



COMPARACION ENTRE ENERGY PLUS Y COMSOL MULTIPHYSICS EN LA SIMULACION ENERGETICA DE UNA VIVIENDA SIMPLE

Coronato, T.¹; Gastón, A.^{1,2}; Navone, H. D.¹ y Abalone, R.^{1,2}

¹Fac. de Cs. Exactas Ingeniería y Agrimensura (UNR). IFIR (CONICET/UNR).

²Consejo de Investigaciones de la UNR. FCEIA (UNR)

Av. Pellegrini 250. (2000) Rosario. Argentina; rabalone@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos a partir de la simulación computacional del comportamiento higrotérmico de una vivienda sencilla utilizando dos plataformas de cálculo: Energy Plus y COMSOL Multiphysics. Las simulaciones numéricas se comparan con datos experimentales obtenidos del monitoreo de una vivienda ubicada en la ciudad de Salta, Argentina (24° 47' 09" S, 65° 24' 41" O, 1183 msnm) entre el 5 y el 17 de mayo de 2011. Con Energy Plus (software abierto específicamente diseñado para simulación de edificios), se simuló una única zona térmica, considerando las dimensiones, materiales y ubicación geográfica de la vivienda monitoreada. Con COMSOL Multiphysics -aplicación que permite la resolución de problemas en multifísica usando la técnica de elementos finitos-, se realizó un primer modelo simplificado en dos dimensiones (2D) considerando un corte en la dirección Este-Oeste de la vivienda. En este caso, se implementó un balance térmico de la masa de aire en forma global definiendo la ecuación diferencial acoplada con el modelo en 2D de transferencia de calor en las paredes y el suelo, y un balance másico (humedad) de la masa de aire mediante su correspondiente ecuación diferencial. La comparación entre los resultados obtenidos con ambas plataformas de cálculo muestra un buen acuerdo. Las simplificaciones inherentes al EnergyPlus son apropiadas para el estudio de viviendas o edificios altamente complejos ya que agilizan fuertemente el tiempo de cálculo. COMSOL Multiphysics permite un estudio mucho más detallado de la transferencia de calor y masa ya que es posible modelar en 2 y 3 dimensiones, incluso en el aire de la zona (no realizado en este trabajo). Además, esta plataforma de cálculo resulta especialmente útil para el estudio de aspectos localizados de las construcciones (puentes térmicos, condensación de humedad, etc). En síntesis, ambas aplicaciones tienen distintas potencialidades para el análisis energético de las construcciones según sea el objetivo que se desee alcanzar. Palabras-clave: simulación computacional, EnergyPlus, COMSOL Multiphysics, vivienda

ABSTRACT

On the present paper its presented the simulation of the hygrothermal behavior of a simple house through two softwares, Energy Plus y COMSOL Multiphysics. The numerical simulations are compared with experimental data obtained from the monitoring of a house located in the city of Salta, Argentine (24° 47' 09" S, 65° 24' 41" O, 1183 msnm) between May 5 and 17, 2011. With Energy Plus (open source software specifically designed for building simulation), a single thermal zone was simulated, considering the dimensions, materials and geographical location of the monitored dwelling. With COMSOL Multiphysics (designed for resolution of multiphysical problems using finite element), a simplified first model was made in two dimensions considering a division in the East-West direction of the house. A thermal balance of the air mass in global form was considered, defining corresponding ODE copled with the 2D model of heat transfer in the walls and floor, and a mass balance (humidity) of the mass of air by the corresponding ODE. The risk of condensation was briefly analyzed, concluding that it is necessary to include advanced moisture transfer models in the walls especially for cities with humid climates. The comparison between the results obtained with both softwares shows a positive agreement. The simplifications inherent to the EnergyPlus are appropriate for the study of houses or buildings of highly complexity as they greatly accelerate the calculation time. COMSOL Multiphysics allows a much more detailed study of the transfer of heat and mass since it is possible to model in 2 and 3 dimension, even in the air of the zone (not fulfilled in this work). This

software is especially useful for analyzing localized aspects of constructions (thermal bridges, condensation of humidity, etc.). Therefore both software have different potentialities for the energy analysis of the constructions according to the objective that is wanted to reach

Keywords: : computacional simulation, EnergyPlus, COMSOL Multiphysics, dwelling

1. INTRODUCCIÓN

La crisis energética supone necesario el máximo aprovechamiento tanto de las energías fósiles como de las fuentes de energías alternativas y/o renovables.

En este contexto, la eficiencia energética constituye en sí misma una fuente de energía limpia de gran potencial (AZQUETA, 2014). La integración de un uso ambientalmente sustentable y socialmente equitativo de los recursos energéticos disponibles así como la aplicación de criterios de sustentabilidad durante todo el ciclo de vida de los ambientes construídos responde al reconocimiento de la limitada disponibilidad de recursos naturales no renovables y a la toma de conciencia sobre el progresivo deterioro de las condiciones ambientales y de sus diversos impactos sobre los sistemas que son soporte de vida a nivel local y global.

Desde esta perspectiva de análisis, la simulación energética de edificios constituye un recurso indispensable para la estimación del consumo energético de construcciones a partir de la consideración de los diversos aspectos involucrados en las mismas: opciones de diseño, características de los materiales utilizados, condiciones climáticas, modalidades de uso y aporte de energías renovables, entre tantos otros. En particular, la ventaja de utilizar procesos de simulación en la etapa de proyecto radica en la posibilidad de estudiar cambios y mejoras sobre el diseño original que promuevan una efectiva reducción del consumo energético, necesario para alcanzar niveles de confort socialmente sustentables y equitativos asociados al concepto de vivienda digna (MERCADO ET AL., 2010; CORTÉS ET AL., 2011; LANZETTI, 2010).

