
Desarrollo de una hoja de cálculo para clases de climatización

Development of a spreadsheet for air conditioning classes

Emilio José Sarabia Escriba y Víctor Manuel Soto Francés

Dpto. Termodinámica Aplicada. Universitat Politècnica de Valencia, España

Resumen

El artículo presenta el desarrollo de una hoja de cálculo con fines didácticos para la estimación de cargas térmicas en climatización. Durante las clases teóricas de las asignaturas de climatización se explican las bases para el cálculo de cargas térmicas de refrigeración y de calefacción en los edificios. Para ilustrar mejor estos conceptos y poder hacer algunos cálculos de forma rápida y sencilla se ha desarrollado una hoja de cálculo que posee todos los datos y los cálculos necesarios de forma visible para el usuario, sin macros ni cálculos interiores. La herramienta contiene una hoja principal donde se detallan los distintos pasos del cálculo de cargas y otra hoja de ayuda para el cálculo de la transmitancia térmica de los cerramientos, así como el cálculo de condensaciones en los mismos. Para ello se dispone de una base de datos de materiales constructivos y sus características, basados en los datos proporcionados por el Ministerio de Industria en las herramientas de certificación energética de edificios. Los ejercicios que se proponen a los alumnos en clase mientras están relacionados con el cálculo de la transmitancia térmica y la comprobación del cumplimiento del código técnico por parte de los cerramientos y en la estimación de cargas térmicas teniendo en cuenta diferentes supuestos.

Palabras clave: climatización, cálculo de cargas, refrigeración, calefacción, hoja de cálculo.

Suggested citation:

Sarabia Escriba, E.J., y Soto Francés, V.M. (2018). Desarrollo de una hoja de cálculo para clases de climatización. In REDINE (Ed.), *Innovative strategies for Higher Education in Spain*. (pp. 175-183). Eindhoven, NL: Adaya Press. <https://doi.org/10.58909/ad18156464>

Abstract

The paper presents the development of a spreadsheet for the estimation of thermal loads in air conditioning developed for didactic purposes. During the theoretical classes of air conditioning, the bases for the calculation of thermal loads are explained. To illustrate these concepts and to be able to do some calculations quickly and easily, a spreadsheet has been developed. The tool has all the data and calculations visible to the user, without macros or internal calculations. The tool contains a main sheet which details the different steps of the load calculations and another sheet for the calculation of the wall heat transfer coefficient, as well as the calculation of condensations. For this, a database of building materials and features is available, based on the data provided by the Ministry of Industry and the building energy certification tools. The exercises proposed to the students in class are related to the calculation of the heat transfer coefficient, the verification of the compliance of the building regulations and the estimation of the thermal loads taking into account different assumptions.

Keywords: air conditioning, load calculation, cooling, heating, spreadsheet.

Introducción

El cálculo de cargas térmicas en edificios es la base para el dimensionado de equipos de climatización. Es un tema fundamental que aparece en todas las asignaturas relacionadas con la climatización (Pinazo, 1996). El resultado del cálculo de cargas térmicas es la potencia necesaria que deben tener los equipos de refrigeración y calefacción para poder mantener las condiciones de confort dentro del edificio. Con los datos de potencia necesaria y condiciones de trabajo de la instalación se pueden seleccionar las máquinas del proyecto.

Para poder realizar ejercicios en clase sobre el tema, era necesario utilizar métodos de cálculo de cargas más simples, que tienen menor precisión y están ya en desuso a nivel profesional. La ventaja de los métodos tradicionales es que con un número pequeño de cálculos se pueden realizar estimaciones de la potencia necesaria en la instalación. El problema es que actualmente los profesionales utilizan herramientas informáticas para poder realizar estos cálculos, las cuales son más precisas y rápidas. Las herramientas informáticas requieren mayor tiempo de explicación de funcionamiento y solamente muestran los resultados finales de los cálculos, pero no el proceso necesario para llegar a ellos. De manera que todo queda como una caja negra para el usuario, que solamente se encarga de introducir las condiciones del problema y obtener una serie de resultados, haciendo un acto de fe sobre lo que ha pasado en el interior.

El hecho de no poder realizar cálculos de forma sencilla y estimaciones rápidas hace que no se puedan realizar ejercicios para que los alumnos trabajen en clase con el tema. La forma de evaluar el tema suele ser con un trabajo en casa para el que el alumno debe utilizar alguna aplicación cuyos cálculos no son ‘abiertos’.

Objetivos

El objetivo principal del trabajo consiste en el diseño de una herramienta para realizar los cálculos de cargas térmicas de un edificio. La herramienta utiliza la metodología de cálculo más ampliamente aceptada se conoce como “Radiant Time Series” (RTS) y ha sido desarrollada por ASHRAE (Spitler, 2014). La aplicación debe tener un carácter didáctico, de manera que los usuarios, que serán los alumnos, deben poder acceder de forma sencilla a los datos que utiliza la misma y saber cómo son utilizados.

Teniendo en cuenta estas premisas se discute sobre las posibles plataformas que se pueden utilizar para el desarrollo de la misma: HTML con javascript, una aplicación en C++ o una Hoja de cálculo.

La tecnología HTML con javascript tiene algunas ventajas: no requiere ningún tipo de instalación ni descarga de archivos, se puede acceder directamente a una página web; por tanto, se puede utilizar en cualquier dispositivo móvil. De esta forma se pueden realizar los llamados laboratorios virtuales (ICE, 2016). El principal problema es que las operaciones no son visibles a simple vista, es necesario acceder al código de la página y tener ciertos conocimientos de programación.

