

DESARROLLO DE UN COMPILADOR GRÁFICO PARA LA DEFINICIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Sarabia-Escrivà, Emilio-José^{1*}, Soto-Francés, Víctor¹ y Pinazo-Ojer José-Manuel¹

1: Dpto. Termodinámica Aplicada, Universitat Politècnica de València
e-mail: emsaes@upv.edu.es

Resumen: *La implementación de la metodología de Modelado de Información de Construcción (BIM) ha supuesto un avance significativo en la eficiencia del intercambio de información en el sector de la construcción, facilitando la colaboración entre arquitectos, ingenieros, fabricantes, gestores y propietarios. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, se han identificado desafíos, especialmente en la interoperabilidad entre distintas aplicaciones, lo que ha llevado a la necesidad de que los técnicos definan la geometría y añadan datos adicionales para completar el modelo energético del edificio.*

Este trabajo describe el desarrollo de un compilador gráfico que utiliza planos en 2D generados por herramientas CAD para describir el modelo energético del edificio. En muchos casos esta dinámica significa una ventaja productiva dada la mayor destreza de muchos profesionales con las aplicaciones del tipo CAD, en comparación con BIM. El compilador utiliza reglas claras y simples, como definir los contornos de las zonas con polilíneas y las ventanas/puertas con líneas. Las zonas pueden identificarse con nombres también desde CAD. El algoritmo permite reducir significativamente el tiempo requerido para definir el modelo energético del edificio.

Palabras clave: BIM, BEM, simulación energética, CAD.

1. INTRODUCCIÓN

La definición de la envolvente térmica es uno de los procesos más laboriosos en la definición del modelo energético del edificio (BEM), necesario para diferentes análisis térmicos: cálculo de cargas, simulación energética o certificación energética, entre otros. El desarrollo de las tecnologías de la información ha traído la metodología BIM, cuyo objetivo es compartir un modelo de construcción común entre los diferentes participantes en la construcción de edificios. C. Eastman en 1975 [1] describió el potencial de las computadoras en la industria de la construcción y en 2008 [2] describe el concepto actual de BIM, analizando las implicaciones de esta metodología en cada sector de la construcción: propietarios, gestores de instalaciones, arquitectos, ingenieros, fabricantes, etc.

Esta evolución ha requerido el desarrollo de formatos de intercambio de datos, un lenguaje común como base para la metodología BIM. El IFC es un formato de archivo abierto creado para mejorar la interoperabilidad en aplicaciones del sector de la construcción. Este formato permite definir información sobre el ciclo de vida del edificio y sus sistemas. El problema del formato IFC es que contiene mucha información no necesaria para aplicaciones de modelización energética de edificios (BEM). Además, la información en ocasiones presenta problemas: información incompleta, falta de precisión en algunas definiciones, etc. Existe una literatura muy extensa sobre los problemas de interoperabilidad entre aplicaciones BIM y BEM. Uno de los problemas principales del formato IFC es que su definición geométrica no es directamente transferible a software energético debido a la complejidad del diseño, errores geométricos, imperfecciones en el software de exportación, entre otros. Por lo tanto, muchos desarrolladores de software resaltan la necesidad de crear algoritmos para interpretar y simplificar la geometría para aplicaciones energéticas. Bastos et al. [3] muestran con ejemplos las discrepancias entre el modelo definido en Revit (BIM) y el modelo que finalmente se utiliza en el software de simulación térmica DesignBuilder, Open Studio y CYPETHERM (BEM). Concluyen que "la interoperabilidad BIM-BEM todavía tiene muchas deficiencias" y "el estado actual del arte no está listo para ahorrar tiempo y costos". Fernald et al. [4] estudiaron el flujo de trabajo de BIM a BEM utilizando tres herramientas de simulación energética: OpenStudio, Entorno Virtual e Insight 360 utilizando el formato gbXML. Concluyen que "la cantidad de tiempo y esfuerzo invertidos en corregir las traducciones automáticas anulan la intención de ahorrar tiempo frente a la creación de nuevos modelos".

Teniendo en cuenta las dificultades existentes en la interoperabilidad BIM-BEM, en este estudio se propone un método para la definición del modelo energético del edificio partiendo de planos definidos en formato CAD.

