

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA EDIFICACIÓN REEMPLAZANDO EL MATERIAL DE LA ENVOLVENTE POR SUELO-CEMENTO

A.B. Costantini¹, M.E. Carro Pérez², F.M. Francisca³.

Universidad Nacional de San Juan - Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño - Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA)- Grupo de Investigación en Medios Porosos y Flujos Subterráneos (IMPAS) - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEPyN) - Universidad Nacional de Córdoba (UNC) - Vélez Sarsfield 1611 CP 5000, Córdoba, Argentina – Tel. 0351 – 5353800 (int. 836) - e-mail: ncarroper@unc.edu.ar

Recibido 11/08/16, aceptado 08/10/16

RESUMEN: Los cerramientos de una edificación responden lentamente a cambios en la temperatura exterior produciendo variaciones graduales de la temperatura ambiente del interior afectando el nivel de confort de los ocupantes. Debido a ello, resulta necesario acondicionar la temperatura interior al rango de confort para lo cual se requiere del consumo de energía. En este estudio se evalúan las mejoras en la eficiencia energética de una edificación reemplazando el material de la envolvente por mampuestos de suelo cemento. Se realizan registros de temperatura y humedad en el ambiente y se efectúa un estudio energético. Las propiedades térmicas de los mampuestos son estudiadas en laboratorio generando los parámetros necesarios para modelar el flujo de calor a través de la envolvente. Los análisis se realizan a partir de balances térmicos del edificio, primero se evalúa el cerramiento original y luego el alternativo con mampuestos de suelo-cemento. Los resultados obtenidos permitieron cuantificar el ahorro energético que podría lograrse por la sustitución de la envolvente y demostrar, al mismo tiempo, que los mampuestos de suelo-cemento mejoran las condiciones de confort térmico de las edificaciones.

Palabras clave: Conductividad térmica, simulación, confort térmico, energía.

INTRODUCCIÓN

La preocupación por preservar el medio ambiente y el aumento en el grado de autoabastecimiento energético de las edificaciones han llevado a incursionar en el uso de nuevas tecnologías y se han comenzado a utilizar materiales alternativos en la construcción de las edificaciones. Estas nuevas alternativas buscan ser eco-eficientes y disminuir el consumo de energía que se emplea para calefacción y refrigeración de las edificaciones. En la actualidad la crisis energética y el aumento de la conciencia ambiental de la población contribuyen con el desarrollo sustentable y la valorización de la reducción en el uso de energía y la consecuente disminución del impacto sobre el medio ambiente. En las edificaciones se debe contribuir utilizando los materiales apropiados para optimizar tales recursos y efficientizar el confort térmico.

La industria de la construcción es una de las más importantes consumidoras de materias primas y recursos no renovables. La misma implica un gran impacto ambiental no sólo durante los procesos de

¹ Estudiante de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería de la FCEPyN- UNC - Becaria CONICET.

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).

extracción y elaboración de ellas, sino también durante el ciclo de vida de la construcción, desde ejecución hasta su demolición y reciclado (Edwards; 2008).

Con el auge de la arquitectura sustentable, basada en el desarrollo de técnicas constructivas que minimicen el impacto ambiental y la recuperación de técnicas milenarias tales como el uso del suelo en las construcciones, se busca no solamente la disminución del recurso energético en la edificación, sino también, el mejoramiento de la calidad de vida de las personas que habitan los recintos.

Una de las variables que incluye el ahorro energético es la aislación térmica de las envolventes de una edificación, ésta no sólo es la encargada de protección al local sino también de minimizar el intercambio térmico de la temperatura ambiente con el exterior. El bienestar térmico es fundamental para proveer un ambiente confortable. Variados estudios definen que la zona de confort depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente, velocidad del aire, vestimenta de las personas, y temperatura de las superficies de los espacios. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) define la zona de confort con un límite inferior de 21,8°C de temperatura ambiente y 73% de humedad relativa, y un límite superior de 26,3°C de temperatura ambiente y 22% de humedad relativa, para velocidades del aire menores a 0,22 m/s (Bedoya y Neila, 1992; Fairey, 1981).

