

05-034

CASE-STUDY: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DOCUMENTS RECOGNIZED IN SPAIN FOR THE CERTIFICATION OF ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS

Carpio, Manuel ¹; García-Maraver, Ángela ²; Martín-Morales, María ¹; Zamorano, Montserrat ² ¹ Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada, ² Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada

Since the approval of the European Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings (EPBD), the recast in the Directive 2010/31/EU, and their partial transposition in Spain by the Royal Decree RD 235/2013 that approves the basic procedure for certification of energy efficiency in buildings, several documents destined to simulate the energy efficiency in buildings have been developed. This study has selected 43 buildings with different characteristics in terms of geometry and constructive solutions. Their energy certificates were obtained by the three documents currently recognized in Spain for the simplified procedure for energy certification in buildings: (i) CE3; (ii) CEX; and (iii) CERMA. The comparative analysis has included parameters such as energy demand, primary energy consumed, energy rating of the whole building, and CO₂ emissions. In addition, these parameters have been analyzed according to the purpose of the energy consumed: heating, cooling, or domestic hot water (DHW). The data analysis reveals that there are differences in the data outputs among the documents recognized for the same building, thus affecting not only the results regarding the energy consumption and greenhouse gases emissions, but also the energy rating obtained, which is the image of the level of energy efficiency of the building.

Keywords: *Energy rating; Building; Document recognized; Energy simulation*

DOCUMENTOS RECONOCIDOS PARA LA CERTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES MEDIANTE EL MÉTODO SIMPLIFICADO: COMPARATIVA MEDIANTE CASOS REALES

Desde la aprobación de la Directiva Europea 2002/91/EU, y su refundición en la Directiva 2010/31/EU, referente a la Eficiencia Energética de Edificios, y su transposición parcial en España con el Real Decreto 235/2013, Procedimiento Básico para la Certificación de Eficiencia Energética de los Edificios, se han reconocido diferentes documentos destinados a la simulación energética de los edificios y su correspondiente certificación. Este trabajo, mediante casos reales, se comparan los tres documentos para el procedimiento simplificado actualmente reconocidos: (i) CE3; (ii) CEX y (iii) CERMA. Los datos de la muestra se han obtenido a partir del análisis con todos los documentos de 43 viviendas, mediante su certificación energética, con diferentes tipologías, tanto geométricas como de soluciones constructivas. La comparativa ha incluido aspectos entre los que se encuentran: Calificación energética del edificio global, emisiones de CO₂, demanda energética y energía primaria. El análisis de los datos revela que existen diferencias en las salidas de datos entre los documentos reconocidos para el mismo edificio, lo que afecta no sólo a los resultados en cuanto a consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también la calificación energética obtenida, que es el nivel de la eficiencia energética del edificio.

Palabras clave: *Certificación energética; Edificio; Documento reconocido; Simulación energética*

Correspondencia: Montserrat Zamorano zamorano@ugr.es

Agradecimientos: Grupo de Investigación RNM197 Gestión y Tecnología Ambiental - Universidad de Granada

1. Introducción

La sensación de confort en el interior de un edificio, implica un correcto diseño y la ejecución de la propia edificación, así como el uso adecuado de la fuente de energía (Wang, Gwilliam & Jones, 2009; Carpio, Zamorano & Costa, 2013).

La simulación energética previa a la construcción de un edificio proporciona información útil para un correcto diseño del mismo, como geometría, orientación, materiales, etc. (Newton, James & Bartholomew, 1988). De acuerdo a la normativa actualmente en vigor (Real Decreto 235/2013), estas simulaciones energéticas pueden realizarse manualmente, pero el gran volumen de información a tratar hace recomendable el uso de programas informáticos con tal fin. Estos programas no sólo agilizan el cálculo energético si no que proporcionan recomendaciones para la optimización de la eficiencia energética de los edificios. El uso de software diseñado para este propósito se inició en la década de 1980 (Newton, James & Bartholomew, 1988), y con el paso del tiempo se han creado herramientas sofisticadas que incluyen registros climáticos exhaustivos, bibliotecas de materiales con diferentes soluciones constructivas, y la integración completa de CAD.