2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO BEM DESDE CAD

2.1. Flujo de trabajo

El compilador gráfico es un algoritmo que interpreta la información definida en archivos DXF [5] y la transforma en una salida de datos que define el modelo energético del edificio (BEM). Para ayudar al usuario a gestionar el compilador, este ha sido integrado en la herramienta GENERA3D [6], Figura 1. GENERA3D es una interfaz de usuario que permite la definición del archivo de configuración del compilador. Este archivo especifica: los archivos DXF que definen las plantas, su elevación respecto a la cota de terreno, la altura del último piso (la altura de las plantas intermedias se calcula mediante la diferencia de elevación entre una y la siguiente), la altura de las ventanas y la altura de éstas respecto a su cota. GENERA3D permite la visualización del modelo 3D generado del edificio y la modificación de los datos del modelo energético.

Desde GENERA3D se puede exportar el modelo BEM a diferentes aplicaciones térmicas para simular el edificio con EnergyPlus o certificar el edificio HULC (la herramienta de certificación oficial española). Cada software de simulación energética tiene un modelo energético de edificio diferente y un formato de archivo diferente, mientras EnergyPlus utiliza el formato IDF [7], HULC utiliza un formato XML particular y define la geometría del edificio en el lenguaje de descripción de edificios (BDL) [8].

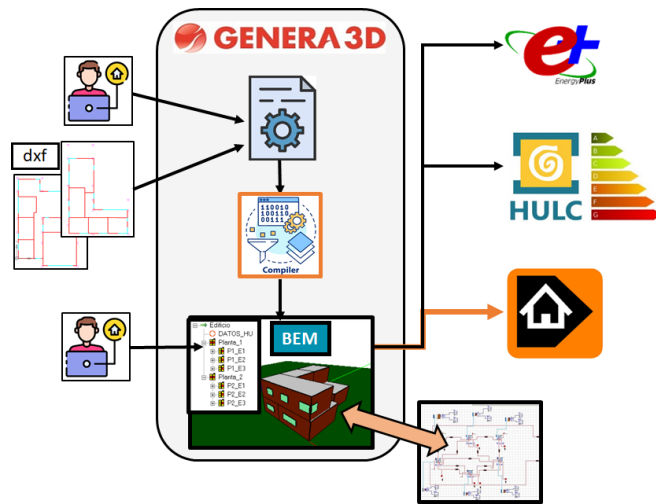


Figura 1. Flujo de trabajo con el compilador gráfico.

2.2. Lenguaje CAD

El uso de software CAD ofrece varias ventajas respecto a las aplicaciones BIM a la hora de definir el BEM. Los profesionales generalmente están más familiarizados con las herramientas CAD y requieren menos formación y preparación para usarlas. Por otro lado, la mayoría de profesionales no tienen conocimientos de BIM y el manejo de estas aplicaciones requiere mayores recursos informáticos. Para simplificar el proceso de definición y poder hacerlo más sencillo y productivo desde el punto de vista profesional, es necesario que la definición del edificio se realice en 2D.

El lenguaje CAD utilizado para especificar la envolvente se resume en la Tabla 1. Cada planta del edificio se define en un archivo independiente de formato DXF y con representación en 2D. El lenguaje consta de tres componentes CAD principales: Líneas (Lines), Polilíneas (LWPolylines) y Texto Multilínea (Mtext). Las capas sirven para especificar los elementos del documento que debe interpretar el compilador. El algoritmo emplea esta información para construir el modelo energético del edificio, lo cual requiere una construcción en 3D de la envolvente del mismo y las conexiones existentes entre los diferentes elementos y zonas que lo componen para poder establecer los intercambios de energía entre ellos. A continuación, se indica cómo se definen los elementos constructivos en la definición CAD.

Tabla 1. Resumen del lenguaje CAD.

Elemento constructivo	Elemento CAD	Capa CAD
Zona térmica	LWPolyline	"LIDER"
Ventanas y puertas	Line	"V_LIDER"
Identificador de zona	Mtext	"TEXTO_LIDER"

Las zonas térmicas se definen mediante elementos LWPolyline en la capa "LIDER". El elemento polilínea define el límite térmico de la zona. Esto permite al algoritmo identificar bordes compartidos entre zonas térmicas, estableciendo así paredes internas y externas en cada una de ellas.

Las ventanas y puertas se definen utilizando líneas en una capa llamada "V_LIDER [altura de la ventana][altura del alféizar]". En 2D, las líneas indican la posición y anchura de la ventana. Los parámetros entre corchetes indican la posición de la ventana en altura, donde el primer valor denota la altura de la ventana y el segundo valor representa la altura del alféizar respecto a la cota de la planta.