Diversos trabajos comparan los resultados de diferentes herramientas de software para la construcción de simulaciones de la transferencia de calor en edificios (CRAWLEY ET AL, 2001, FLORES LARSEN, 2011, ANDOLSUNA ET AL, 2011, GERLICH, ET AL, 2013)

En este trabajo, se realiza la simulación energética de una vivienda sencilla mediante su modelización computacional sobre dos plataformas de cálculo: EnergyPlus (software abierto específicamente diseñado a tal fin, utilizado a nivel internacional) y COMSOL Multiphysics, diseñado para la resolución de problemas de transferencia usando la metodología de elementos finitos y que posibilita el abordaje de problemas altamente complejos. Las simulaciones numéricas se comparan con datos experimentales del monitoreo de una vivienda.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis comparativo de las plataformas de cálculo EnergyPlus y COMSOL Multiphysics utilizando como prototipo de estudio una vivienda sencilla con el propósito de evaluar el alcance de cada una de estas aplicaciones, así como sus ventajas y desventajas, para su utilización efectiva en la simulación energética de viviendas en futuras aplicaciones con objetivos específicos.

3. MÉTODO

Se modelizó el comportamiento hígró - térmico de una vivienda sencilla ubicada en la ciudad de Salta, Argentina (24° 47' 09" S, 65° 24' 41" O, 1183 msnm) que funciona como depósito (FLORES LARSEN, 2011).

La construcción tiene superficie de 3.5m x 3.8m, posee un volumen de 39.4m³, y su orientación es 17° Suroeste. Las paredes son de ladrillo macizo de 15cm de espesor, sin revoque. El techo es de machimbre de pino con membrana hidrófuga y teja francesa roja, sin aislación térmica, con una pendiente de 13.8° hacia el Este. La altura del techo en la parte más baja es de 2.46m y en la parte más alta de 3.40m. El contrapiso es de hormigón de 15cm de espesor sobre malla de hierro, sin aislación. El prototipo cuenta con una ventana de 1.10xm x 1.60m (orientación NO), con marco de madera y vidrio simple de 4mm de espesor, y cuenta con una puerta de 2.0m de altura y 0.8m de ancho (orientación SO). En el exterior, las superficies que producen sombreado son una medianera de 1.95m de altura hacia el Norte y Oeste. El prototipo se encuentra alejado 25m de otras construcciones y el entorno es de césped. No cuenta con ningún sistema de calefacción o refrigeración.

El monitoreo de esta vivienda se realizó entre el 5 y el 17 de mayo de 2011 (FLORES LARSEN, 2011). Se utilizaron dataloggers HOBO modelos U12-001, U12-006 y U12-012 para registrar cada 15

minutos la temperatura del aire interior y exterior, la temperatura superficial de la tierra y la temperatura del piso del prototipo. La temperatura superficial de la tierra se midió a 5 cm de profundidad, y a una distancia de 4m del prototipo. La temperatura exterior se registró con un HOBO ubicado al abrigo de la radiación solar. Durante los días de monitoreo la ventana se oscureció completamente y la puerta se mantuvo cerrada. No se dispone de la medición de humedad relativa de la vivienda.

Con los valores medidos de temperatura y humedad relativa ambiente, radiación solar incidente sobre el plano horizontal, viento y presión atmosférica, se confeccionó la base de datos de clima a utilizar en las simulaciones.

El suelo se comporta como un sólido semi-infinito ya que las oscilaciones horarias de temperatura en la superficie del piso se amortiguan al aumentar la profundidad: a 1m de profundidad estas oscilaciones son prácticamente despreciables y la temperatura de la tierra puede considerarse constante y cercana a la temperatura media anual del aire del lugar (INCROPERA Y DE WITT, 1990). Por lo tanto, puede modelizarse como una placa plana de cierto espesor con propiedades térmicas constantes, cuya temperatura en la base inferior es también constante. Otra opción, con resultados equivalentes, es considerar una condición adiabática en dicha superficie inferior.

La simulación se realizó utilizando dos plataformas de cálculo basadas en diferentes metodologías y con distintas prestaciones: Energy Plus y COMSOL Multiphysics. Además, estos resultados se comparan con datos experimentales del monitoreo del prototipo descrito anteriormente.

Energy Plus es un programa abierto específicamente diseñado para la simulación energética de edificios usado por ingenieros, arquitectos e investigadores para modelar y estudiar el uso de energía y agua en edificios. El software se basa en una descripción de la infraestructura del edificio que, además del diseño constructivo, incluye los sistemas de aclimatación, cargas térmicas, sistemas mecánicos, etc. Considera un balance térmico del aire de cada zona térmica y transferencias de calor unidimensional a través de las paredes y del suelo suponiendo que la temperatura sobre todas las superficies (opacas o transparentes) es uniforme. Las condiciones de contorno sobre cada superficie opaca de las paredes son: intercambio de calor convectivo interior y exterior, intercambio de calor radiativo con el cielo, intercambio radiativo de onda larga entre superficies y radiación solar incidente. En forma similar, realiza el balance de masa (humedad) en el aire de cada zona y dispone de tres opciones posibles para la simulación de la transferencia de humedad en las paredes: EC (effective capacitance model), EMPD (effective moisture penetration depth model) y HAMT (combined heat and moisture transfer model) (ENERGYPLUS, 2016).

Debido a que la vivienda cuenta con una sola habitación se simuló como una única zona térmica (FLORES LARSEN, 2011), Figura 1a). Se consideraron las dimensiones de la construcción, su configuración, los materiales utilizados y la ubicación geográfica del prototipo. El suelo se modeló como una capa de tierra de 1m de espesor con propiedades térmicas constantes y cuya temperatura en la base inferior es también constante (17.6°C). Sobre esta capa de tierra se agregó una capa de hormigón correspondiente al piso de la casa, expuesta a las mismas condiciones de contorno que el resto de las superficies opacas internas.

