

## **SIMULACION POR EQUEST DE UNA CELDA DE ENSAYO AL EXTERIOR PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGETICA DE COMPONENTES DE EDIFICIOS**

**María E. Soldatti, Norberto S. Odobez, Carlos Godoy**

Centro CEA (Centro de I + D en Energía y Ambiente), Facultad Regional Delta; Universidad Tecnológica Nacional. San Martín 1171 - Campana C.P. 2804 - Buenos Ares  
Tel. 03489-420400. Int. 5111 e-mail: soldattm@frd.utn.edu.ar

*Recibido 20/08/19, aceptado 25/10/19*

**RESUMEN:** La creciente necesidad del uso de materiales de diferentes valores de coeficiente global de transferencia de calor ( $U$ ), para la composición de componentes de envolventes de edificios, nos obliga a conocer con certeza ese valor  $U$ . Para la aplicación de normas, como las incluidas en el Decreto 1030/10 –Ley 1305 de la provincia de Buenos Aires, entre otras. Para este fin el centro CEA cuenta con una celda de prueba al exterior que permite determinar  $U$ . Dado la complejidad de construir componentes de diferentes materiales, su disponibilidad, y costos; se optó por parametrizar la celda en el programa eQuest y utilizar éste antes de construir el componente y colocarlo en la celda. De esta forma se realizará la construcción cuando hay una certeza de su ventaja en el uso, en relación a la eficiencia energética. Así se validó esta parametrización realizando diferentes pruebas, comparando los valores de temperatura interna y los flujos medidos en la zona de ensayo. Luego se comparó el consumo de energía para cada componente simulado, observando una relación coherente entre los valores de transmitancia térmica y los consumos energéticos en la celda, lo que determina la validación de este método aplicado.

**Palabras clave:** Simulación, celda de ensayo, eficiencia energética, componentes de edificios

### **INTRODUCCIÓN**

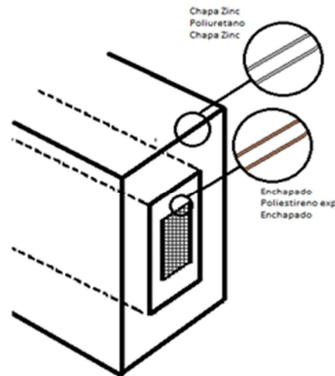
El uso de un Celda de Ensayos al Exterior Delta, "CEED", diseñada como un instrumento para la evaluación en exteriores de las características termofísicas de muestras a escala real de componentes para la construcción. (PH. Baker, H.A.L. van Dijk, 2008), permite caracterizar muros (el valor del coeficiente global de transmisión del calor  $U_A$ ) y ventanas (el valor  $U_A$  más el valor de ganancia solar  $g$ ) bajo condiciones reales de exposición o funcionamiento. (Jensen, S. Ø. 1995).

Esta Celda está compuesta por una cámara ubicada dentro de otra cámara, concepto de DOBLE ENVOLVENTE ATEMPERADA. A la cámara interior la llamamos Zona de Ensayo (ZE) y al espacio entre la cámara interior y la cámara exterior lo llamamos Zona de Guarda (ZG) (Figura 1), la cual está climatizada por un equipo "frío – calor" del tipo Rooftop, marca Surrey de 3TR.

Ambas cámaras comparten una cara, en nuestro caso, que estamos en el hemisferio sur, es la cara norte. Esta cara compartida es intercambiable y es en la cual se coloca el espécimen (componente constructivo) a ensayar. (Figura 1).

La cara norte (Figura 2 y Figura 3) tiene la particularidad de estar compuesta por dos estructuras, una exterior y linder a la zona de guarda, construida como el resto de la celda con paneles prefabricados de chapa galvanizada prepintada, corazón de poliuretano y chapa galvanizada prepintada de espesor 50mm y otras que están en contacto con la zona de ensayo cuyas características son: capa exterior e interior de fenólico contra enchapado de espesor 0,015 m y con un relleno de 0,2 m de poliestireno (telgopor). Ambas zonas son removibles según el ensayo a realizar, la interior tiene una medida

estándar, para el ensayo de ventanas de 1,48 m de alto por 1,28 m de ancho, o un componente opaco. También se podría colocar utilizando toda el área expuesta al exterior.



