

**CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE DIFERENTES TIPOLOGÍAS
EDICILIAS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA****ENERGY CHARACTERIZATION OF DIFFERENT BUILDING TYPOLOGIES
OF THE BUCARAMANGA METROPOLITAN AREA**

MSc. Jorge Luis Cárdenas Rangel*, **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: jejarami@uis.edu.co

Resumen: Este artículo resume los resultados de una caracterización energética de diferentes tipos de edificaciones realizada en el Área Metropolitana de Bucaramanga - AMB. La investigación tenía por objeto establecer el comportamiento energético de cuatro tipologías de edificios: edificios residenciales de bajo costo (vivienda social), edificios residenciales de costo medio, edificios residenciales de alto costo y edificios de oficinas. Para lograrlo, se siguió una metodología de caracterización energética *Bottom - Up*. Según los resultados, los edificios caracterizados integran algunas medidas de conservación de energía, como iluminación LED y equipos de alta eficiencia para climatización. Los análisis de confort térmico muestran que todos los edificios presentan condiciones de incomodidad, debidas a la incidencia de la radiación solar sobre la envolvente. Estos resultados representan un insumo para mejorar la eficiencia energética de los edificios AMB. Sin embargo, se requiere un proceso de validación con datos medidos para fortalecer los hallazgos.

Palabras clave: Simulación energética de edificaciones, Estrategias de ahorro energético.

Abstract: This article summarizes the results of an energy characterization of different types of buildings carried out in the Metropolitan Area of Bucaramanga - AMB. The research aimed to establish the energy behavior of four types of buildings: low-cost residential buildings (social housing), medium-cost residential buildings, high-cost residential buildings and office buildings. To achieve this, a Bottom - Up energy characterization methodology was followed. According to the results, the characterized buildings integrate some energy conservation measures, such as LED lighting and high-efficiency equipment for air conditioning. Thermal comfort analyzes show that all buildings present uncomfortable conditions, due to the incidence of solar radiation on the envelope. These results represent an input to improve the energy efficiency of AMB buildings. However, a validation process with measured data is required to strengthen the findings.

Keywords: Energy building Simulation, Energy Conservation Measures.

1. INTRODUCCIÓN

Según datos de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, el sector de la Edificación en Colombia registró aproximadamente el 64% del consumo final de energía para 2017 (Unidad de Planeación Minero Energética -UPME). Se espera que este porcentaje continúe creciendo en el futuro. Esta situación genera preocupaciones sobre los impactos ambientales conexos y el suministro de energía del país.

En 2015, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio emitió la Resolución 0549 (Ministerio de Vivienda, 2015). Esta resolución establece los porcentajes mínimos de ahorro de energía y agua para los nuevos edificios a partir de la integración de medidas de conservación de energía. A partir de la emisión de esta resolución, el Clúster de la Construcción de la Cámara de Comercio de Bucaramanga - CCCCBB ha trabajado arduamente para generar conciencia y promover la construcción sostenible en la ciudad y la región. Desde 2018, la CCCCBB, con el patrocinio de la Cooperación Suiza en Colombia, y en convenio con instituciones como la Universidad Industrial de Santander - UIS, el Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA y la Universidad Santo Tomás - USTA están desarrollando el proyecto, denominado “CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE Y ECONOMÍA CIRCULAR PARA DINAMIZAR LA CADENA DE VALOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN SANTANDER”. Uno de los alcances de este proyecto es realizar un diagnóstico del comportamiento energético de cuatro tipologías edilicias.

En este artículo se describe el proceso llevado a cabo para caracterizar el desempeño energético de edificios asociados a tres condiciones socioeconómicas diferentes (baja, media y alta) y edificios de oficinas ubicados en el Área Metropolitana de Bucaramanga - AMB.

