

**METODOLOGÍA PARA EL AJUSTE DE MODELOS ENERGÉTICOS DE
EDIFICACIONES DE USO RESIDENCIAL Y OFICINAS EN CLIMA CALIDO
TROPICAL****METHODOLOGY FOR THE CALIBRATION OF BUILDING ENERGY
MODELS FOR RESIDENTIAL USE AND OFFICES IN A WARM TROPICAL
CLIMATE**

MSc. Jorge Luis Cárdenas Rangel *, **Ing. Nicolás Mantilla ****, **Ing. Diego León ****,
PhD. Julián Ernesto Jaramillo Ibarra **, **PhD. German Alfonso Osma Pinto**

*** Universidad Industrial de Santander**, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de
Telecomunicaciones

Carrera 27 con calle 9, Bucaramanga, Santander, Colombia.

E-mail: jolucara22@gmail.com, gealosma@uis.edu.co

**** Universidad Industrial de Santander**, Escuela de Ingeniería Mecánica
Carrera 27 con calle 9, Bucaramanga, Santander, Colombia.

E-mail: nicolas_mantilla.9@hotmail.com, dleon1997@gmail.com, jejarami@uis.edu.co

Resumen: Este artículo propone una herramienta metodológica para el ajuste mediante grupos de zonas térmicas de modelos energéticos de edificaciones de uso residencial y de oficinas localizadas en clima cálido tropical. Como referentes de comparación se usaron los datos medidos de consumo energético de un periodo de un año, proporcionados por la empresa comercializadora de energía local. Tres fases componen la herramienta metodológica de ajuste: i) análisis de datos medidos, ii) ajuste de zonas térmicas de apartamentos / oficinas y iii) ajuste de zonas térmicas de uso común. Como criterio de aceptación se asumió un error menor al 10% entre el valor medio medido y simulado del consumo energético. La metodología propuesta permitió un ajuste rápido de modelos energéticos de edificaciones. Se lograron errores menores al 10% en ambos casos de estudio, tras una segunda simulación.

Palabras clave: Simulación energética de edificaciones, Calibración de modelos energéticos.

Abstract: This article proposes a methodological tool for the calibration through groups of thermal zones of energy models of buildings for residential use and offices located in a warm tropical climate. Measured energy consumption data for a period of one year, provided by the local energy trading company, were used as benchmarks for comparison. Three phases make up the calibration methodological tool: i) analysis of measured data, ii) calibration of thermal zones of apartments / offices and iii) adjustment of thermal zones of common use. As acceptance criteria, an error of less than 10% was assumed between the measured and simulated mean value of energy consumption. The proposed methodology allowed a rapid adjustment of energy models of buildings. Errors of less than 10% were achieved in both study cases, after a second simulation.

Keywords: Energy Simulation Building. Energy Models Calibration.

1. INTRODUCCIÓN

Cada vez es más común el uso de herramientas de simulación en el diseño de edificaciones energéticamente eficientes. Sin embargo, el uso de estas herramientas en edificaciones construidas para procesos como la evaluación de estrategias y el análisis del desempeño energético se ve afectado por la fiabilidad de los modelos en cuanto a la representación del comportamiento real de los edificios.

Para resolver estos problemas de veracidad se llevan a cabo procesos de ajuste o calibración con datos medidos. De acuerdo con la literatura, el ajuste de modelos energéticos suele realizarse a partir del uso de datos de consumo energético obtenidos por facturas o procesos de monitorización desarrollados en intervalos largos (mayores a un mes) o cortos (menores a un mes) (Coakley, Raftery, & Keane, 2014; Guerra-Santin & Tweed, 2015; Mihai, 2014). También es común encontrar el uso de variables ambientales como la humedad relativa y la temperatura del aire interior (Dewsbury & Nagle, 2011).

El ajuste de modelos energéticos puede ser desarrollado a través de diferentes niveles, según la información disponible. Fabrizio et al. (Fabrizio & Monetti, 2015) plantea que un buen ajuste puede realizarse a partir de tres niveles que incluyen facturas eléctricas, datos As-Built del edificio y una visitas de inspección.