El suelo cemento es uno de los elementos constructivos no convencionales que pueden conformar la envolvente, mejorando la calidad ambiental (porque no emanan sustancias tóxicas) y ahorrando energía en calefacción y refrigeración. Álvarez Alonso et al. (1984) explican que en los muros de suelo se pueden retener entre un 5 y un 10% (en volumen) de agua, que en invierno se condensa y en verano se evapora de forma que cede calor a los muros o produce frío respectivamente, contribuyendo al ahorro energético de la edificación. Es decir que la acumulación energética de los cerramientos mejora considerablemente gracias a la transmisión de masa (condensación o evaporación del agua) pudiéndose aumentar del orden de 100 veces más la capacidad térmica de los muros. Destacando estas propiedades, Valero y Gracia Casal (2004) mencionan algunos productos patentados construidos básicamente con tierra en donde se incluyen el adobe, el hormigón celular, ladrillos convencionales y bloques de termoarcilla. Estos autores compararon las distintas propiedades de estos productos, tales como la densidad, ρ , la conductividad térmica, λ , y el precio, demostrando las ventajas de considerar los mismos como materiales alternativos para la construcción de viviendas. Mas y Kirschbaum, (2012), a través de sus estudios han evaluado el comportamiento mecánico y también certifican las características de este material para resistir utilizado en mampuestos.

Mosquera Arancibia et al. 2009, crearon una red de investigaciones en construcciones con tierra que promueven la utilización de estos mampuestos, ya que certifican las mejoras en la calidad de vida de los ocupantes de estas construcciones, además de ser más eficientes y económicas entre otros beneficios que los autores han comprobado.

El estudio del comportamiento climático de las edificaciones es un instrumento empleado para el análisis y validación de edificios diseñados con criterios bioclimáticos (Filippín et al., 2001, 2004, 2007), como así también las auditorías energéticas de edificios convencionales (Díaz et al., 2005). Debido a ello resulta fundamental la correcta evaluación de las edificaciones para determinar cuáles son sus ganancias/pérdidas térmicas y cuáles el consumo energético necesario para lograr las temperaturas de confort en los ambientes habitables. De esta manera, se pueden proponer mejoras y alternativas constructivas para mejorar el desempeño en la vida útil de las construcciones.

El propósito de este trabajo es demostrar que los mampuestos de suelo-cemento además de ser una respuesta económica, son una solución eficiente energéticamente y podrían mejorar el confort térmico de las edificaciones construidas con materiales industrializados,

CASO DE ESTUDIO

Características generales del edificio

El edificio a evaluar es el edificio de la Asociación de Docentes e Investigadores Universitarios de Córdoba (ADIUC), ubicado en el centro de ciudad universitaria en la esquina de Haya de la Torre y Nores Martínez en un predio de 4.500 metros cuadrados cedido por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). El predio se encuentra ubicado en la Zona Bioambiental III Templada Cálida, sub zona III a Templada Cálida Seca con amplitudes térmicas mayores que 14° C según la norma IRAM 11603 (IRAM, 1996). Las coordenadas de su posición geográfica son 31° 26' 24" Latitud Sur y 64°11'00" Latitud Oeste con una elevación de 438m sobre el nivel del mar. Posee un salón de usos múltiples con una superficie de 165m², una altura interior de 3.65m y un volumen de 602m³. El salón en estudio forma parte de esta construcción que cuenta además con otro taller, de menores dimensiones, una recepción, espacios de circulación, office, asador, depósito y áreas de transición. El edificio se caracteriza por ser utilizado por una amplia variedad de público en horarios diurnos para reuniones y asambleas.

La ciudad de Córdoba tiene un clima caracterizado por ser templado subtropical húmedo con invierno seco también conocido como pampeano, la misma tiene muchas diferencias entre sus estaciones, los veranos son húmedos, con días calurosos y noches templadas. Los vientos del este y del oeste son raros, de corta duración y poca intensidad. En primavera soplan con fuerza creciente principalmente del norte y el noreste. En el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas con viento y granizo. Según la norma IRAM 11603, en enero, mes más cálido del verano, la máxima media es de 30,7°C y la mínima media de 17,1°C con una humedad del 61%, en julio, mes más frío, la temperatura máxima media es de 19,5°C y 5,8°C de mínima con una humedad del 60%. Aún en invierno pueden ser frecuentes días algo cálidos.

El área en donde se encuentra emplazado el edificio es un área de la ciudad que está densamente edificada y ubicada en una depresión, es el núcleo de una importante isla de calor con una frondosa arboleda circundante. En la Figura 1, se muestra una imagen satelital con la ubicación del predio y del edificio. En la Figura 2(a), se muestra la planta del edificio en la Figura 2 (b) se presentan las fachadas. En la Figura 3 se observan fotografías de la edificación.

