

CONTART 2016. La Convención de la Edificación
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica
de España, p.487-499

EVALUACIÓN DE SOFTWARE DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EN ESPAÑA SEGÚN CONSUMOS REALES DE EDIFICIOS TERCIARIOS

DE LA CRUZ, LUCIO¹; CAMBRA, DAVID²; HERRANDO MARÍA²; NAVARRO MARCOS²;
MILLÁN GEMA²; ZABALZA, IGNACIO²

*1: Gerente y Secretario Técnico Colegio Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza. Ex
Jefe de Sección de Energía y Medioambiente de Universidad de Zaragoza
e-mail: ldelaacruz@arquitecturayproyectos.es, web: www.coatz.org*

*2: CIRCE. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Universidad de
Zaragoza
e-mail: dcambra@fcirce.es, web: www.fcirce.es*

Palabras clave: certificación energética de edificios; consumo de energía; medidas de
eficiencia energética en edificios; comportamiento de usuarios; factura energética real.

RESUMEN

Para la realización del estudio se ha llevado a cabo la certificación de eficiencia energética de 21 edificios terciarios de la Universidad de Zaragoza (España), de acuerdo con la transposición de la Directiva 2010/31/UE. En primer lugar, se esboza una introducción a la problemática existente junto con la revisión del estado de la técnica de la certificación energética de los edificios, en relación tanto con el estado actual de la normativa nacional en vigor como con los estudios realizados en varios países para evaluar la eficiencia energética de diferentes tipos de edificios, residenciales y no residenciales. Se esboza un resumen de las causas encontradas en otros estudios de las discrepancias entre el consumo de energía estimado (por simulación) y el real y posteriormente se compara con los resultados del presente estudio. Posteriormente se muestra la metodología seguida para llevar a cabo la certificación de eficiencia energética de los edificios y los principales resultados encontrados junto con su explicación, comparando el consumo real de energía vs estimado en los diferentes casos a estudio, proponiendo justificaciones a las desviaciones obtenidas. También se analiza la distribución del consumo de energía en función de los usos en varios edificios, y se evalúan las posibles mejoras para el software de simulación.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Actualmente, existe un gran deseo de mejorar la eficiencia energética y diversificar y descarbonizar el suministro de energía, debido al incremento de demanda de energía junto con la alta dependencia de combustibles fósiles y el Cambio Climático. En el sector de la construcción, donde está enfocado este artículo, la Directiva 2010/31 / UE [1] (refundición de la Directiva 2002/91/CE [2] reforzada por la Directiva 2012/27 / UE [3]) ha establecido un marco común para una metodología general para calcular la eficiencia energética de edificios, y también ha establecido los requisitos mínimos para la eficiencia energética de los edificios, buscando la óptima rentabilidad, que se debe aplicar a los edificios nuevos y existentes, para garantizar que los ahorros económicos derivados del menor consumo de energía durante todo el ciclo de vida de un edificio son mayores que las inversiones involucradas [4]. Además, esta Directiva exige que todos los nuevos edificios (residenciales, oficinas y servicios) construidos en la UE a partir de 2020, deben estar cerca de los edificios de energía casi nula, potencia la mejora de la envolvente térmica, la producción de energía renovable in situ y la instalación de equipos de alta eficiencia energética [1]. Este documento requiere que todos los edificios existentes que se vendan o alquilen deben obtener el Certificado de Eficiencia Energética (en adelante CEE). Según la normativa española, las herramientas específicas para la certificación de edificios, usan el modelado termodinámico para simular toda la edificación con el fin de determinar su rendimiento energético. En España estas herramientas son CALENER VYP para las viviendas y pequeños edificios del sector terciario y CALENER GT (basado en el motor de cálculo DOE-2) para el resto de los edificios del sector terciario. En el presente estudio, se ha usado la herramienta CALENER GT, que cuenta con una interfaz gráfica a través de la cual se introducen todos los inputs necesarios, tales como composición de la envolvente térmica, datos de instalaciones de climatización y las horas de funcionamiento de acuerdo con los usuarios, perfiles de ocupación, etc.

1.2 PRINCIPALES OBJETIVOS Y VISIÓN GENERAL

Todos los estudios previos existentes relacionados con el tema evidencian ciertas diferencias entre el consumo energético real y el estimado por las herramientas de simulación, tanto en edificios no residenciales como en residenciales; que deben abordarse para asegurar que las políticas energéticas actuales se cumplan efectivamente. En un intento de identificar este vacío y ofrecer alternativas para su mejora, el presente estudio evalúa el software oficial español para la Certificación de Eficiencia Energética de los Edificios, aplicándolo a 21 edificios diferentes, de perfil tanto académico como de investigación, obteniendo las diferencias existentes entre el consumo de energía estimado a partir de la simulación energética y el consumo real de energía obtenida de facturas de energía. En concreto, los principales objetivos del estudio son:

- Caracterizar energéticamente el conjunto de edificios de la Universidad de Zaragoza.
- Obtener el Certificado de Eficiencia de todos los edificios, lo que es prescriptivo.

- Evaluar las diferencias entre el consumo de energía estimado (por simulación) y el real.
- Detectar los puntos de mayor consumo de energía y evaluar las posibles causas.
- Proponer mejoras en la herramienta de simulación para homogeneizar los resultados entre el real y el estimado.