La caracterización realizada tuvo en cuenta un enfoque bottom-up, que permite extrapolar el rendimiento energético de una tipología edilicia, a partir de la caracterización y análisis energético de un grupo de edificios (Braulio, 2016). Este enfoque se utiliza ampliamente en la literatura para evaluar el ahorro de energía y el impacto en los costos de las medidas de conservación de energía (Gendebien, Georges, Bertagnolio, & Lemort, 2014; US Office of Energy Efficiency & Renewable energy), así como el desarrollo de códigos energéticos y guías de construcción

sostenible (Kim et al., 2017; Monteiro, Pina, Cerezo, Reinhart, & Ferrão, 2017); identificación de áreas susceptibles de ahorro energético (Sharma & Marwaha, 2017); análisis energético de tipologías de edificios (Benejam, Mata, Kalagasidis, & Johnsson, 2010) y comparación del rendimiento energético con otros países (Csoknyai et al., 2016).

2. METODOLOGÍA

Para caracterizar el desempeño energético de varias tipologías de edificación del AMB, se aplicó una metodología compuesta por tres fases: i) caracterización del edificio, ii) modelización virtual, iii) y simulación energética.

2.1. Caracterización de los edificios

La caracterización de las edificaciones estuvo compuesta por estas etapas: definición de tipologías y postulación de edificaciones, visitas de inspección y, determinación de las características representativas de cada tipología.

Las tipologías fueron seleccionadas considerando la frecuencia de construcción de los edificios en el área metropolitana. Se seleccionaron cuatro tipologías para estudiar: edificios residenciales de bajo costo (vivienda social), edificios residenciales de costo medio, edificios residenciales de alto costo y edificios de oficinas.

Luego, las empresas constructoras que participan en el proyecto nominaron diferentes edificios con una antigüedad menor a cinco años y sin medidas de conservación energética. En total se estudiaron veinte (20) proyectos, cinco (5) proyectos de cada tipología.

Una vez que se identificaron los edificios objeto de estudio, se recopiló información sobre características arquitectónicas, materiales, cargas eléctricas, patrones de uso y ocupación de cada uno de los veinte (20) edificios. Para esta etapa se conformó un equipo interdisciplinario compuesto por ingenieros mecánicos, arquitectos, ingenieros eléctricos e ingenieros civiles de las entidades del proyecto. El equipo se encargó de validar la información recopilada y obtener las características promedio de cada una de las tipologías estudiadas. Las características promedio se agruparon en características arquitectónicas (morfología, materiales y ocupación) y características energéticas (inventario de carga y patrones de uso de los dispositivos).

2.2. Modelado energético

A partir de las características promedio se construyó el modelo energético representativo de cada tipología. El proceso de modelado energético se compone principalmente de modelado geométrico y llenado de datos. El modelo energético representativo de cada tipología se construyó utilizando la herramienta de simulación energética DesignBuilder.

Las morfologías y la distribución espacial de cada tipología estudiada se utilizaron para obtener el modelado geométrico. Los datos recolectados en la etapa de caracterización fueron organizados en cinco categorías i) actividad, ii) cerramientos, iii) aberturas, iv) iluminación y v) HVAC. La Figura 1 presenta los modelos energéticos representativos de las tipologías estudiadas.

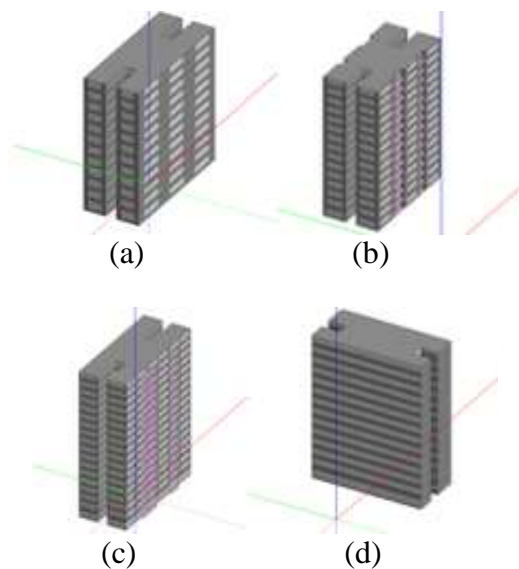


Fig 1. Modelos energéticos representativos de (a) edificios residenciales de bajo costo, (b) edificios residenciales de costo medio, (c) edificios residenciales de alto costo y (d) edificios de oficinas.