Como método de cálculo se seleccionó el de Diferencias Finitas, que por defecto considera el modelo de capacitancias efectivas (EC). Si bien éste es el modelo menos realista, es de simple implementación y requiere menos tiempo de cálculo. También es útil en casos complejos donde no se dispone de información confiable respecto a los materiales que conforman las paredes o donde no se requiere conocer el contenido de humedad en las paredes (WOODS, ET AL 2013).

EnergyPlus permite considerar hora a hora el sombreado de todas las superficies circundantes e incluye en el cálculo la transferencia de calor por radiación. Además se utilizaron valores horarios de velocidad de viento, con lo que los coeficientes convectivos exteriores varían hora a hora. En cuanto a los coeficientes convectivos interiores, se utilizaron los valores horarios calculados internamente por el programa y se consideró una infiltración de aire ambiente a razón a 0.5 renovaciones de aire por hora (FLORES LARSEN, 2011).

COMSOL Multiphysics es una plataforma de cálculo diseñada para la resolución numérica de problemas por elementos finitos, con variadas aplicaciones en el campo de la Física y de la Ingeniería, especialmente cuando intervienen fenómenos acoplados o multifísicos. Ofrece una amplia variedad de posibilidades de programación, preprocesado y postprocesado. Posee interfaces de usuario convencionales específicas para cada área de la Física, permitiendo, además, el ingreso de sistemas acoplados de ecuaciones en derivadas parciales (EDP) u ordinarias (ODE). El usuario debe definir el modelo en su totalidad: geometría, materiales, procesos físicos involucrados (eligiendo un módulo o ingresando las ecuaciones), condiciones iniciales y de contorno, coeficientes necesarios, mallado y métodos de resolución (*solvers*) apropiados a cada caso.

Se realizó un primer modelo simplificado 2D considerando un corte en la dirección Este-Oeste de la vivienda (Figura 1b). Se incluyó una porción del suelo de 1m de profundidad con una extensión 12m con temperatura impuesta en la superficie inferior y condiciones adiabáticas en las superficies laterales.

Para la zona se consideró un balance térmico de la masa de aire en forma global definiendo la correspondiente ODE acoplada con el modelo en 2D de transferencia de calor en las paredes y el suelo. Se consideraron las mismas condiciones de contorno sobre cada superficie de las paredes pero se ingresaron valores constantes de los coeficientes de transferencia de calor por convección interiores y exteriores. Además se realizó un balance másico (humedad) de la masa de aire mediante la correspondiente ODE. En este caso no se consideró transferencia de agua en las paredes, con lo cual solo se tuvo en cuenta el aporte de humedad debido a las infiltraciones.

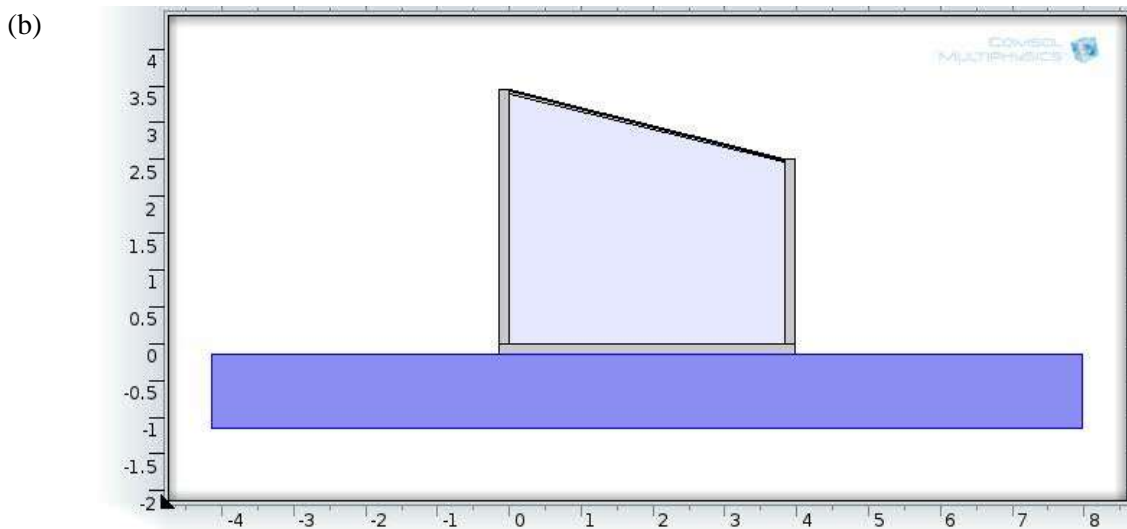
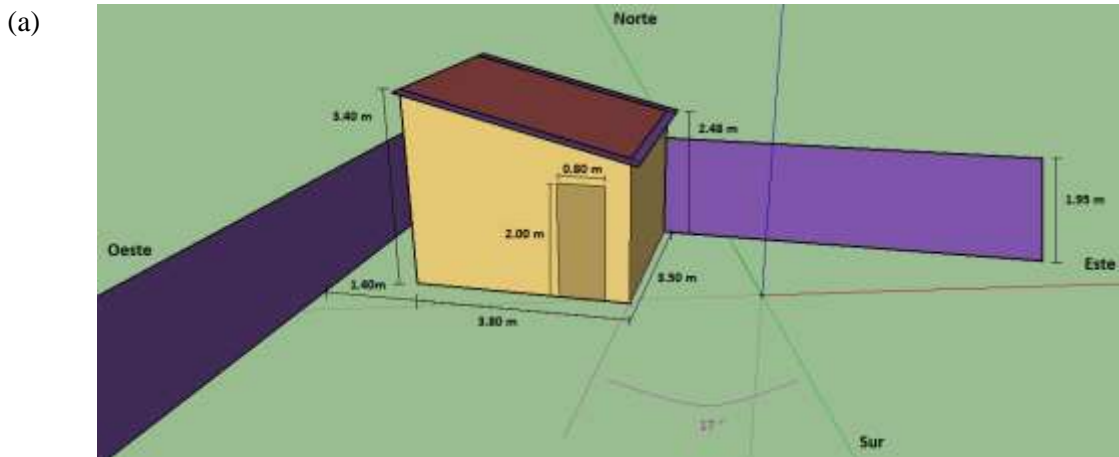