2. METODOLOGÍA

La muestra de edificios de la Universidad de Zaragoza considerada consiste en 21 grandes edificios, 15 de ellos de perfil docente y 6 destinados a Investigación. Como puede apreciarse en la Figura 1 los edificios a estudio son significativamente diferentes, con un rango de superficie útil de 800 a 27.600 m², construidos (o reformados) entre los años 1.990 y 2.013. Por ello se encuentran diferencias significativas en las soluciones constructivas y de instalaciones de los mismos, especialmente en los edificios más antiguos que han sido recientemente rehabilitados (A6, construido en 1.946 y rehabilitado en 1.994 y A7, en 1.975 y 1.995 respectivamente). De acuerdo al ratio S/V (superficie de envolvente respecto al volumen), la Tabla 5 muestra un abanico entre 0.17-0.33, con una media de 0.28, siendo el más bajo A11 que tiene una gran parte dedicada a la práctica deportiva.

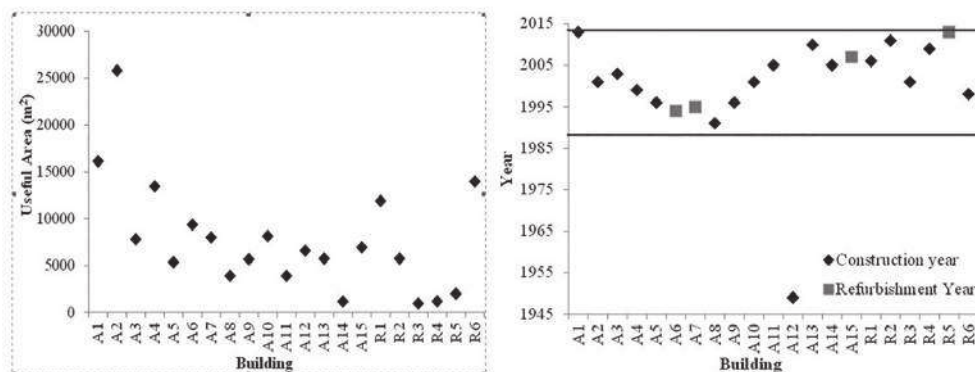


Figura 1. (izquierda) Superficie útil (derecha) Año de construcción / rehabilitación para los diferentes edificios estudiados (A = Académico, R = Investigación).

Con el objetivo de caracterizar de modo completo a estos edificios, se han llevado a cabo todas las tareas de inventariado de todas sus instalaciones activas (iluminación, calefacción, aire acondicionado, ventilación, bombeo, etc.) y todos sus elementos pasivos y la interacción con las construcciones adyacentes (sombras, etc.).

El software de simulación energética utilizado, CALENER GT, utiliza DOE-2.2 como motor de cálculo, desarrollado por el Departamento de Energía de EE.UU. y el Laboratorio de Berkeley. Este software calcula el comportamiento energético de los edificios según el procedimiento y en las condiciones generales de funcionamiento especificados en la normativa. Los principales resultados son los indicadores de eficiencia energética y ambientales necesarios para completar la etiqueta de eficiencia energética se solicita en la EPBD [2], proporcionada a través del consumo de energía por metro cuadrado construido (tanto en términos de energía primaria y final), la demanda energética de

calefacción, refrigeración, iluminación y Agua Caliente Sanitaria (ACS) y las emisiones de CO₂ globales y parciales (por los diferentes servicios antes mencionados). Aparte de eso, CALENER-GT incorpora una herramienta de análisis de los resultados para analizar diferentes usos de la energía dentro del edificio (bombas, ventiladores, iluminación, etc.), dotando de un valor añadido a la citada herramienta. Los datos que deben introducirse en la herramienta de simulación para obtener el CEE se resume en la Tabla 1. Se debe enfatizar que es significativamente complicado recopilar toda esta información, ya que cada edificio tiene sus particularidades y, como se muestra en la Figura 1, algunos de ellos son bastante antiguos.

Tabla 1. Entrada de datos en el software de simulación energética.

Elementos Constructivos	Sistemas de energía	Horarios	Carga interna
Plantas de los edificios	Descripción de elementos:	Calefacción	Ocupación
Secciones	- Calderas	Refrigeración	Equipamiento
Envolventes	- Enfriadoras	Ventilación	Ganancias internas
Acristalamiento y localización	- Bombas	Iluminación	
Fachada	- Iluminación		
Cubierta	- Fan coils		
Forjados	- Radiadores/Suelo radiante		
Particiones interiores	- Termos ACS		
Losas y soleras	- Sistemas de energía solar		
Muros en contacto con el terreno	- Distribución de aire interior		

Debido a las singularidades de los edificios y a la dificultad de establecer un patrón común, se han dividido en dos tipos: de uso académico y de investigación, dando a cada uno de los tipos una distribución de horarios y ocupación con dos periodos (lunes-viernes y sábado). Todo ello, se ha realizado de acuerdo a las pautas y datos proporcionados por los representantes técnicos de la Universidad de Zaragoza. En la Tabla 2 se muestra la distribución realizada.

Tabla 2. Horarios y porcentaje de ocupación en los edificios estudiados.

