

LAS BASES DEL MODELADO ENERGÉTICO

Por Jared A. Higgins, PE, Miembro ASHRAE

El presente artículo ha sido traducido y publicado con la debida autorización de ASHRAE. ©ASHRAE Journal, diciembre, 2021. Todos los derechos reservados. ASHRAE no se hace responsable de la precisión de la traducción. La traducción fue realizada por David García, miembro y colaborador del ASHRAE Spain Chapter. El ASHRAE Spain Chapter y el traductor NO se hacen responsables de las manifestaciones, contenidos u opiniones de los artículos publicados. Para adquirir la versión en inglés, contacta con: ASHRAE, 180 Technology Parkway NW, Peachtree Corners, GA 30092, www.ashrae.org."

Hacer un modelo energético preciso capaz de estimar el uso energético de los edificios es difícil debido a las suposiciones que hay que hacer y evaluar en el proceso de modelado. Por lo tanto, aprender a desarrollar Modelización Energética ("Energy Modeling") significa más que simplemente construir o reconstruir un edificio o un programa de software. Significa estar familiarizado con ASHRAE y otros recursos, y trabajar con el Ingeniero de HVAC o con el diseñador, para hacer buenas suposiciones o hipótesis que resulten en un modelo energético preciso.

Construyendo la envolvente del edificio

El primer paso para crear un modelo energético es construir el edificio físico en el software de modelado. Esto permite al software determinar el efecto del clima local en la instalación. La mayoría de los programas de simulación energética permiten o, en algunos casos, exigen la introducción explícita de la geometría del edificio, es decir, la ubicación y el tamaño de las superficies del edificio, como paredes, cubiertas, ventanas y puertas, en un espacio tridimensional. (1)

Un elemento importante es definir las propiedades térmicas de todas las superficies exteriores e interiores del edificio, incluidos los coeficientes de transferencia de calor capa por capa y la masa térmica. (2)

En el caso de los huecos (ventanas, puertas), también se necesitan las propiedades ópticas según el ángulo solar. Uno de los mejores lugares o fuentes para encontrar información sobre cómo determinar el cálculo de la carga térmica en los edificios es el capítulo 25 del Handbook ASHRAE 2009 Fundamentals (actualizado en el 2021). Este capítulo proporciona una guía detallada sobre cómo calcular el factor U de un componente del edificio, así como los efectos del flujo de aire y la transferencia de humedad. Para ello, el modelador tendrá que trabajar con el arquitecto encargado del diseño del edificio para obtener las secciones de los muros y la cubierta, así como información específica sobre el tipo de vidrios a usar.

Una vez que se han determinado todos los materiales de un cerramiento, el capítulo 26 del Handbook ASHRAE 2021 Fundamentals proporciona varias tablas con información sobre la resistencia, la conductividad y el calor específico de determinados materiales.

Las tablas 1, 2 y 3 del capítulo 26 incluyen información sobre la determinación de la resistencia y la emisividad de los espacios de aire; la tabla 4 incluye información sobre la resistencia, la conductividad y el calor específico de varios materiales de construcción y aislamiento comunes.

Si se necesita un ejemplo para determinar el mejor curso de acción en el cálculo de esta información, el capítulo 27 del Manual-Fundamentos de 2009 proporciona varios cálculos diferentes del factor U.

Cuatro usos del Modelización Energético:

La modelización energética se utiliza por cuatro razones principales: determinar el cumplimiento del código, estimar el rendimiento del diseño, comparar con el rendimiento real para las actividades de medición y verificación (M&V), y desarrollar valoraciones de los activos del edificio. Cada uno de los cuatro usos requiere diferentes niveles de modelización energética y se inicia en diferentes momentos de la fase de diseño.

Modelización energética para el cumplimiento de la normativa

La modelización energética para el cumplimiento de la normativa compara el uso energético calculado del edificio diseñado con el de un edificio de referencia para demostrar que el edificio diseñado cumple con los criterios mínimos de rendimiento. Este método se realiza normalmente al final de la fase de diseño; sin embargo, puede realizarse en una fase anterior del proyecto para determinar si se necesitan medidas adicionales de ahorro de la energía (ECM) para que el edificio diseñado cumpla con elC.

