



25 SET
al
27 2019
Montevideo



II CONGRESO DE AGUA
AMBIENTE Y ENERGÍA
AUGM



La masa térmica frente al clima muy cálido y húmedo y el uso mixto en viviendas

Herminia M. Alías ^a, Guillermo J. Jacobo ^b

Docentes e investigadores - Área de la Tecnología y la Producción - Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) - Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Resistencia, Chaco, Argentina.

^a *heralias@arq.unne.edu.ar heralias2001@yahoo.com.ar*

^b *gjjacobo@arq.unne.edu.ar*

RESUMEN: El papel de la masa térmica en envolventes constructivas de edificios en el clima muy cálido y húmedo es controversial debido a la pequeña amplitud térmica diurna en general y la alta humedad, por lo que las temperaturas nocturnas no resultan suficientemente bajas como para enfriar la masa que acumuló calor durante el día, a lo que hay que agregar los hábitos de gestión de quienes habitan los edificios (patrón horario de ventilación natural, de uso de climatización electromecánica, etc., en épocas cálidas). Se definió una muestra de viviendas masivamente construidas mediante operatorias oficiales en los principales centros urbanos del Nordeste Argentino (NEA) y se realizaron simulaciones de su desempeño y su consumo de energía anual para climatización electromecánica, mediante el software *Energy Plus*. Primeramente ellas se modelizaron y simularon en su situación real de materialidad y uso, y luego en dos opciones ficticias: una opción con envolvente másica (pesada, de gran retraso térmico) y otra opción con envolvente liviana. Además, tanto el caso másico como el caso liviano de cada vivienda, fueron simulados en dos variantes de uso¹: con predominio del uso cerrado (y toda la vivienda con climatización electromecánica) y con predominio del uso abierto (sin climatización electromecánica). Los resultados muestran diferentes desempeños del caso másico y del caso liviano, dependientes del modo de uso que predomine en la vivienda (abierto o cerrado predominante, y sin o con climatización electromecánica).

PALABRAS CLAVE: viviendas sociales - materialidad - retraso térmico - uso - energía.

1 INTRODUCCIÓN. EFECTO DE LA MASA: INERCIA TÉRMICA. ANTECEDENTES

La *masa térmica* es el valor de la capacidad potencial de almacenamiento de calor en un conjunto o componente constructivo. En relación con ella, la *inercia térmica* es la propiedad de un material que indica la cantidad de calor que puede conservar y la velocidad con que lo cede o absorbe. En general, los materiales constructivos pesados poseen alta inercia térmica².

¹ Como parte de la investigación para la tesis doctoral en curso de la autora del presente (del que este trabajo se desprende) se realizaron encuestas a cien (100) habitantes de viviendas de producción estatal de centros urbanos del NEA (Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa), que se complementaron con monitoreos térmico – ocupacionales de algunas viviendas. Ambas instancias de indagación han dado cuenta de ciertas situaciones en relación con las modalidades de uso, adaptación y gestión de los habitantes en sus viviendas (tiempos y modalidades de uso abierta, disponibilidad, tiempos y modos de uso de la climatización artificial, entre otras), que tienen fuerte incidencia en los efectos que puede generar la masa térmica que posean sus envolventes.

² No obstante, resulta siempre conveniente verificar el valor (calculado o tabulado) de retraso térmico de los componentes de las envolventes: guiarse exclusivamente por el peso de los materiales para asociarlo a determinados rangos de retraso térmico puede conducir a errores, pues existen materiales livianos de importante poder de aislación térmica, con valores igualmente altos de retraso (bloques de hormigón celular curado en autoclave –HCCA-, etc.).

Tradicionalmente se considera que los materiales de baja masa y livianos son más apropiados para edificios sin aire acondicionado en climas cálidos y húmedos (como el de gran parte del NEA) ya que su temperatura interior baja rápidamente por la tarde y noche. Los edificios de gran masa se enfrían lentamente durante la noche, lo que puede causar molestias durante el sueño.