Edificio	Perfil de ocupación				
	8-9 h	9-14 h	14-16 h	16-18 h	20-22 h
Mon. – Fri.					
Academic (A)	40	100	30	40	20
Research (R)	80	100	35	70	30
Saturday					
Academic (A)	0	2	0	0	0
Research (R)	0	40	5	10	0

De forma análoga, las horas de operación se han establecido con criterios análogos tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Horas de operación de los edificios por tipo y por meses.

Building	Heating System			Cooling System		
	Nov.	Dec.-Mar.	Apr.	Jun.	Jul.-Aug.	Sep.
Mon. – Fri.						
Academic (A)	7-13 h	7-21 h	7-13 h	12-18 h	10-20 h	12-18 h
Research (R)	7-17 h	7-21 h	7-17 h	8-21 h	8-21 h	11-19 h
Saturday						
Research (R)	7-17 h	7-21 h	7-17 h	8-21 h	8-21 h	11-19 h

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

2.1 DISCREPANCIAS EN LA APLICACIÓN A LOS EDIFICIOS

Como puede observarse en estudios similares, la aplicación gráfica de los edificios en el software de simulación conlleva en una serie de simplificaciones que generan una desviación en las dimensiones de los edificios. La discrepancia encontrada entre la real y el área de superficie de los edificios simulados es de un 8% de promedio, siendo en la mayoría de los casos la superficie considerada en el software más grande que el área real del edificio. Esto tiene impacto en los indicadores energéticos específicos proporcionados por el software de simulación. Por ejemplo, en la construcción de R6, la desviación del área encontrada es del 7%, siendo en este caso la superficie implementada en el software menor que el área real del edificio. Para intentar corregir esta desviación, el consumo estimado con la herramienta de simulación se incrementó con un factor de 1,07 (ver columna de la simulación corregida en la Tabla 4); como consecuencia, la desviación entre el consumo de energía estimado y real en edificios de investigación se redujo de 36,4% a 32,3%. En resumen a lo anterior, se puede concluir que una mejora en el modo de aplicación de la geometría de los edificios reducirá la diferencia entre el consumo de energía estimado y real.

Por otro lado, cabe señalar que se ha observado en el presente estudio que los horarios de operación establecidos en los diferentes edificios afectan significativamente a los resultados de la simulación, por lo que es muy importante seleccionar correctamente el uso principal de los edificios (académico e investigación) (ver Tabla 3), para obtener una estimación adecuada del comportamiento del edificio con el software. Por ejemplo, R6 fue simulado inicialmente como edificio académico, ya que tiene una carga académica importante, pero los resultados mostraron que la discrepancia entre el estimado y el consumo de energía real era considerable (82%, ver Tabla 4). Si por el contrario el horario de operación se incrementa y se considera como un edificio de investigación, la desviación se redujo hasta el 36%. Por lo tanto, se puede concluir que la comparación de consumo de energía real vs estimado es muy importante ya que permite la detección de posibles errores cometidos en la definición y ejecución de la construcción en el software de simulación.

Tabla 4. Consumo total de energía (estimado y real) y porcentaje de desviación para el edificio R6 considerándolo como Investigación o Académico. Columnas simulación corregida y desviación corregida muestran el consumo de energía total y el porcentaje de desviación, respectivamente, cuando se corrige la desviación de superficie.

Horario de Operación	Tipo de edificio	Consumo total de energía (kWh/m ² -año)			Desviación (%)	
		Herramienta de simulación	Simulación corregida	Consumo real	Actual	Corregido
Extendido	Investigación	98	104.4	154.2	36.4%	32.3%
Académico	Académico	28.1	29.9	154.2	81.8%	80.6%

2.2 DESGLOSE DE CONSUMO DE ENERGÍA POR USOS

La Figura 2 ilustra el desglose del consumo de electricidad de seis edificios universitarios representativos (4 Académicos y 2 de Investigación), incluyendo iluminación, refrigeración, calefacción, ventiladores y bombas y equipos auxiliares. Los edificios A3 y A4 fueron seleccionados por su sistema de bomba de calor, y el A8 es un edificio similar, pero con una caldera convencional, por lo que se pueden comparar. Además, el edificio A10 fue seleccionado ya que es similar a A8, pero se encuentra en un clima menos cálido. En cuanto a los edificios de investigación, R3 es un edificio de investigación característico, con algunas particularidades, y R5 es un edificio singular construido con criterios bioclimáticos. En términos generales es posible observar que, a pesar de que hay algunas similitudes dentro de los edificios A3, A4 en un lado, y A8, A10 y R5 en el otro lado, hay rasgos distintivos dignos de comentario para cada uno de los casos.