Modelización energética para el rendimiento del diseño

La modelización energética del rendimiento del diseño del edificio se lleva a cabo durante la fase de diseño de un proyecto para determinar el uso de energía de una serie de parámetros aplicados al edificio. Este tipo de modelado se realiza a menudo para la Certificación de Sostenibilidad voluntaria, como LEED, o para los programas de incentivos de las empresas de servicios públicos (Utilities), donde el objetivo es producir un diseño del edificio que supere el código mínimo o la práctica estándar. Normalmente, se crean múltiples alternativas para comparar determinados sistemas y componentes del edificio y determinar la cantidad asociada de reducción de energía con cada alternativa para ayudar a decidir qué alternativas utilizar en el proyecto.

Modelización energética para la Medición y la Verificación

Los modelos energéticos para la Medición y Verificación (M&V) se construyen después de que un edificio haya sido ocupado. El modelo se construye sobre la base de los equipos y sistemas técnicos reales instalados en el edificio, y los resultados analíticos se comparan con los datos reales medidos de las Compañías Suministradoras. Dado que se conoce el verdadero rendimiento energético del edificio, este tipo de modelización suele implicar la calibración del modelo mediante el ajuste de diversos inputs, en particular para las condiciones operativas

reales del edificio, hasta que el uso energético modelado coincida con los datos reales medidos. Una vez calibrado el modelo, puede utilizarse para estimar los ahorros debidos a las distintas medidas y normalizar los datos por las diferencias en operación y clima, etc.

Modelización energética para la valoración de activos inmobiliarios

La modelización de edificios comerciales para el desarrollo de valoración de activos inmobiliarios es un campo nuevo y creciente, apoyado por el programa bEQ (Building Energy Quotient) de ASHRAE.

El estándar 90.1-2019 de ANSI/ASHRAE/IES es un recurso ampliamente utilizado para la modelización energética y actualmente se utiliza como base para los programas de etiquetado y certificación voluntarios. El Apéndice A de dicha norma “Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings” (Estándar energética para edificios, excepto edificios residenciales de baja altura), proporciona varias tablas de factores U de cerramientos para tipos comunes de cubiertas, muros, suelos y vidrios. Aunque esta información puede estar previamente determinada, se puede consultar al modelador energético para que realice varios escenarios de modelado y determine la rentabilidad o coste de efectividad de la incorporación de Medidas de Ahorro Energético MAEs (ECM).

Determinación de las cargas internas y de proceso

La siguiente fase de la construcción del modelo consistirá en determinar cuáles son las cargas térmicas internas del edificio. Las cargas internas se componen principalmente de personas, equipos e iluminación.

Para obtener esta información, el propietario del edificio y el arquitecto serán cruciales. (2) Desafortunadamente, si el proyecto está todavía en fase de diseño, estos valores serán siempre predicciones subjetivas basadas en reglas generales.

Ocupación y equipamiento

El propietario del edificio podrá ayudar a determinar el número de personas que ocuparán cada zona. Existen programas de software de modelado que tienen la capacidad de aplicar un valor de ocupación por metro cuadrado si se desconoce la ocupación. El propietario del edificio también podrá ayudar a determinar el tipo de equipamiento que se ubicará en cada zona. Además, es posible que el propietario pueda proporcionar información sobre la carga térmica generada por los equipos.

Si este no es el caso, el Capítulo 18 del Handbook 2021 - Fundamentals proporciona varias tablas de equipos de disipación de calor. Las tablas 5A a 5E proporcionan información sobre los aparatos de cocina; las tablas 6 y 7 proporcionan información sobre los equipos médicos y de laboratorio; las tablas 8 a 12 proporcionan información sobre los equipos informáticos y de oficina típicos.

Iluminación

Para determinar las cargas internas debidas a la iluminación, el Ingeniero Eléctrico será un recurso útil. Basándose en el diseño de la iluminación, el Ingeniero o Diseñador debería ser capaz de proporcionar una densidad de potencia de iluminación (“Lighting Power Density” – LPD) para cada zona, así como para el exterior del edificio.

Sin embargo, si se necesitan valores típicos para las densidades de potencia de iluminación, la Tabla 2 del Capítulo 18 del Handbook Fundamentals de 2021 y la Tabla 9.6.1 de la Norma 90.1 de ASHRAE proporcionan densidades de potencia de iluminación basadas en el método espacio por espacio ("space-by-space method").

