

# EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR Y SU CORRELACIÓN CON EL CONSUMO DE ENERGÍA PER CÁPITA EN DIFERENTES CONDICIONES CLIMÁTICAS

**Camilo Andrés Solipa Espitia<sup>1</sup>, Juan Diego Miranda Portasio<sup>2</sup>, Miguel Emigdio Doria Oviedo<sup>3</sup>, Jesús David Rhenals Julio<sup>2</sup>, Jorge Mario Mendoza Fandiño<sup>5</sup>, Samuel Iván Bonilla Gracia<sup>6</sup>**

1.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: cmedranopatron48@correo.unicordoba.edu.co

2.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: [hdoriadoria07@correo.unicordoba.edu.co](mailto:hdoriadoria07@correo.unicordoba.edu.co)

3. GIITA, Departamento de Ingeniería Electromecánica, Universidad del Sinú, País: Colombia.

Email: correo electrónico: migueledoria@unisnu.edu.co

4. ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: [jesusrhenalsj@correo.unicordoba.edu.co](mailto:jesusrhenalsj@correo.unicordoba.edu.co)

5.ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: Jorge.mendoza@correo.unicordoba.edu.co

6..ICT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Córdoba, País: Colombia

Email: [sbonillagracia04@correo.unicordoba.edu.co](mailto:sbonillagracia04@correo.unicordoba.edu.co)

6.

## Resumen

El presente trabajo realizó la evaluación de consumos en viviendas unifamiliares en diferentes zonas de Colombia en donde de la mano con ayuda computacional se realizaron cálculos de cargas térmicas. Para la primera fase se incorporó un modelo arquitectónico de una vivienda unifamiliar, luego se definieron las zonas de estudio en esta casa enfocada a la refrigeración es decir las dos habitaciones que contiene la vivienda, luego se calculan las cargas térmicas con el software por medio de los datos meteorológicos de cada ciudad. Finalmente se hizo un perfil de uso de acuerdo con la selección de un equipo de refrigeración tipo mini Split y el consumo per cápita de cada ciudad mostrando resultados relevantes como los altos consumos en ciudades de clima caliente y bajo perfil de uso en ciudades frías como Bogotá y Medellín dando esto una comprobación de los consumos con relación al estudio computacional.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, Vivienda unifamiliar, Consumo de energía, Análisis energético, Consumo per cápita.

## Abstract

This work carried out the evaluation of consumption in single-family houses in different areas of Colombia by calculating thermal loads. For the first phase, was incorporated an architectural model of a single-family house. Then the areas of study were defined in this house focused on cooling of the two rooms containing the house, then the thermal loads were calculated with the software using the meteorological data of each city. Finally, a profile of use was made according to the selection of a mini-Split type refrigeration equipment and per capita consumption of each city showing relevant results such as high consumption in hot climate cities and low usage profile in cold cities like Bogota and Medellin giving this a check of consumption in relation to the computational study.

**Keywords:** Energy efficiency, Single-family housing, Energy consumption, Energy analysis, Per capita consumption.

## 1. Introducción

El consumo de energía en los hogares es uno de los mayores contribuyentes al consumo total de energía a nivel global, y su impacto en el medio ambiente es significativo. La evaluación del consumo de energía en las viviendas unifamiliares y su correlación con el consumo de energía per cápita en diferentes condiciones climáticas puede proporcionar información valiosa para el desarrollo de políticas energéticas más sostenibles y eficientes.

Según el Informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE) de 2020, los edificios son responsables del 28% del consumo mundial de energía y del 38% de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía. Por lo tanto, es crucial identificar las mejores prácticas y tecnologías para reducir el consumo de energía en los hogares.

La eficiencia energética en el sector residencial es un tema cada vez más relevante debido a la creciente demanda de energía en los hogares y su impacto en el medio ambiente. En Colombia, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el promedio de personas por hogar en Colombia es de 3,08 [1]. Esto significa que, en la mayoría de los hogares en el país, conviven al menos tres personas, lo que aumenta la demanda de energía en el hogar. Por lo tanto, la evaluación del consumo de energía en viviendas unifamiliares es fundamental para identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética.