*Figura 1: Esquema de la cara norte con su doble característica*

Dicho esto, el componente a ensayar se coloca en la cara norte. Teniendo en cuenta que construir un componente que tenga diferentes capas de materiales con diferentes valores de U, ya sea apartir de los datos de conductividad informados por fabricantes o normas, determinar su prestación hacia el ahorro de energía en un edificio, sería en muchos casos complejo o costoso. Si uno quiere variar en forma rápida los diferentes componentes, se pensó optar por la alternativa previa de hacer la simulación del uso de este componente con el programa eQuest, (eQuest versión 3-7) (2014) como si fuera colocado en la celda, y luego de obtener la certeza de que puede ser un componente de valor para el ahorro de energía, hacer la construcción y determinar, colocándolo en la celda, el valor real de U en condiciones ambientales reales de uso.

#### *Información sobre la Celda*

Ubicación física y geográfica: La celda se encuentra a una altura de 8 m, en la parte superior del edificio del Centro CEA de la Facultad Regional Delta. Ubicación geográfica: Latitud: -54,178 Longitud: -58,961, como se observa en la Figura 2.



*Figura 2: Foto de la Facultad Regional Delta donde se puede ver la celda CEED*

Equipo HVAC: Se trata de una Unidad Rooftop con calefacción por Bomba de Calor, con capacidad nominal de 3 TR. El mismo ofrece una SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratios) (Eficiencia de

Energía Estacional) de 10.0. El objetivo del equipo HVAC instalado es mantener en la zona de guarda una temperatura constante de 20°C, sea cual fuere la temperatura del ambiente exterior, figura 4.



Figura 3: Vista de la Cara Norte



Figura 4: Vista General del Equipo HVAC

## PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN

Se definieron los parámetros de la simulación, teniendo en cuenta, el archivo climático anual, la envolvente (dimensiones, diseño y los materiales de construcción), el HVAC, las cargas y el schedule (cronograma de trabajo de la celda).

Archivo climático: se utilizó el de nuestra estación meteorológica (<http://meteo.frd.utn.edu.ar/>), previo proceso de configuración a la extensión solicitada por el programa, .bin. Tomando en cuenta luego solamente el período de ensayo real.

Equipo HVAC: El equipo de HVAC se modeló como RESYS2, en el mismo encontramos todas las características del Equipo Surrey de 3TR.

Cargas: Las cargas de calor latente fueron consideradas nulas en la ZE, no así las sensibles dado que se colocó un equipo calefactor con una resistencia eléctrica controlada. En la ZE se consideró una infiltración mínima, resultado de una ecuación que interviene, una constante más una variable dependiente del viento (valor nulo), más una variable por diferencia de temperatura. Resultando en un valor variable según la diferencia de temperaturas. Para la ZG, se consideraron nulas las cargas latentes y sensibles. Se consideró además una infiltración por la puerta de acceso exterior, ubicada en la pared sur de la celda.

Schedule: Se definieron los respectivos cronogramas para la ocupación de ZE y ZG, vacíos; ventilador, para la ZG, refrigeración (constante en 20°C), calefacción (constante en 20°C), para el período de ensayo especificado.

Ajuste de temperaturas:

ZE: Zona No acondicionada. Temperatura de diseño frío=temperatura de diseño calor = 75,5°F = 24 °C

ZG: Acondicionada. Temperatura de diseño frío = temperatura de diseño calor = 20°C = 68 °F

Envolvente: Con las dimensiones expresadas en la Tabla 2, se dimensionó la forma rectangular de la planta de la ZG con su respectiva altura y posteriormente lo mismo para la ZE teniendo en cuenta las coordenadas de posición relativas.

Se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Las paredes de la ZG son consideradas exteriores, a las cuales se les incluye el techo y el piso.

- El piso de la ZG se encuentra sometido a las condiciones ambientales, el mismo se encuentra apoyado en cinco hileras de ladrillo de 25 cm. de alto. Esto hizo que al definir el piso fuera necesario agregarle una resistencia adicional.
- Todas las paredes, incluso pisos y techos, fueron creadas en el modo de capas, lo que implica que tienen inercia térmica.
- La puerta de acceso, también fue creada de la misma manera, pero teniendo en cuenta la infiltración sugerida por la norma Ashrae para puertas con burletes, (coeficiente: 2,4).
- Las paredes este, oeste, sur y las superficies de piso y techo de la ZE, fueron definidas como paredes interiores, con ello el programa asume que no recibe radiación teniendo además el coeficiente de convección diferente.

