

AHORRO ENERGÉTICO EN CONSTRUCCIONES CON MAMPUESTOS NO CONVENCIONALES

E.I. Delacoste¹, M.E. Carro Pérez² y F.M. Francisca³

Grupo de Investigación en Medios Porosos y Flujos Subterráneos (IMPAS) - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfyN) - Universidad Nacional de Córdoba (UNC) - Vélez Sarsfield 1611 CP 5000, Córdoba, Argentina – Tel. 0351 – 5353800 (int. 836) - e-mail: ffrancis@efn.uncor.edu.

Recibido 17/09/15, aceptado 13/10/15

RESUMEN: En este trabajo se realiza un análisis económico-energético de una vivienda tipo con el objetivo de evaluar diferentes alternativas de materiales para la construcción de sus muros. Se pone énfasis en analizar las ventajas que presentan los ladrillos de suelo-cemento en relación con la eficiencia térmica en el confort habitacional. El análisis se realiza con los balances térmicos de la vivienda calculados mediante un software. Las investigaciones se complementan con mediciones en laboratorio del coeficiente de conductividad térmica de distintos materiales usados en la ingeniería de la construcción. Los resultados obtenidos indican que la construcción de muros utilizando ladrillos de suelo-cemento compactado es una solución económica, de simple ejecución en obra y energéticamente eficiente (20% en comparación con los bloques cerámicos) para la construcción de viviendas en la ciudad de Córdoba, Argentina.

Palabras claves: suelo-cemento, calefacción, aire acondicionado, eficiencia.

INTRODUCCIÓN

Con la creciente concientización sobre las políticas ambientales y el cuidado del planeta crece el interés en evaluar alternativas sustentables en el ámbito de la construcción que reduzcan el consumo de energía y disminuyan el impacto sobre el medio ambiente. En Argentina, en las últimas décadas se ha observado un crecimiento del consumo de energía eléctrica tanto para uso comercial como residencial como consecuencia de las actividades económicas, el crecimiento poblacional y el aumento de las exigencias de confort (Ferrari y Frezzi, 2013). Particularmente, del gasto total de energía en Argentina, un 35% se emplea para el uso y funcionamiento de edificios, superando al gasto en la industria y actividades agropecuarias (34%) y en transporte (31%). Es decir, que las actividades en viviendas y edificios públicos son responsables de un poco más de un tercio del consumo total de la matriz energética de la República Argentina (Secretaría de Energía de la Nación, 2010). El gasto energético generado por los sistemas de

¹ Estudiante de Ingeniería Civil de la FCEfyN- UNC - Becaria IMPAS.

² Profesora Adjunta de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC) e Investigadora Asistente CONICET - Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT, UNC-CONICET).

³ Profesor Adjunto de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC) e Investigador Adjunto CONICET - Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT, UNC-CONICET).

acondicionamiento artificial dentro de las viviendas y edificaciones es uno de los tantos puntos a estudiar para obtener soluciones rentables con el medio ambiente. En este trabajo se pretende demostrar que los ladrillos de suelo-cemento como material de construcción de viviendas es una solución eficiente en estos aspectos. En estudios anteriores se han evaluado las características de este material, su resistencia mecánica (Mas y Kirschbaum, 2012) y su comportamiento térmico en una vivienda construida con el mismo (Patrone y Evans, 2006). Se pretende demostrar que la utilización de ladrillos de suelo-cemento en la construcción de viviendas es una opción económicamente rentable y genera menores gastos energéticos en términos comparativos con otros materiales usados como ladrillos de arcilla, cerámicos, bloques de hormigón simple y especial.

EL CALOR

Mecanismos de transporte de calor

La transferencia de calor es la circulación de calor en un medio debido a la diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos. Existen tres formas de transmisión de calor: convección, conducción y radiación. En materiales usados en la construcción la transferencia de calor se considera netamente por conducción.