El elemento Mtext en la capa "TEXTO_LIDER" se utiliza para la identificación desde CAD de las zonas con nombres (es opcional, el programa asigna nombres por defecto en caso de no ser identificada la zona). El algoritmo une los espacios que tengan el mismo nombre.

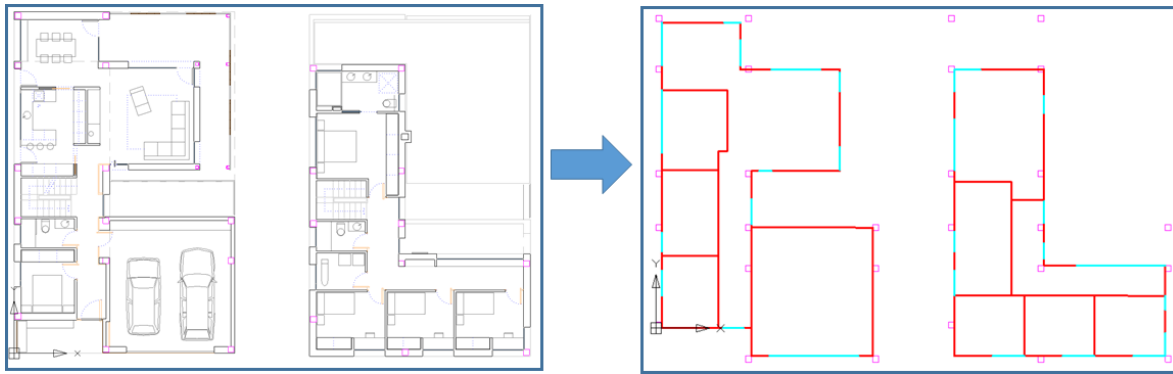


Figura 2. Definición de dos plantas para la entrada de datos del compilador.

2.3. Reconocimiento topológico y construcción del modelo energético

Para la construcción del BEM a partir de la información CAD, el algoritmo sigue los pasos que se indican a continuación:

- Lectura de la información de entrada en 2D y estructuración jerárquica de plantas y locales.
- Corrección de errores de definición del usuario: repetición de vértices, orientación de las polilíneas, existencia de polilíneas superpuestas y problemas de asignación de huecos en cerramientos.
- Identificación de cerramientos verticales. Este proceso implica convertir las aristas de la polilínea que define la zona en paredes 3D. Cuando existen aristas comunes entre polilíneas indica la existencia de paredes interiores, de lo contrario se definen las paredes como exteriores, Figura 3. Las todas las superficies verticales se definen con la normal hacia el exterior del volumen de la zona.

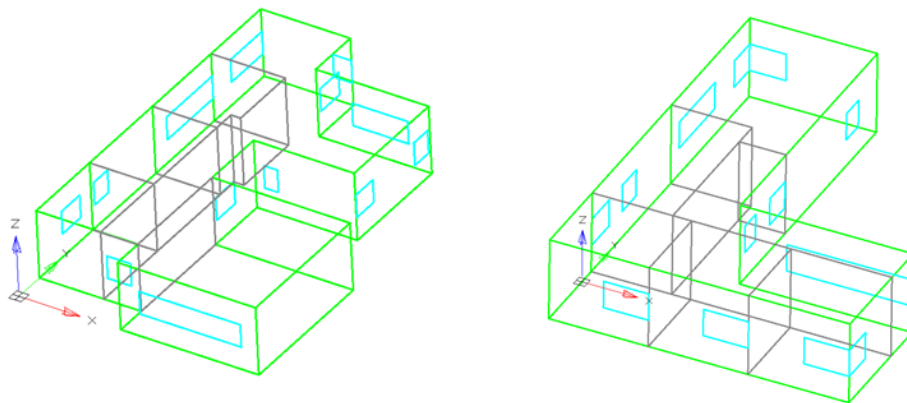


Figura 3. Construcción de superficies verticales. Gris: paredes interiores, verde: paredes exteriores.