Fig. 1: Modelo de la vivienda simulada en: (a) EnergyPlus, (b) COMSOL Multiphysics (2D)

Con el objeto de comparar los resultados numéricos con los datos experimentales, en ambos casos se simularon siete días en el mes de mayo de 2011 (entre el 10 y el 16), comenzando la simulación 30 días antes, a partir de condición inicial de temperatura constante, para asegurar la convergencia. Se utilizó la base de datos de clima de la ciudad de Salta confeccionada con datos medidos durante el monitoreo de la vivienda como se mencionó anteriormente. Las propiedades térmicas de los materiales del prototipo y del suelo se obtuvieron de la literatura (INCROPERA Y DEWITT, 1990, FLORES LARSEN, 2011).

A los efectos de determinar la calidad del ajuste entre los resultados de las diferentes simulaciones y los datos experimentales, se usaron la desviación relativa media (MRD) y el error estándar (SE). Un alto valor de MRD y SE significa que el modelo falla en explicar las variaciones de las mediciones experimentales.

$$MRD = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^{n_s} \frac{|(X_m - X)|}{X_m} \quad SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_s} (X_m - X)^2}{n_s}}$$

4. RESULTADOS

En la Figura 2 se muestran las condiciones climáticas medidas que fueron usadas en la modelización computacional implementada sobre ambas plataformas de cálculo durante el período de tiempo simulado.

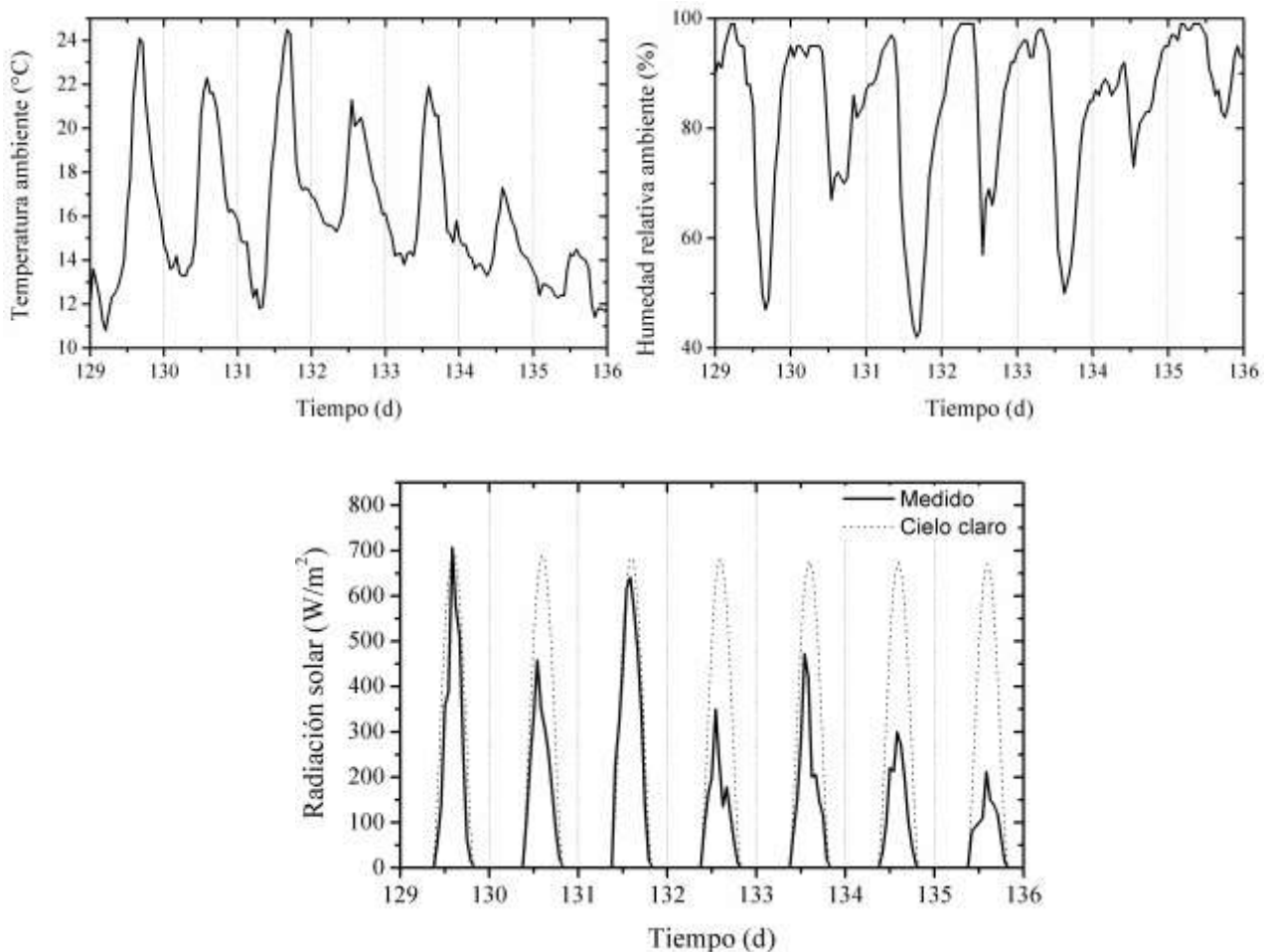


Figura 2: Valores horarios medidos de (a) temperatura ambiente, (b) humedad relativa ambiente y (c) radiación solar sobre la superficie horizontal

Puede observarse en la Figura 2 c) que los días 129 y 131 son los días de mayor radiación solar, correspondiendo aproximadamente a días de cielo claro. A partir de la radiación solar medida en el plano horizontal se calculó la radiación incidente sobre cada plano considerando el ángulo de inclinación y el azimuth correspondiente (DUFFIE Y BECKMAN, 2006) y se ingresaron al COMSOL para definir el flujo de calor sobre cada superficie. EnergyPlus hace este cálculo internamente a partir de la información incluida en el archivo de clima.