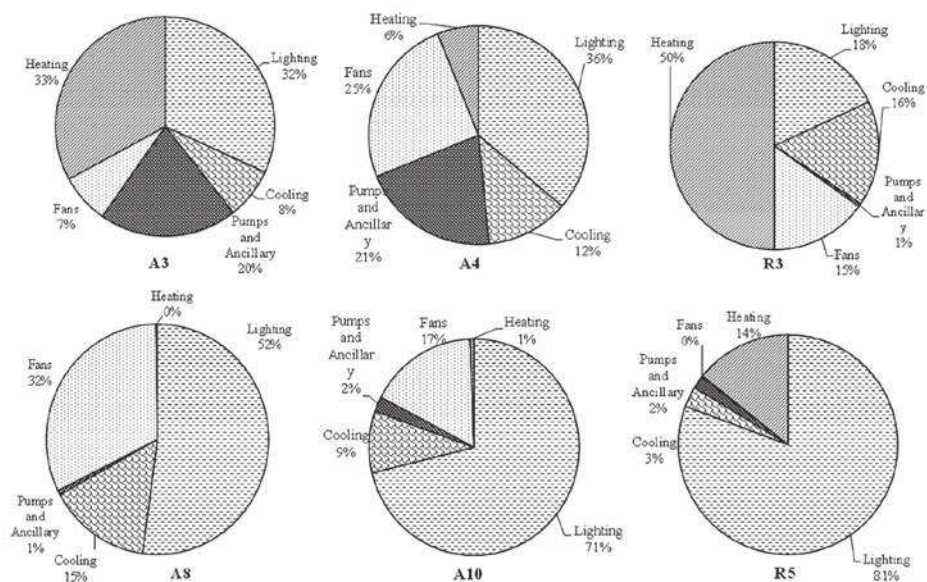


Figura 2. Desglose del consumo de electricidad por usos en 6 edificios representativos.

En primer lugar, cabe destacar que en la Figura 2 sólo se considera el consumo de electricidad y los edificios A8, R5 y A10 tienen un sistema de calefacción alimentado con gas natural en los dos primeros casos, y propano en el segundo. Los detalles del consumo de energía por año se muestran en la Figura 3. Las Figuras 2 y 3 muestran que en los edificios A3 y A4 las bombas y otros equipos auxiliares tienen un importante consumo de electricidad en comparación con el resto de los edificios, que se puede atribuir a la sistema de bomba de calor geotérmica de ciclo abierto instalada, en el que se consigue la condensación de agua con agua de un pozo, a temperatura constante (alrededor de 17 °C) y la reducción de las necesidades de electricidad de la bomba de calor, mediante bombeo de agua del subsuelo. En contraste, el edificio R3 tiene un consumo de calefacción muy importante (50%), debido al sistema de calefacción eléctrico. En esta línea, la Figura 3 muestra que el consumo de calefacción para los diferentes edificios analizados difiere considerablemente, lo que se debe a varias razones: i) la disparidad de los sistemas de calefacción, sobre todo en lo que respecta a las unidades terminales (radiadores de agua caliente, fan-coils, bombas de calor o suelo radiante); ii) las transmitancias térmicas disímiles de la cubierta del edificio, atribuibles a las diferentes necesidades de los proyectos; y iii) la ubicación de los edificios, ya que las ciudades en las que se encuentran tienen diferentes condiciones climáticas.

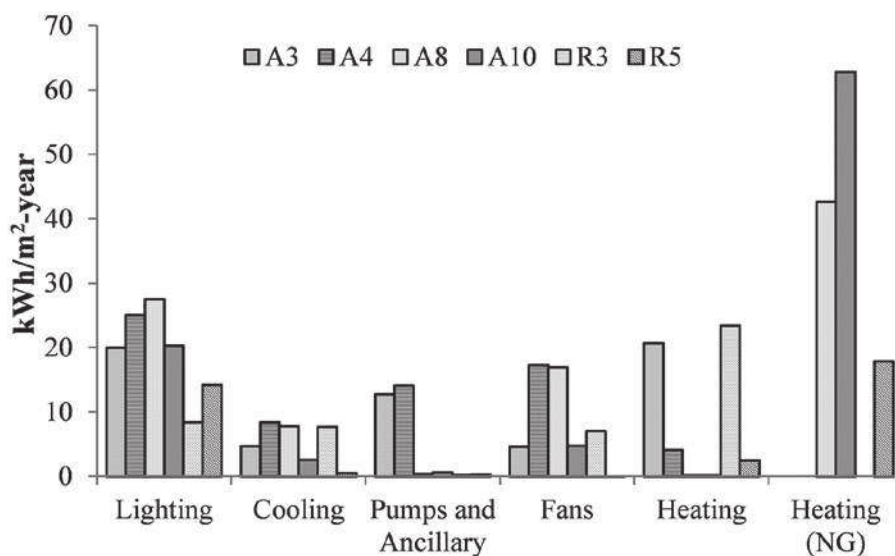


Figura 3. Desglose del consumo de energía anual de 5 edificios representativos (NG = Natural Gas).

Otro punto a destacar es la alta proporción de electricidad debida a la iluminación en edificios R5 y A10 (81% y 71% respectivamente), que se puede atribuir a varias razones. En primer lugar, como se ha comentado anteriormente, ambos edificios tienen un sistema de calefacción alimentado con gas natural y propano, respectivamente, por lo tanto, la cuota de calefacción en términos de electricidad es casi despreciable. Además, como se muestra en la Figura 3, el resto de instalaciones tienen muy bajo consumo de electricidad, con los sistemas de refrigeración, bombas y ventiladores que consumen menos de

5 kWh/m²-año en el caso de A10 y menos de 0,5 kWh/m²-año en R5. De hecho, tanto R5 como A10 tienen en el consumo más bajo de iluminación y del conjunto de los seis edificios seleccionados (17,7 kWh/m²-año y 28,6 kWh/m²-año, respectivamente). Especial atención se debe prestar a R5, en el que los sistemas de aire acondicionado tienen un consumo de energía muy bajo (0,53 kWh/m²-año para la refrigeración y ventilación). La razón es que el diseño del edificio se llevó a cabo siguiendo criterios bioclimáticos para lograr un edificio de consumo de energía casi nulo [33]. Como consecuencia, la ventilación natural del edificio permite la consecución de temperaturas de confort con una muy baja contribución de los sistemas mecánicos.