El fenómeno de la conducción se puede representar mediante un modelo matemático dado por la Ley de Fourier (ecuación 1). La magnitud del flujo de calor circulante depende específicamente del tipo de material que se trate pudiendo diferenciarse así, entre materiales aislantes o conductores del calor. Esta variación se representa mediante una constante denominada coeficiente de conductividad térmica λ .

$$Q = - \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} A \quad (1)$$

Donde: Q= flujo de calor en la dirección x, A= área de la sección transversal, Δx = longitud del elemento en x, ΔT = diferencia de temperatura; λ = coeficiente de conductividad térmica.

Flujo de calor en cerramientos

Mediante el coeficiente de conductividad térmica (λ) se pueden determinar propiedades para el estudio del flujo del calor en materiales. Una de ellas es el coeficiente de transmitancia térmica K (ecuación 2) utilizada por diversos autores en sus investigaciones (Ledesma et al, 2000; Salvetti et al, 2009; Gregorio Atem, 2012).

$$K_i = \frac{1}{R_i} = \frac{\lambda}{e_i} \quad (2)$$

Donde: R_i = resistencia térmica del material ($m^2 \text{ }^\circ\text{C}/ W$), e_i = espesor del material (m), λ_i = conductividad térmica del material ($W /m^\circ\text{C}$).

El cálculo del coeficiente K está indicado en la norma IRAM 11.601 (IRAM, 2002) donde la resistencia se calcula como una sumatoria de resistencias en serie como se indica en la ecuación 3.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_c + R_{se} \quad (3)$$

Donde: R_{si} = resistencia térmica interna superficial, R_t = resistencia térmica de los componentes estructurales, R_c = resistencia térmica de las cámaras de aire, R_{se} = resistencia térmica externa superficial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales ensayados

Se estudiaron los valores de conductividad térmica (CT) en distintos materiales de construcción. Las muestras de ladrillos de suelo-cemento ensayadas son de producción local en la ciudad de La Cumbre provincia de Córdoba. Se complementaron los ensayos con la determinación del coeficiente de CT de muestras de poliamida, ladrillos de arcilla cocida y bloques macizos de Hormigón Celular Curado en Autoclaves (HCCA) conocido comúnmente por la marca comercial retak.

Procedimiento experimental

Las mediciones de λ se llevaron a cabo con un sensor de aguja simple de acero inoxidable marca East 30 Sensors (Figura 1) siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D-5334 (ASTM; 2007). El procedimiento experimental consistió en insertar la aguja en el material a ensayar (Figura 1) y mediante la aplicación de corriente continua se genera un flujo de calor a través del medio estudiado y de ese modo la termocupla incorporada en el centro de la aguja monitorea los cambios de temperatura. El coeficiente de conductividad se determina mediante el voltaje aplicado y la variación de temperatura a lo largo de un período de tiempo. Todas las mediciones fueron realizadas sobre materiales con gran dureza de manera que para insertar la aguja se necesitó realizar previamente una perforación de un diámetro levemente mayor y rellenar la misma con un material altamente conductivo ($0,75 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) para evitar el contacto de la aguja con el aire y a su vez no alterar los resultados de las mediciones. El tiempo de monitoreo de temperaturas fue de $1'30''$ y el voltaje aplicado era determinado en función al tipo de material a modo de evitar que la máxima variación de temperaturas durante el tiempo de medición fuera mayor a 3°C . Los resultados fueron producto del promedio de cinco mediciones por muestra.



Figura 1: Medición del coeficiente de conductividad térmica.

Balace de temperatura en vivienda tipo

La selección de la vivienda modelo de estudio se estimó considerando viviendas de clase media. El modelo de vivienda usado en la investigación fue extraído de los planos ofrecidos por el gobierno para el plan PROCREAR. La planta se puede observar en la Figura 2.

Para el cálculo del balance térmico se utilizó un programa de software denominado BT6, de la firma Dilasoft, que utiliza el método de cálculo según las funciones de transferencia de calor.



Figura 2: Planta de la vivienda tipo estudiada.