En este contexto, es importante considerar que el consumo de energía per cápita en Colombia varía significativamente según las condiciones climáticas de cada región [2]. Por ejemplo, en las regiones más frías del país, se requiere un mayor consumo de energía para la calefacción de los hogares, mientras que, en las regiones más cálidas, el consumo de energía se destina principalmente a la refrigeración [3].

La evaluación del consumo de energía en las viviendas unifamiliares y su correlación con el consumo per cápita en diferentes condiciones climáticas es un tema de gran importancia debido al impacto ambiental y económico que tiene en la sociedad. El consumo de energía representa una parte significativa del consumo total de energía en muchos países [4]. En la literatura se han encontrado diversas tendencias y hallazgos relevantes sobre este tema, incluyendo la importancia de la eficiencia energética [5].

Aunque las investigaciones sobre la evaluación del consumo de energía de una vivienda unifamiliar y su correlación con el consumo de energía per cápita en diferentes condiciones climáticas han proporcionado importantes conocimientos, aún existen áreas que requieren una mayor exploración y estudio. Es crucial investigar cómo variables climáticas específicas (temperatura, humedad y radiación solar) influyen en el consumo de energía en viviendas. Esto permitiría desarrollar estrategias de eficiencia energética adaptadas a las condiciones climáticas de cada región, enriqueciendo nuestro conocimiento sobre el consumo de energía en viviendas unifamiliares y su correlación con el consumo per cápita en diferentes condiciones climáticas. Estas investigaciones contribuirían a implementar medidas más efectivas para promover la sostenibilidad y eficiencia energética en el sector residencial.

Por lo tanto, en esta monografía se llevará a cabo una evaluación del consumo de energía de una vivienda tipo unifamiliar en Colombia, considerando las diferentes condiciones climáticas del país. Además, se analizará la correlación entre el consumo de energía de la vivienda y el consumo de energía per cápita en cada región, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética.

En este sentido, esta investigación tiene como objetivo evaluar el consumo de energía de una vivienda tipo unifamiliar en diferentes condiciones climáticas y su correlación con el consumo de energía per cápita, con el fin de identificar patrones y tendencias en el consumo de energía y proponer medidas efectivas para reducirlo.

## 2. Materiales y métodos.

Con el fin de investigar lo que se considera una vivienda unifamiliar definiéndola como una vivienda que está diseñada y construida para ser habitada por una sola familia. Generalmente y como es el caso de nuestro estudio se considera una casa que incluye espacios como dormitorios, baños, sala de estar o zona común, cocina, comedor y áreas exteriores como se aprecia en la **Figura 1**. Por medio del software IFC Builder de la empresa CYPETHERM se realizará la primera fase de elaboración del modelo arquitectónico evidenciando la distribución del espacio comprendido por dos alcobas, dos baños así como también una zona común y su respectiva cocina. Como se puede ver en las **Figuras 2 y 3**, el estudio se centrará en la temática

de refrigeración dicho esto, se consideran los espacios de estudio como habitaciones y zona común.