En España, la ratificación del marco normativo europeo relativo a la calificación energética de los edificios (Directiva Europea 2002/91/CE; Directiva Europea 2010/31/UE), se realiza mediante la transposición parcial a través del Real Decreto 235/2013, *Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios*. El objeto de este decreto es el establecimiento de las condiciones técnicas y administrativas para realizar las certificaciones de eficiencia energética de los edificios y la metodología de cálculo de su calificación de eficiencia energética, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios, así como la aprobación de la etiqueta de eficiencia energética como distintivo común en todo el territorio nacional. Para cumplir este objeto, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha reconocido una serie de documentos, en forma de software, creados para la simulación energética de los edificios.

En términos generales, los programas disponibles y reconocidos actualmente únicamente se diferencian en la forma de introducir las características del edificio como entrada, y en la salida prevista (Crawley et al. 2008). Sin embargo, aunque todos los documentos de software anteriormente descritos son válidos, y por tanto lo son sus resultados, es posible que al basarse en diferentes parámetros -cálculos, variables, mediante la introducción de datos, motor de cálculo, informe de salida, etc.- den lugar a resultados divergentes. Estas diferencias de resultados pueden generar errores en los dimensionamientos de los propios edificios, tanto geométricos, como al seleccionar soluciones constructivas.

2. Objetivos

El objetivo de esta investigación es la comparación, mediante casos reales, de los tres documentos actualmente reconocidos en España para el procedimiento de simulación energética simplificado.

Este objetivo se lleva a cabo mediante el análisis de los datos obtenidos para un mismo edificio mediante cada uno de los documentos reconocidos. Los resultados a analizar serán aquellos relativos al consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, y la calificación energética o nivel de la eficiencia energética del edificio.

3. Metodología

3.1 Documentos reconocidos

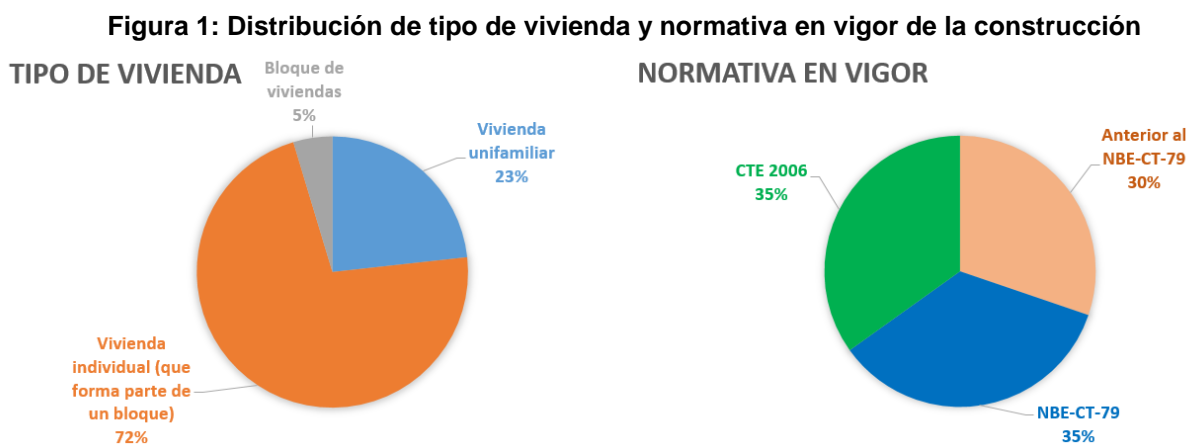
El Real Decreto 235/2013 señala la posibilidad de realizar las certificaciones energéticas mediante dos métodos, el general y el simplificado. Por un lado CALENER VYP aplica el método general de carácter obligatorio; mientras CE3, CEX y CERMA aplican la opción simplificada de carácter prescriptivo, cuyo cálculo indirecto se basa en el método general. El método simplificado se limita a que las aberturas en la fachada deben constituir menos del 60% de su superficie total y el porcentaje de claraboyas debe ser menor de 5% de la superficie cubierta. En edificación residencial el método simplificado se puede aplicar a la mayoría de los supuestos. Por otra parte, quedan excluidos del procedimiento los edificios que consten de soluciones constructivas no convencionales.