En cuanto a criterios para la aceptación, la ASHRAE Guideline 14 recomienda un porcentaje de aceptación del 5% en relación al error porcentual entre los datos mensuales medidos y simulados. Para el Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (IPMVP) el criterio de aceptación es del 20%. (Bertagnolio, Randaxhe, & Lemort, 2012; Coakley et al., 2014; Mustafaraj, Marini, Costa, & Keane, 2014; Royapoor & Roskilly, 2015).

No obstante, la mayoría de los procesos de ajuste descritos en la literatura, que usan el consumo energético como variable de comparación, proponen ajustar el modelo energético de una edificación a partir del contraste entre el valor medido y simulado de la variable de comparación obtenida de forma global para todo el edificio. Lo anterior, puede llevar a imprecisiones en la representación del comportamiento real de algunas de las zonas del edificio.

Por tal motivo, se propone una metodología basada en el ajuste a través de grupos de zonas térmicas denominados tipologías de comparación. Como caso de estudio, se toma el proceso de ajuste de dos modelos energéticos, un modelo energético de una edificación residencial y un modelo energético de una edificación de oficinas.

El presente paper está compuesto por cuatro secciones. Inicialmente, se describe de forma general el proceso de obtención de los modelos energéticos de las edificaciones objeto de estudio. Luego se presenta la metodología de ajuste propuesta. Posteriormente, a manera de ejemplo, se presenta el proceso de ajuste de los modelos energéticos objeto de estudio. Finalmente, se presentan las principales conclusiones de la investigación.

2. OBTENCIÓN DE LOS MODELOS ENERGÉTICOS

El modelado energético de las edificaciones objeto de estudio se realizó en el software DesignBuilder, partir de una metodología de tres fases, a saber: i) recopilación de información, ii) modelado geométrico, y ii) asignación de datos del modelo.

La información base para el modelado energético de las edificaciones objeto de estudio fue obtenida en su mayoría de la caracterización edilicia realizada en el desarrollo del proyecto Economía Circular y Construcción Sostenible para Dinamizar la Cadena de Valor del sector de la construcción en Santander. Este proyecto fue liderado por el Clúster de la Construcción de la Cámara de Comercio de Bucaramanga. La Universidad Industrial de Santander participo como co-ejecutora.

La información disponible fue procesada por un grupo de expertos en las áreas de arquitectura, ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica, y tabulada en unos formatos de recopilación de información diseñados para cada área.

Posteriormente, la información recopilada fue usada para la obtención del modelo geométrico representativo, tanto de la edificación residencial como para la edificación de oficinas. En este proceso, se requirió de información relacionada con las características arquitectónicas de la edificación tales como la forma, orientación, número de pisos, distribución espacial de las plantas tipo, ubicación de ventanales y puertas, entre otras.

La Tabla 1 muestra las principales características de las edificaciones objeto de estudio.

Tabla 1: Características de las edificaciones objeto de estudio.

CARACTERÍSTICA	EDIFICIO RESIDENCIAL	EDIFICIO DE OFICINAS
Número de pisos arriba del suelo	17	15
Sótanos	2	3
Ubicación	Floridablanca	Bucaramanga
Distribución del edificio.	33 aptos de dos y tres habitaciones con áreas que van desde los 97 m ² hasta los 189 m ² . Se cuenta con salón social. Áreas húmedas, gimnasio y zonas de juegos infantiles.	30 oficinas con áreas que van desde los 73 m ² y 215 m ² .

La asignación de datos a los modelos energéticos se realizó por categorías, a saber: i) actividad, ii) cerramientos, iii) aberturas, iv) equipos, v) iluminación y vi) HVAC. La Tabla 2 lista la información suministrada.

Tabla 2: Información suministrada en cada una de las categorías de datos.

CATEGORÍA	DATOS DE ENTRADA
Actividad	<ul style="list-style-type: none"> - Ratas metabólicas. - Uso de las zonas. - Temperaturas de consigna del sistema de A.A.
Cerramientos	<ul style="list-style-type: none"> - Composición de elementos constructivos como cubierta, muros exteriores, muros interiores, entre pisos y pisos sobre el terreno.
Aberturas	<ul style="list-style-type: none"> - Características de las ventanas (especificaciones del tipo de acristalamiento, marcos y divisores. - Características de las puertas. - Régimen de apertura de ventanales.
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad, potencia y horario de funcionamiento de las principales cargas eléctricas.
Iluminación	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad, tipo de luminaria y tipo de control de iluminación.
HVAC	<ul style="list-style-type: none"> - Características de los sistemas de climatización del edificio.