Durante el monitoreo de la vivienda, se registró la temperatura superficial del suelo exterior a 5cm de profundidad, y a una distancia de 4m del prototipo. La Figura 3 compara esta temperatura medida del suelo, con la correspondiente simulada por COMSOL, observándose un buen ajuste entre ambas. Se consideró para la superficie del suelo un albedo de 0.25, una absorptancia de 0.75 y una emisividad de 0.9 (INCROPERA Y DEWITT, 1990).

La Figura 4 muestra la evolución de la temperatura del aire interior de la vivienda calculada con ambas plataformas de cálculo. Si bien se tiene un buen ajuste (Tabla 1), ninguno de los modelos reproduce las máximas temperaturas que aparecen fundamentalmente los días de cielo claro, de máxima radiación solar. En la descripción de la experiencia se especifica que las aberturas fueron cerradas a los efectos de no considerar ganancia térmica a través de ellas, sin embargo es probable que el cierre no fuera perfecto y efectivamente se haya producido una ganancia no despreciable principalmente los días de cielo claro, que no fue incluida en los modelos.

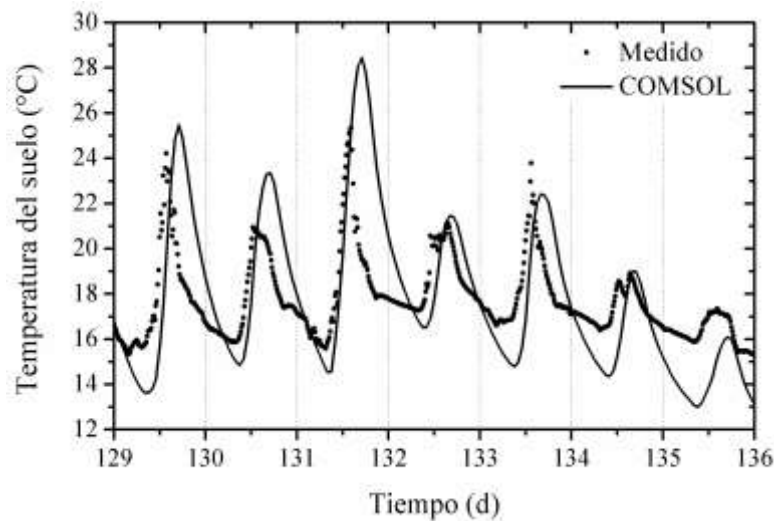


Figura 3: Temperatura del suelo medida y calculada con COMSOL

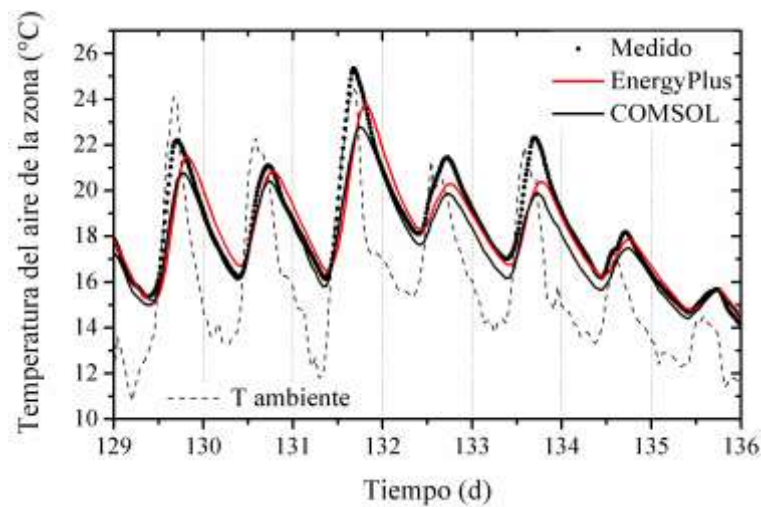


Figura 4: Evolución de temperatura de la zona, valores medidos y simulados.

Debido a que EnergyPlus considera que las temperaturas son uniformes sobre todas las superficies (transferencia unidireccional), se comparan la temperatura simulada con EnergyPlus con las temperaturas promedio medida y simuladas con COMSOL (Figura 5). La simulación con EnergyPlus presenta las mayores diferencias como puede verse en los valores de MRD y SE (Tabla 1), considerándose que el ajuste es bueno.

Tabla 1. Desviación relativa media (MRD) y error estándar (SE) entre valores de temperatura medidas y predichas.