Se dispuso una ubicación aleatoria ficticia en Bolivia 150, Barrio Nueva Córdoba, Córdoba con orientación al Sur. Las temperaturas de diseño (Tabla 1) fueron adoptadas en relación a las temperaturas de la provincia de Córdoba con la base de datos del software de cálculo. La provincia de Córdoba tiene un clima templado cálido con amplitudes térmicas mayores que 14°C, zona III-a según la normativa IRAM 11.603 (IRAM, 1996).

| | Condición verano | Condición invierno |
|----------------------------------|------------------|--------------------|
| Temperatura exterior | 34,2 °C | 1,3°C |
| Temperatura interior | 25,0 °C | 20,0 °C |
| Humedad relativa exterior | 33,0 % | |
| Humedad relativa interior | 55,0 % | |

Tabla 1: Condiciones de diseño de los balances térmicos.

RESULTADOS

Conductividad térmica de mampuestos

Las mediciones en poliamida se realizaron como punto de partida para tener una comparación con los valores obtenidos en laboratorio y los de la bibliografía. El coeficiente de conductividad térmica medido fue de 0,29 W/ m °C mientras que los valores extraídos de la bibliografía fueron de 0,24-0,28 W/m°C con una variación estándar de $\pm 0,01$. En la Figura 3 se indican los resultados obtenidos en los restantes materiales.

Transmitancia térmica de cerramientos

Para el cálculo del balance térmico se utilizó el modelo tipo de vivienda y las variables fueron representadas por los materiales de los muros. Las alternativas estudiadas fueron:

- 1- Ladrillo macizo de arcilla cocido con revoque (5x12x24cm)
- 2- Ladrillo hueco cerámico con revoque (12x18x33cm)
- 3- Ladrillo hueco de hormigón con revoque (10x20x40cm)
- 4- Ladrillo hueco de hormigón sin revoque (10x20x40cm)
- 5- Ladrillo macizo de HCCA (retak) con revoque (50x25x12cm)
- 6- Ladrillo hueco de suelo-cemento compactado con revoque (5x12x24cm)

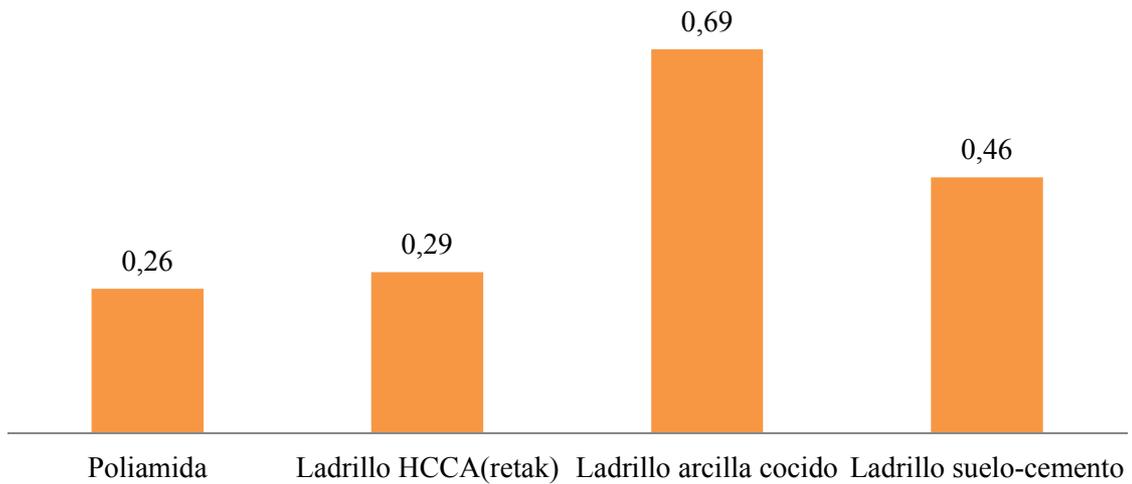


Figura 3: Valores de λ determinados en laboratorio en $W/m \text{ } ^\circ C$.