La tabla 9.5.1 de la norma ASHRAE 90.1-2019 también proporciona las densidades de potencia de iluminación utilizando el método del área del edificio ("building area method").

La tabla 9.4.5 de la norma ASHRAE 90.1-2019 proporciona las densidades de potencia de iluminación para los exteriores de los edificios.

El Ingeniero o Diseñador debería ser capaz de proporcionar perfiles horarios sobre las operaciones de iluminación; si no es así, el software de modelado suele tener perfiles incorporados que pueden aplicarse dinámicamente para modelar el uso de la iluminación en función del tipo de edificio.

El Ingeniero o Diseñador también podrá ayudar con cualquier tipo de control de la iluminación que se proporcione, como sensores de ocupación, sistema de control automático de la iluminación o un sistema de control de la iluminación natural. Las especificaciones de los sistemas de control de la iluminación natural también deben incluir información sobre los sistemas de regulación continua o los sistemas de control por pasos.

Dimensionamiento del sistema HVAC

Existen principalmente dos escenarios que el modelador energético encontrará en relación con el dimensionamiento del sistema HVAC. En cualquiera de los dos casos, el modelador energético trabajará estrechamente con el Ingeniero Mecánico o el diseñador del sistema de HVAC para determinar cómo se divide el edificio en zonas y qué tipo de equipos y eficiencias se utilizarán.

En uno de los escenarios, el sistema de HVAC ya está diseñado y el modelador energético debe obtener del Ingeniero Mecánico o del diseñador de HVAC las especificaciones del sistema seleccionado, incluyendo la capacidad, la eficiencia y las curvas de rendimiento de los equipos (calderas, enfriadoras, ventiladores, etc.).

En el segundo escenario, el diseñador de HVAC se dirige al modelador energético para que le ayude a determinar el tipo de sistema de HVAC que va a utilizar. Este escenario suele producirse al principio del proceso de diseño para desarrollar el Análisis de los Costes del ciclo de Vida de los distintos tipos de sistemas HVAC.

Análisis de carga

Es posible que el diseñador ya haya realizado un análisis de cargas térmicas para ayudar al modelador energético. Si no es así, el modelador energético puede tener que realizar un análisis de cargas basado en la información ya obtenida. La mayoría de los softwares de modelado pueden realizar un análisis de cargas además de ejecutar modelos energéticos; sin embargo, hay que tener cuidado con su interpretación porque estos cálculos de "dimensionamiento" suelen ser diferentes de la práctica estándar de ingeniería.

Evaluación de los sistemas HVAC

Una vez que se han calculado las cargas de calefacción y refrigeración del edificio, deben evaluarse los diferentes sistemas de HVAC. El Handbook de ASHRAE 2020 HVAC Systems and Equipment proporciona información detallada sobre diferentes tipos de sistemas HVAC. También proporciona esquemas y ejemplos de dimensionamiento y funcionamiento de los componentes para ofrecer una mejor comprensión del sistema.

La norma ASHRAE 90.1-2019 proporciona información sobre la eficiencia mínima de los equipos en la sección 6 HVAC. Las tablas 6.8.1A a 6.8.1J incluye los requerimientos de las eficiencias mínimas de los equipos para unidades de aire acondicionado, bombas de calor, enfriadoras y calderas en función de la capacidad del equipo.

Requisitos de ventilación de aire de ventilación

Una consideración adicional que debe tenerse en cuenta en el sistema HVAC son los requisitos de ventilación de aire exterior, que se basan en la clasificación del espacio al que se presta servicio, el número de personas en el espacio y los metros cuadrados totales del espacio.

La sección 6 Procedimientos de la norma ASHRAE 62.1-2019 proporciona ecuaciones detalladas para determinar las tasas de ventilación, y la tabla 6-1 de la norma ASHRAE 62.1-2019 proporciona la tasa de ventilación mínima basada en el uso del edificio.

Software de modelado energético

Existen programas informáticos de modelado energético que ofrecen tutoriales sobre cómo configurar los sistemas HVAC. Algunos programas definen los sistemas HVAC por tipo de sistema, como el caudal de aire variable (VAV), el equipo compacto unizona (PSZ), el ventilador en paralelo (PFP), etc., mientras que otros pueden requerir que el modelador los configure a partir de componentes HVAC fundamentales, como ventiladores, enfriadoras, calderas, etc.