Existe un toldo que protege la pared sur de la ZG, el cual también fue incluido y un cobertor del techo de la ZG y la Cara Norte compartida por ambos ambientes.

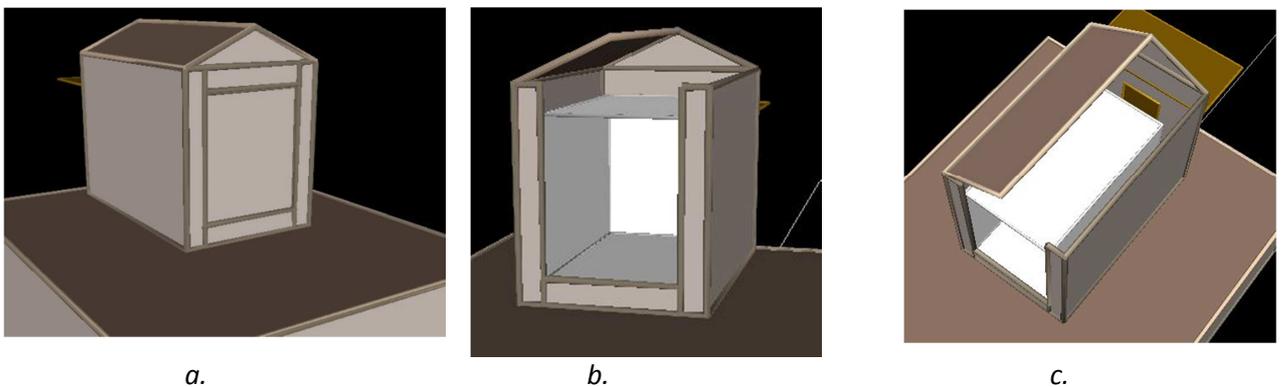


Figura 5 a, b y c: Esquemas abiertos de la Celda en el Simulador.

## METODOLOGIA

La celda de ensayo fue mejorada en sus prestaciones desde los últimos trabajos presentados, dado que se logró instalar en las paredes interiores de la zona de ensayo, sensores de flujo de calor que fueron diseñados, fabricados y calibrados por el centro CEA, Odobez N.S. et.al. (2017), de esta manera se puede conocer los flujos de calor que se intercambian entre la zona de ensayo (ZE) y la zona de guarda(ZG) y también se colocaron en la cara norte, que es donde se colocará el espécimen a ensayar. Ver figura 6



Figura 6: Sensores de flujo aplicados sobre la zona de ensayo

Por otro lado, se colocó en el interior de la zona de ensayo un equipo calefactor provocando de esta manera una generación de energía adicional en su interior. El mismo es con una forma de pulso que va desde los 50W (solo el aporte del motor del ventilador de recirculación), hasta los 250W en promedio, que es cuando se hace funcionar la resistencia eléctrica, de forma automática. Con esto lo que se quiere lograr, es provocar un cambio de temperaturas en el interior para que se genere un desacople de

la temperatura que se genera en el interior en relación a la que ingresa de la cara norte que es la que está en contacto directo con el exterior.

En estas condiciones la metodología empleada consistió en hacer funcionar la celda, por un período de una semana desde el 10 de abril al 17 de abril de 2019, se midieron las variables de trabajo con un registrador de datos AGILENT 34980A. Los mismos fueron: los valores de temperatura en la zona de ensayo (ZE), siete sondas de temperatura de aire y seis de superficie en las caras, en la ZG se colocaron sensores de temperatura de superficie en las paredes interiores y techo que es, al exterior de la ZE, y tres sensores de temperatura de aire en las caras este, oeste y sur. Los valores de flujo de calor en las cinco caras de la zona de ensayo, como se muestran esquemáticamente los grupos en cada cara, en la figura 7.