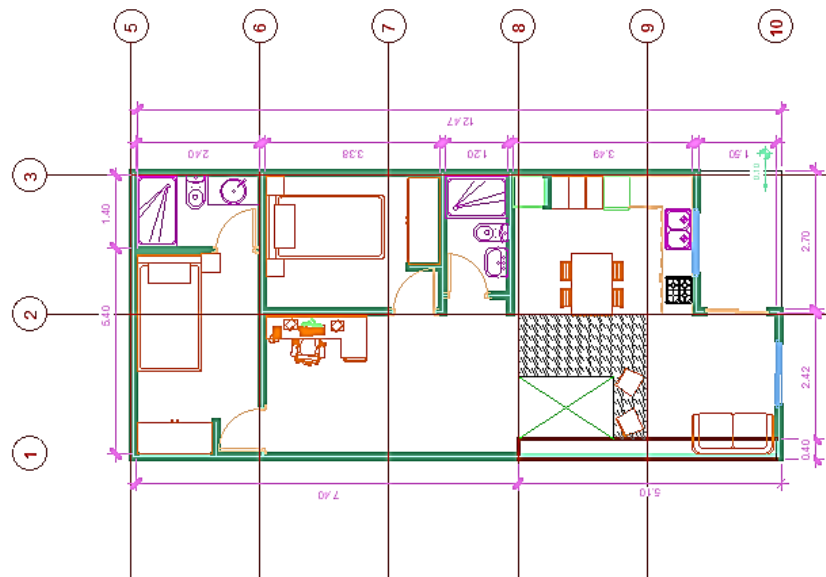


Figura 1. Vista superior. Fuente: Autor



Figura 2. Zonas de estudio. Fuente: Autor



Figura 3. Vista 3D del modelo. Fuente: Autor

A partir del modelo y la distribución planteada anteriormente se procede a la siguiente fase ejecutada a través del software CYPETHERM LOADS este nos permite crear la simulación para calcular las cargas térmicas del proyecto en donde se enfocarán a las ciudades de Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cali y Montería. Su principal función es determinar la cantidad de energía necesaria para calentar o enfriar un espacio, considerando factores como la ubicación geográfica, características de la vivienda, materiales de construcción, condiciones climáticas y sistemas de climatización.

Ahora bien antes de proceder con el programa se mira que para el enfoque a estas ciudades se indago detalladamente las ciudades y su consumo per cápita de los habitantes por hogar tenemos que las ciudades tienen registros de dichas lecturas promedio a través de diversos estudios hechos en diferentes años así como también se evidencia los diferentes enfoques que la persona de la en el consumo de energía eléctrica, teniendo como mayor consumo los electrodomésticos y los sistemas de refrigeración [6] siendo este último nuestro caso de estudio. Entonces por lo anterior se procede a especificar el consumo per cápita en cada una de nuestras ciudades de estudio.

Tabla 1. Consumo per cápita por ciudades.

Ciudades	Consumo (kWh/mes/persona)
Montería	83
Bogotá	40
Barranquilla	70
Cali	80
Medellín	83

Fuente:[6]

Luego tener un referente de estas ciudades se procede a la configuración del entorno de trabajo en el software anteriormente dicho, separando estos apartados tales como recintos, elementos, puertas y ventanas.

### 2.1. Recinto.

Para el caso de los recintos como se detalló anteriormente se trata de 3 zona de estudio las cuales son habitación 1, habitación 2 y la zona común, considerando esta última como zona inhabitable. Siendo así el caso para las habitaciones se toma como

referente la temperatura interior de diseño de 22 grados Celsius para el caso de refrigeración, así como también para el de calefacción, por otra parte, la humedad relativa de 50% y 30% respectivamente. Se considera una densidad de ocupación de  $10 \text{ m}^2/\text{persona}$  así como también se tuvieron en cuenta factores como la iluminación del recinto, infiltración, equipamiento y ventilación basados en la normativa ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013.

### 2.2. Elementos.

2.2.1. Muros exteriores.

Para este apartado se usó la librería CEC2009 proporcionada por el software para crear por medio del

método de capas la conformación de los muros de la vivienda usando en sentido exterior a interior mortero yeso y mortero de cemento o cal para albañilería y revoco enlucido.