Sin embargo, ciertos estudios en climas cálidos han demostrado los beneficios de la masa térmica para regular flujos de energía [1 y 2], en combinación con una ventilación selectiva nocturna (mantener las ventanas cerradas durante el día y abiertas durante la noche para expulsar el aire caliente del edificio y enfriar la masa térmica para el día siguiente). Es útil cuando las temperaturas diurnas son tan altas que ventilar naturalmente no aporta comodidad, pero las temperaturas nocturnas son frescas (climas cálidos y secos, por ejemplo).

Para lograr un microclima interior aceptable en viviendas es tan importante la masa como el aislamiento térmico [3]. Una revisión del estado del arte proporciona muy diferentes estimaciones respecto al potencial de ahorro de energía asociado al uso de la inercia térmica en climas cálidos y húmedos, desde pequeños porcentajes hasta otros cercanos al 80%.

Algunos autores supeditan los efectos de la masa térmica, en el clima cálido y húmedo, al modo de operación del edificio (si funciona la mayor parte del tiempo con puertas y ventanas abiertas, o si funciona cerrado, con climatización artificial): sostienen que si hay ventilación por la noche, los edificios de gran masa pueden ser más cómodos que los de baja masa durante un ciclo de 24 horas³ (considerando un edificio sin aire acondicionado, funcionando solamente con ventilación); en cambio, cuando se usan equipos de aire acondicionado para la noche (cerrando la vivienda), el calor acumulado de la envolvente de alta masa casi triplica los requerimientos de energía respecto a una situación de baja masa [2]. Estudios en el clima cálido y húmedo de la ciudad de Douala [4] (Camerún, África, 4° de latitud Norte), sostienen que para edificios sin aire acondicionado (abiertos, con ventilación cruzada), las envolventes que mejores condiciones interiores determinan son las livianas. Estudios en el norte de Australia [5] sostienen que resulta indistinta la mayor o menor masa térmica, ya que lo que realmente determina las condiciones ambientales internas de los edificios, es el enfriamiento producido por el movimiento de aire, junto a factores psicológicos (que parecen favorecer a los edificios livianos, con ventilación cruzada). Ante la ausencia de criterios unificados, se plantearon las instancias que se exponen a continuación, para iniciar un proceso que permita adoptar alguna posición al respecto en el contexto local y regional.

2 VIVIENDAS DE PRODUCCIÓN ESTATAL: MASA, APERTURA, USO, SIMULACIONES

Se definió una muestra de cinco tipologías o casos de viviendas de producción estatal ampliamente difundidas en los principales centros urbanos del NEA (Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa), representativas de las situaciones de diseño arquitectónico y urbano más habituales. Ellas fueron: U1 (PROMHIB: apareada, en planta baja. 39,7 m² sup. y 134,32 m³ volumen); U2 (LP2: entre medianeras, en planta baja. 53,75 m² sup. y 174,68 m³ volumen); U3 (PT 42: apareada, en planta baja. 39,4 m² sup. y 131,86 m³ volumen); U4 (MBI Dx: apareada, en dúplex. 39,48 m² sup. y 110,74 m³ volumen); U5 (PT 60: apareada, en planta baja. 54,56 m² sup. y 182,83 m³ volumen). En cuanto a su materialidad constructiva, dichas viviendas resultan una situación intermedia respecto a la masa térmica de sus envolventes: techos livianos en general (chapas galvanizadas con entretechos y cielorrasos independientes), y muros exteriores más pesados (ladrillos cerámicos macizos comunes o ladrillos cerámicos huecos).

Se realizaron simulaciones del desempeño anual de las viviendas (en su situación real de

³ Superado el período de 24 horas, un edificio de gran masa puede tener más grados / horas acumulados de desconfort o incomodidad, pero tomando un día como base, tiene más ventajas.

materialidad, según [Tabla 1](#)) mediante el software *Energy Plus*, V. 8.4 [6], modelando cada caso a simular con el plugin *Open Studio*, V 1.10 [7] para *Google Sketch Up*. Por otra parte, en dos de los casos (viviendas U1 y U2) se realizaron monitoreos térmicos y ocupacionales, durante dos períodos de la época invernal y dos períodos de la época estival ([Tabla 3](#)), con los que se contrastaron los resultados de las simulaciones para validar sus modelados⁴.