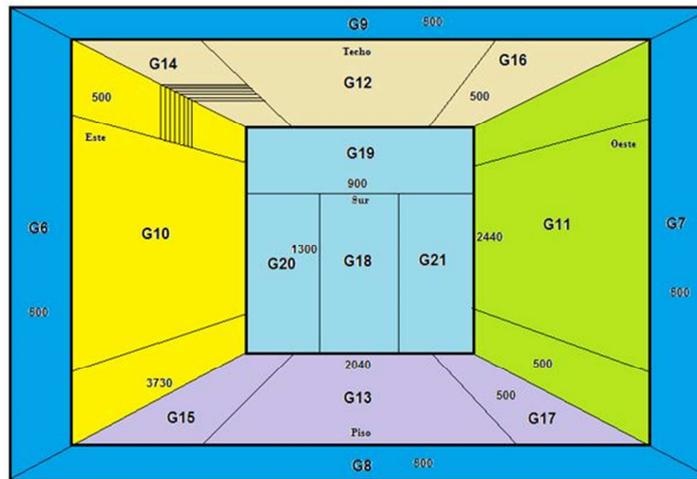


Figura 7: Esquema de la distribución de los grupos de sensores

También se midieron los valores de temperatura superficial interior y exterior y los flujos de calor en tres puntos de la cara norte.

De esta forma se midieron y obtuvieron todos los datos necesarios para comparar con las condiciones de parametrización realizada de la celda en el programa eQuest.

La segunda etapa entonces consistió en parametrizar toda la celda, con las nuevas condiciones, en el programa eQuest; mediante la entrada de todos los datos requeridos por el software como son los que corresponden a la envolvente del edificio (los materiales que conforman la envolvente), las cargas y el equipo de climatización, los datos de clima y la carga interior.

La carga interior en la ZE, especifica el peso compuesto del piso, el mobiliario (en nuestro caso prácticamente nulo) y las paredes interiores de un espacio dividido por el área del piso del espacio. Este valor de entrada determina los factores de ponderación asociados con el espacio. Los valores más altos dan un tiempo de retraso más largo entre las ganancias de calor y las cargas de enfriamiento resultantes, y una mayor amortiguación de las cargas máximas.

Una vez parametrizado, lo que se realizó, fue comparar los valores medidos con los valores simulados de las variables que nos pueden dar certeza de que la simulación y la parametrización es comparable con la realidad medida.

Luego de varias corridas del programa, se fueron ajustando por ejemplo los valores de emisividad.

Surface	Emissivity
Aluminum sheet	0.12
Steel, galvanized, bright	0.25
Regular glass	0.84
Building materials (wood, masonry, non-metallic paints)	0.90

\* From 1985 ASHRAE Fundamentals, p.23-5

Figura 8. Tabla de emisividades del eQuest.

Los que permitieron llegar a un ajuste final aceptable, que se muestran en los parámetros de flujo de las cinco caras de la ZE y la temperatura interior de la ZE., etc.  
Ver figuras 9 y 10 respectivamente.