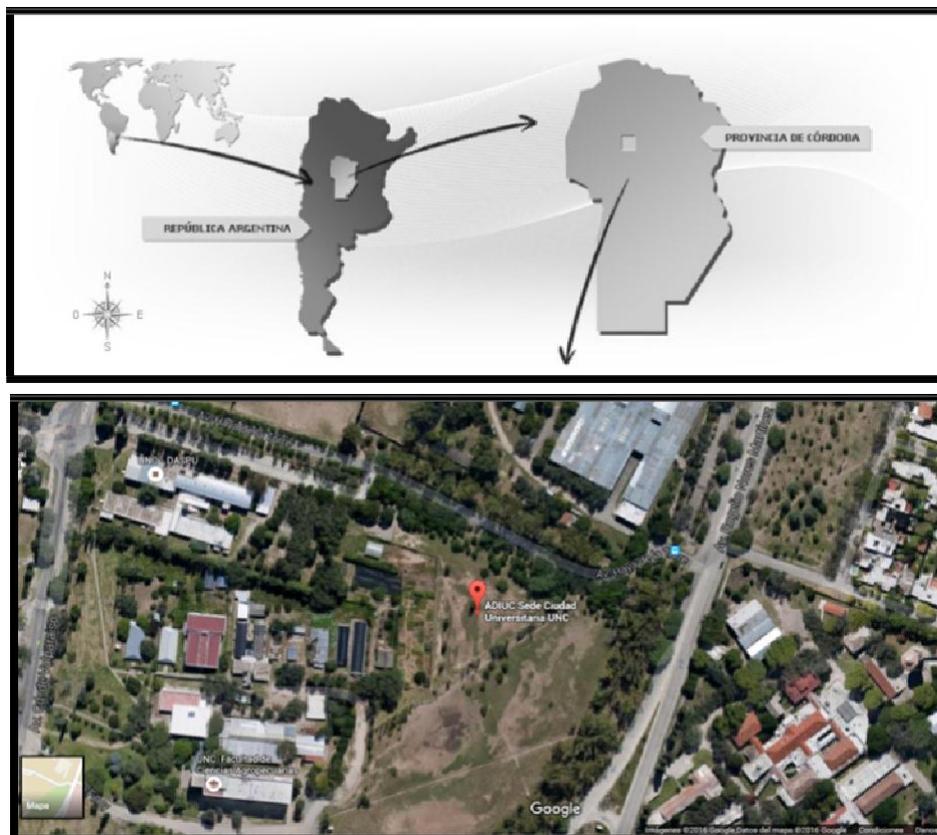
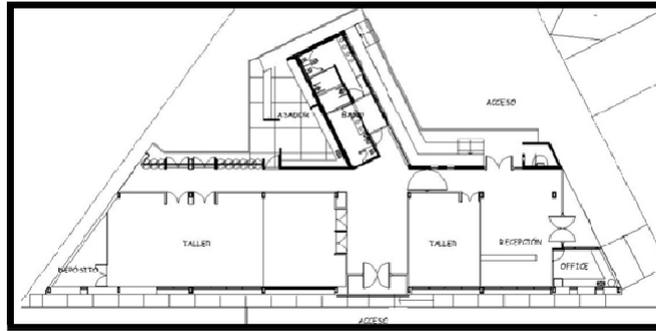
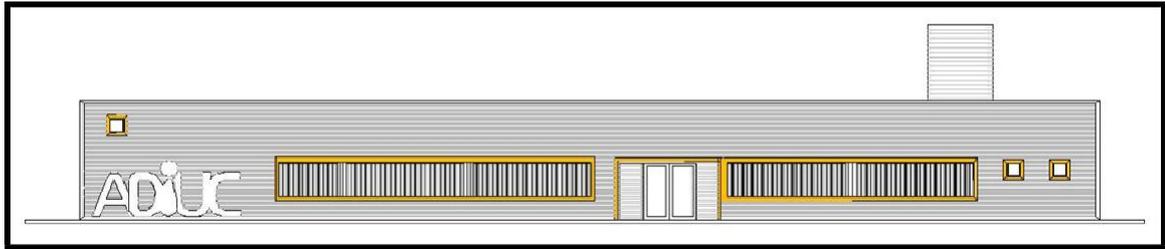


Figura 1: Ubicación del predio del edificio ADIUC.



(a)



(b)

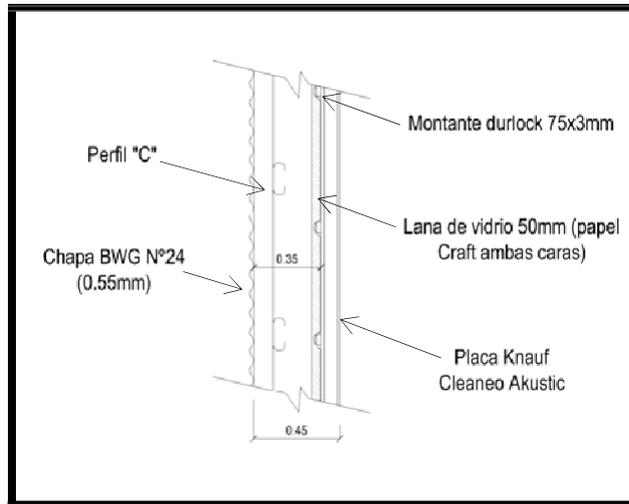
Figura 2: (a) Planta de ADIUC. (b) Fachadas principal y secundaria de ADIUC.