2.3. Simulaciones energéticas

A partir de los modelos energéticos representativos, se realizaron simulaciones con el objetivo de analizar el comportamiento energético de cada tipología. En total se realizaron ocho (8) simulaciones energéticas, dos por modelo energético: una simulación energética anual y una

simulación energética para el día con mayor temperatura exterior (día crítico).

A través de las simulaciones se analizaron aspectos como el desglose del consumo energético anual, las temperaturas de confort, las ganancias térmicas internas y la transferencia de calor debido a los diferentes cerramientos envolventes.

3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la caracterización de las tipologías estudiadas.

3.1. Características energéticas

Las características energéticas consideradas en la caracterización son: cargas de equipos, cargas de iluminación, cargas de motores y bombas, densidades de potencia de iluminación y horarios de uso de cargas.

3.1.1. Cargas de equipos

Se realizó un inventario de electrodomésticos para determinar las cargas de equipo asociadas a cada tipología. A partir de esta información se evaluó la representatividad de cada tipo de equipamiento de la muestra analizada (15 departamentos por tipología). De esta forma se determinó qué tipos de equipos se integraron en cada tipología. La Tabla 1 presenta el resumen de los equipos considerados en el modelo energético representativo de las tipologías.

Tabla 1. Resumen de cargas eléctricas del paquete primario de cada tipología.

Edificios residenciales de bajo costo	Edificios residenciales de costo medio	Edificios residenciales de alto costo	Edificios de oficinas
PC portátil	Laptop	PC portátil	PC
Router	Router	Impresora	PC portátil
TV	Teléfono	Router	Impresora
Equipo sonido	inalámbrico	Teléfono	Router
Nevera	TV	inalámbrico	TV
Plancha	Ventilador	TV	
Lavadora	Nevera	Equipo de sonido	
	Lavadora	Ventilador	
	Plancha	Nevera	
		Lavadora	
		Plancha	

3.1.2. Cargas de iluminación

A partir de un inventario de iluminación realizado para cada una de las tipologías de edificios se

determinaron las cargas de iluminación más frecuentes. La Tabla 2 muestra las características representativas de las cargas lumínicas asociadas a cada tipología.

Tabla 2. Características representativas de las cargas lumínicas asociadas a cada tipología.

Tipología	Tipo de iluminación	Disposición	Número de luminarias	Potencia [W]
Edificios residenciales de bajo costo	LED	Sobrepuesta	6	9
Edificios residenciales de costo medio	CFL	Sobrepuesta	7	20
Edificios residenciales de alto costo	LED	Empotrada	21	9
Oficinas pequeñas	Panel LED	Empotrada	6	48
Oficinas medianas	LED	Empotrada	8	9
Oficinas grandes	Fluorescente	Empotrada	23x4	68

3.1.3. Motores eléctricos y bombas

Cada edificio tiene un ascensor y una bomba hidroneumática. La Tabla 3 resume las características comunes de motores y bombas para cada tipología de edificio.

Tabla 3. Motores y bombas para cada tipología edilicia.

Tipología	Dispositivo	Cantidad	Potencia [W]
Edificios residenciales de bajo costo	Bombas hidroneumáticas	2	22 370
	Ascensor	1	7 500
Edificios residenciales de costo medio	Bombas hidroneumáticas	1	18 643
	Ascensor	2	80 00
Edificios residenciales de alto costo	Bombas hidroneumáticas	1	18 643
	Ascensor	2	9 000
Oficinas	Bombas Sistema refrigeración	3	22 380
	Bombas de agua	2	14 920
	Ascensor	2	18 643

3.1.4. Características de los sistemas HVAC.

A partir de los datos recopilados, los sistemas de refrigeración se consideraron solo para la tipología de edificios de oficinas. La Tabla 4 enumera el

sistema de refrigeración asumido para el modelo energético de edificios de oficinas.

Tabla 4. Sistema de refrigeración asumido para el modelo energético representativo de edificios de oficinas.