Una vez realizada la asignación de datos, se obtienen los modelos energéticos representativos de

cada una de las edificaciones, tal como muestra la Figura 1.

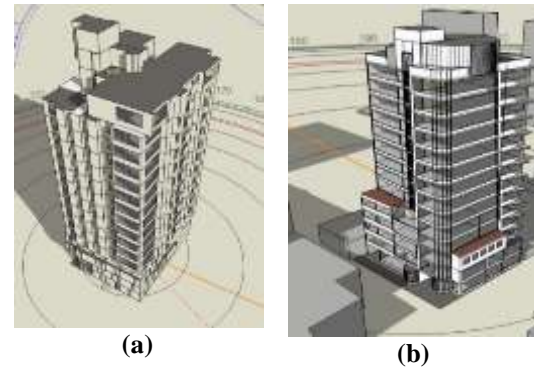


Fig. 1. Modelos energéticos de (a) una edificación multifamiliar de estrato socioeconómico alto y (b) una edificación de oficinas.

3. METODOLOGÍA DE AJUSTE

Luego, de asignados los datos a los modelos, se procedió a realizar el ajuste de los mismos. Para lo cual, se usaron los datos anuales medidos de consumo energético proporcionados por la empresa comercializadora de energía local. Estos datos se analizaron con el propósito de identificar diferentes perfiles de consumo energético que llevarán a inferir presencia de sistemas de aire acondicionado o una mayor cantidad o uso de equipos.

La metodología de ajuste propuesta está compuesta por dos fases: i) ajuste de zonas de apartamentos / oficinas y ii) ajuste de zonas de áreas comunes.

Se asumió un criterio de aceptación del 10% para el 90% de las zonas del edificio. El ajuste no se realiza para el edificio completo, sino zona por zona a través de tipologías de comparación, como se explica a continuación.

3.1. Ajuste de zonas de apartamentos / oficinas

El ajuste de las zonas térmicas que representan apartamentos u oficinas se realizó a través de grupos de ajuste denominados tipologías de comparación. El ajuste de una tipología se obtuvo a partir de la comparación entre los valores medios medidos y simulados de consumo energético.

Las tipologías de comparación se determinaron con base en los criterios listados de la Tabla 3.

Tabla 3: Variables a tener en cuenta en la determinación de tipologías de comparación.

TIPO DE EDIFICIO	VARIABLE
Vivienda	- El área de los apartamentos y/o la cantidad de habitaciones.
	- Representatividad de los sistemas de aire acondicionado en el edificio determinada a partir del análisis de los consumos medidos.
Oficinas	- El área de las oficinas.
	- La ubicación de la oficina.
	- Afectaciones por sombreado e incidencia directa de radiación solar.

En el cálculo del valor medio medido de cada una de las tipologías de comparación se tuvieron en cuenta aquellas zonas con ocupación efectiva (12 meses del año). Como criterio de aceptación se asumió un error menor al 10% entre el consumo medido y simulado del consumo energético para el 90% de las zonas térmicas (apartamentos / oficinas).

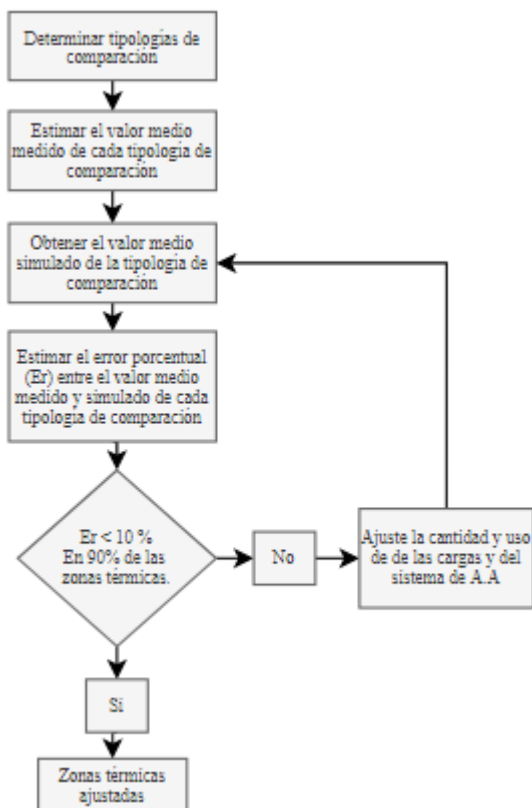


Fig. 2. Metodología de ajuste zonas térmicas apartamentos / oficinas.