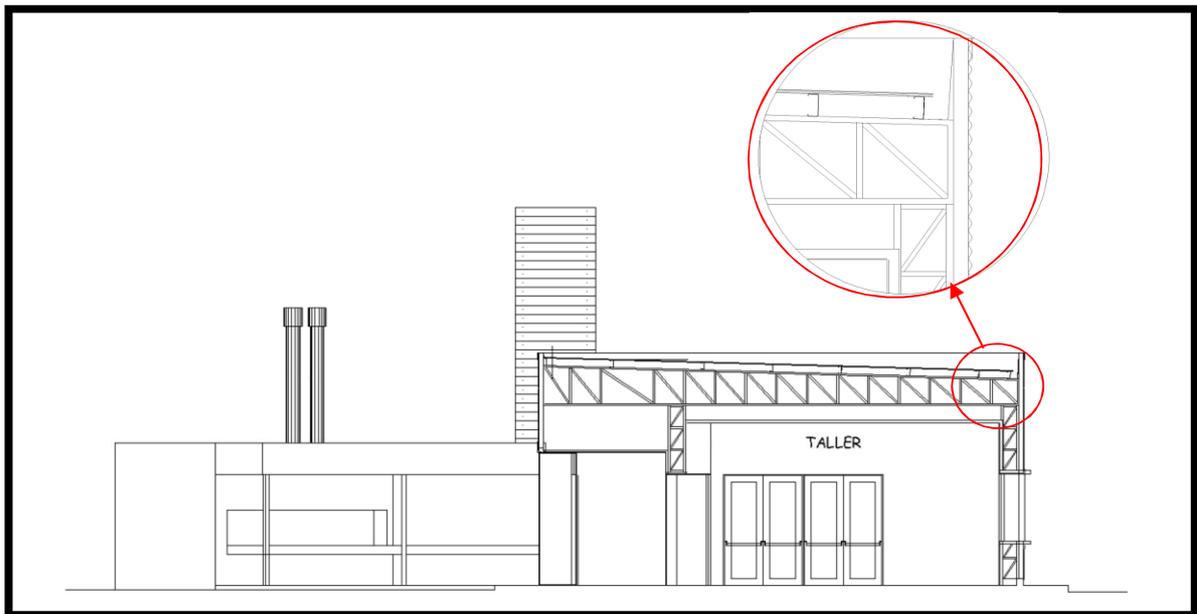
Figura 3: Fotos del edificio (exteriores e interiores).

Características constructivas de la envolvente

El edificio en estudio tiene una superficie cubierta de 165 m² y una altura exterior de 4.35 m y 3.65 m interior. La envolvente perimetral está definida por carpintería metálica, no portante y en su interior las divisiones están realizadas con materiales livianos del tipo durlock. La envolvente se encuentra materializada por una chapa exterior acanalada con cámara de aire de 0.34 cm de espesor, seguido por una aislación de lana de vidrio continua (no dividida en los montantes) revestida en su interior con una placa de durlock, estableciendo en su conjunto un cerramiento vertical con 0.45 cm de espesor (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4: (a) Detalle de la sección transversal de la envolvente. (b) corte longitudinal de la edificación con detalle de estructura.

Cálculo de conductividad térmica

La norma IRAM 11601 (IRAM; 2004) establece los valores y métodos fundamentales para el cálculo de las propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Esta norma establece el coeficiente de transmitancia térmica para muros, K , a partir de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{Rt} \quad (1)$$

Donde Rt = Resistencia térmica total, la cual puede calcularse como:

$$R_t = R_{si} + \sum R_{me} + R_{ca} + R_{se} \quad (2)$$

Donde R_{si} = resistencia térmica interna superficial, $\sum R_{me}$ = sumatoria de las resistencia térmica de los componentes estructurales, R_{ca} = resistencia térmica de las cámaras de aire, R_{se} = resistencia térmica externa superficial.

Las resistencias R_{si} y R_{se} se encuentran tabuladas en la norma en función de la dirección del flujo. Las resistencias R_{ca} se encuentran descriptas en la normativa en función del espesor de la cámara de aire. Para las condiciones de la edificación en estudio las resistencias térmicas superficiales resultan $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{C} / \text{W}$ y $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{C} / \text{W}$. Según Norma IRAM 11.603.