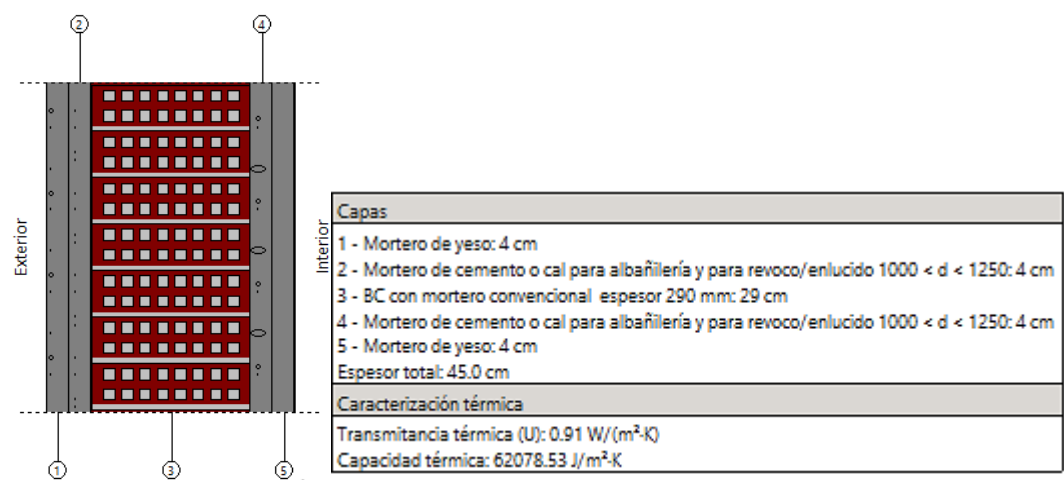


Figura 4. Capas muros exteriores. Fuente: [14]

2.2.2. Tabiquería interna

Para este haciendo uso de la librería CEC2009 se conformó la tabiquería interior como se aprecia en la

**Figura 5** elaborada de mortero de cemento o cal para albañilería y revoco enlucido, tabicón de LH doble y mortero de yeso.

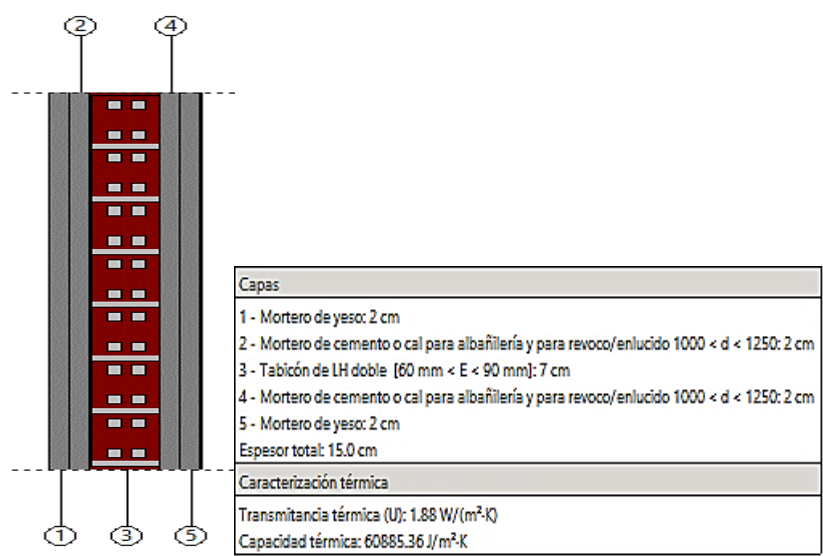


Figura 5. Capas tabiquería interna. Fuente:[14]

2.2.3. Techo

Para el techo se usó la librería CEC2009. Como se aprecia en la **Figura 6** en donde se conformó por teja

cerámica-porcelana y tablero de virutas orientadas (OSB).

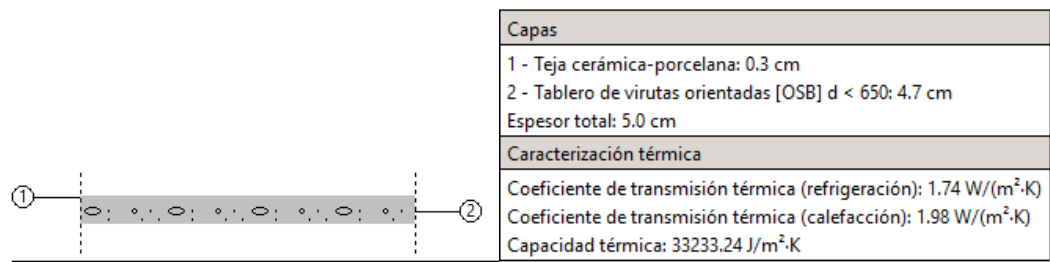


Figura 6. Capas del techo. Fuente:[14]

2.2.4. Piso

Para este piso, se usó la librería CEC2009. Como muestra la **Figura 7**, se usó baldosa cerámica y hormigón con áridos ligeros.