Las principales fuentes de ajuste en los modelos fueron la cantidad y el uso de las cargas y el uso de los sistemas de aire acondicionado. La Figura 2 resume la metodología planteada para el ajuste de zonas de apartamentos / oficinas.

3.2. Ajuste de zonas comunes de edificios de uso residencial

Para el ajuste de zonas de uso común, se tuvieron en cuenta dos configuraciones posibles según el número de torres asociadas al proyecto: i) edificios residenciales de una solar torre con áreas comunes incluidas, y ii) edificios residenciales de varias torres con zonas de parqueo y áreas comunes compartidas.

En el primer caso, el ajuste se realizó comparando el consumo medido de servicios generales con el consumo simulado de áreas comunes (sumatoria de consumo energéticos anuales de puntos fijos, sótanos, cuartos de bombas y motores, salón social y otros espacios de uso común de la edificación). Como criterio de aceptación, se estableció un error porcentual menor al 10% entre el valor medido y el valor simulado. Para lograr el ajuste se intervinieron los horarios de funcionamiento del sistema de aire acondicionado en zonas comunes y el régimen de operación de motores y bombas. La Figura 3 resume la metodología planteada para el ajuste de zonas térmicas de uso común.

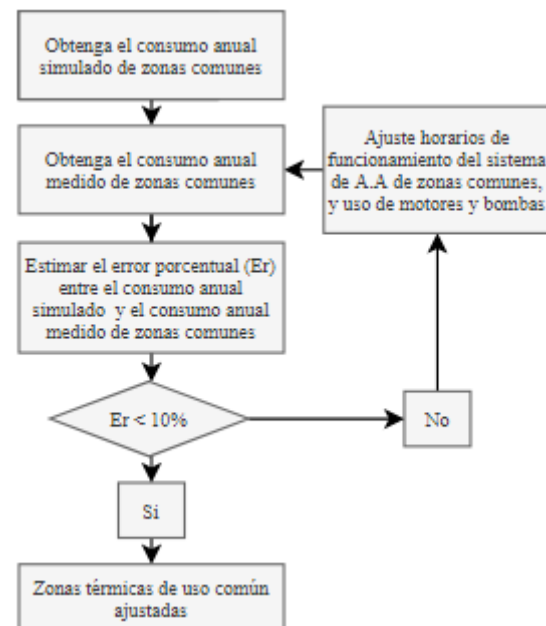


Fig. 3. Metodología planteada para el ajuste de zonas térmicas de uso común.

En el segundo caso, se realizó una comparación entre el consumo simulado de las zonas comunes (consumo energético anual de puntos fijos, cuartos de bombas y motores) y el consumo energético medido ajustado.

El cálculo consiste en la relación entre el consumo total medido de servicios generales y el número total de torres del proyecto.

El criterio de aceptación se estableció como una diferencia porcentual de menos del 20 % entre el valor medido y el valor simulado. Las variables intervenidas para el ajuste fueron el régimen de uso de motores y bombas, y los horarios de uso de los sistemas de aire acondicionado ubicados en zonas comunes.

3.3. Ajuste de zonas comunes de uso de oficinas

Para este tipo de edificaciones, el ajuste de las áreas comunes se realizó comparando el consumo simulado de zonas comunes (consumo anual puntos fijos, motores, componentes comunes de sistema de A.A y otros espacios compartidos) y el consumo anual teórico esperado (CATE).

El consumo anual teórico esperado (CATE) se calculó teniendo en cuenta la Eq. (1):

$$CATE = ICAO * AT \quad (1)$$

Donde, ICAO es el indicador de consumo anual de zonas comunes para áreas ocupadas y AT es el área total del proyecto.

El ICAO representa la relación entre el consumo medido de zonas comunes (servicios generales) y el área ocupada.

Para el ajuste de las áreas comunes de edificaciones de uso de oficinas se toma como criterio de aceptación una diferencia porcentual de menos del 10% entre el valor medido y simulado.