La determinación del coeficiente de transmitancia térmica (K) de cada tipo de muro se realizó siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 11.601 (IRAM; 2002) con los valores de resistencias superficiales $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ C / W$ y $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ C / W$. Los resultados se ilustran en la Figura 4.

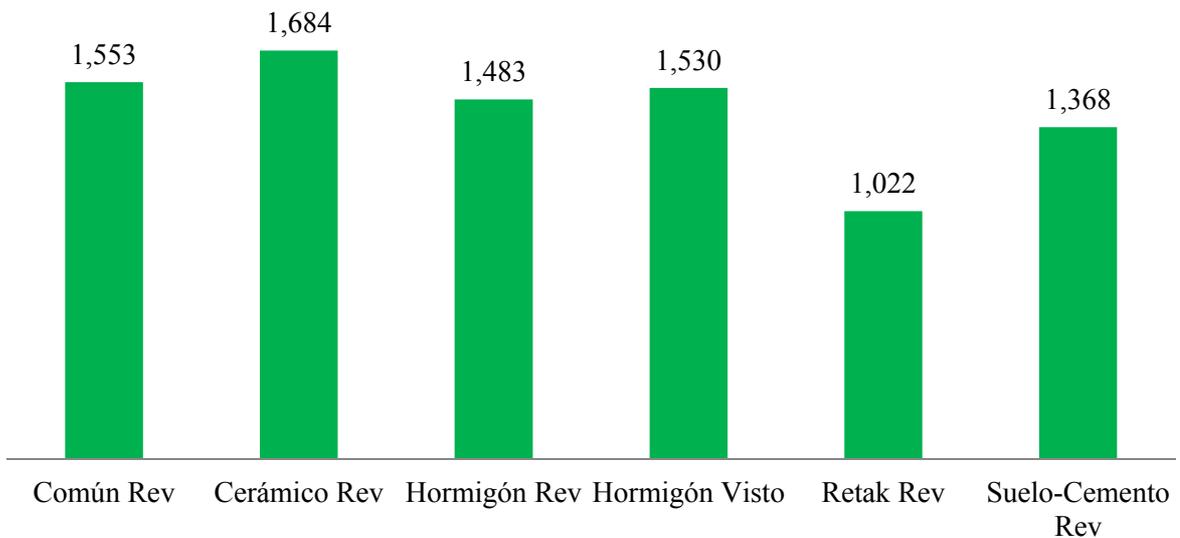


Figura 4: Valores de transmitancia térmica de los muros exteriores $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

A modo de verificar su correspondencia con la normativa vigente, se evaluaron (Tabla 2) los coeficientes K de los muros exteriores según la norma IRAM 11.605 (IRAM; 1996) para un tipo de vivienda C.

| Material | K (W/m ² °C) | K máx. INVIERNO (W/m ² °C) | K máx. VERANO (W/m ² °C) | IRAM 11.605 |
|----------------|----------------------------|---|---|----------------|
| Común | 1,553 | 1,850 | 2,000 | Verifica |
| Cerámico | 1,684 | 1,850 | 2,000 | Verifica |
| Hormigón | 1,483 | 1,850 | 2,000 | Verifica |
| Hormigón Visto | 1,530 | 1,850 | 2,000 | Verifica |
| HCCA (Retak) | 1,022 | 1,850 | 2,000 | Verifica |
| Suelo-Cemento | 1,368 | 1,850 | 2,000 | Verifica |

Tabla 2: Verificación de K máx. Según IRAM 11605.

Costos de climatización

A partir de los resultados del balance térmico estival e invernal de la vivienda tipo para cada alternativa se diseñaron los sistemas de calefacción y aire acondicionado para los ambientes. Para calefacción se utilizaron estufas a gas natural de tiro balanceado y para refrigeración sistemas de aire acondicionado tipo Split. A partir de los mismos se realizó un cálculo estimativo del costo anual en uso de estos sistemas, los resultados obtenidos se ilustran en la Figura 5.