En el presente estudio la comparativa de la muestra se realiza sobre los tres documentos reconocidos de la opción simplificada: (i) CE3; (ii) CEX y (iii) CERMA.

3.2 Muestra

La muestra se compone de 43 casos reales de diferentes viviendas situadas en diversas zonas climáticas. Respecto a la tipología de las viviendas, se han seleccionado geometrías y soluciones constructivas representativas en España obtenidas en base a las descritas por el Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (CSCAE), y el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (CGATE).

Las superficies habitables de las viviendas consideradas van desde los 35 m² hasta los 507 m², con una altura libre entre los 2.2 m y los 3.0 m. La vivienda de la muestra más antigua, fue construida en 1910, frente a la más moderna construida en 2014.



En la Figura 1 se observa la distribución de la proporción de las viviendas del estudio, según la normativa afectada en el momento de la construcción. Existen tres grandes bloques:

1. Anterior a 1979. No existe normativa en materia de eficiencia energética en la edificación.
2. Entre 1979 y 2006. La normativa en vigor es la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79).
3. Posterior a 2006. La normativa en vigor es el: Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Del mismo modo, en la Figura 1, también se observa la distribución de las unidades certificadas según su tipología, diferenciándose en edificación residencial tres categorías:

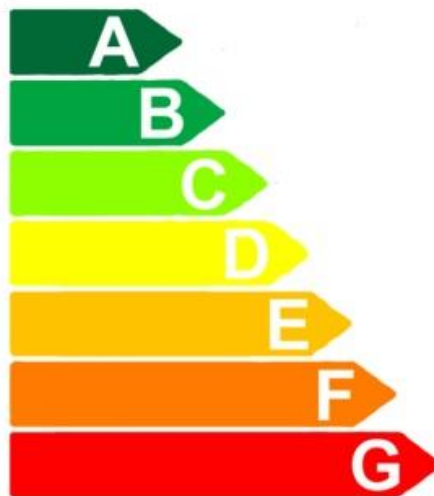
1. Viviendas unifamiliares.
2. Vivienda individual (que forma parte de un bloque).
3. Bloque de viviendas.

3.3 Niveles de eficiencia energética

Según el Real Decreto 235/2013, la calificación de la eficiencia energética de un edificio, o de parte del mismo, se define como expresión de la eficiencia energética de un edificio, o parte del mismo, que se determina de acuerdo con la metodología de cálculo establecida en el documento reconocido, correspondiente al procedimiento básico, y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética.

Mediante una serie de condicionantes, como son la zona climática de verano y la zona climática de invierno, la tipología de la vivienda y el año de construcción, se determinan una serie de umbrales, diferentes para cada caso, en los que según la cantidad de emisiones de CO_2/m^2 que emitan al ambiente, la vivienda se encuadra en uno de los niveles de la escala energética. Como se observa en la Figura 2, esta escala se compone de siete niveles, la más eficiente denotada por A, y la menos eficiente designada por G.

Figura 2: Escala de 7 niveles de calificación energética (CTE)



4. Resultados

4.1 Emisiones de CO_2

En la Tabla 1, se observan las diferencias en el cálculo de las emisiones globales de CO_2 de los 43 casos reales que componen la muestra, calculados con los tres documentos reconocidos.

Para analizar las diferencias entre los diferentes documentos se han realizado diferencias relativas de los mismos, basados en los resultados de la Tabla 1, resultando tres casos CEX

vs CE3, CERMA vs CEX y CERMA vs CE3, tal y como se observan en las Figuras 3, 4 y 5 respectivamente.