Luego, las viviendas se simularon para dos opciones de materialidad (diferentes a la real) de sus muros exteriores y techos: un *caso másico* y un *caso liviano* (según [Tabla 1](#)). Además, ambos casos fueron simulados *en dos variantes de uso* (definidas a partir del análisis de 100 encuestas realizadas a habitantes de viviendas de producción estatal de las ciudades de Resistencia, Corrientes, Posadas y Formosa, complementadas con los mencionados monitoreos): con la totalidad de la vivienda con climatización electromecánica (según los mismos “*schedules*” de ventilación natural que se plantearon para las simulaciones de las viviendas en su materialidad real, que incluyeron períodos de uso abierto y de uso cerrado, aunque con *predominio del uso cerrado*) y con la totalidad de la vivienda sin climatización electromecánica (también utilizando los “*schedules*” de ventilación natural para el *predominio del modo abierto* que se verificó en estos casos y que también se aplicaron para la simulaciones de las viviendas en su situación real).

Tabla 1. Características y parámetros termofísicos de componentes constructivos de techos y muros para el caso másico y el caso liviano, considerados como alternativas a la materialidad real de las viviendas de la muestra.

| Alternativas de materialidad | Componente constructivo | “K” Transmitancia térmica (W / m ² K) | Retraso (horas) | Peso superficial (kg/m ²) | Peso específico (kg/m ³) | Amortiguam. (°C dif. temp. máx.exterior y máx.interior) |
|---|--|--|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Caso másico | Muro ladr. común macizo (e=27 cm.) revocado ambas caras | 1,92 | 6,01 | 477 | 1590 | 0,19 |
| | Losa cerámica de viguetas (e=19,5 cm.) | 2,61 | 3,11 | 266 | 1373 | 0,43 |
| Caso liviano | Panel sándwich madera c/ lana vidrio 1” (e= 3”) | 0,91 | 1,73 | 19 | 249 | 0,60 |
| | Techo chapa c/entretecho y cielorraso madera c/ lana vidrio 1” | 0,96 | 1,49 | 17 | 444 | 0,63 |
| Casos reales habituales (situaciones intermedias entre másica y liviana) | Muro ladr. cerámico hueco (e=18 cm.) revocado ambas caras | 1,67 | 3,08 | 170 | 809 | 0,43 |
| | Muro ladr. común macizo (e=18 cm.) revocado ambas caras | 2,44 | 3,55 | 333 | 1586 | 0,38 |
| | Techo chapa c/entretecho y cielorraso madera c/ lana vidrio 2” | 0,60 | 2,40 | 17,5 | 446 | 0,51 |
| | Techo chapa c/entretecho y cielorraso madera (sin aislante) | 2,4 | 0,54 | 16,7 | 442 | 0,75 |

Las características de uso y equipamiento de las viviendas modeladas se mantuvieron iguales a las situaciones reales tipificadas. Los resultados muestran diferentes desempeños del caso másico y del liviano ([Tabla 2](#)), según el modo de uso que predomine (abierto o cerrado predominante, y sin o con climatización electromecánica).

⁴ Para la calibración de los modelos, se fueron ajustando los *schedules* de ventilación de los casos en el software, hasta que se logró cierta concordancia de las temperaturas simuladas respecto a las temperaturas medidas. Se obtuvieron discrepancias de hasta 2,5°C (tanto en los períodos cálidos como fríos), que se atribuyen a que las viviendas estuvieron en uso habitual durante los monitoreos, de dificultosa parametrización y modelización horaria.