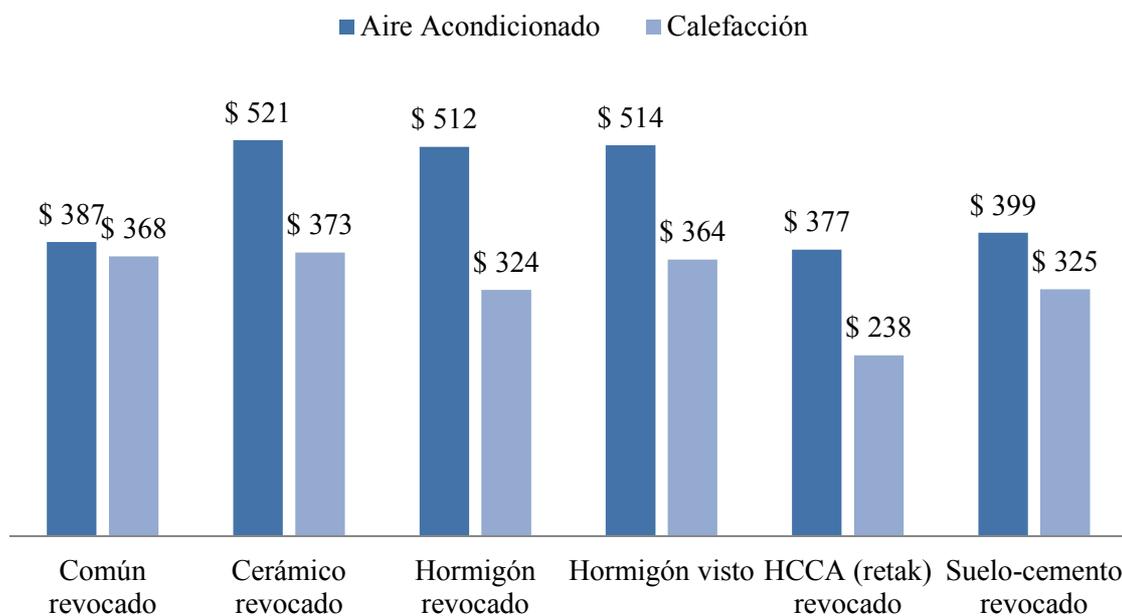


Figura 5: Costos anuales en consumos en sistemas de calefacción y refrigeración.

Se determinó el costo en inversión inicial de construcción según el tipo de material de los muros variando el costo de mano de obra y materiales en un presupuesto tipo. En la Figura 6 se indica una comparación entre el costo anual en sistemas de calefacción y refrigeración y el costo por m² de muro de construcción de vivienda en función del material.