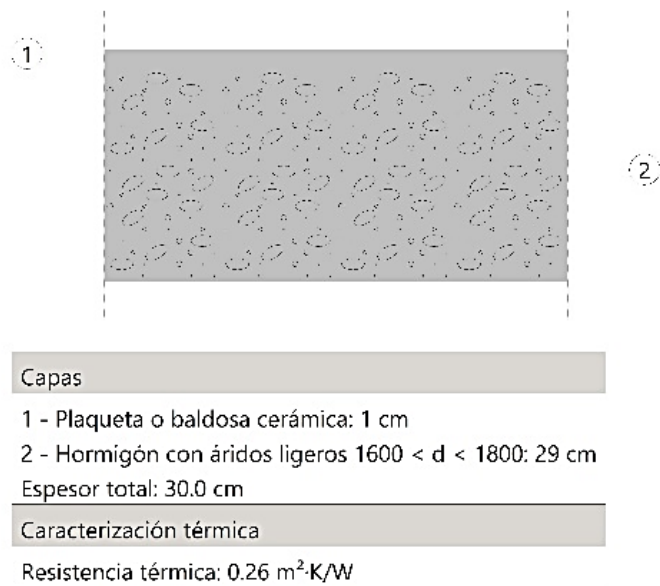


Figura 7. Capas del piso. Fuente:[14]

2.2.5. Puertas y ventanas

Luego de realizar la respectiva configuración del entorno de modelo térmico se pasó a la siguiente fase que fue la de las cargas térmicas en donde se implementó la utilización de las zonas geográficas requeridas para este estudio las cuales son Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cali y Montería creando así hipótesis e inclusión para cada ciudad de la base de datos de meteorología por periodo de tiempos de meses, incluyendo el cálculo de carga latente con una carga sensible del 5% y haciendo uso del método de cálculo ASHRAE utiliza una serie de ecuaciones de análisis analítico para estimar las cargas de refrigeración y calefacción en edificios. Estas ecuaciones se basan en principios físicos y consideran

varios factores, como la ubicación geográfica, el tamaño y la orientación del edificio, las características de la envolvente y los sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado).

A continuación, se presentan algunas de las ecuaciones más utilizadas en el método ASHRAE:

\*Cálculo de la carga de refrigeración sensible:

Método del ángulo solar, Método del factor de carga parcial, Método de transferencia de calor de las paredes y ventanas.

\*Cálculo de la carga de refrigeración latente:

Método del factor de humedad absoluta, Método de la carga de humedad de las personas, Método de carga de humedad de los electrodomésticos y equipos.

\*Cálculo de la carga de calefacción:

Método del balance de energía, Método del balance de calor por área, Método de la carga térmica por transmisión.

En la tabla2, se aprecia la transmitancia térmica de puertas y ventanas a tener en cuenta en los cálculos

Tabla 2. Transmitancia térmica puertas y ventanas

Elemento	Color	Transmitancia termica (U) W/m2.K
Puertas	Madera clara	1.20
Ventanas	Transparente	5.60

Fuente:[14]

Estas ecuaciones se aplican para estimar las cargas de refrigeración y calefacción en diferentes condiciones y permiten dimensionar adecuadamente los sistemas de HVAC en los edificios.