	MRD		SE (°C)	
	ENERGYPLUS	COMSOL	ENERGYPLUS	COMSOL
T _{zona}	0.031923	0.037422244	0.013339903	0.960685465
T _{piso}	0.021854	0.013339903	0.469274	0.289690872

La evolución de la humedad relativa del aire interior de la vivienda simulada con ambas plataformas de cálculo se muestra en la Figura 6. Estas simulaciones sólo tienen en cuenta la influencia de las renovaciones de aire ya que no se consideró la transferencia de humedad en las paredes. A pesar de que la HR del ambiente fue mayor a 90% durante las noches, la humedad relativa (HR) de la zona no superó el 90% por lo cual no se produjo condensación. Esto se debe a la inercia térmica de la vivienda que mantiene la temperatura de la zona mayor a la temperatura ambiente. Podría estimarse el riesgo de condensación sobre las paredes o el techo analizando la temperatura de las superficies interiores. En la Figura 7 se muestra la evolución de las temperaturas simuladas, tanto de la zona como de las superficies internas de las paredes y del techo. EnergyPlus no predice grandes diferencias entre las temperaturas de las paredes y la temperatura de la zona, con lo cual no es probable la condensación. Sin embargo COMSOL predice mayores diferencias para el techo, hasta 3°C durante las noches y 6°C durante el día (principalmente los días de cielo claro). Debido a la alta humedad relativa del aire en la zona durante la noche (entre 70 y 85%), hay riesgo de condensación que deberá cuantificarse en trabajos futuros. Se requiere un análisis más detallado de esta

problemática que incluya el análisis de los coeficientes de transferencia de calor por convección interiores y exteriores usados por ambas plataformas.

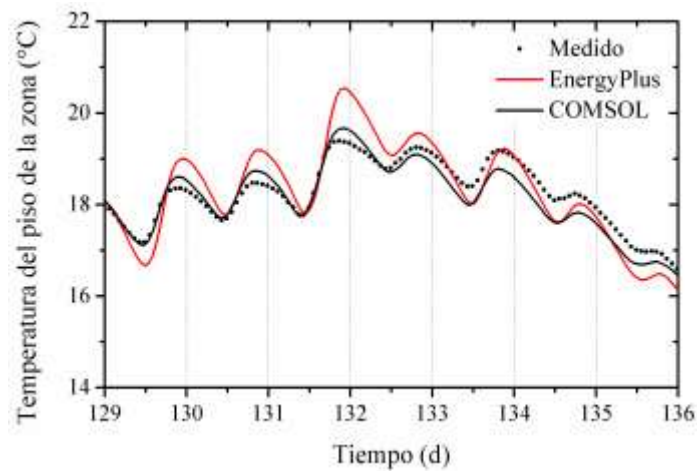


Figura 5: Evolución de temperatura del piso de la zona, valores medidos y simulados.

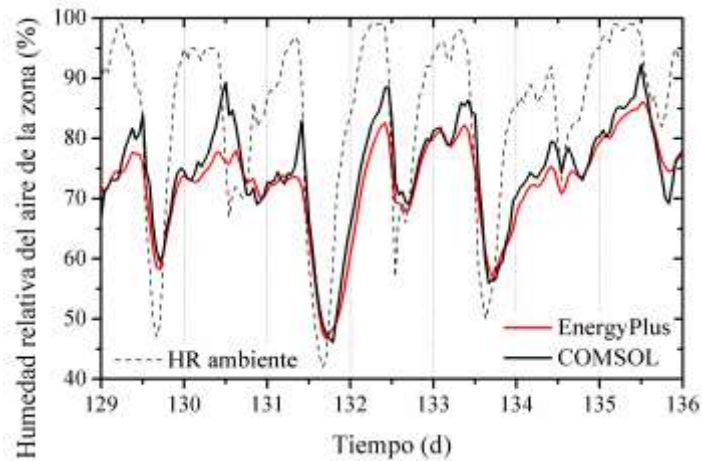


Figura 6: Evolución de la humedad relativa del aire de la zona, valores simulados.

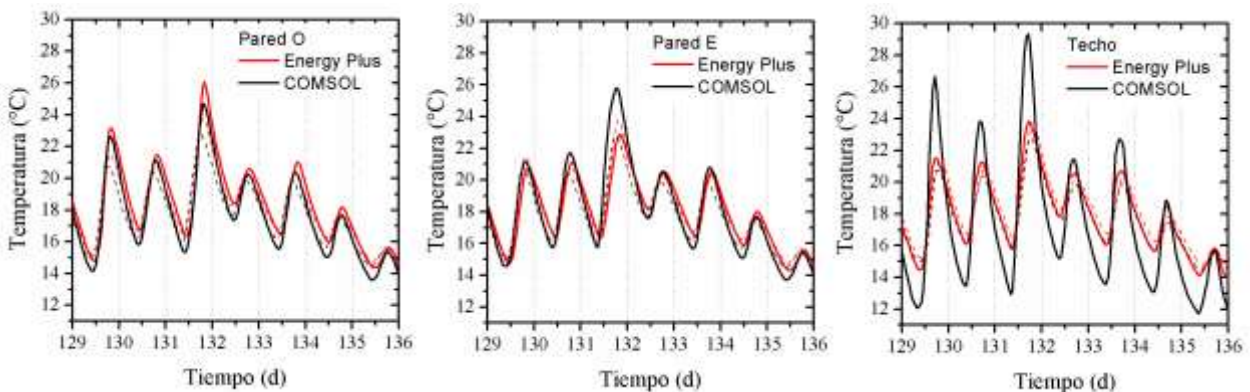


Figura 7: Evolución de temperatura en la superficie interior de las paredes y el techo y de la zona, valores simulados. Temperatura de la zona en líneas de punto

El modelo en 2D realizado con COMSOL permite analizar diferentes perfiles y distribuciones de temperatura en distintos momentos del día. En la Figura 8 (a) se muestran el eje x y las superficies del piso y del techo (en rojo), sobre las cuales se muestran las temperaturas simuladas, para diferentes tiempos durante el día 12 de mayo (día de máxima amplitud térmica): a las 0 hs, 8 hs, 12 hs y 18 hs. Puede verse que no son uniformes y que los mayores cambios ocurren, aproximadamente, a 0.3m de los bordes para el piso y a 0.2m para el techo. EnergyPlus considera que las temperaturas sobre todas las superficies son constantes, despreciando este efecto de borde. Esta simplificación podría no ser adecuada cuando se analicen zonas térmicas más pequeñas.