SUELO CEMENTO

Descripción

De acuerdo a la *Portland Cement Association* (1956) el suelo cemento es “una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mejor densidad. Cuando el cemento se hidrata se transforma en un material duro, durable y rígido.”. Por otro lado, O’Flagerty (1968) lo definió como “un material endurecido formado por el curado de una mezcla íntima de suelo, cemento y agua que se compacta”.

Entre las ventajas de suelo-cemento están las características de su capacidad térmica de aislamiento como de inercia térmica, el intercambio higrométrico con el ambiente, la posibilidad de reciclarse, y la poca energía de producción que necesita. Estos aspectos hacen que este material genere menos contaminación ambiental y sea considerado adecuado para un hábitat sustentable comparado con otros materiales industrializados. El comportamiento térmico de una edificación en condiciones reales de uso, intenta dar respuesta a las condiciones climáticas extremas sobre todo en épocas invernales, donde las temperaturas son extremadamente bajas, pero en la mayoría de los casos es insuficiente. Son innumerables los avances y estudios relativos al tema, buscando soluciones alternativas para construir con suelos de distintos tipos y diversas características físicas y químicas, y se han dado respuestas mejorando el comportamiento térmico minimizando las pérdidas y ganancias de temperatura a través de las envolventes realizadas con este tipo de mampuesto (Figura 5).

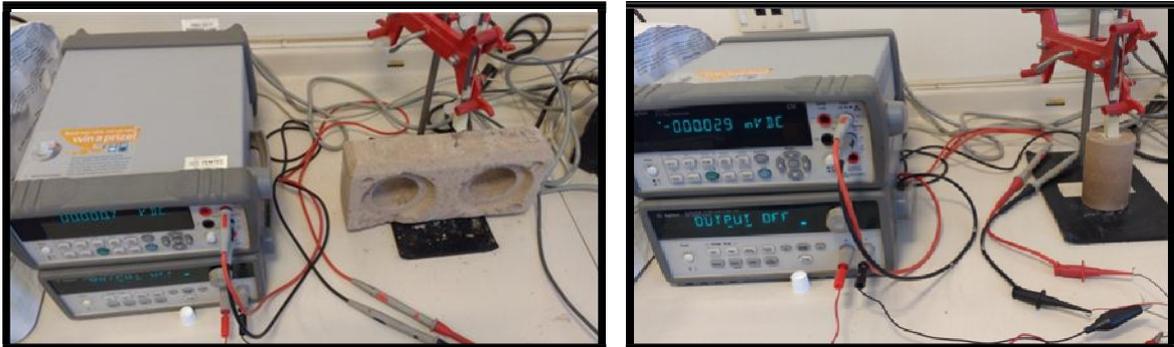


Figuras 5: Foto mampuesto de suelo-cemento

Medición de la conductividad térmica

Para determinar la conductividad térmica λ del material con la cual se han construido los ladrillos de suelo-cemento se utilizó un sensor de aguja marca East 30 Sensors (Figura 6). El procedimiento experimental se realizó de acuerdo a lo estipulado en la norma de ensayo ASTM D-5334 (ASTM; 2007). El ensayo consistió en insertar la aguja en el material a ensayar y mediante la aplicación de corriente continua se genera un flujo de calor a través del medio estudiado y de ese modo una 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. Debido a la rigidez del ladrillo para insertar la aguja se debió realizar en el mismo una perforación de un diámetro ligeramente superior al del sensor de manera de poder introducir la aguja. Para asegurar un adecuado contacto entre el aguja con el mampuesto se rellenó la

perforación 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 $1'30''$ cuidando que el incremento de temperatura del sensor no supere los 3°C . El resultado de la conductividad determinada en el laboratorio fue el promedio de diez mediciones por muestra siendo esta de $0.48 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ para los bloques de suelo-cemento.



Figuras 6: Fotos de ensayos en laboratorio.

BALANCE TÉRMICO

Las condiciones de comodidad para los usuarios dependerán de varios factores entre los que se incluyen el tipo de actividad, la vestimenta teniendo en cuenta que es un salón de usos múltiples y permite las actividades de alumnos, docentes y público en general en horas alternativas. Las temperaturas de diseño determinadas por la norma son para invierno temperatura mínima de diseño de 1.3°C y para verano la máxima de diseño es de 34.2°C . El salón de usos múltiples tiene un volumen de 602 m^3 .