2.3 DIFERENCIA EN EL CÁLCULO DE ENERGÍA

En cuanto a las diferencias entre el consumo de energía estimado (por simulación) y la real, la Tabla 5 muestra una comparación entre ambos datos (herramienta de simulación vs factura de los edificios terciarios analizados) en términos de gas natural, electricidad y consumo total de energía, así como el porcentaje de desviación en cada uno de los casos. Los resultados de la simulación muestran que tanto los edificios académicos como los de investigación tienen un consumo de energía similar con un promedio de 83 kWh/m²-año (A11 y A13 no están incluidos en el cálculo debido a sus particularidades), lo que implica que, al menos teóricamente, los edificios se construyen de manera similar en relación con las necesidades de climatización e iluminación. Sin embargo, se puede extraer una conclusión diferente al comparar el consumo real de energía de los edificios obtenido de las facturas. En este caso, se puede establecer una diferencia entre edificios académicos, que tienen un consumo total de energía promedio de alrededor de 85 kWh/m²-año (A11 y A13 no están incluidos), y edificios de investigación, con alrededor de 167 kWh/m²-año de promedio (ver Figura 4). Esta distinción revela la importancia del equipamiento adicional de investigación instalado en cada edificio.

Tabla 5. Factor de forma (relación S/V); gas natural, la electricidad y consumo total de energía, calculados mediante la herramienta de simulación y consumo real según facturas, así como el porcentaje de desviación para cada uno de los 21 edificios terciarios estudiados.

ID	S/V rate	Natural Gas (kWh/m ² -year)			Electricity (kWh/m ² -year)			TOTAL (kWh/m ² -year)		
		Simul. tool	Utility bill	% Deviation	Simul. tool	Utility bill	% Deviation	Simul. tool	Utility bill	% Deviation
A1	0.29	39.7	0.0*	-	79.9	0.0*	-	119.6	0.0*	-
A2	0.27	0.0	0.0	-	50.6	75.3	-33%	50.6	75.3	-33%
A3	0.32	0.0	0.0	-	62.9	71.6	-12%	62.9	71.6	-12%
A4	0.32	0.0	0.0	-	69.1	52.9	31%	69.1	52.9	31%
A5	0.31	0.0	0.0	-	36.4	40.3	-10%	36.4	40.3	-10%
A6	0.26	69.4	42.8	62%	29.6	95.4	-69%	99.0	138.2	-28%
A7	0.27	62.7	42.8	47%	67.9	95.4	-29%	130.6	138.2	-5%
A8	0.33	42.6	75.4	-43%	53.0	45.1	17%	95.6	120.6	-21%

ID	S/V rate	Natural Gas (kWh/m ² -year)			Electricity (kWh/m ² -year)			TOTAL (kWh/m ² -year)		
		Estimado	Real	Diff %	Estimado	Real	Diff %	Estimado	Real	Diff %
A9	0.29	32.1	69.3	<i>-54%</i>	37.6	33.1	<i>14%</i>	69.7	102.3	<i>-32%</i>
A10**	0.27	62.8	64.0	<i>-2%</i>	28.5	37.3	<i>-23%</i>	91.3	101.3	<i>-10%</i>
A11†	0.17	107.6	98.7	<i>9%</i>	82.7	54.0	<i>53%</i>	190.3	152.7	<i>25%</i>
A12	0.31	44.8	21.2	<i>111%</i>	44.0	37.1	<i>19%</i>	88.8	58.3	<i>52%</i>
A13*	0.32	169.3	233.7	<i>-28%</i>	76.8	162.3	<i>-53%</i>	246.1	396.0	<i>-38%</i>
A14	0.30	47.5	86.5	<i>-45%</i>	44.1	40.9	<i>8%</i>	91.6	127.4	<i>-28%</i>
A15	0.31	26.5	30.3	<i>-12%</i>	61.8	54.2	<i>14%</i>	88.3	84.5	<i>5%</i>
R1	0.28	89.2	77.3	<i>15%</i>	42.2	302.8	<i>-86%</i>	131.4	380.1	<i>-65%</i>
R2	0.32	40.8	66.0	<i>-38%</i>	34.9	89.7	<i>-61%</i>	75.7	155.6	<i>-51%</i>
R3	0.28	0.0	21.2	<i>-100%</i>	46.9	37.1	<i>26%</i>	46.9	58.3	<i>-20%</i>
R4	0.22	73.3	96.8	<i>-24%</i>	15.3	24.0	<i>-36%</i>	88.6	120.9	<i>-27%</i>
R5	0.26	17.9	29.6	<i>-39%</i>	17.7	102.5	<i>-83%</i>	35.6	132.2	<i>-73%</i>
R6	0.27	39.5	61.2	<i>-35%</i>	58.5	93.0	<i>-37%</i>	98.0	154.2	<i>-36%</i>

* Una parte importante es un edificio residencial de alojamiento para estudiantes.