Los manuales de usuario del software también son una buena referencia a la hora de proporcionar información sobre cómo utilizar el programa para configurar los sistemas HVAC. También hay buenos foros en línea para que los profesionales de la modelización energética hagan preguntas y den su opinión sobre diferentes programas de software y métodos de modelización. Un ejemplo es energy-models.com/forum.

También hay programas informáticos que rellena previamente estas tasas de ventilación y ecuaciones para ayudar al modelador energético. Sin embargo, dependiendo de la ubicación del edificio y de cómo se introduzca el aire de ventilación en el mismo, el uso de energía asociado al tratamiento del aire exterior puede ser significativo.

El Diseñador del sistema HVAC tendrá que intervenir para determinar si el aire de ventilación se introducirá a través del sistema HVAC, de un sistema de recuperación de energía o de la ventilación natural. La sección 6 de la norma 90.1-2019 de ASHRAE contiene varios requisitos relativos a cuándo los sistemas deben utilizar requisitos específicos de aire de ventilación, como los sistemas de recuperación de energía y los economizadores.

Horarios de funcionamiento

Una vez más, habrá que consultar al propietario del edificio para determinar su funcionamiento. Esto incluirá los perfiles relativos a cuándo se ocupará el edificio y a qué densidad, el funcionamiento de la iluminación, los sistemas de control de gestión de la energía, las operaciones de cocina, los horarios de ventilación y el funcionamiento de equipos diversos como ordenadores, impresoras y fotocopiadoras.

El propietario del edificio o el arquitecto pueden o no proporcionarle toda esta información. Sin embargo, casi todos los programas de software de modelado energético proporcionan perfiles típicos de funcionamiento para ayudar al modelador energético a obtener resultados rápidos. En cualquier caso, hasta que no haya un edificio real, estos perfiles son suposiciones basadas en la experiencia previa o en reglas generales.

En muchos casos, como el cumplimiento de los códigos o el etiquetado energético de los edificios y los programas voluntarios de las empresas suministradoras, los perfiles de funcionamiento y las cargas internas se mantienen fijos a propósito para garantizar que todos los cálculos se realicen bajo las mismas reglas, evitando cualquier "manipulación" de los resultados. En esos casos, el objetivo de la modelización energética no es tanto predecir el uso de la energía del edificio como proporcionar una calificación neutral de los activos de un edificio, incluido su sistema de climatización.

Los perfiles de funcionamiento también desempeñan un papel fundamental cuando se utilizan modelos energéticos para determinar la Medición y la Verificación (M&V) en instalaciones existentes. Al establecer un modelo energético de referencia, se puede medir el rendimiento de las MAEs (ECMs) que se han implantado en una instalación. Al utilizar los análisis de los modelos energéticos para determinar la cantidad de energía que debería consumir una instalación durante un proceso de "retrocomisioning", se pueden realizar ajustes de funcionamiento en la instalación para afinar el funcionamiento del edificio y reducir los costes de funcionamiento.

Estructuras de las tarifas energéticas

La última pieza del rompecabezas consiste en introducir las estructuras tarifarias de las Compañías Suministradoras en el software de modelización energética. Esta información, que suele obtenerse del propietario del edificio, es un documento que proporciona información sobre las estructuras tarifarias energéticas anteriores. Proporciona información sobre la tarifa de consumo energético, como el kWh para el consumo eléctrico y los pies cúbicos o metros cúbicos para el gas natural. También da un cargo por demanda si lo hay. Sin embargo, en algunos casos, el edificio puede haber comprado agua refrigerada, agua de calefacción o vapor además de una tarifa estándar de electricidad o gas natural. Esta información es crucial para determinar el ahorro de costes energéticos, así como la información sobre la recuperación de la inversión (payback) en varios elementos del diseño. Al considerar los periodos de recuperación de la inversión, el modelador energético también tendrá que proporcionar una tasa de inflación para anticipar el aumento de los costes de los suministros energéticos durante el periodo de estudio. (3)

Modelización energética en la norma 90.1 de ASHRAE

Verificación de la exactitud del modelo energético

Los modelos energéticos producen resultados que se utilizan para determinar las decisiones de diseño de los edificios. En algunos casos, los modelos energéticos pueden ser la única herramienta capaz de producir los datos necesarios para tomar estas decisiones de diseño.