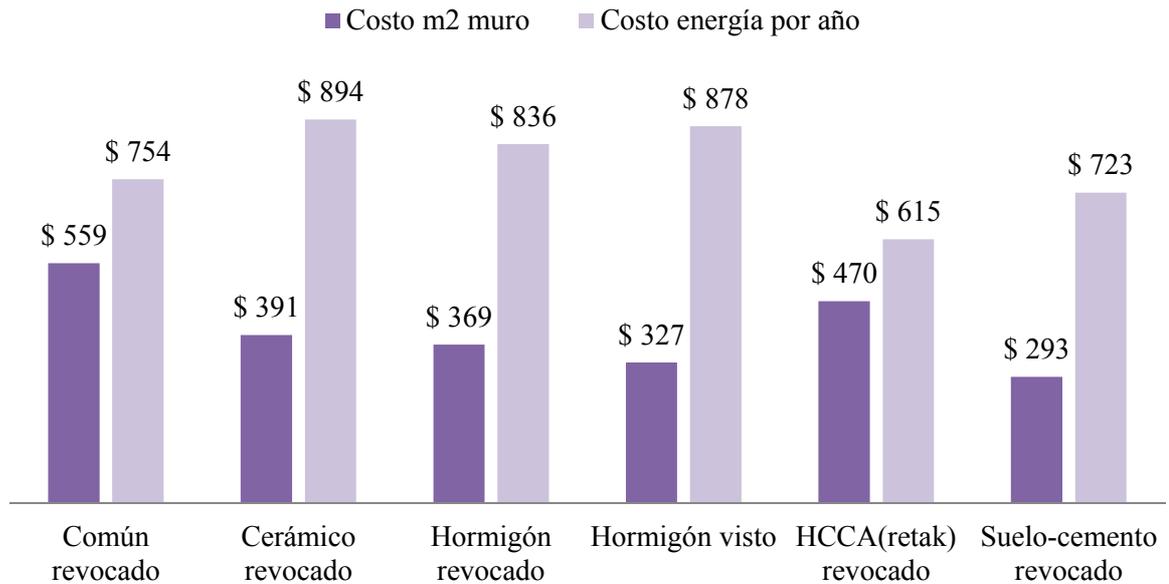


Figura 6: Costos por m² de muro y costos por año en sistemas de refrigeración-calefacción.

En la Figura 7 se muestra el consumo en Kcal necesario para contrarrestar las ganancias de calor en verano de la vivienda y el consumo de energía en invierno para las mismas condiciones. Los mayores consumos de energía se dan, sin distinción del material, en el verano. Esto puede deberse por un lado al clima de la localidad que estamos analizando y por otro lado a la orientación de la vivienda y posición de los cerramientos en relación a la misma. Por otro lado, dentro de los materiales estudiados el que menor impacto produce en su proceso de fabricación es el ladrillo de suelo-cemento debido a que no requiere cocción, utiliza bajas cantidades de cemento y no requiere altos consumos de energía.

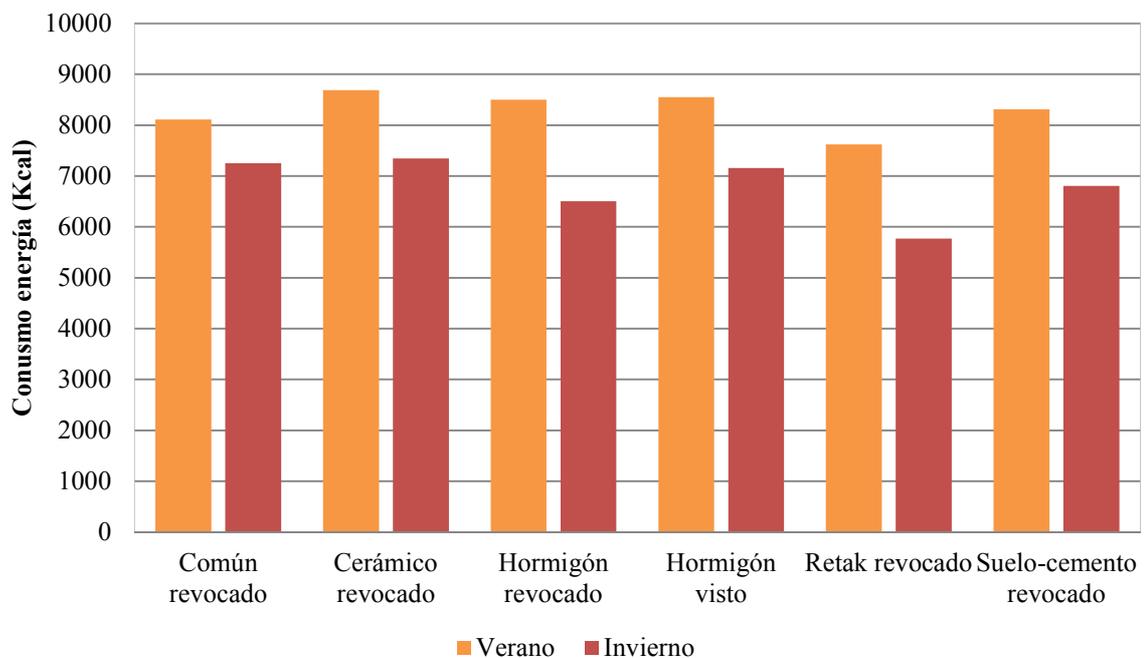


Figura 7: Consumo de energía en verano e invierno.