** El sistema de calefacción está alimentado por propano.

† Edificio con una parte importante dedicada a la práctica deportiva.

En cuanto a las discrepancias encontradas entre el consumo de energía estimado y real, los resultados muestran una desviación media del 30%, lo que concuerdan con otros estudios similares [13-15]. Cabe señalar que estas desviaciones son significativamente mayores para los edificios de investigación que para los edificios académicos (45% vs 23%), lo cual es coherente con la conclusión anterior acerca de la importancia la contribución de los equipos de laboratorio. La Tabla 5 muestra que la mayoría de los edificios académicos tienen desviaciones negativas ya que los resultados de la simulación son más bajos que el consumo real de energía. En particular, las discrepancias encontradas en edificios A2, A6, A9 y A14 deben tenerse en cuenta, que son principalmente debidos al importante número de oficinas con niveles generalmente altos de ocupación. Además, algunas excepciones que merece la pena resaltar se destacan en negrita en la Tabla 5. En el edificio A12 el consumo estimado de gas natural es más del doble del consumo real, siendo el consumo eléctrico estimado también más alto, lo que hace pensar que el edificio está siendo infrutilizado significativamente. Esto fue corroborado in situ, cuando se observó que varias zonas y estancias del edificio estaban vacías y por lo tanto, las unidades de calefacción terminales en estos espacios cerrados. Sin embargo, desde el punto de vista de Certificación de Eficiencia Energética, estas zonas son habitables y por lo tanto el software oficial de simulación les considera con el perfil de la edificación en general. Por otra parte, la Figura 4 muestra que el edificio A13 tiene mayor consumo de energía que el resto de los edificios académicos, debido a que parte del edificio está dedicada a acoger estudiantes (algunas habitaciones son dormitorio).

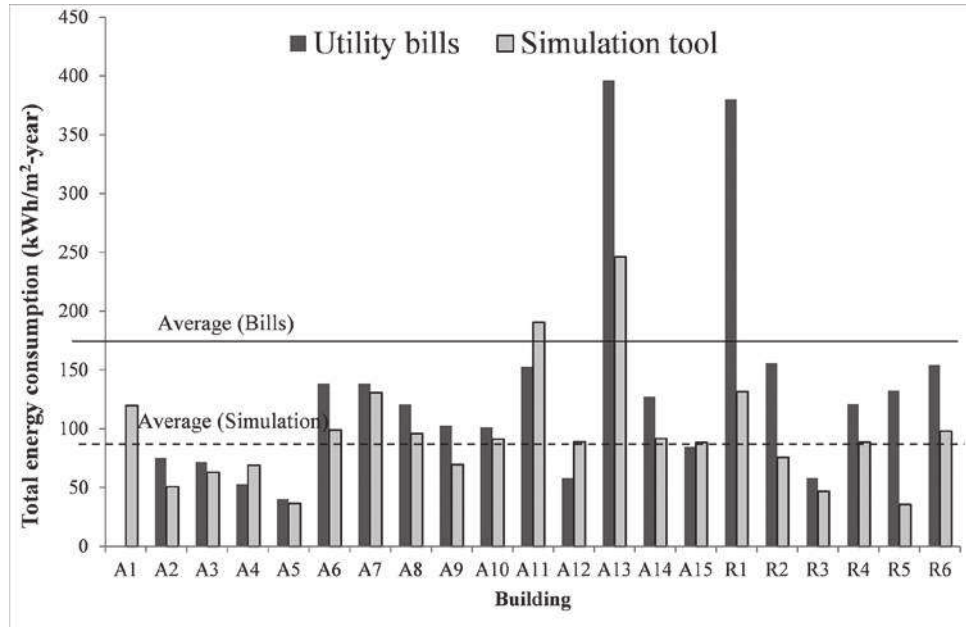


Figura 4. Comparación del consumo real de energía del edificio y del obtenido por simulación.

Una de las limitaciones del software se encontró al simular el edificio A8, que cuenta con una piscina climatizada a una temperatura constante cuya modelización energética no puede llevarse a cabo correctamente en la herramienta. En consecuencia, a pesar de que se hicieron varias simplificaciones y aproximaciones, el consumo de gas natural estimado es todavía bastante inferior al consumo real (véase la Tabla 5). Como se ha comentado anteriormente, las discrepancias más grandes se encuentran en edificios de investigación. La mayor desviación se produce en R5, que muestra una desviación total del 73% (39% en el consumo de gas natural y 83% en el consumo de electricidad (ver Tabla 5), debido a varias razones. En primer lugar, debe tenerse en cuenta que este edificio fue diseñado bajo el criterio de edificio casi cero emisiones [32] y por lo tanto los elementos pasivos producen teóricamente una demanda muy baja energía. Sin embargo, debido a las características de construcción reales y la subestimación de la ocupación del edificio en la fase de diseño, el consumo real de energía del edificio es significativamente más alto de lo esperado. Del mismo modo, R1 es claramente un edificio de investigación con numerosos equipos auxiliares, salas blancas (con parámetros estrictamente controlados, como la temperatura, la humedad, las renovaciones de aire, etc.), equipos informáticos, servidores de Internet, etc., que no puede ser puesto en práctica en la herramienta de simulación. Como consecuencia de todo lo anterior, el consumo eléctrico real de R1 es de alrededor de 7 veces superior a lo estimado.