Tabla 2. Resultados de simulaciones de las viviendas de la muestra.

| Resultados de simulaciones (con <i>Energy Plus</i>) de las viviendas, en 2 alternativas de materialidad diferentes de la real. | Toda la vivienda con climatización electromecánica (<i>modo cerrado</i> prevalece) | | Vivienda sin climatización electromecánica (<i>modo abierto</i> prevalece) |
|--|--|--|---|
| | Refrigeración | Calefacción | |
| Caso másico | Es el que demanda más energía (salvo en U1 y U4) | Es el que demanda menos energía | Genera menos tiempo anual (80,7% promedio) fuera de las condiciones confortables. Mejores condiciones. |
| Caso liviano | Es el que demanda menos energía | Es el que demanda más energía (salvo en U1) | Genera más tiempo anual (84% promedio) fuera de las condiciones confortables. Peores condiciones |
| Caso real (situación intermedia entre el caso másico y el liviano) | En U1 y U4 es el que demanda más energía | En U1 es el que demanda más energía | |

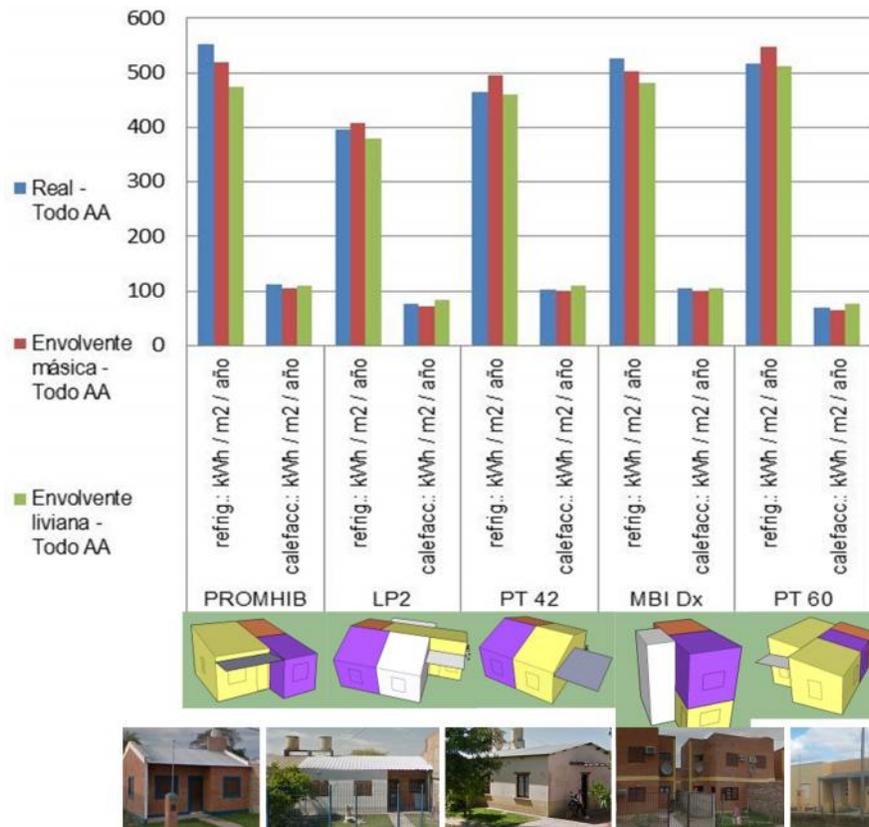


Figura 1. Demanda de energía anual total por unidad de superficie para refrigeración y calefacción de las viviendas de la muestra, según distintas situaciones de materialidad de las envolventes (caso real, caso másico y caso liviano).

Para la *totalidad de las viviendas CON climatización electromecánica*, con una modalidad que incluye períodos de uso abierto y cerrado, pero *con predominio del uso cerrado*, se obtuvo que:

- Para refrigeración, el caso liviano es el que demanda menor cantidad de energía total anual en todas las viviendas (Figura 1), tanto respecto al caso másico (del 5 al 9% menos) como

respecto al caso real (del 1 al 14% menos). En cambio el caso másico es el que demanda mayor cantidad de energía en todas las viviendas.