En el caso de la diferencia relativa de CE3 vs CEX, se ha observado un promedio con una desviación estándar de $4.45\% \pm 3.69\%$. En el caso de CERMA vs CEX un resultado de $1.81\% \pm 1.29\%$ así como en CERMA vs CE3 un resultado de $3.23\% \pm 2.83\%$. Con estos resultados se puede afirmar que los resultados obtenidos entre los diferentes documentos reconocidos varían de una forma considerable, obteniendo resultados muy distantes según el documento escogido para realizar la certificación energética.

Por otro lado se ha observado que a bajas emisiones de CO₂, se producen grandes divergencias en los resultados a valores inferiores a 25 kg de CO₂/m². Por lo que se puede deducir, que estos documentos obtienen unos resultados más similares entre ellos cuanto mayor sea el valor de las emisiones de CO₂ emitidas al medioambiente.

En las tres comparativas se observa que el 62.79% de los casos reales estudiados se encuentran en el intervalo comprendido entre 20 y 50 kg de CO₂/m². En este intervalo, aplicando el coeficiente de correlación lineal de Pearson, los dos documentos que más confluyen en resultados son CE3 vs CEX, con un coeficiente de 0.40, seguido de CERMA vs CE3 (0.34) y por último CERMA vs CEX (0.34). Estos resultados ponen de manifiesto la baja similitud entre los documentos reconocidos, dificultando al técnico certificador en la realización de una correcta certificación, aun siendo todos estos resultados válidos.

Tabla 1: Emisiones globales de kg de CO₂/m²

ID	CE3	CEX	CERMA	ID	CE3	CEX	CERMA
1	9.33	19.20	13.80	23	38.98	49.65	41.69
2	11.10	24.15	16.00	24	40.42	43.26	37.00
3	15.86	58.66	37.80	25	41.38	40.69	35.60
4	16.17	23.15	27.37	26	41.45	67.15	35.63
5	18.30	40.07	23.27	27	41.97	43.80	40.30
6	18.33	17.37	15.63	28	42.21	46.89	27.41
7	22.65	25.03	19.04	29	42.76	36.21	27.78
8	22.67	22.47	20.67	30	44.52	48.60	28.00
9	25.69	32.55	27.58	31	44.84	78.47	33.90
10	26.68	64.36	49.24	32	48.94	86.52	60.40
11	27.98	45.82	25.36	33	57.31	34.72	59.56
12	29.02	53.05	37.39	34	59.18	64.13	88.40
13	30.06	80.18	16.50	35	63.11	43.93	28.95
14	30.32	48.51	33.70	36	65.12	62.10	35.90
15	30.69	57.32	54.08	37	65.51	105.10	57.81
16	31.41	60.79	87.69	38	90.02	95.40	55.26
17	34.12	41.52	20.88	39	104.56	119.06	128.64
18	34.26	34.69	37.06	40	114.22	81.17	63.05
19	34.32	47.46	10.70	41	150.66	72.46	30.93
20	35.30	27.81	25.20	42	163.81	126.10	66.52
21	35.51	54.53	25.90	43	46.00	49.72	30.82
22	36.50	73.21	32.71				