En la Figura 8 se representaron los costos en sistemas de aire acondicionado y calefacción acumulados por año partiendo desde una inversión inicial representada por el costo de los equipos de refrigeración-calefacción de cada alternativa. Se puede observar que construir con diferentes materiales condiciona no solo el gasto por año sino la inversión del equipo que se va a colocar en la vivienda. Con materiales con mayores capacidades aislantes, como HCCA y suelo-cemento, se tienen menores costos en equipos generándose grandes ventajas económicas.

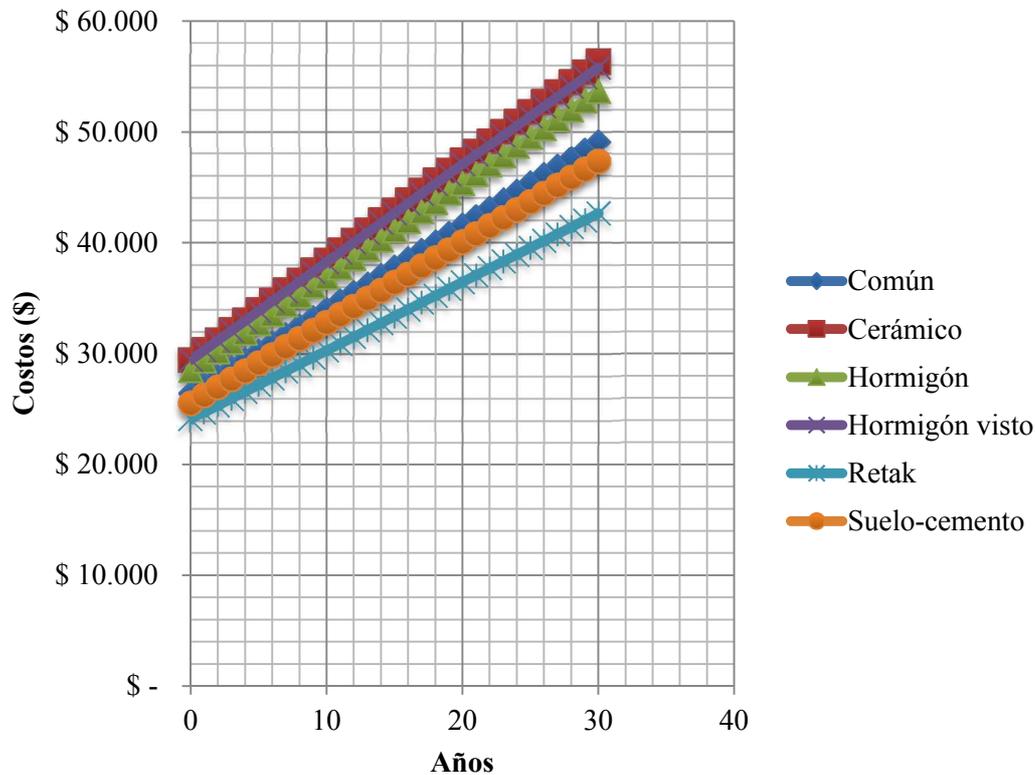


Figura 8: Costos acumulados por año en sistemas de acondicionamiento térmico

CONCLUSIONES

Los resultados de las mediciones de laboratorio indican que el ladrillo retak posee las mejores cualidades aislantes ($0,26 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$) en comparación con los restantes materiales, pero suele ser un material costoso por tratarse de un hormigón especial. Luego el material que mejor comportamiento presentó es el de ladrillos de suelo-cemento con $0,46 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