Las variables objeto de ajuste en este caso fueron nuevamente el horario de uso de motores y bombas y el horario de uso de los sistemas de aire acondicionado de uso común.

La Figura 4 resume la metodología de ajuste de zonas térmicas de uso común en edificios de oficinas.

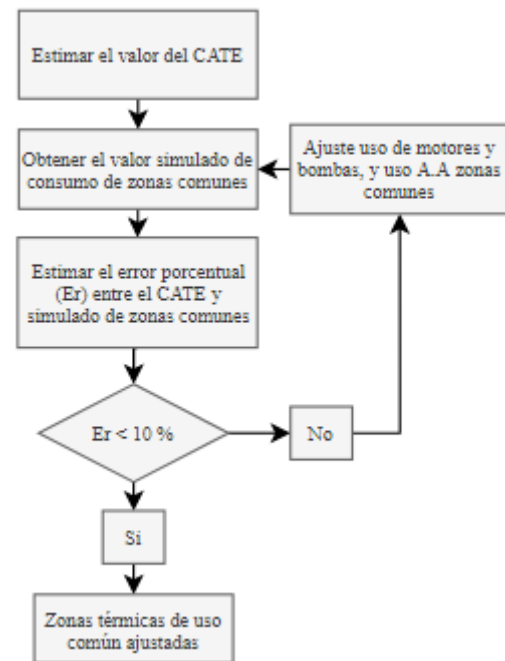


Fig. 4. Metodología de ajuste de zonas térmicas de uso común en edificios de oficinas.

4. AJUSTE DE MODELOS ENERGETICOS

Esta sección presenta el ajuste de dos modelos energéticos. Un modelo energético de una edificación multifamiliar de estrato socioeconómico alto y el modelo energético de un edificio de oficinas.

4.1. Ajuste del modelo energético de un edificio de tipo residencial

De acuerdo con la metodología de ajuste, el primer paso consiste en la determinación de las tipologías de comparación. De acuerdo con la distribución arquitectónica de la planta tipo del edificio, se identificaron tres (3) tipologías principales. Sin embargo, al analizar el archivo de consumos energéticos proporcionado por la empresa comercializadora de energía, se infiere la presencia de áreas climatizadas. Teniendo en cuenta lo anterior, se plantean un total de ocho tipologías de comparación con las características mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4: Tipologías de comparación para el modelo energético del edificio de tipo residencial

TIPO	Nº HABITACIONES / ÁREA	AIRE ACONDICIONADO
1	Apto tres habitaciones	N/A
2	/	A.A en una habitación

3	(188,8 m ²)	A.A en dos habitaciones
4	Aptos tres habitaciones	N/A
5	/	A.A en tres habitaciones
6	(122,1 m ²)	A.A en tres habitaciones
7	Apto dos habitaciones	N/A
8	/	A.A en dos habitaciones
	(97,4 m ²)	

Una vez se realizó la primera simulación energética del modelo, se procedió a estimar el valor simulado medio asociado a cada tipología de comparación. El error porcentual entre el valor medio simulado y medido de cada tipología de comparación se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Comparación de resultado de la primera simulación para el modelo energético del edificio residencial.

TIPO	CONSUMO MEDIO MEDIDO [kWh/año]	CONSUMO MEDIO SIMULADO [kWh/año]	ERROR [%]
1	2.463	2.553	3,7
2	3.497	3.680	5,2
3	8.076	4.503	44,2
4	2.024	1.622	19,9
5	4.689	3.165	32,5
6	7.246	5.297	26,9
7	1.722	1.241	27,9
8	3.781	2.801	25,9

De acuerdo a lo anterior, el error porcentual promedio logrado en la primera simulación es de 23,3%. Los apartamentos de las tipologías 1 y 2 alcanzaron el criterio de ajuste. Lo cual es debido a que en estos espacios el consumo de energía se da por electrodomésticos.

Los consumos energéticos anuales de los apartamentos 3, 4, 5, 6, 7 y 8 superan el criterio de aceptación. Para logra el ajuste de estas tipologías se realizaron cambios en el uso de los equipos y los sistemas de aire acondicionado.