### 3. Resultados y discusión.

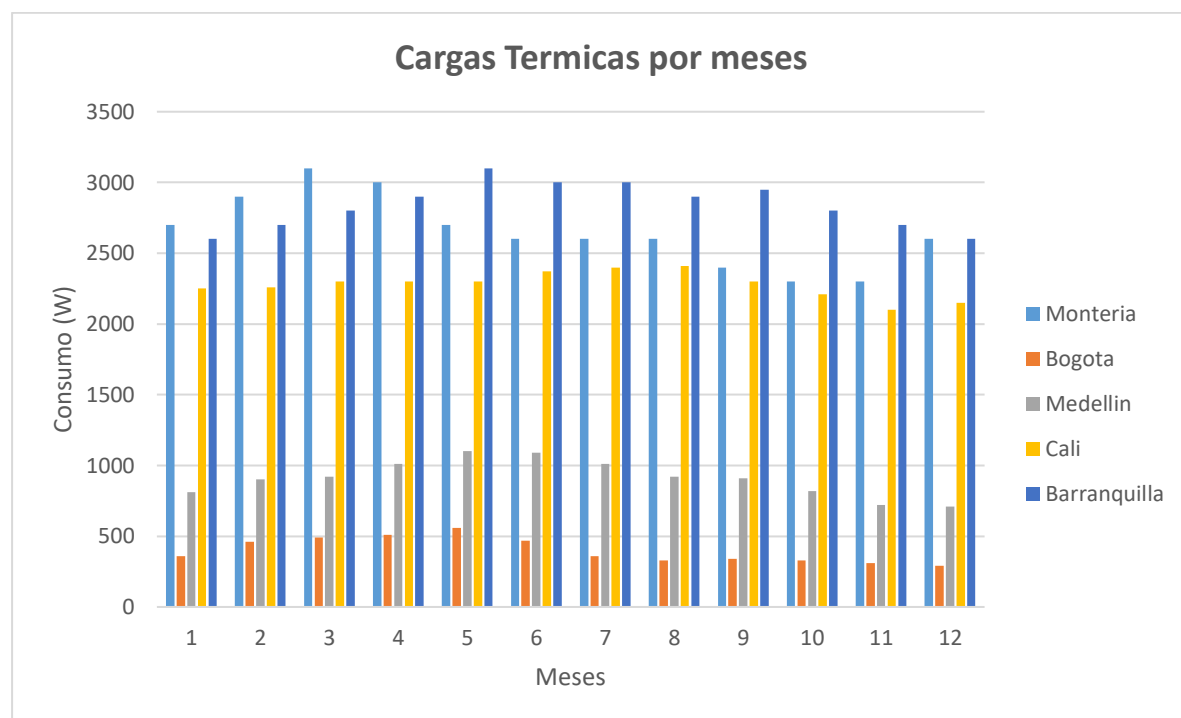


Figura 8: Cargas térmicas mensual. Fuente:Autor

La gráfica titulada "Cargas Térmicas por Meses" presenta información detallada sobre el consumo de energía (medido en watts, W) en cinco ciudades: Montería, Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla. El eje X muestra los meses del año, del mes 1 al 12, mientras que el eje Y representa el consumo de energía, que varía desde 0 hasta 3500 W.

Al analizar la gráfica de barras, se puede observar claramente que Barranquilla es la ciudad con el mayor consumo de energía, alcanzando un pico aproximado de 3100 W en el mes 6. Sin embargo, es importante mencionar que Montería también iguala este valor máximo en el mes 3. A pesar de esta similitud, en general, Barranquilla presenta un mayor consumo de energía en comparación con las otras ciudades.

Por otro lado, se destaca que Bogotá es la ciudad con el menor consumo de energía. Su máximo consumo se registra en el mes 5, aproximadamente con 510 W. Esta información sugiere que Bogotá presenta una demanda de energía más baja en comparación con las demás ciudades representadas en la gráfica.

En resumen, la gráfica de barras titulada "Cargas Térmicas por Meses" proporciona una representación visual elegante de los consumos de energía en las ciudades de Montería, Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla a lo largo del año. Resalta el mayor consumo en Barranquilla, con un pico en el mes 6, y el menor consumo en Bogotá, con un máximo en el mes 5.

Teniendo en cuenta esta información, la gráfica nos permite visualizar las diferencias en el consumo de energía entre las ciudades analizadas a lo largo de los meses. Barranquilla se destaca como la ciudad con mayor consumo, posiblemente debido a su clima cálido, mientras que Bogotá muestra el menor consumo, posiblemente relacionado con su clima más templado o frío.

#### 4. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Córdoba como fuente de financiación, en el marco de la Sostenibilidad de los Grupos de investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica asociado al Grupo Ingeniería, Ciencia y Tecnología – ICT, así mismo a la Universidad del Sinú con el apoyo del programa de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías enmarcado dentro del programa de movilidad profesoral entre programas académicos de pregrado y posgrado de facultades de Ingeniería de Instituciones de Educación Superior de la Región Caribe Colombiana ACOFI.

#### 5. Conclusiones

El mayor consumo per cápita de una vivienda unifamiliar lo presenta barranquilla, seguido de Montería y el menor lo presenta Bogotá. Este resultado era esperado debido al clima de estas ciudades costeras en las cuales los electrodomésticos de refrigeración presentan menos eficiencia y mayor uso.