- Para calefacción, en cambio, es el caso liviano el que demanda mayor cantidad de energía, en 4 de las 5 viviendas (del 5 al 15% más que el caso másico y del 1 al 10% más que el caso real). El caso másico es el que demanda menor cantidad de energía en todos los casos.

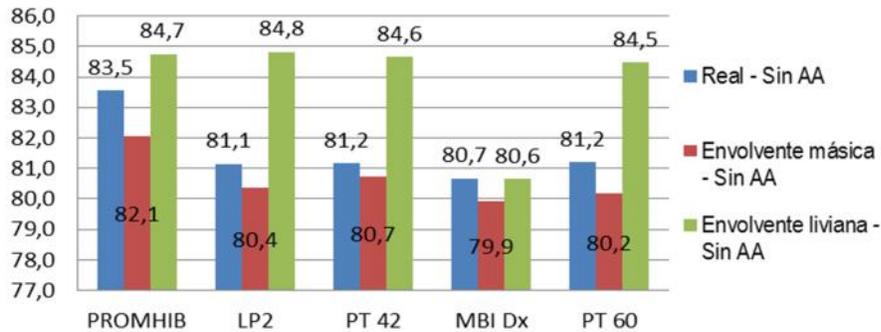


Figura 2. Porcentajes de tiempo anual fuera de las condiciones confortables de las viviendas de la muestra, en casos sin climatización electromecánica (sin AA), según distintas situaciones de materialidad de las envolventes (caso real, caso másico y caso liviano), para implantación en Resistencia y con fachada orientada al Este.

Tabla 3. Amplitudes térmicas y temperaturas mínimas diarias exteriores promedio, durante los ocho períodos de monitoreo higrotérmico en dos viviendas (U1 y U2) de las ciudades de Resistencia y Corrientes.

| Resistencia (Chaco) | | | Corrientes (Corrientes) | | |
|-------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|--|
| Vivienda caso U1 (PROMHIB 2D) | | | Vivienda caso U2 (LP2 3D) | | |
| Período de monitoreo | Amplitud térmica exterior promedio diaria (°C) | Temp.mínima exterior promedio diaria (°C) | Período de monitoreo | Amplitud térmica exterior promedio diaria (°C) | Temp. mínima exterior promedio diaria (°C) |
| 10 al 20 de julio de 2016 | 10,8 | 13,4 | 25 de junio al 05 de julio de 2016 | 3,6 | 17,4 |
| 02 al 11 de agosto de 2016 | 11,6 | 8,7 | 14 al 23 de agosto de 2016 | 9,6 | 11,2 |
| 14 al 23 de enero de 2017 | 8,7 | 24,1 | 23 de enero al 04 de febrero de 2017 | 10,5 | 24,9 |
| 05 al 14 de febrero de 2017 | 9,5 | 24,4 | 27 de febrero al 10 de marzo de 2017 | 10,7 | 23,9 |

Para la *totalidad de las viviendas SIN climatización electromecánica*, bajo la modalidad que supone *predominio del uso abierto al exterior*, se obtuvo que el caso másico es el que genera, en todos los casos, menores porcentajes de tiempo anual fuera de las condiciones confortables, en comparación con el caso real y con el liviano (Figura 2), mientras que el caso liviano es el que genera mayor porcentaje de tiempo anual fuera de condiciones confortables, en todos los casos.

Climáticamente, el uso de la inercia térmica con refrescamiento mediante ventilación natural nocturna en épocas cálidas, es recomendado para climas con una amplitud térmica diaria relativamente grande: si las temperaturas nocturnas bajan lo suficiente y se mantienen por debajo de 20 o 22 °C. Estas condiciones no se verifican en la zona cálido-húmeda del NEA (con amplitudes diarias del orden de los 10°C, y temperaturas mínimas nocturnas diarias de 24,3°C promedio, según Tabla 3). Además, el patrón de apertura de vanos identificado en las viviendas no resulta beneficioso, al no coincidir con los horarios de mínima temperatura exterior⁵.