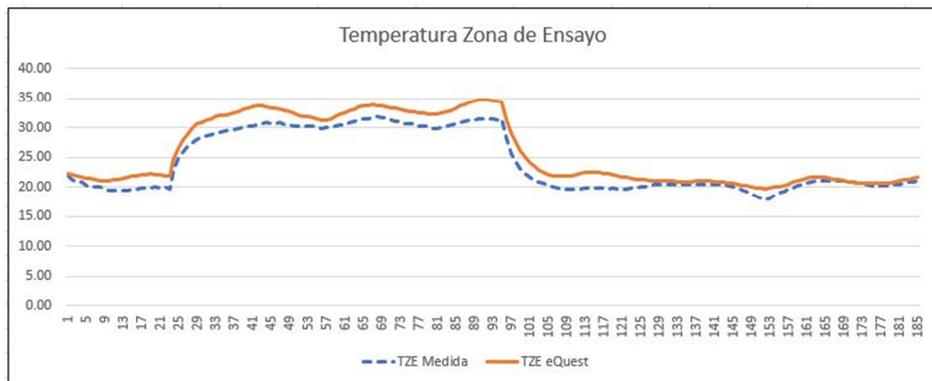


Figura 9: Temperaturas en la Zona de Ensayo

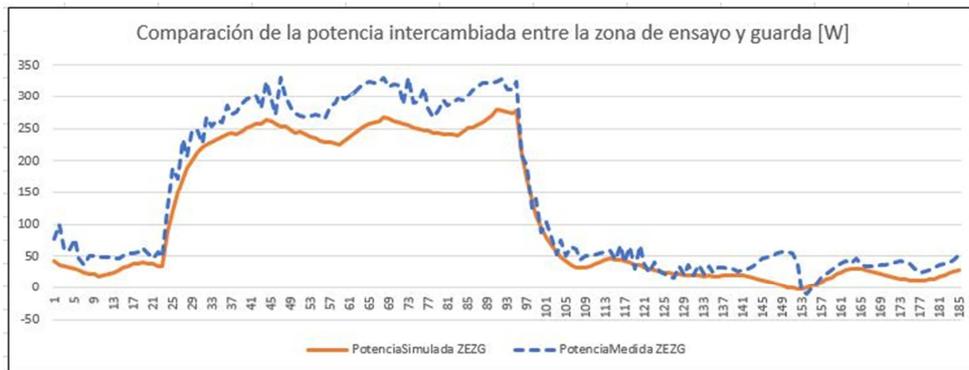


Figura 10: Comparación de la potencia intercambiada.

En este estado de situación, con la certeza que la simulación refleja la operatoria de la celda, es que podemos ahora hacer modificaciones sobre la cara norte y colocar de forma simulada diferentes componentes de diferentes valores de transmitancia de calor U (Figura 11) y determinar, por medio de los valores del consumo que nos suministra el Equipo HVAC, el potencial ahorro de energía que se obtendría con estos componentes.

<p><b>Fenólico-Telgopor-Fenólico</b></p> <p>Surface Construction Parameters</p> <p>Construction: <b>MuroOpacoNorte Const</b></p> <p>Specification Method: <b>Layers Input</b></p> <p>Calculated U-Value: <b>0.026</b> Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F</p> <p>Surface Roughness: <b>1</b></p> <p>Ext. Color (absorpt.): <b>0.200</b></p>	<p><b>Una pulgada de Fenólico</b></p> <p>Surface Construction Parameters</p> <p>Construction: <b>C FenólicoSfino SinCort</b></p> <p>Specification Method: <b>Layers Input</b></p> <p>Calculated U-Value: <b>0.410</b> Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F</p> <p>Surface Roughness: <b>3</b></p> <p>Ext. Color (absorpt.): <b>0.780</b></p>	<p><b>Ladrillo hueco revocado</b></p> <p>Surface Construction Parameters</p> <p>Construction: <b>C LHuecosinCort</b></p> <p>Specification Method: <b>Layers Input</b></p> <p>Calculated U-Value: <b>0.300</b> Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F</p> <p>Surface Roughness: <b>3</b></p> <p>Ext. Color (absorpt.): <b>0.700</b></p>
<p><b>Stucco</b></p> <p>Surface Construction Parameters</p> <p>Construction: <b>Cons_EWallStuccoGar</b></p> <p>Specification Method: <b>Layers Input</b></p> <p>Calculated U-Value: <b>0.435</b> Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F</p> <p>Surface Roughness: <b>1</b></p> <p>Ext. Color (absorpt.): <b>0.600</b></p>	<p><b>GreenHouse</b></p> <p>Surface Construction Parameters</p> <p>Construction: <b>Cons_EWallGH</b></p> <p>Specification Method: <b>U-Value Input</b></p> <p>Overall U-Value: <b>1.100</b> Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F</p> <p>Surface Roughness: <b>6</b></p> <p>Ext. Color (absorpt.): <b>0.700</b></p>	

Figura 11: Valores de transmitancia de calor U de los componentes simulados

## RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

En la tabla 1 y figura 12 se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con los diferentes materiales colocados en la cara Norte de la celda. Observando las diferencias de consumos de energía que se producen en el sistema HVAC, las cuales son coherentes con los diferentes valores de la transmitancia U.

Consumo de energía:

	Original	Fenolico 1"	Stucco	Ladrillohueco	MassLess
Refrigeración	5.98	7.86	7.06	6.22	8.27
Calefacción	2.78	3.74	3.76	2.45	4.01
Ventiladores	2.36	3.11	2.89	2.36	3.29
Auxiliares	0.6	0.59	0.58	0.58	0.59

Tabla 1: Consumos energéticos según material, expresados en KWh.