Tipo	Cantidad	Capacidad [BTU]	Temperatura de consigna [°C]
Fan coil (Incluye torre de enfriamiento)	2	36 000	21

3.1.5. Programaciones de las cargas

Las horas de uso de las cargas se determinaron a partir de un análisis comparativo entre las 15 muestras asociadas a cada tipología. Para cada carga se estableció un horario de uso para la semana y para el fin de semana.

3.2. Características arquitectónicas

Los modelos energéticos representativos también se componen de características arquitectónicas; la Tabla 5 resume esta información. Los valores de cada característica fueron validados a través de la opinión de expertos.

Tabla 5. Características arquitectónicas promedio asociadas a los modelos energéticos de las tipologías estudiadas.

Tipología	Características			WWR [%]
	Niveles	Aptos/oficinas por nivel	Área promedio [m²]	
Edificios residenciales de bajo costo	12	6	50	35
Edificios residenciales de costo medio	15	6	65	40
Edificios residenciales de alto costo	18	6	98	50
Oficinas	14	10	48	60

3.3. Resultados de simulaciones energéticas

En esta sección se presentan los principales hallazgos de las simulaciones de los modelos energéticos representativos de cada tipología. La Tabla 6 muestra los resultados del consumo energético, el confort y las ganancias térmicas internas asociadas a cada modelo energético.

Tabla 6. Resultados de consumo energético, confort y ganancias térmicas internas asociadas a cada modelo energético.

Variable	Tipología			Ofc.
	Edif. resid. de bajo costo	Edif. resid. de costo medio	Edif. resid. de alto costo	
Consumos				
Electrodom. [MWh]	195.8	238.2	327.9	480.5
Iluminación [MWh]	4.3	18.4	29.8	96.3
Sistema de refrigeración [MWh]	0	0	0	297,5
Consumo energético total [MWh]	200.0	256.6	357.7	874.4
Confort				
Temperatura del aire [°C]	29.6	27.0	28.1	27.2
Temperatura radiante [°C]	30.5	28.3	29.1	28.4
Temperatura operativa [°C]	30.1	27.6	28.5	27.8
Ganancias Internas				
Iluminación [MWh]	4.3	18.4	30	96.3
Misceláneos [MWh]	169.0	171.5	260	200.3
Cocina [MWh]	0	55.8	60	0
Computadores y equipos [MWh]	26.8	10.9	10	280.2
Ocupación [MWh]	63.5	117.7	120	154.2
Ganancias solares a través de ventanas [MWh]	539.5	924.6	1410	620.4
Refrigeración [MWh]	0	0	0	- 907.9

4. DISCUSIÓN

El modelo energético representativo de la edificación residencial de bajo coste tiene un consumo energético anual cercano a los 200 MWh, de los cuales aproximadamente el 98% corresponde al consumo de equipos y solo el 2% al consumo del sistema de iluminación. Además, el

consumo de energía simulado representa aproximadamente 121 toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera.

En términos de confort, la temperatura promedio anual del aire es cercana a los 30 ° C, este valor está fuera del rango de confort térmico para Bucaramanga. Este comportamiento se produce debido a los altos valores de las ganancias de calor solar a través de las ventanas exteriores, lo que representa alrededor del 67% de las ganancias térmicas internas totales.

El comportamiento térmico de la envolvente durante el día crítico muestra a la cubierta como el elemento que permite la mayor transmisión de calor dentro de los espacios. La principal fuente de refrigeración del edificio es la ventilación natural que contribuye a la pérdida de calor cercana a los 200 kWh al año.

El modelo energético representativo de tipología de edificaciones residenciales de coste medio muestra un consumo energético anual de aproximadamente 256 MWh. En este consumo, los electrodomésticos representan aproximadamente el 93%, mientras que la iluminación aproximadamente el 7%. La temperatura media anual es cercana a los 27 ° C, que es 3 grados menos que la temperatura media anual de los edificios residenciales de bajo coste.