- Construcción de las ventanas sobre las paredes verticales teniendo en cuenta la altura y la elevación del alféizar definidas en el nombre de la capa. Alternativamente, para ventanas sin estos datos, se asignan los valores por defecto.
- Intersección entre plantas para la definición de forjados interiores y exteriores. Para el cálculo de las intersecciones entre polígonos se ha utilizado una biblioteca desarrollada por A. Johnson [9] en base al algoritmo definido por B. Vatti en [10]. La figura 4 muestra el resultado de la intersección entre las dos plantas que definen el ejemplo. En este caso los polígonos de color naranja representan los forjados interiores y los verdes los exteriores.

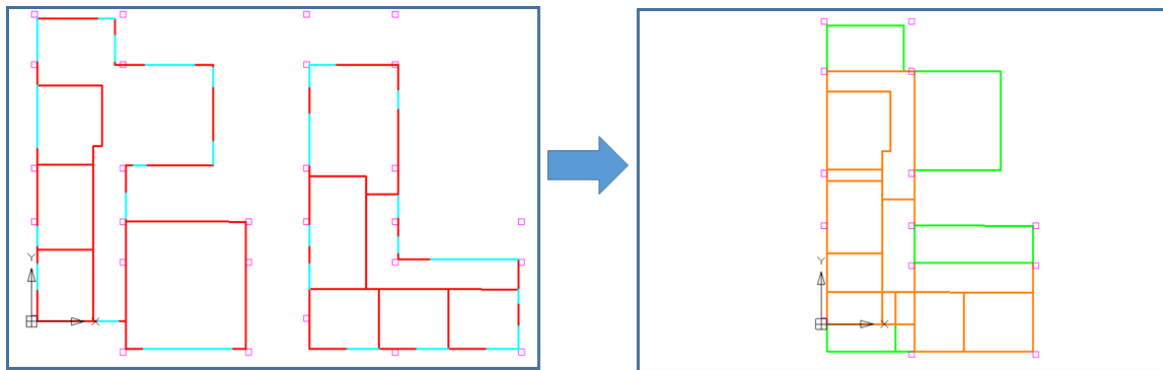


Figura 4. Intersección de polígonos entre plantas para determinar forjados interiores y exteriores.

3. APLICACIÓN DEL COMPILADOR EN DIFERENTES EDIFICIOS

Para evaluar la eficacia del algoritmo en minimizar los componentes necesarios para definir la estructura de un edificio, se emplearon tres tipos distintos de edificios: una casa unifamiliar, un edificio terciario de tamaño mediano y un hotel, Figura 5.

- La casa unifamiliar tiene un área total de 243 m², compuesta por dos plantas con un total de once habitaciones: cinco en el primer piso y seis en el segundo.
- El edificio terciario tiene un área de 730 m² y un total de 30 habitaciones (16 en el primer piso y 14 en el segundo). Este edificio está ubicado dentro del campus universitario.
- El tercer tipo de edificio es un hotel de siete plantas que cuenta con un área de recepción y un restaurante en el piso de la planta baja, cinco pisos idénticos con habitaciones y una azotea. La planta baja ocupa 1.075 m² y contiene 33 zonas, mientras que cada planta de habitaciones tiene 772 m² y en 30 habitaciones. Además, la azotea mide 64 m² y engloba dos espacios.

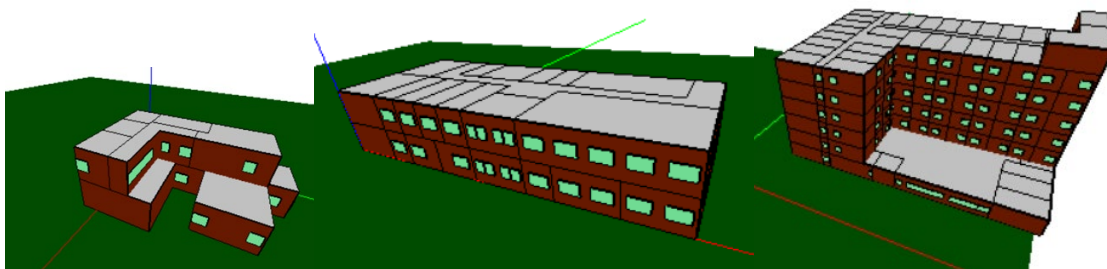


Figura 5. Edificios utilizados en el análisis: (izq.) vivienda, (centro) terciario y (dcha.) hotel.