Para el caso del tipo 3 la edición se limitará exclusivamente a los equipos de aire acondicionado ya que, según se mostró antes, los apartamentos 1 y 2 lograron un buen ajuste y una edición que los afectara podría dañar el nivel de ajuste conseguido. En cambio, los tipos 4, 5, 6, 7 y 8 requieren cambios incluso en la programación de uso de los electrodomésticos. La Tabla 6 resume las modificaciones realizadas en el modelo energético.

Tabla 6: Modificaciones realizadas en el modelo energético del edificio residencial.

TIPO	CONSUMO MEDIO MEDIDO [kWh/Año]
3	Se climatizó otra de las habitaciones, con igual horario de operación
4	Se extendió el uso del TV a todos los días de la semana
5	Se extendió el horario de funcionamiento del A.A (9 pm – 5 am). Se extendió el uso del TV a todos los días de la semana
6	Se extendió el horario de funcionamiento del A.A (9 pm – 5 am). Se extendió el uso del TV a todos los días de la semana.
7	Se extendió el uso del TV a todos los días de la semana
8	Se extendió el horario de funcionamiento del A.A (9 pm – 5 am). Se extendió el uso del TV a todos los días de la semana

Una vez ejecutados los cambios descritos, se realizó una nueva simulación. La comparación de resultados de la segunda simulación es mostrada en la Tabla 7.

Tabla 7: Comparación de resultados de la segunda simulación para el modelo energético del edificio residencial.

TIPO	CONSUMO MEDIO MEDIDO [kWh/año]	CONSUMO MEDIO SIMULADO [kWh/año]	ERROR [%]
1	2.463	2.553	3,7
2	3.497	3.673	5,0
3	8.076	5.132	36,5
4	2.024	2.092	3,4
5	4.689	4.297	8,4
6	7.246	4.715	34,9
7	1.722	1.678	2,6
8	3.781	3.859	2,1

De acuerdo con los resultados mostrados, el 91% de los espacios destinados a apartamentos presentan un error porcentual entre el consumo energético medio anual simulado y medido inferior al 10%.

El ajuste del consumo de las zonas comunes se realizó de forma teórica, ya que no se disponía de datos medidos del área de servicios generales. Sin embargo, para la segunda simulación, se realizaron ajustes en las programaciones de uso de los equipos para propósitos generales del edificio como son ascensores y bombas. El consumo teórico ajustado de zonas comunes para el proyecto objeto de estudio, asciende a la suma de 112.527 kWh/año.

De esta manera, se considera que le modelo energético se encuentra ajustado.

4.2. Ajuste del modelo energético de un edificio de oficinas

En el caso del edificio de oficinas, se identificaron en total seis tipologías de ajuste. En este caso, se sabía que todo el edificio cuenta con un sistema de aire acondicionado centralizado, por lo que el principal criterio para la determinación de las tipologías de comparación fue el área de las zonas. La Tabla 7 muestra las características de las tipologías de comparación.

Tabla 7: Tipologías de comparación para el modelo energético del edificio de oficinas.

TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA
1	72,08	4	75,00
2	59,85	5	113,00
3	165,51	6	182,00

Una vez se corrió la primera simulación, se encontraron los errores porcentuales mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8: Comparación de resultado de la primera simulación en el modelo energético del edificio de oficinas.

TIPO	CONSUMO MEDIO MEDIDO [kWh/año]	CONSUMO MEDIO SIMULADO [kWh/año]	ERROR
1	10.151,00	9.805,89	3,4%
2	8.639,33	9.853,59	14,0%
3	16.621,00	12.069,53	27,4%
4	25039,00	11.931,10	52,4%
5	21829,64	20.037,13	8,2%
6	28995,71	25.135,02	13,3%

De la tabla anterior se observa que dos tipologías de comparación cumplen con el criterio de aceptación del error inferior al 10%. La Tabla 9 resume las modificaciones realizadas en el modelo energético.

Tabla 9: Modificaciones realizadas en el modelo energético del edificio de oficinas.

TIPO	CONSUMO MEDIO MEDIDO [kWh/año]
1	No se realizaron ajustes
2	Ajuste en el uso de la iluminación
3	Ajuste en el uso de iluminación y equipos

4	Ajuste en el uso de iluminación y equipos
5	No se realizaron ajustes
6	Ajuste en el uso de la iluminación (reducción del 20% en el uso)

Posterior a la realización de los ajustes en el modelo energético, se realizó una segunda simulación. Los resultados del error relativo para esta simulación son mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10: Comparación de resultados de la segunda simulación para el modelo energético del edificio de oficinas.