Figura 3: Diferencia relativa de emisiones globales de kg de CO₂/m². CE3 vs CEX

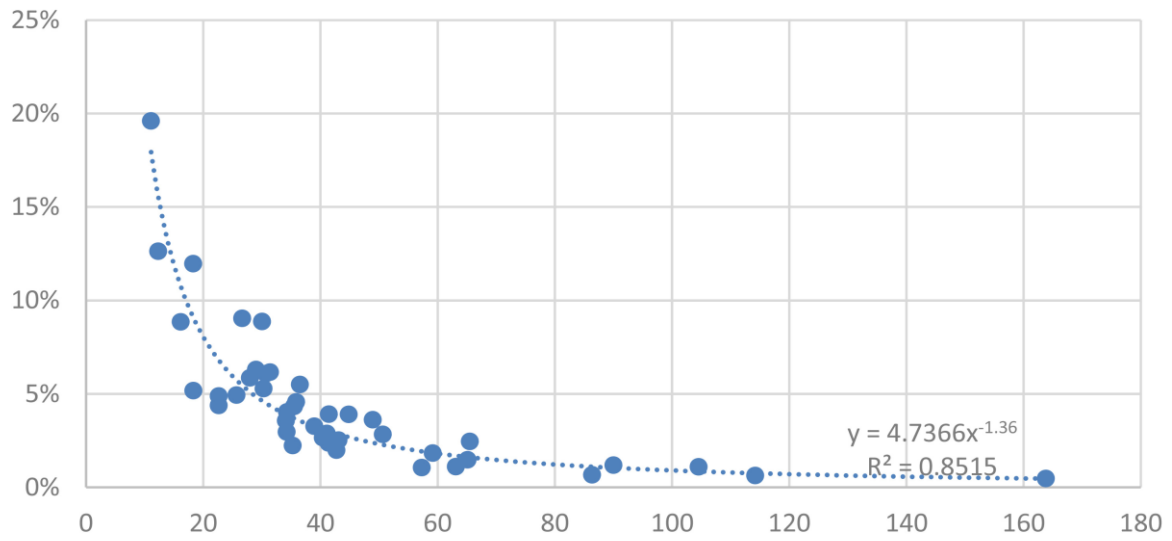


Figura 4: Diferencia relativa de emisiones globales de kg de CO₂/m². CERMA vs CEX

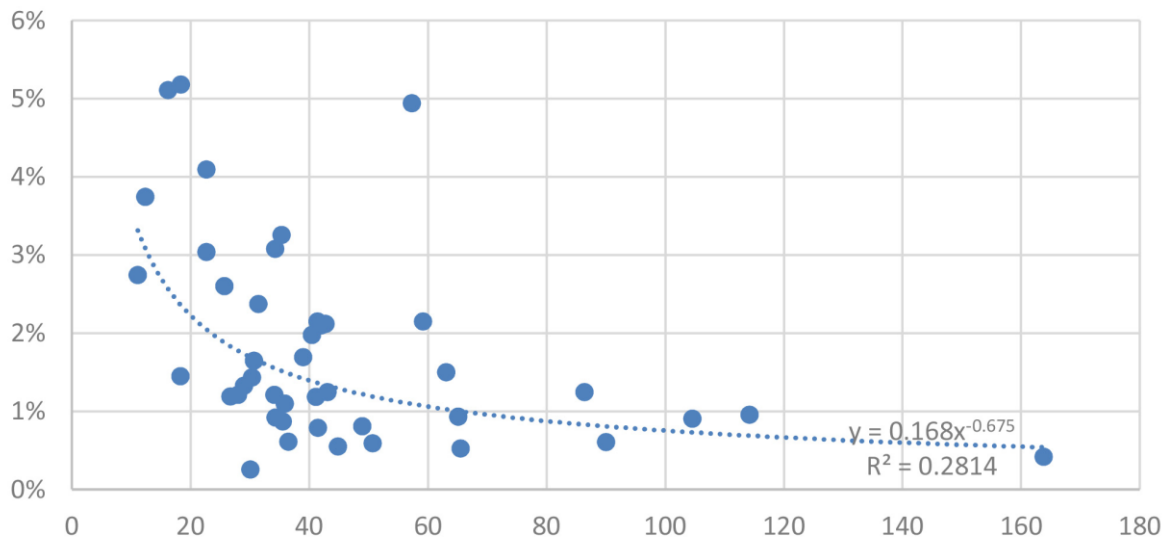
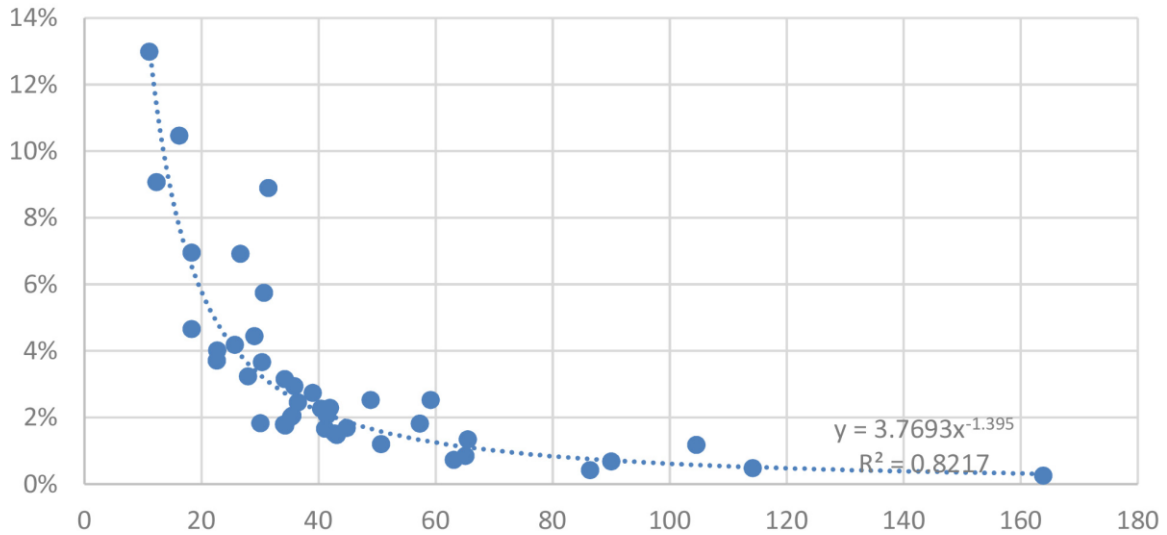