2.4 MEJORAS POTENCIALES EN EL SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Teniendo en cuenta todos los resultados anteriores y las limitaciones del software detectadas lo largo del presente estudio, se proponen algunas posibles mejoras en la

herramienta de simulación para disminuir la diferencia de ratios energéticos existentes entre la situación real y la estimada (simulada):

- *Mejoras en la implementación gráfica de las superficies:* la imposibilidad de definir formas de curvas en superficies de edificios (sólo se pueden introducir polígonos) implica un error en el área de la superficie a simular.
- *Perfiles de uso por defecto,* para definir correctamente en la herramienta de simulación de los horarios de funcionamiento de los edificios, ya que esto es crucial para lograr resultados fiables.
- *Introducción de datos:* como se ha comentado en apartados anteriores, una de las dificultades para la certificación de eficiencia energética de los edificios es la recopilación de datos debido a la gran cantidad de datos necesarios. Para facilitar este proceso, se propone establecer una base de datos con soluciones constructivas típicas de fachadas (de acuerdo con la normativa, el tipo de construcción, la zona climática, etc.), particiones interiores, techo o cualquier otra parte de la envolvente. Además, para las instalaciones, el establecimiento de un enlace a los fabricantes catálogo facilitará el proceso de introducción de datos.
- *Posibilidad de implementar el consumo energético de los equipos específicos:* gran consumo de energía de equipos específicos.

3. CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis energético y se ha obtenido el Certificado de Eficiencia Energética de 21 grandes edificios terciarios pertenecientes a la Universidad de Zaragoza. Los resultados de la Certificación muestran que un 62% de los edificios tienen una etiqueta de eficiencia energética C y un 24% tienen una etiqueta D (en una escala de A a G); por lo tanto, se puede concluir que la mayoría de los edificios estudiados están dentro del promedio de emisiones de CO₂. En cuanto al consumo de energía final, los resultados de la simulación muestran que tanto los edificios académicos como los de investigación tienen un ratio energético similar con un promedio de 83 kWh/m²-año. Estos resultados sugieren que todos estos edificios fueron diseñados y construidos con patrones similares en cuanto a las necesidades de climatización e iluminación. Las singularidades de estos edificios representan un esfuerzo importante para su simulación en el software, debido a las particularidades de cada uno de ellos, y las limitaciones inherentes al software de certificación existente. Se encontraron las siguientes restricciones en el software oficial de Certificación de Eficiencia Energética (CALENER GT): la introducción gráfica de los edificios es compleja, los horarios de operación de edificios disponibles en la herramienta de simulación son demasiado genéricos y la relación de datos necesarios para la envolvente, los materiales y las instalaciones es sustancialmente exhaustiva.

Del mismo modo como en otros estudios, el consumo real de energía de la mayoría de los edificios estudiados es superior a lo que se estima en el software de Certificación. Se ha obtenido una desviación media del 30%, valor que concuerda con estudios anteriores; siendo, como era de esperar, las discrepancias en los edificios de investigación superiores a las existentes en edificios académicos (45% vs 23% de promedio). Una de las principales razones atribuidas a estas diferencias son las condiciones de operación, ya que en la herramienta se consideran las condiciones “estándar”. Otro

factor que aumenta notablemente la diferencia de los ratios energéticos es el consumo de energía debido a los equipos informáticos y a los de laboratorios, especialmente en el caso de edificios de investigación; ya que estos equipos no se pueden implementar en el software, a pesar de que una parte importante del total del consumo de energía es debido a su consumo de energía.