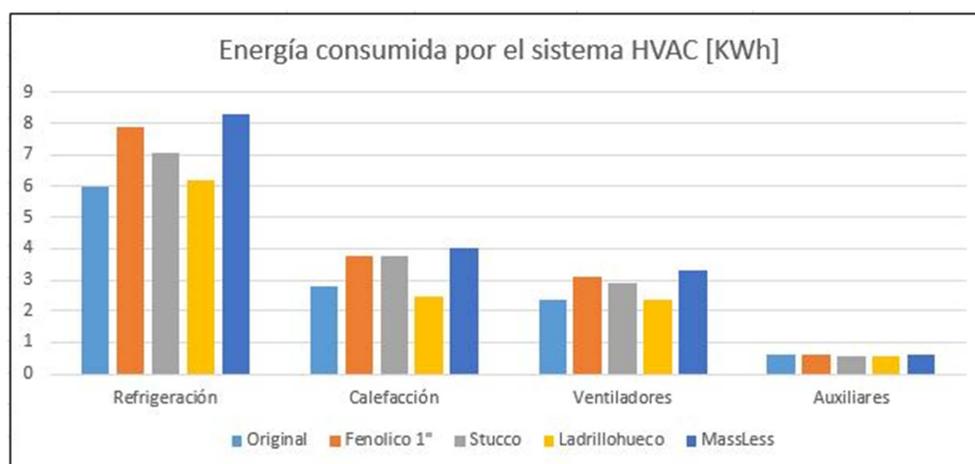


Figura 12: Gráfico comparativo de los consumos discriminados.

## CONCLUSIÓN

Se logró parametrizar la celda CEED con todos los nuevos elementos incorporados como fueron la potencia adicional en la zona de ensayo y los sensores de flujo tanto en las cinco paredes interiores de la zona de ensayo de la celda y el componente de la cara norte. Además de los ajustes correspondientes sobre los otros elementos constructivos y de medición con que contaba la celda.

De esta forma se pudo simular, logrando obtener entre los valores medidos y simulados que se corresponden entre sí y aseguran la parametrización correcta.

Luego realizando la simulación de los nuevos componentes colocados en la cara norte, los cuales tienen características constructivas diferentes y también un coeficiente de transferencia de calor menor al de la cara original de parametrización, se pueda comprobar que el consumo de energía, al funcionar la celda se modifica de forma coherente a los esperado en relación a la diferencia en la capacidad térmica de los componentes simulados, como lo muestra la tabla 1. Logrando de esta forma el objetivo planteado de contar con una herramienta de simulación para realizar los análisis previos de los componentes a ensayar en el futuro con la celda.

## REFERENCIAS

- PH. Baker, H.A.L. van Dijk. (2008) "PASLINK and dynamic outdoor testing of building components" Building and Environment . Vol 43. pp.143-151.
- Jensen, S. Ø. (1995). Validation of building energy simulation programs: a methodology" Energy and Building Vol 22. 133-144
- Odobez N.S., García Ebbens C.A., Soldatti M. E., Godoy C., Taddei E. (2017) "Diseño, fabricación y calibración de sensor para la medición de flujo de calor en superficies" XL Reunión de Trabajo de

**EQUEST SIMULATION OF AN EXTERNAL TEST CELL  
FOR THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDING  
ELEMENTS**

**ABSTRACT**

The growing need for the use of materials of different values of global heat transfer coefficient (U), for the composition of building envelope components, forces us to know with certainty that U value. For the application of standards, such as those included in Decree 1030/10 - Law 1305 of the province of Buenos Aires, among others. For this purpose, the CEA center has an external test cell that allows U to be determined. Given the complexity of building components of different materials, their availability, and costs; it was decided to parameterize the cell in the eQuest program and use it before building the component and placing it in the cell. In this way the construction will be carried out when there is a certainty of its advantage in use, in relation to energy efficiency. Thus, this parameterization was validated by performing different tests, comparing the internal temperature values and the flows measured in the test zone. The energy consumption for each simulated component was then compared, observing a coherent relationship between the thermal transmittance values and the energy consumption in the cell, which determines the validation of this applied method

**Keywords:** Simulation, test cell, energy efficiency, building components