Los resultados de las simulaciones de ganancias interiores muestran que las ganancias térmicas debido a las ventanas exteriores son la principal fuente de calentamiento, estas ganancias son aproximadamente el 71% de las ganancias internas totales. Este incremento se debe a que este tipo de tipología tiene una mayor superficie acristalada con respecto a los edificios residenciales de bajo coste. Las mayores transferencias de calor causadas por la envolvente ocurren a través del techo y las paredes exteriores.

La simulación energética del modelo energético representativo de los edificios residenciales de alto coste tiene un consumo energético anual de 357,74 kWh. Y, según los resultados del desglose del consumo energético, alrededor del 92% del consumo energético del edificio se destina a electrodomésticos, mientras que el 8% se destina a iluminación.

La temperatura promedio anual del aire para esta tipología es cercana a los 28 ° C, este valor se encuentra fuera del rango de confort estimado para la Ciudad de Bucaramanga. La principal fuente de

malestar térmico para esta tipología son también las ganancias solares de las ventanas exteriores. Estos representan alrededor del 70% de las ganancias totales, seguidas de las ganancias misceláneas y de ocupación.

Una vez más, los resultados muestran que las paredes y el acristalamiento son los elementos con mayor transferencia térmica, con valores máximos de 33,3 kWh y 24,2 kWh respectivamente. Las ganancias térmicas provocadas por la cubierta son sensiblemente inferiores a las dos tipologías comentadas anteriormente, esto puede deberse a una mejora en la calidad de los acabados y en el espesor total de este elemento y como consecuencia de la incorporación de nuevas capas como mortero y cerámica (techo transitable).

La simulación energética del modelo energético representativo de oficinas muestra un valor de consumo energético anual de 874 360 kWh, el 55% corresponde a electrodomésticos, mientras que los consumos de refrigeración e iluminación representan el 34% y 11% respectivamente. Para esta tipología, los valores anuales de temperatura del aire muestran un valor promedio cercano a los 27 ° C para la temperatura del aire, este valor también se encuentra fuera del rango de confort para la Ciudad de Bucaramanga.

En cuanto a la distribución de las ganancias térmicas internas, una vez más, las ganancias internas de las ventanas externas representan la mayor fuente de calefacción con aproximadamente el 46% de las ganancias totales.

En comparación con las otras tipologías, el modelo energético representativo de oficina presenta los valores más altos de ganancias internas por ventanas externas, esto se debe a que es la tipología de área de acristalamiento más grande. Además, las computadoras son una fuente de calor significativa, representan aproximadamente el 21% de las ganancias totales. Mientras que, en términos de pérdidas, la refrigeración representa el 100%.

En cuanto a cuestiones metodológicas, el proceso de caracterización energética permitió identificar aspectos relevantes en relación al comportamiento energético de los edificios que inciden en el consumo energético final de los edificios. Esta información es útil para proponer estrategias con el fin de mejorar su desempeño energético. Sin embargo, existen fuentes de incertidumbre que deben revisarse. En primer lugar, la clasificación de los edificios de oficinas podría ser general y las

diferencias relevantes podrían ignorarse, por lo que podría ser necesaria una subclasificación (Tian & Choudhary, 2011).

En segundo lugar, no se realizó una comparación con datos medidos o indicadores de consumo de energía que permitieran obtener un modelo energético ajustado de cada tipología (Casallas et al., 2013), (Kim et al., 2017). Por este motivo, el siguiente paso en la caracterización energética consistirá en el ajuste de los modelos energéticos de cada tipología según los datos de consumo energético medidos proporcionados por la empresa comercializadora de energía.

4. CONCLUSIONES

Uno de los hallazgos más importantes de la caracterización fue la identificación de prácticas apropiadas de ahorro de energía. El uso de lámparas LED de alta eficiencia fue evidente en todas las tipologías y en edificios residenciales de bajo costo, edificios residenciales de alto costo y tipologías de oficinas es la tecnología de iluminación predominante. En el caso de las oficinas, también era común encontrar equipos de alta eficiencia para sus sistemas de refrigeración. Las simulaciones energéticas de los modelos energéticos permitieron estimar el consumo energético medio anual de cada tipología. Estos valores de consumo de energía se ajustarán en función de los valores medidos proporcionados por la empresa de distribución de energía en un próximo paso de la investigación.