Monitoreo de la edificación

Se tomaron registros de temperatura y humedad en la sala principal/taller. La evaluación del comportamiento de la edificación fue realizada con el registro continuo de temperatura y humedad durante 7 días del mes de julio, desde el lunes 25 de julio al lunes 1 de agosto de 2016. Se evaluó el comportamiento en situaciones reales de uso del salón para obtener los datos del desempeño de la edificación durante un periodo muy frío del año. La Figura 7 muestra la posición de los sensores instalados en la edificación, mientras que la Figura 8 presenta los resultados de temperatura y humedad medidos en cada uno de los sensores instalados. Las mediciones se realizaron con HOBOTemp/RH logger. Se colocaron tres en el interior del taller a una altura de $1,50 \text{ m}$ y uno en el exterior permitiendo obtener la temperatura real del entorno con registros de valores cada 15 minutos, con niveles de mediciones comprendidos entre 4°C y 32°C de temperatura y entre 15 y 75% de humedad exterior.

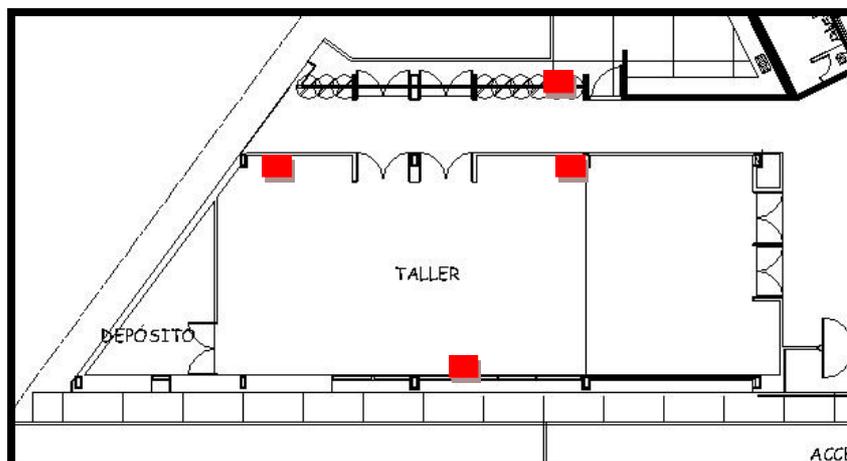


Figura 7: Detalle de ubicación de los sensores.

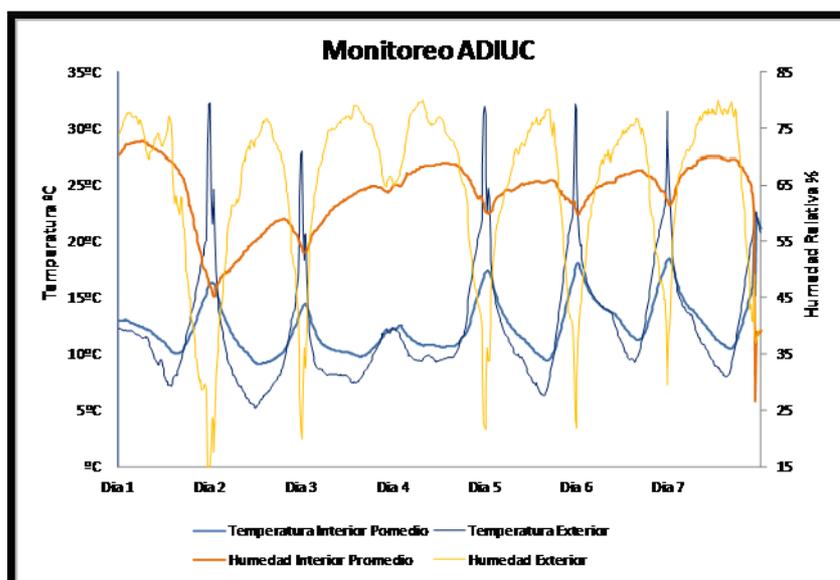


Figura 8: Gráfico de Humedad y temperatura Interior-Exterior.

Cálculo del balance térmico

El balance térmico se realizó mediante el programa computacional denominado BT6 de Dilasoft. Con este programa es posible realizar los cálculos térmicos para calefacción y refrigeración de los recintos. Utiliza el método de cálculo según las funciones de transferencia de calor. Este programa permite el cálculo de nuevos coeficientes de transmisión para paredes, pisos y nuevos materiales (e. g. suelo-cemento) que no aparecen en la base de datos. De esta manera resulta factible el ingreso de K especiales para realizar el balance térmico estimando los nuevos parámetros de consumo energético con cada material considerado en la simulación.

En las Tablas 1, 2 y 3 se detallan los materiales utilizados para los elementos del edificio junto con el coeficiente de transmitancia K que poseen en conjunto. A partir de estos resultados, la transmitancia térmica para la envolvente exterior, los tabiques y la cubierta resultaron $0,63\text{W/m}^2\text{C}$, $0,62\text{W/m}^2\text{C}$ y $0,58\text{W/m}^2\text{C}$, respectivamente.