La Tabla 2 muestra la reducción de elementos y vértices necesarios para la definición del edificio. La columna "Vértices definidos" representa el número de vértices que se han definido en CAD (2D) para representar el contorno. La siguiente columna, "Vértices generados", muestra el número real de vértices que se requieren para definir el contorno en 3D. Este número representa la cantidad de vértices que el usuario debe definir en herramientas de simulación energética como EnergyPlus. La siguiente columna, "Reducción de vértices", muestra la reducción de vértices lograda en la definición al aplicar el nuevo algoritmo. Las columnas siguientes hacen una comparación similar pero en este caso teniendo en cuenta el número de elementos que deben definirse, líneas y polilíneas.

Tabla 2. Comparación del número de elementos necesarios en la definición del edificio.

Tipo de edificio	Vértices definidos	Vértices generados	Reducción vértices	Elementos definidos	Elementos en edificio	Reducción elementos
Unifamiliar	108	574	81%	38 (11 polylines and 27 lines)	132 polylines	71%

Edificio universitario	224	1302	83%	112 (56 polylines and 56 lines)	301 polylines	63%
Hotel	266 - 402	6739	94%-96%	133 (69 polylines and 64 lines)- 385(201 polylines and 184 lines)	1601 polylines	76-92%

4. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio ha sido describir el funcionamiento de un compilador gráfico que permite definir modelos energéticos de edificios a partir de herramientas CAD. Este trabajo ha sido motivado por los problemas existentes entre la interoperabilidad de aplicaciones BIM y BEM y la necesidad de aportar una solución práctica a los profesionales del sector de la construcción.

Algunos de los principales resultados son:

- El establecimiento de un lenguaje CAD que facilita la definición de geometría y topología de edificios mediante el uso de planos 2D. El lenguaje definido permite su expansión para incluir características futuras en el compilador, como la introducción de información no geométrica del edificio.
- El desarrollo de un compilador gráfico capaz de identificar la geometría del edificio en 2D y generar con ella un modelo BEM. El algoritmo permite reconocer las relaciones topológicas entre los elementos que componen el edificio, lo cual es esencial para definir su modelo energético.
- La definición del edificio utilizando el compilador gráfico permite un ahorro de definición de vértices de más del 80%, que aumenta en edificios más grandes. Esto está directamente relacionado con el tiempo requerido para la definición del modelo en su conjunto. Asimismo, la reducción en la definición de superficies supera el 60%.

En general, este estudio presenta un método alternativo para definir el modelo energético de un edificio. La definición se basa en la gestión de archivos CAD 2D, lo cual es relativamente sencillo para los profesionales del sector AEC. Algunas de las limitaciones actuales del compilador incluyen: la capacidad de definir solo techos planos, la definición de ventanas y puertas interiores y la incorporación de datos no geométricos de CAD. Como trabajo futuro, planeamos expandir el lenguaje de definición CAD para permitir la definición de superficies inclinadas manteniendo un lenguaje fácil de usar. Además, creemos que sería interesante incorporar datos no geométricos, como las actividades de los espacios, directamente en la definición CAD.

REFERENCIAS

- [1] C. M. Eastman, "The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design," *AIA J.*
- [2] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken, New Jersey, 2008.
- [3] G. Bastos Porsani, K. Del Valle de Lersundi, A. Sánchez Ostiz Gutiérrez, and C. Fernández Bandera, "Interoperability between building information modelling (Bim) and building energy model (bem)," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 5, pp. 1–20, 2021.
- [4] H. Fernald, S. Hong, S. Bucking, and W. O. Brien, "BIM to BEM translation workflows and their challenges : a case study using a detailed BIM model," pp. 482–491, 2018.
- [5] Autodesk, "DXF Reference," no. February 2011, 2012.
- [6] V. M. Soto Francés, J. M. Pinazo Ojer, and E. J. Sarabia Escrivà, "GENERA3D."
- [7] USDOE, "Input Output Reference," *Encycl. Ref. to EnergyPlus Input Output*, no. c, pp. 1996–2016, 2019.
- [8] S. D. Hirsch, J.J.; Gates, "DOE-2BDLSummaryVersion21E." p. 141, 1993.
- [9] A. Johnson, "Clipper Library Overview." [Online]. Available: http://www.angusj.com/delphi/clipper/documentation/Docs/Overview/_Body.htm. [Accessed: 08-Jul-2022].
- [10] B. R. Vatti, "A Generic Solution to Polygon Clipping," *Commun. ACM*, vol. 35, no. 7, pp. 56–63, 1992.