Figura 5: Diferencia relativa de emisiones globales de kg de CO₂/m². CERMA vs CE3



4.2 Calificación energética

La Tabla 2 muestra una tabla de triple entrada mediante el sistema de tabulación cruzada. En ella se observan las coincidencias de los 43 casos estudiados en los niveles de calificación energética (Figura 2) mediante los tres documentos reconocidos.

Se observa que en el 28% de los casos (12) se ha obtenido el mismo nivel de calificación energética mediante los diferentes documentos. Por otro lado, en el 51% de las viviendas (22) sólo han coincidido en dos de los tres programas, obteniendo uno de ellos un nivel diferente. Por último, en el 21 % de los casos (9), ninguno de los tres documentos ha mostrado el mismo resultado.

Pese a que los umbrales de los niveles de calificación energética de las viviendas se ven influenciados por otras variables tales como la zona climática donde se encuentran estas ubicadas, así como la tipología de la vivienda, la repercusión de los distintos niveles de CO₂ resultantes de la aplicación de cada uno de los programas condicionan directamente el nivel de eficiencia final.

En los supuestos en los que los niveles de eficiencia energética no coinciden, se han observado diferencias de hasta 3 niveles en el 6% de los casos (2), de 2 niveles en el 39% (13) y de solo 1 nivel en el 55% restante (18). Con estos resultados se observa que un mismo edificio puede clasificarse en niveles distintos en función del documento reconocido con el que lo certifiquemos, siendo todos los resultados válidos, y por tanto suponiendo una baja fiabilidad de los mismos.

Tabla 2. Tabulación cruzada de las calificaciones energéticas globales de los 43 casos mediante los diferentes documentos reconocidos

Calificación energética de edificio global [CERMA]		Calificación energética de edificio global [CEX]				Total	
		D	E	F	G		
C	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	1	1		2	
		E	0	1		1	
	Total		1	2		3	
D	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	1	2	0	0	3
		E	1	4	1	1	7
		G	0	2	0	0	2
	Total		2	8	1	1	12
E	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	1	0	0	0	1
		E	0	7	1	2	10
		F	0	0	1	2	3
	G	0	1	1	1	3	
Total		1	8	3	5	17	
F	Calificación energética de edificio global [CE3]	D		1		0	1
		F		1		0	1
		G		0		1	1
Total			2		1	3	
G	Calificación energética de edificio global [CE3]	E			0	2	2
		F			1	1	2
		G			0	4	4
Total				1	7	8	
Total	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	3	4	0	0	7
		E	1	12	2	5	20
		F	0	1	2	3	6
	G	0	3	1	6	10	
Total		4	20	5	14	43	