Capas	Espesor(m)	Conductividad($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	Peso Esp.(Kg/m^3)	Res. Total($\text{m}^2\text{C/W}$)
R.s.e.				0.040
Chapa	0.0055	58.00	7800	
Cámara de aire	0.345			0.170
Lana de vidrio	0.050	0.042	65	1.190
Durlock	0.012	0.250	788	0.050
R.s.i.				0.130
Paquete completo	0.413			1.581
Trans. Térmica K:				0.63W/m2C

Tabla 1: Materiales de la envolvente exterior.

Capas	Espesor(m)	Conductividad($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	Peso Esp.(Kg/m^3)	Res. Total($\text{m}^2\text{C/W}$)
R.s.e.				0.040
Durlock	0.012	0.38	800	0.033
Lana de vidrio	0.05	0.042	65	1.190
Cámara de aire	0.345			0.170
Durlock	0.012	0.25	788	0.050
R.s.i.				0.130
Espesor total	0.419			1.613
Trans. Térmica K:				0.62W/m2C

Tabla 2: Materiales de los tabiques interiores.

Capas	Espesor(m)	Conductividad(W/m°C)	Peso Esp.(Kg/m3)	Res. Total(m2°C/W)
Rse				
Lana de vidrio	0.05	0.042	65	1.190
Durlock	0.012	0.37	800	0.034
Barrera de aire	0.700			0.170
Rsi x2				0.340
Espesor total	0.763			1.734
Trans. Térmica K:				0.58W/m2°C

Tabla 3: Materiales de la cubierta.

De acuerdo a lo recomendado por la norma IRAM 11605, se han establecido tres niveles de confort higrotérmico y los valores máximos admitidos de transmitancia térmica para verano e invierno respectivamente. (Tabla 4).

Zona Bioambiental	Nivel A (W/m ² K)	Nivel B (W/m ² K)	Nivel C (W/m ² K)
I y II	0.45	1.10	1.80
III y IV	0.50	1.25	2.00

Temperatura exterior de diseño (°C)	Nivel A (W/m ² K)		Nivel B (W/m ² K)		Nivel C (W/m ² K)	
	Muro	Techo	Muro	Techo	Muro	Techo
≥0	0.38	0.32	1.00	0.33	1.85	1.00

Tabla 4: Transmitancia térmica máxima para los distintos niveles de confort higrométrico considerados (verano-invierno).

A partir del balance térmico realizado con el programa Dilasoft considerando la temperatura y humedad recomendada en la norma IRAM 11603, se determinó que para invierno son necesarios 27,824 Kcal/hora para calefaccionar el salón y en verano se necesitan 37,592 frigorías/hora para el acondicionamiento de este espacio. Es decir que con este tipo materialidad es necesario adicionar fuentes de calor en invierno y de refrigeración en verano consumiendo una cantidad de energía. Las pautas de diseño en este caso serán calentamiento y refrescamiento artificial consecuencia de las insatisfacciones térmicas ofrecidas por la envolvente.

Balance térmico para la envolvente incorporando ladrillos de suelo cemento

En la Tabla 5 se presentan los resultados de resistencia térmica de cada material y el correspondiente al cerramiento con la incorporación del ladrillo de suelo cemento. La mampostería con suelo cemento tiene una transmitancia térmica de 0,50W/m²C, menor que el existente de 0,63W/m²C.

Capas	Espesor(m)	Conductividad(W/m°C)	Peso Esp.(Kg/m3)	Res. Total(m2°C/W)
Rse				0.040
Chapa	0.200	0.480		0.417
Cámara de aire	0.345			0.170
Lana de vidrio	0.05	0.042	65	1.190
Suelo cemento	0.012	0.25	788	0.050
Rsi				0.130
Espesor total	0.608			1.997

Tabla 5: Tabla de materiales de la envolvente exterior alternativa utilizando ladrillos de suelo-cemento.

En las simulaciones realizadas se obtuvo que para la envolvente en la que se incorporó los mampuestos de suelo-cemento serían necesarias 27.280Kcal/hora para calefacción y en verano 33.905 frigorías/hora para refrigeración. Si se compara este último valor con el obtenido para la envolvente original, se observa que la incorporación del ladrillo de suelo-cemento produce un ahorro de un 10% en las frigorías/hora necesaria para la refrigeración de la edificación en verano.