Por último, un factor importante que no puede ser implementado en la herramienta de simulación, pero ha demostrado afectar significativamente el consumo de energía real del edificio es el comportamiento de los usuarios. A pesar de que el comportamiento del usuario es muy difícil de aplicar en una herramienta de simulación, debido principalmente a su naturaleza impredecible, se cree que la diferencia entre la demanda de energía estimada y el consumo de energía real podría ser reducida mediante la aplicación de horarios de operación y funcionamiento más realistas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The European Parliament and the Council of the EU, Directive 2010/31/ of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), *Official Journal of the European Union*, L153/13-35, 2010.
- [2] The European Parliament and the Council of the EU, Directive 2002/91/EC of the European parliament of the council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings, *Official Journal of the European Union*, L1/65-71, 2003.
- [3] The European Parliament and the Council of the EU. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, *Official Journal of the European Union*, L315/1-56, 2012.
- [4] Burman E, Mumovic D, Kimpian J. Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings, *Energy*, Vol. 77, pp 153–163, 2014.
- [5] The Ministry of Presidency of the Spanish Government, Royal Decree 235/2013, of 5th of April 2013, by which it is approved the basic procedure for the Energy Performance Certification of Buildings, *Spanish Official Gazette (BOE)*, Vol. 89, Sect. I, pp 27548-27562, 2013.
- [6] Andaloro APF, Salomone R, Ioppolo G, Andaloro L, Energy certification of buildings: A comparative analysis of progress towards implementation in European countries, *Energy Policy*, Vol. 38, pp 5840–66, 2010.
- [7] Building Performance Institute Europe (BPIE), Europe's buildings under the microscope, A country-by-country review of the energy performance of buildings. *Building Performance Institute Europe*, 2011.
- [8] Cohen R, Standeven M, Bordass B, Leaman A, Assessing building performance in use 1: the probe process, *Building Research & Information*, Vol. 29, pp 85–102, 2001.
- [9] Bordass B, Cohen R, Standeven M, Leaman A, Assessing building performance in use 3: energy performance of the probe buildings, *Building Research & Information*, Vol. 29, pp 114–128.
- [10] Menezes AC, Cripps A, Bouchlaghem D, Buswell R, Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap, *Applied Energy*, Vol. 97, pp 355–364, 2012.
- [11] Pegg IM, Cripps A, Kolokotroni M, Post-Occupancy Performance of Five Low-Energy Schools in the UK, *ASHRAE Transactions*, Vol. 113, 2007.
- [12] Carbon Trust, Closing the gap - Lessons learned on realising the potential of low carbon building design, *Carbon Trust*, 2011.

- [13] Tronchin L, Fabbri K, A Round Robin Test for buildings energy performance in Italy, *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp 1862–1877, 2010.
- [14] Petersen S, Hviid C, The European energy performance of buildings directive: comparison of calculated and actual energy use in a Danish office building. *IBPSA-England first building simulation and optimization conference (BSO 2012)*, Loughborough, 2012.
- [15] UCL Energy Institute, Summary of audits performed on CarbonBuzz, 2013.
- [16] Ahmad M, Culp CH, Uncalibrated Building Energy Simulation Modeling Results, *HVAC&R Research*, Vol. 12, pp 1141–1155, 2006.
- [17] Lomas KJ, The U.K. applicability study: an evaluation of thermal simulation programs for passive solar house design, *Building and Environment*, Vol. 31, pp 197–206, 1996.
- [18] Raslan R, Davies M, Results variability in accredited building energy performance compliance demonstration software in the UK: an inter-model comparative study, *Journal of Building Performance Simulation*, Vol. 3, pp 63–85, 2010.
- [19] Chartered Institution of Building Services Engineers, CIBSE TM33: standard tests for the assessment of building services design software, London, UK, 2006.
- [20] Dasgupta A, Prodromou A, Mumovic D, Operational versus designed performance of low carbon schools in England: bridging a credibility gap, *HVAC&R Research*, Vol. 18, pp 37–50, 2012.
- [21] Bordass B, Cohen R, Field J, Energy performance of non-domestic buildings – closing the credibility gap. *International conference on improving energy efficiency in commercial buildings*, Frankfurt, Germany, pp 1–10, 2004.
- [22] Bordass B, Cohen R, Standeven M, Leaman A, Assessing building performance in use 2: technical performance of the Probe buildings, *Building Research & Information*, Vol. 29, pp 103–113, 2001.
- [23] Way M, Bordass B, Making feedback and post-occupancy evaluation routine 2: Soft landings – involving design and building teams in improving performance, *Building Research & Information*, Vol. 33, pp 353–360, 2005.
- [24] Hirst E, White D, Goeltz R, Indoor temperature changes in retrofit homes, *Energy*, Vol. 10, pp 861–870, 1985.
- [25] Haas R, Biermayr P, The rebound effect for space heating Empirical evidence from Austria, *Energy Policy*, Vol. 28, pp 403–410, 2000.
- [26] Sorrell S, Dimitropoulos J, Sommerville M, Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, *Energy Policy*, Vol. 37, pp 1356–1371, 2009.
- [27] Barker T, Ekins P, Foxon T, The macro-economic rebound effect and the UK economy, *Energy Policy*, Vol. 35, pp 4935–4946, 2007.
- [28] Herring H, Energy efficiency—a critical view, *Energy*, Vol. 31, pp 10–20, 2006.
- [29] Hamilton I, Steadman P, Bruhns H, CarbonBuzz – energy data audit, 2011.
- [30] The Ministry of Housing of the Spanish Government, Royal Decree 314/2006, of 17th of March 2006, by which the Building Technical Code is approved, *Spanish Official Gazette (BOE)*, Vol. 74, pp 11816–11831, 2006.
- [31] The Ministry of Presidency of the Spanish Government, Royal Decree 47/2007, of 19th of January 2007, by which the basic procedure for the energy performance certification of new buildings is approved, *Spanish Official Gazette (BOE)*, Vol. 27, pp 4499–4507, 2007.
- [32] The Ministry of Presidency of the Spanish Government, Royal Decree 1027/2007, of 20th of July, by which the Thermal Installation Regulations of Buildings is approved, *Spanish Official Gazette (BOE)*, Vol. 207, pp 35931–35984, 2007.
- [33] Zabalza I, Valero A, Aranda A, Llera E, Methodological aspects and design implications to achieve life cycle low emission buildings. A case study: LCA of a new university building, *Strojarstvo*, Vol. 55, pp. 87–102, 2013.