Pero ¿cómo sabemos que los datos que utilizamos son precisos? Los profesionales de la modelización energética han encontrado un nivel de confort cuando leen los resultados de los modelos energéticos. Han pasado por el proceso las suficientes veces como para reconocer cuándo necesitan “levantar la bandera roja”, especialmente aquellos que han participado en escenarios de Medición y Verificación.

Esto hace que los energéticos más nuevos y menos experimentados cuestionen a veces sus resultados, y que sus colegas más experimentados les digan "Eso parece correcto". Entonces, ¿cómo pueden adquirir la experiencia que necesitan para sentirse más cómodos?

Uno de los medios más eficaces para verificar la exactitud del modelo energético es a través de los datos reales medidos de las compañías suministradoras. El usuario del edificio tendrá que aceptar proporcionar esta información al profesional de la modelización para ayudarlo en la comparación. Disponer de los datos medidos de las Utilities permite al modelador energético comparar los resultados generales del modelo con los datos reales, lo que resulta beneficioso para saber cómo afectan la ocupación y las operaciones al consumo energético global de una instalación. Los datos también proporcionan información sobre el consumo inusual causado por los picos y valles climáticos y pueden ayudar a determinar si hay un problema de operaciones dentro de una instalación.

Sin embargo, la desventaja de este enfoque es que, en la mayoría de los casos, sólo se dispone de datos sobre el consumo energético total del edificio. (4) Esto dificulta el desglose del uso energético de los subsistemas del edificio, como las cargas de HVAC, iluminación y equipos.

Para realizar un ejercicio significativo, el modelador energético puede tener que recurrir a la comparación del uso de energía de los subsistemas con los porcentajes de consumo típicos desarrollados por terceras partes u organismos. Este enfoque ayudará a determinar si el modelo está prediciendo resultados muy inusuales en un área específica, pero seguirá sin producir una precisión del modelo del 100%.

La instalación de sistemas de submedición en los edificios ha proporcionado al campo de la modelización energética una excelente oportunidad para verificar los resultados de los modelos energéticos. La submedición permite desglosar los datos reales medidos en categorías de subsistemas. El uso de la energía de los subsistemas puede entonces compararse y analizarse con el modelo para obtener resultados más precisos en el futuro, pero seguirá siendo necesaria la información del usuario del edificio para ayudar a determinar cómo está funcionando el edificio.

Durante el proceso de modelización energética, hay que hacer varias suposiciones, sobre todo, desde el funcionamiento de la iluminación hasta los puntos de ajuste del termostato y los horarios de ocupación. Al obtener esta información, el modelo energético será capaz de producir resultados muy similares al consumo energético real de la instalación.

A través de estos ejercicios, los profesionales de la modelización energética pueden ver la precisión de sus modelos energéticos y determinar qué ajustes se adaptan mejor a su enfoque de modelización. Cuanto más se entienda sobre el proceso de modelización y el funcionamiento real del edificio, más precisas serán las predicciones, lo que dará lugar a decisiones de diseño más informadas en el futuro.

Conclusión

La modelización energética de edificios es compleja e incorpora varias disciplinas para obtener un producto final preciso. Los resultados producidos por el modelo energético se utilizan para tomar decisiones sobre el proyecto actual, así como sobre futuros proyectos. En instalaciones complejas, la modelización energética puede ser la única herramienta de diseño disponible para la toma de decisiones. Utilizar los recursos adecuados para realizar un modelo lo más detallado posible ayudará a producir un modelo energético preciso.

Referencias

1. Waltz, James P. 1999. Computerized Building Energy Simulation Handbook, Chap. 6. Lilburn, Ga.: Fairmont Press.
2. California Energy Commission. 2004. "Nonresidential Alternative Calculation Method (ACM) Approval Manual." <http://tinyurl.com/cmwtwsz>.
3. COMNET. 2010. Commercial Buildings Energy Modeling Guidelines and Procedures. <http://tinyurl.com/cphjluh>.
4. Higgins, J.A., S.D. Foster and J.R. Bailey. 2012. "Using Energy Models to Verify Utility Consumption." ASHRAE Transactions 118(2): 205 – 213.

Sobre el autor

Jared A. Higgins, P.E., dirige el grupo de Servicios Energéticos de Parkhill Smith & Cooper, Lubbock, Texas. Está certificado como Profesional de la Gestión de Commissioning de ASHRAE (Commissioning Process Management Professional).