Los resultados generales del balance térmico para la edificación sin la aislación con ladrillos de suelo cemento demuestra que se requerirían 46 Kcal/m³ para calefacción en invierno y 63 frigorías/m³ para refrigeración en verano. El balance supera los estándares de acondicionamiento térmico para una vivienda pero se encuentra dentro del rango máximo para el acondicionamiento de un auditorio. Por otro lado, con la incorporación de los mampuestos de suelo-cementoso requerirían 45Kcal/m³ para calefacción en invierno y 55 frigorías/m³ para refrigeración en verano. Los resultados obtenidos permiten demostrar que se lograría un ahorro energético significativo.

CONCLUSIONES

Los resultados de las simulaciones en el balance térmico indican que las variaciones de temperatura interior en verano son menores en un 10% cuando el material metálico del mampuesto en la envolvente es reemplazado por suelo-cemento, ya que posee mejores cualidades aislantes (0,50 W/m²°C) en comparación con el material existente que es de (0,62W/m²°C).

El análisis energético simulado demostró que la opción de reemplazar el material mejoraría considerablemente el control de la variación de temperatura y consecuentemente disminuiría los gastos que se efectúan en calefacción y aire acondicionado en los horarios de uso del edificio en estudio.

Además, resulta importante considerar que 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 se realiza mediante una metodología sencilla y con bajos consumos de energía. En cambio, la envolvente metálica requiere mayores costos de inversión y de mantenimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de SECyT-UNC (Proyecto30720150100665CB), CONICET (Proyecto 11220150100298CO) y FONCyT (PICT 2014-3103). A ADIUC y al Arq. José Luis Pilatti por los permisos y datos para el estudio del edificio y sus instalaciones y al Instituto Superior de Estudios Ambientales (ISEA-UNC) donde se realizaron las investigaciones experimentales de este trabajo.

REFERENCIAS

- Alvarez Alonso, M., Guinea, M. J., Díaz-Romeral, J. (1984): Construcciones a base de tierra. Informes de la Construcción, 36(365), 47-51.
- Delacoste, E. I., Carro Pérez, M. E., Francisca, F. M. (2015); Ahorro energético en construcciones con mampuestos no convencionales, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 19, 08.147-08.156.
- Díaz, C. J. (2005); Evaluación y mejoramiento ambiental de viviendas de interés social sur-patagónicas. Estudios del Hábitat, 98-100.
- Edwards, B., Hyett, P. (2004); Guía básica de la sostenibilidad. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Mas J. M., Kirschbaum C. F. (2012); Estudios de resistencia a la compresión en bloques de suelo-cemento. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 16, 05.77- 05.84.
- Mercado, M. V., Esteves, A., Filippín, C. (2007); Sistema de Climatización Solar Pasivo: su integración en viviendas de bajo costo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Salta, 11, 05-121.
- Mosquera Arancibia, P. (2013); Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida. (Doctoral disertación, Arquitectura).
- Minke, G. (2001); Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Forschungslabor Für Experimentelles Bauen Universidad de Kassel.
- 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.

- O'Flagerty L.A., Andrews D.C.. (1968); Frost effects in lime and cement treated soils. H.R.R. 235. E.U.A.
- Portland Cement Association. (1956). Soil-cement construction handbook. Portland Cement Association.
- Salveti, M. B.; Czajkowski, J.; Gómez, A. F. (2009); Análisis del comportamiento energético-ambiental en torre de viviendas de La Plata. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 13, 05.127-05.134.
- Secretaría de Energía de la Nación (2008); Informe de auditoría de gestión del programa de políticas energéticas. Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios. Buenos Aires.
- Secretaría de Energía de la Nación. (2010). Balance Energético de la Nación 2010. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>
- Sulaiman, H., Blasco L. I., Filippín, C. (2009); Incidencia del usuario en el comportamiento higrotérmico estival de una vivienda convencional en San Juan. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 13(5), 53-60.
- Valero, P., Garcia Casals, X. (2004); Bloques y cerramientos. EcoHabitar. Olba (Teruel).

ABSTRACT: Temperature of walls in building slowly change as a response of outside temperature changes. As a consequence of this temperature variation, the inner temperature of a building slowly changes affecting the comfort level of the occupants. Therefore, there is a need of modifying the inner temperature to reach values within the comfort range. This study evaluates the influence of changing conventional wall materials by soil-cement bricks on the energy efficiency in a building. Temperature and humidity measurements were performed inside and outside the building in order to perform a thermal balance. The thermal properties of the bricks were determined in laboratory. These results were used to model the heat flow through the external walls of the building. The thermal balance of the building was determined for walls made of conventional and soil-cement bricks. Obtained results allowed us to quantify the energy savings that could be achieved by replacing conventional by soil-cement brick walls. Finally, the use of soil-cement bricks in external walls of buildings helps to improve the thermal comfort conditions.

Keywords: Thermal conductivity, modeling, thermal comfort, energy.