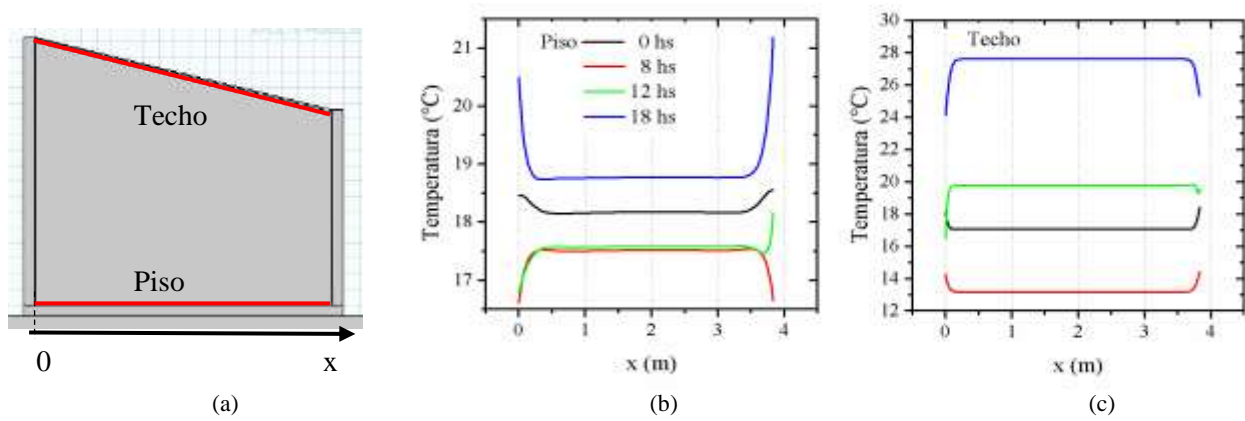


Figura 8: (a) Dirección x y superficies interiores del piso y del techo. Temperatura para distintas horas del día 12 de mayo (día 131) sobre (b) el piso y (c) sobre el techo

En la Figura 9 se muestra la distribución de temperatura en las paredes, techo y suelo para un día típico, cuando la temperatura de la zona toma valores extremos (durante el día y durante la noche).

En la Figura 10 se muestra el detalle de la distribución de temperatura en la esquina inferior derecha (Este) en estos mismos momentos. Esto es particularmente útil para analizar los puentes térmicos que se producen debido a las diferentes propiedades térmicas de los materiales usados y para el análisis del riesgo de condensación. La zona afectada por los efectos de borde es de

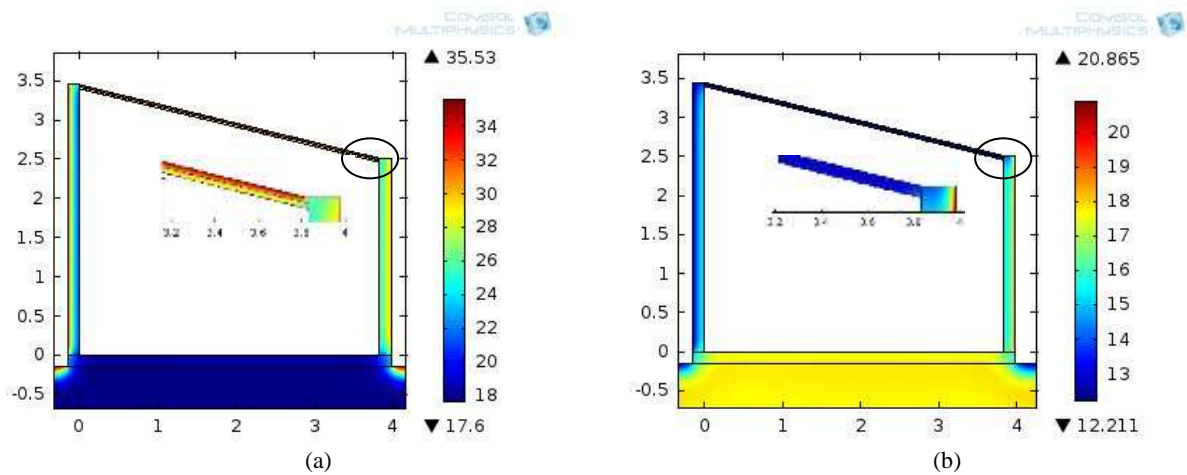


Figura 9: Distribución de temperaturas en paredes, techo y suelo, para dos momentos durante el día 131 (12 de mayo), cuando la temperatura de la zona es (a) máxima y (b) mínima