El análisis económico-energético demostró que la alternativa más rentable es construir con ladrillos retak, ya que si bien tiene mayor inversión inicial el costo en usos de sistemas de acondicionamiento anual es menor amortizando el costo adicional de construcción en menor cantidad de años. Luego, la utilización de ladrillos de suelo-cemento resultó ser una de las mejores opciones ya que presenta un bajo costo de inversión y menores costos anuales frente a otros materiales con un costo por unidad similar como los ladrillos de arcilla cocida. En cuanto al ámbito ambiental, el ladrillo de suelo-cemento es un material sustentable que tiene como principal materia prima el suelo (abundante y económico) y su proceso de elaboración mediante la utilización de prensas manuales es una metodología sencilla y con bajos consumos de energía.

Además al no requerir cocción, como otros materiales usados en la construcción, no genera emisiones de gases contaminantes al medio ambiente.

Finalmente, se puede afirmar que la construcción de viviendas con ladrillos de suelo-cemento compactado, además de ser una solución sustentable y económica, brinda excelentes resultados en cuanto a ahorro en sistemas artificiales de acondicionamiento interno. De todos modos, se requieren de estudios adicionales para verificar las demás exigencias para el ladrillo de acuerdo a las normas vigentes (e.g. durabilidad, resistencia mecánica, etc.)

REFERENCIAS

- Ferrari C. y Frezzi P. (2013). Modelo de crecimiento del sistema eléctrico de la provincia de Córdoba Período 2010-2040 en Matriz de recursos energéticos de la Provincia de Córdoba. Ed. Devalis.
- Ledesma S, Ledesma S, Nota V, Martinez C, Cisterna S, Quiñónez G, Márquez G, Tortonese A, Garay A. (2000); “Determinación y análisis de los requerimientos energéticos para el acondicionamiento térmico de un prototipo de vivienda ubicada en San Miguel de Tucumán”. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 4. ISSN 0329-5184. Ed. Milor. Salta, Argentina.
- Gregorio Atem Camila (2012); “La influencia de distintos muros exteriores en el confort térmico de vivienda en un clima subtropical húmedo”. Tesis de Master. Universitat Politècnica de Catalunya. Brasil.
- Mas Jorge Marcelo, Kirschbaum Carlos Federico (2012); “Estudios de resistencia a la compresión en bloques de suelo-cemento”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 16, 2012. Impreso en la Argentina.
- Norma ASTM D-5334 (2007): Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure
- Norma IRAM 11.601 (2002): Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo.
- Norma IRAM 11.603 (1996): Acondicionamiento Térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina.
- Norma IRAM 11.605 (1996): Acondicionamiento Térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica en cerramiento opacos.
- Patrone Juan Carlos, Evans Jonh Martin (2006); “Evaluación térmica de una vivienda de suelo-cemento en Florencio Varela”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10.
- Salveti, María Belén; Czajkowski, Jorge; Gómez, Analía Fernanda (2009); “Análisis del comportamiento energético-ambiental en torre de viviendas de La Plata”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 13.

Secretaría de Energía de la Nación. (2010). Balance Energético de la Nación 2010.
<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>

ABSTRACT: In this paper an economic and energetic analysis of a typical house is used to analyze the influence of wall materials on the efficiency of thermal conditioning systems. The objective of the study is to demonstrate that soil-cement bricks are an economic, simple and thermally efficient choice for the construction of houses. Different materials commonly used in construction are analyzed by means of thermal balances of the typical house, calculated with a software program, BT6. The research is complemented with laboratory measurements of thermal conductivity of materials used in construction engineering. The results obtained proof that the construction of houses with soil-cement bricks is an economical, thermally efficient (20% in compare with ceramic bricks) and environmental suitable solution for the construction of houses in the city of Córdoba, Argentina.

Keywords: soil-cement, air conditioned, calefaction and efficiency.