5. Conclusiones

De la investigación derivada de la comparación de los tres documentos reconocidos en España para la certificación energética de edificios residenciales mediante el método simplificado, se han obtenido las siguientes conclusiones:

En el cálculo de las emisiones de CO₂, obtenidas por los diferentes documentos comparados entre sí, se obtienen resultados con variaciones considerables que alcanzan

valores de $4.45\% \pm 3.69\%$, $3.23\% \pm 2.83\%$ y $1.81\% \pm 1.29\%$ para CE3 vs CEX, CERMA vs CE3 y CERMA vs CEX respectivamente.

Las mayores divergencias de resultados de emisiones de CO₂ se producen a concentraciones inferiores a 25 kg de CO₂/m². En consecuencia, la fiabilidad de los documentos reconocidos aumenta con el valor de las emisiones de CO₂, estando estas en la mayoría de los casos estudiados en el intervalo comprendido entre 20 y 50 kg de CO₂/m², en este intervalo, la mayor correlación de Pearson obtenida es de 0.40, representando este valor una baja confluencia de resultados entre los documentos reconocidos.

Respecto a la calificación energética y teniendo en cuenta que esta se ve afectada por el cálculo previo relativo a las emisiones de CO₂, cabe destacar que sólo en el 28% de los casos el resultado obtenido por los tres documentos coincide. Por otro lado, en el 51% de los casos sólo dos de los tres documentos coinciden, frente al 21% de los casos en los que cada documento proporciona una calificación diferente.

Con todo lo expuesto, se llega a la conclusión de que siendo todos los resultados válidos, ya que estos documentos están reconocidos por la normativa vigente, existen grandes diferencias entre ellos, por lo que es necesario una armonización de los mismos para evitar divergencias en los mismos.

6. Referencias

- Carpio, M., Zamorano, M. & Costa, M. (2013). Impact of using biomass boilers on the energy rating and CO₂ emissions of Iberian Peninsula residential buildings, *Energy and Buildings*, 66, 732-744.
- Crawley, D., Hand, J., Kummert, M Griffith, B., (2008) Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *Buildings and Environments*. 43, 661-73.
- España. APPLUS, U. AICIA I CERDÁ, IETcc & REPSOL, Calificación energética de Edificios Existentes, CE3. 1.1 [2013] [Software]. Disponible en: www.minetur.gob.es.
- España. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, Universidad de Valencia, CERMA. V. 2.6 [2013] [Software]. Disponible en: www.atecyr.org
- España. CENER & MIYABI, Certificación Energética Simplificada de Edificios Existentes, CEX. 1.1 [2014] [Software]. Disponible en: <http://www.cener.com/>
- España. IBM, SPSS. 20.0.0 [2011] [Software]. Disponible en: <http://www-01.ibm.com/software/es/analytics/spss/>.
- España. Ministerio de Industria Energía y Turismo, CALENER-VYP. V. 1.0 [2010] [Software]. Disponible en: www.minetur.gob.es.
- España. Real Decreto 2429/79, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en los edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 22 de octubre de 1979, núm. 253, pp. 24524.
- España. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, Código Técnico de la Edificación (CTE) *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp.11816-11831.
- España. Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, *Boletín Oficial del Estado*, 13 de abril de 2013, núm. 89, pp. 27548-27562.
- Newton, D., R. James, R. & Bartholomew, D. (1988), Building energy simulation - A user's perspective, *Energy and Buildings*, 10, 241-247.
- Unión Europea. Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 1, pp. 65-71.
- Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 153, pp. 13-35.

Wang, L., Gwilliam, J. & Jones, P. (2009). Case study of zero energy house design in UK, *Energy and Buildings*, 41, 1215-1222.