⁵ Sólo en una de las 100 viviendas encuestadas, sus habitantes recurren a la ventilación natural nocturna (y durante las 24 hs. del día en general), por no disponer de ningún equipo electromecánico de climatización.

3 DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS

Los resultados obtenidos no pretenden constituir una sentencia unívoca respecto al efecto del uso de envolventes másicas en el desempeño térmico y energético de viviendas regionales. El aporte reside en poner la atención en el hecho de que el desempeño de la masa térmica se ve alterado y resulta interdependiente de otros factores. Bajo las condiciones locales de uso y gestión, las envolventes livianas arrojaron mejores resultados respecto a las másicas. Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas respecto al modo “mixto” de uso y gestión de las viviendas (abiertas en determinados horarios; y cerradas y con acondicionamiento artificial en otros horarios), y respecto a las reducidas amplitudes térmicas estivales, así como respecto a lo obtenido mediante las simulaciones dinámicas, se propone una evaluación de la inercia térmica de las envolventes de las viviendas que tenga en cuenta, en síntesis, lo siguiente:

Que el factor esencial a identificar es el modo de uso y gestión predominante de la vivienda en cuanto a su apertura al exterior (según predomine su uso abierta sin climatización, o cerrada con climatización) y su utilización o no de climatización electromecánica.

Que las envolventes con valores altos de retraso térmico arrojaron mejores resultados (respecto al caso liviano y al real) solamente cuando las viviendas no poseen climatización electromecánica (que representan sólo el 1% del total encuestado), que se usan en modo abierto predominante, incluso durante el descanso nocturno. Dichas envolventes arrojaron menor consumo de energía solamente para calefacción (que constituye 1/5 del consumo para refrigeración y sólo está disponible en el 13% de las viviendas encuestadas), con lo que resultaría de poca importancia respecto a las mejoras que puedan obtenerse en refrigeración.

4 REFERENCIAS

1. Goulart, S. V. G. (2004). *Thermal Inertia and Natural Ventilation – Optimisation of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*. Tesis para optar al título de Doctor en Filosofía (PhD), Architectural Association School of Architecture, Londres, Reino Unido. Recuperado el 03 de Septiembre, 2016, de http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Solange_Goulart.pdf
2. Szokolay, S. V. & Tenorio, R. (2002). Energy saving in tropical climates and house design for dual mode of operation. En *PLEA 2002 - The 19^o Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Toulouse, Francia. Recuperado el 04 de Septiembre, 2016, de ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/PLEA_2002/5_design_strategies/szokolay.pdf
3. Czajkowski, J. D., Gómez, A. F. & Bianciotto, M. G. (2008). Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 05.33 - 05.40.
4. Kemajou, A. & Mba, L. (2012). Real impact of the thermal inertia on the internal ambient temperature of the building in the hot humid climate: simulation and experimental study in the city of Douala in Cameroon [Versión electrónica]. *International Journal of Recent Research and Applied Studies, IJRRAS*, 11 (3), 358 - 367. Recuperado el 03 de Septiembre, 2016, de http://www.arpapress.com/Volumes/Vol11Issue3/IJRRAS_11_3_02.pdf
5. Szokolay, S. V. (2006). Problems of house energy rating (HERS) in warm-humid climates. En *PLEA 2006 - The 23^o Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Geneva, Suiza. Recuperado el 04 de Septiembre, 2016, de http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/Vol1/PLEA2006_PAPER846.pdf
6. Estados Unidos, Department of Energy [DOE]. (2016). *EnergyPlus Energy Simulation Software*. Versión 8.4. Descargado el 06 de Enero, 2017, de <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
7. Estados Unidos, National Laboratory of the U.S. Department of Energy [NREL], Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2015). *Open Studio*. Versión 1.10. Descargado el 10 de Enero, 2017, de <https://www.openstudio.net/node/2136>