instalaciones (sin duda obsoletas) como parte de las medidas activas de mejora energética. Finalmente se abordará una propuesta de energías renovables que lleve al objetivo de «edificio de consumo de energía casi nulo».

La rehabilitación energética de la envolvente térmica de edificios singulares requiere una cuidadosa selección de medidas de mejora que respeten el carácter arquitectónico y la protección del edificio.

Deben valorarse los aspectos económicos de la rehabilitación, ya que son determinantes y deben formar parte de la investigación que se proponga para escoger los sistemas de mejora energética, y es importante determinar los tiempos de amortización.

Después de 80 años de la fundación del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (originalmente fundado como el Instituto de la Construcción y del Cemento) y más de

60 de existencia en la sede actual, es necesario replantearse, como centro puntero de la investigación de la construcción que fue desde el inicio, un plan de modernización, de actualización, de rehabilitación, dentro de la estrategia prioritaria de reducción de consumos energéticos, y cumplir con las directivas Europeas.

Las acciones que se propongan para la rehabilitación energética e integral del edificio del IETcc-CSIC, pueden ser demostradoras para otros edificios públicos, en especial para aquellos con valor patrimonial y que fueron construidos hace más de medio siglo.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de mantenimiento del IETcc, por la información suministrada y sus recomendaciones. A Leónidas Hernández, estudiante de la Universidad de Alcalá de Henares por su apoyo en la modelización energética; a Héctor Bueno-Durán de la Universidad de Extremadura, por su colaboración en el estudio de las instalaciones. A la Dra. Isabel Martínez Sierra por su colaboración en la instrumentación y a la Dirección del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del CSIC, quien nos propuso encargarnos de este trabajo.

REFERENCIAS

- (1) Parlamento Europeo. (2012). Directiva 2012/27/UE del parlamento europeo y del consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética. *Diario Oficial de la Unión Europea*, nº315. <http://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>.
- (2) Parlamento Europeo. (2010). Directiva 2010/31/UE del parlamento europeo y del consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, nº153: 13-35. <http://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>.
- (3) Azorín, V., Cassinello, P., Monjo, J. (2012). Archivo Eduardo Torroja. La Sede del IETcc (1949-1953). Inéditos anteproyectos previos a su construcción. *Informes de la Construcción*, 64(525): 5-18, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.023>.
- (4) Arredondo, F. (1999). Organización de obra. *Informes de la Construcción*, 51(462): 81-90, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1999.v51.i462.860>.
- (5) Echegaray, G., Barbero, M. (1999). Composición Arquitectónica. *Informes de la Construcción*, 51(462): 19-42, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1999.v51.i462.857>.
- (6) Laorden, J. (1999). Instalaciones del edificio de Costillares. *Informes de la Construcción*, 51(462): 63-80, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1999.v51.i462.859>.
- (7) Eymar, J. (1999). Prefabricación. *Informes de la Construcción*, 51(462): 43-62, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1999.v51.i462.858>.
- (8) ISDEFE. (2011). Informe de diagnóstico energético del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-CSIC. MINECO. Estudio encargado por el IDAE. MCEI-F3-127-IETCC. Informe no publicado.
- (9) Cuervo-Vilches, T., Bueno-Durán, H., Fernández, L., Martín-Consuegra, F. (2014). Medidas activas de mejora de la eficiencia energética para la rehabilitación del edificio principal del Instituto Eduardo Torroja. En *Jornadas de Investigación del IETcc-CSIC*. 11/2014. Madrid.
- (10) Oñate, V. (1999). Iluminación Artificial. *Informes de la Construcción*, 51(462): 106-119, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1999.v51.i462.861>.
- (11) CTE-DB-HE1. (2009). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE1 Ahorro de Energía. España
- (12) Martín-Consuegra, F, Fernández, L., Frutos, B., Alonso, C., Olaya, M., Oteiza, I., Cuervo-Vilches, T. (2014). Medidas pasivas de mejora de la eficiencia energética para la rehabilitación del edificio principal del Instituto Eduardo Torroja. En *Jornadas de Investigación del IETcc-CSIC*. 11/2014. Madrid.

* * *