#### 6. Referencias.

- [1] DANE. (2018). Proyecciones de población. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- [2] UPME. (2021). Plan energético nacional 2020-2050. Recuperado de <https://www.upme.gov.co/PEN>
- [3] CYPETHERM Software. (2022, 14 octubre). CYPETHERM LOADS - CYPE. CYPE. <https://info.cype.com/en/software/cypetherm-loads/>
- [4] World Energy Outlook 2020 – Analysis - IEA. (s. f.). IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- [5] Energy-related CO2 emissions 2019 estimates. (2019, 9 diciembre). Enerdata. <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/2019-global-co2-emissions-estimates.html>
- [6] Unidad de Planeación Minero Energética. [UPME]. (2019, junio). *Estrategia Energética Local de Montería, Resumen Ejecutivo*. Recuperado 21 de junio de 2023, de <https://shorturl.at/bzBF7>
- [7] Unidad de Planeación Minero Energética. [UPME]. (2019a). 1. Caracterización energética de los sectores residencial, comercial y terciario. Recuperado 21 de junio de 2023, de <https://shorturl.at/DGT67>
- [8] mUnidad de Planeación Minero Energética. [UPME]. (2019a). 1. Caracterización energética de los sectores residencial, comercial y terciario. Recuperado 21 de junio de 2023, de <https://shorturl.at/DGT67>
- [9] Indicadores globales de ciudad. (2021, diciembre). Sistema de indicadores Sociales. Sistema de indicadores Sociales. Recuperado 21 de junio de 2023, de <https://shorturl.at/mpBJN>
- [10] Unidad de Planeación Minero Energética. [UPME]. (2019a). 1. Caracterización energética de los sectores residencial, comercial y terciario. Recuperado 21 de junio de 2023, de <https://shorturl.at/DGT67>
- [11] Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética. (2019, abril). Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Recuperado 26 de junio de 2023, de [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance\\_energia\\_util/BEU-Residencial.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Residencial.pdf)
- [12] Vukadinović, A., Radosavljević, J., Đorđević, A., Protić, M., & Petrović, N. (2021). Multi objective optimization of energy performance for a detached residential building with a sunspace using the NSGA-II genetic algorithm. *Solar Energy*, 224, 1426–1444. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.082>
- [13] Cui, B., Fan, C., Dong, J., Mao, N., Xiao, F., & Kuruganti, T. (2019). A hybrid building thermal modeling approach for predicting temperatures in typical, detached, two-story houses. *Applied Energy*, 236, 101–116. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.077>
- [14] Stolarski, M. J., Warmiński, K., Krzyżaniak, M., Olba-Zięty, E., & Stachowicz, P. (2020). Energy consumption and heating costs for a detached house over a 12-year period – Renewable fuels versus fossil fuels. *Energy*, 204, 117952. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117952>
- [15] Kuboth, S., Heberle, F., Weith, T., Welzl, M., König-Haagen, A., & Brüggemann, D. (2019). Experimental short-term investigation of model



predictive heat pump control in residential buildings.  
*Energy and Buildings*, 204, 109444.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109444>

[16] Abdel-Salam, M. R., Zaidi, A., & Cable, M. (2021). Field study of heating performance of three ground-source heat pumps in Canadian single-family houses. *Energy and Buildings*, 247, 110959.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110959>

[17] Attia, S., Mustafa, A., Giry, N., Popineau, M., Cuchet, M., & Gulirmak, N. (2021). Developing two benchmark models for post-world war II residential buildings. *Energy and Buildings*, 244, 111052.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111052>

[18] Despotovic, M., Koch, D. G., Leiber, S., Döller, M., Sakeena, M., & Zeppelzauer, M. (2019). Prediction and analysis of heating energy demand for detached houses by computer vision. *Energy and Buildings*, 193, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.036>

[19] Aire acondicionado OLIMPO  
INVERT 12000BTU 220V – Olimpo. (n.d.).  
<https://www.olimpo.com.co/producto/aire-acondicionado-olimpo-invert-12000btu-220v/>