El confort térmico estudiado se realizó considerando los valores anuales de temperatura del aire y mostró que todas las tipologías presentan condiciones de malestar térmico. Además, para todas las tipologías la principal fuente de calefacción de los espacios interiores son las ganancias solares térmicas de las ventanas exteriores. Asimismo, las ganancias térmicas internas de los equipos informáticos también son representativas en el modelo energético de la tipología de oficina.

Los resultados de la transferencia de calor a través de cerramientos para el día crítico (día con la temperatura exterior más alta del año) muestran que la cubierta y los muros exteriores son los elementos de la envolvente que permiten la mayor transferencia de calor hacia los espacios interiores de las tres tipologías de edificios residenciales. En el caso de las oficinas, las mayores ganancias térmicas de la envolvente provienen del

acristalamiento. En todos los casos, la ventilación natural representa la principal fuente de pérdida de calor.

REFERENCIAS

- Benejam, G. M., Mata, É., Kalagasidis, A. S., & Johnsson, F. (2010). Bottom-up characterization of the Spanish building stock for energy assessment and model validation. *Methodology*.
- Braulio, M. (2016). *Propuesta metodológica para la caracterización del comportamiento energético pasivo del parque edificatorio residencial existente considerando su contexto urbano*. Universidad Jaime I.
- Casallas, J. P., Ingeniería, E., Udfjc, E., Ruiz, A. C., Cátedra, D., & Eléctrica, I. (2013). Energy Characterization, Methodology and Results for a University Public Building. *Simposio Internacional Sobre La Calidad de La Energía Eléctrica-SICEL*.
- Csoknyai, T., Hrabovszky-Horváth, S., Georgiev, Z., Jovanovic-Popovic, M., Stankovic, B., Villatoro, O., & Szendrő, G. (2016). Building stock characteristics and energy performance of residential buildings in Eastern-European countries. *Energy and Buildings*, 132, 39–52. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.062>
- Gendebien, S., Georges, E., Bertagnolio, S., & Lemort, V. (2014). Methodology to characterize a residential building stock using a bottom-up approach: A case study applied to Belgium. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 4, 71–87. <http://doi.org/10.5278/ijsepm.2014.4.7>
- Kim, D. W., Kim, Y. M., Lee, S. H., Park, W. Y., Bok, Y. J., Ha, S. K., & Lee, S. E. (2017). Development of Reference Building Energy Models for South Korea Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology , South Korea Lawrence Berkeley National Laboratory , United States Greenhouse Gas Inventory and Research Center , South Korea, 2693–2700.
- Ministerio de Vivienda, C. y T. (2015). Resolución 0549 de 2015.
- Monteiro, C. S., Pina, A., Cerezo, C., Reinhart, C., & Ferrão, P. (2017). The Use of Multi-detail Building Archetypes in Urban Energy Modelling. *Energy Procedia*, 111(September 2016), 817–825. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.244>
- Sharma, A., & Marwaha, B. M. (2017). A methodology for energy performance classification of residential building stock of Hamirpur. *HBRC Journal*, 13(3), 337–352. <http://doi.org/10.1016/j.hbrj.2015.11.003>
- Tian, W., & Choudhary, R. (2011). ENERGY USE OF BUILDINGS AT URBAN SCALE: A CASE STUDY OF LONDON SCHOOL BUILDINGS. *12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 14–16.
- Unidad de Planeación Minero Energética -UPME. (n.d.). Balance Energético Colombiano - BECO 1975 - 2015. Retrieved March 5, 2017, from <http://www1.upme.gov.co/balance-energetico-colombiano-1975-2015>
- US Office of Energy Efficiency & Renewable energy. (n.d.). Building Energy Modeling 101: Stock-Level Analysis Use Case | Department of Energy. Retrieved August 26, 2019, from <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/building-energy-modeling-101-stock-level-analysis-use-case>