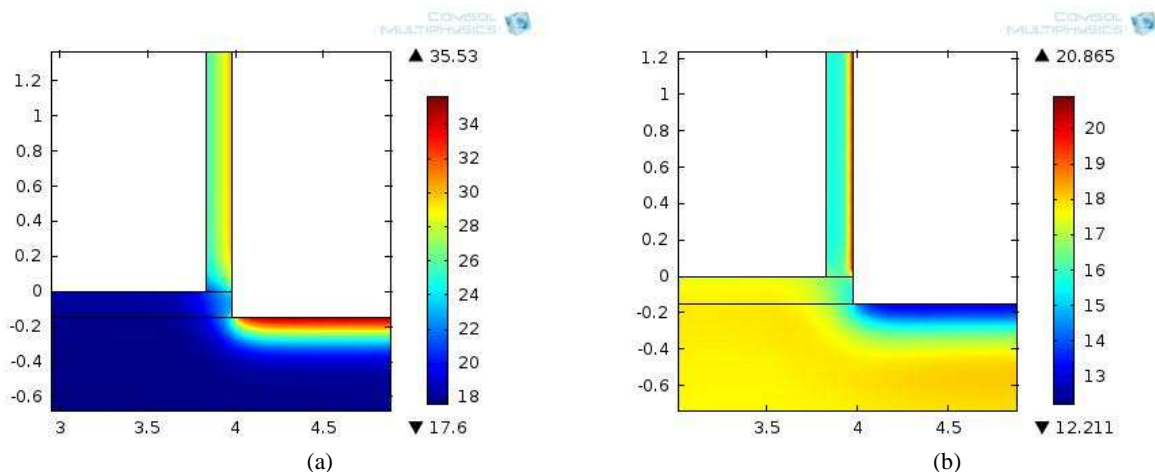


Figura 10: Distribución de temperaturas en el ángulo inferior izquierdo para dos momentos durante el día, cuando la temperatura de la zona es (a) máxima y (b) mínima

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos a partir de la simulación del comportamiento higrotérmico de una vivienda sencilla utilizando dos plataformas de cálculo: EnergyPlus y COMSOL Multiphysics. Se compara la temperatura de la zona y del piso con datos experimentales. Los resultados obtenidos para ambas aplicaciones son similares entre sí y aproximan razonablemente a las mediciones experimentales, a pesar de las características distintas de cada modelo. Las mayores diferencias se observan en la temperatura interior del techo. Esta pared es la más liviana y su comportamiento es muy dependiente de los coeficientes de transferencia de calor por convección interior y exterior.

EnergyPlus fue diseñado específicamente para la simulación energética de edificios, por lo tanto tiene restricciones respecto a las condiciones físicas que pueden simularse. Por ejemplo, no es posible incorporar una condición de tipo Dirichlet (temperatura impuesta sobre una superficie). Estas simplificaciones, inherentes al diseño de la aplicación (transferencias unidireccionales, balance global en cada zona, etc), son apropiadas para el estudio de viviendas o edificios altamente complejos ya que agilizan fuertemente el tiempo de cálculo. Resulta especialmente útil para profesionales vinculados con el diseño y construcción de viviendas a través de interfaces que simplifican su uso, ya que el entorno propio del EnergyPlus es poco amigable.

COMSOL permite un estudio mucho más detallado de los procesos de transferencia de calor y de masa, ya que es posible modelar en 2 y 3 direcciones, incluso en el aire de la zona (no realizado en este trabajo). Esta plataforma resulta de especial utilidad para el análisis de aspectos localizados de las construcciones (puentes térmicos, condensación de humedad, etc). La modelización completa de viviendas complejas requeriría de una gran potencia y tiempo de cálculo, así como un conocimiento más avanzado de los posibles usuarios sobre los procesos físicos involucrados.

Por lo tanto, ambas plataformas de cálculo ofrecen distintas potencialidades para el análisis energético de las construcciones según sea el objetivo que se desee alcanzar y, a su vez, pueden complementarse convenientemente cuando el problema así lo requiera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDOLSUNA, S., CULPA, H. C., HABERLA, J., WITTEB, M. J. "EnergyPlus vs. DOE-2.1e: The effect of ground-coupling on energy use of a code house with basement in a hot-humid climate". *Energy and Buildings* 43, 2011, pp.1663–1675
- AZQUETA, P. **Manual práctico del aislamiento térmico en la construcción. EPSPoliestireno expandido. Asociación Argentina del Poliéstireno Expandido (AAPE)**, 1era edición. 2014
- CORTÉS, A., BIELSA, M., GREPPI, O. Y LOPEZ, N. (2011). "Ordenanza Municipal N 8757". Municipalidad de Rosario. Disponible en: <https://www.rosario.gov.ar/normativa>. Recuperado el: 31/01/2016.
- CRAWLEY, D. B., LAWRIE, L. K., WINKELMANN, F. C., BUHL, W.F., JOE HUANG, Y., PEDERSEN, C.O., STRAND, R. K., LIESEN, R. J., FISHER, D. E., WITTE, M. J., GLAZER, J. "EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program" *Energy and Buildings* 33, 2001, pp. 319-331
- ENERGYPLUS. **EnergyPlus Engineering Reference**. The Reference to EnergyPlus Calculations. EnergyPlus, set., 2016.
- DUFFIE, J. y BECKMAN, W. **Solar Engineering of Thermal Processes**, 2006, third edition, John Wiley & Sons.
- FLORES LARSEN, Silvana. "Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación térmica de edificios EnergyPlus y SIMEDIF". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 15, 2011. Argentina. ISSN 0329-5184.
- GERLICH, V., SULOVSÁ, K., ZÁLEŠÁK, M."COMSOL Multiphysics validation as simulation software for heat transfer calculation in buildings: Building simulation software validation". *Measurement* 46, 2013, pp. 2003–2012
- INCROPERA, F. y DEWITT, D. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**, 6th Ed.,1990. John Wiley & Sons
- LANZETTI, A. **Acondicionamiento higrotérmico de edificios. Manual de aplicación LEY 13059**. Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires, La Plata (Argentina). 2010
- MERCADO, M., ESTEVES, A. Y FILIPPÍN, C. "Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina". *Ambiente Construido*, Vol. 10(2), 2010, pp. 87-100.
- WOODS, J., WINKLER, J, and CHRISTENSEN, D. **Evaluation of the Effective Moisture Penetration Depth Model for Estimating Moisture Buffering in Buildings**, NREL/TP-5500-57441, 2013b.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Silvana Flores Larsen del INENCO (UNSa/CONICET) por su disposición y desinterés en compartir los datos experimentales de su investigación publicada en "Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación térmica de edificios EnergyPlus y SIMEDIF", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 15, 2011.