TIPO	CONSUMO MEDIO MEDIDO [kWh/año]	CONSUMO MEDIO SIMULADO [kWh/año]	ERROR
1	10.151,00	9.808,36	3,4%
2	8.639,33	8.811,34	2,0%
3	16.621,00	16.312,33	1,9%
4	25.039,00	22.614,18	9,7%
5	21.829,64	20036,54	8,2%
6	28.995,71	26734,70	7,8%

De acuerdo con la información de la tabla anterior, todas las zonas de uso de oficinas del edificio se presentan un error porcentual menor al 10%, por lo que se cumple con el criterio de ajuste.

Para el ajuste de las zonas comunes, debido a la alta porcentaje de desocupación que presentaba el edificio objeto de estudio, fue necesario estimar el consumo anual teórico estimado (CATE) bajo el supuesto de ocupación total. De acuerdo con la metodología propuesta, para la obtención del CATE es necesario el cálculo del indicador de consumo anual de zonas comunes para área ocupada, así como el área total del proyecto. estos valores son mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11: Variables para el cálculo del CATE.

VARIABLE	VALOR
Área total [m ²]	3.905,5
ICAO [kWh/m ²]	136,3
CATE [kWh]	532.411,7

Tras la primera simulación se encontró una diferencia porcentual entre el valor medido y simulado de aproximadamente 46,25%.

El ajuste en zonas comunes se realizó considerando una ocupación plena del edificio. Por tal motivo, se ajustaron los horarios de uso del sistema de iluminación y equipos de cómputo ubicados en

zonas de recibo y circulación. Así mismo, se aumentaron los periodos de funcionamiento de las bombas hidrosanitarias y de los ascensores. El error final para el área de zonas comunes después de llevada a cabo la segunda simulación fue del 9,62 %.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera ajustado el modelo energético del edificio de oficinas.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de los dos casos de estudio, la metodología propuesta en este artículo asegura un ajuste rápido de modelos energéticos de edificaciones de uso residencial y de oficinas. El criterio de aceptación para el edificio residencial y el edificio de oficinas se alcanzó en la segunda simulación, con errores del 8% y 6,75% respectivamente.

En comparación con el ajuste realizado a partir de valores de consumo energético totales del edificio, el ajuste por zonas representativas o tipologías de comparación ofrece un mayor grado de confiabilidad de los resultados de las simulaciones energéticas.

En relación con las modificaciones realizadas en los modelos energéticos, el ajuste de los horarios de funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado y los equipos de cómputo presentan mayor influencia para alcanzar los criterios de aceptación en edificios multifamiliares de estrato socioeconómico alto y oficinas respectivamente. Para el caso de las zonas comunes, el ajuste se vio altamente influenciado por el horario de funcionamiento de motores como la bomba hidroneumática y los ascensores.

Se espera, en el corto plazo, validar la flexibilidad de la metodología propuesta aplicándola a un número significativo de edificaciones de tipo residencial y de oficinas.

REFERENCIAS

Bertagnolio, S., Randaxhe, F., & Lemort, V. (2012). Evidence-based calibration of a building energy simulation model: Application to an office building in Belgium. *Proceedings of the Twelfth International Conference for Enhanced Building Operations*, (1).

Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy

simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 123–141. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007>

Dewsbury, M., & Nagle, P. (2011). *The Environmental Measurement of Residential Buildings A Technical Guide The Environmental Measurement of Residential Buildings A Technical Guide Prepared for :* <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1520.7840>

Fabrizio, E., & Monetti, V. (2015). Methodologies and advancements in the calibration of building energy models. *Energies*, 8(4), 2548–2574. <http://doi.org/10.3390/en8042548>

Guerra-Santin, O., & Tweed, C. (2015). In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings*, 93, 189–207. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.042>

Mihai, A. (2014). *Calibration of a Building Energy Model Using Measured Data for a Research*. Concordia University.

Mustafaraj, G., Marini, D., Costa, A., & Keane, M. (2014). Model calibration for building energy efficiency simulation. *Applied Energy*, 130, 72–85. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.019>

Royapoor, M., & Roskilly, T. (2015). Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings*, 94, 109–120. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.050>