Las aplicaciones en C++ tienen la ventaja de que el código se ejecuta de forma más rápida. Pero el inconveniente es que deben ser instaladas y el código también queda oculto para el usuario.

Finalmente se opta por utilizar la Hoja de cálculo para el desarrollo ya que permite al alumno seguir con más detalle los datos, las fórmulas y el proceso de cálculo de la aplicación. Además, resulta relativamente fácil poder representar de forma gráfica los parámetros elegidos. Otra ventaja de las hojas de cálculo es que los alumnos ya conocen su funcionamiento, lo cual permite centrar las explicaciones directamente sobre cómo está programada. En las hojas de cálculo se pueden programar macros en Visual Basic, lo cual permite realizar cálculos “no visibles” para ciertas variables. Se ha evitado el uso de esta programación para que todo quede visible en una hoja.

Desarrollo de la herramienta

En primer lugar, comentar que la herramienta posee un nivel de detalle elevado. Eso significa que a pesar de estar desarrollada sobre una hoja de cálculo, requiere tener conocimientos sobre el tema de climatización para conocer los datos que hay que introducir en cada celda y la repercusión que tienen sobre los resultados. Como se ha comentado en

la introducción, el método de cálculo implementado para la estimación de cargas térmicas es el conocido como “Radiant Time Series” (Spitler, 2014), el cual aconseja ASHRAE para este tipo de cálculos. Eso significa que los resultados que se obtienen con el programa pueden ser utilizados para el cálculo de una instalación real. De hecho, la Asociación de Técnicos Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) la ha incluido dentro de su paquete de software (CALCULACONATECYR, 2016) que distribuye para todos los técnicos del sector. Se puede obtener de forma gratuita desde su plataforma web.

La hoja de cálculo está compuesta de dos pantallas: una principal dedicada al cálculo de cargas y otra dedicada al cálculo de la transmitancia térmica de los cerramientos. La figura 1 muestra una captura de una parte de la pantalla principal de cargas térmicas. Se puede apreciar que las dimensiones de la pantalla son muy grandes porque en ella están todos los datos y cálculos necesarios que hay que realizar. La zona marcada, que corresponde al tamaño de un A4, es la zona de introducción de datos de la pantalla. El resto de datos y gráficas son los cálculos necesarios que debe hacer la aplicación y que son visibles para el alumno.

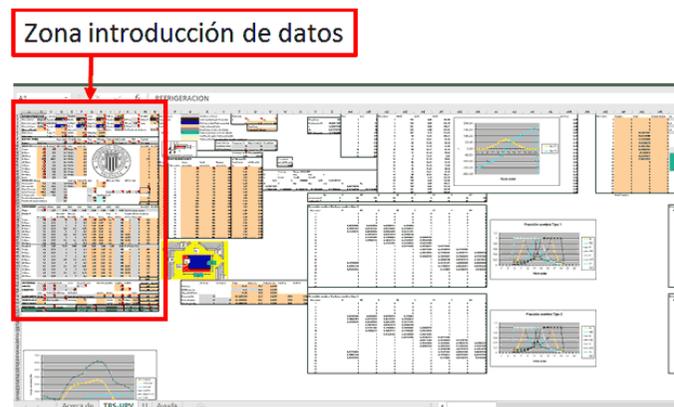


Figura 1. Vista parcial de la hoja principal de la aplicación. Se remarca la zona de introducción de datos

El cálculo de cargas térmicas requiere la definición y el posterior procesado de datos de diferentes elementos:

- Condiciones exteriores de cálculo. Se deben definir diferentes variables climatológicas: temperatura seca, humedad coincidente, radiación solar, etc. Todos estos datos pueden ser introducidos por el alumno o pueden asignarse al seleccionar una estación climatológica de la base de datos del programa. La base de datos puede visualizarse porque es un rango de datos dentro de la hoja. La base de datos contiene todas las estaciones climatológicas definidas en la guía de condiciones de proyecto del IDAE (IDAE, 2010).

- Definición de la envolvente térmica del edificio. La envolvente térmica está formada por diferentes tipos de cerramientos y huecos (ventanas). Estos elementos se caracterizan por una orientación y una composición. En el caso de la hoja de cálculo diseñada se ha distribuido esta información de manera que el alumno debe introducir el área de cada tipo de cerramiento según la orientación (para el caso de muros exteriores) y el valor de la transmitancia térmica del mismo. En una columna final se muestra la carga que está aportando el cerramiento correspondiente definido en la misma fila.

8	DATOS ZONA		Super.(m2)	Vol.(m3)	Zona	Tipo	Alfombra%	Acris	Aplicación	IDA	Control
9	Nombre	Generico	100	300	Exterior	Medio	SA	13	Particular1	IDA2	Cte. ocup.
10	OPACOS ext	A. Neta(r Bruta(m2 U(W/m2K) color				coef. abs					Qsen (W) Qlat (W)
11	Techo	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8					0 0
12	N-Muro	0,0	0,0	0,4	Medio	0,8					0 0
13	NE-Muro	0,0	0,0	0,4	Medio	0,8					0 0
14	E-Muro	98,0	100,0	0,4	Medio	0,8					143 0
15	SE-Muro	0,0	0,0	0,4	Medio	0,8					0 0
16	S-Muro	0,0	0,0	0,4	Medio	0,8					0 0
17	SO-Muro	23,0	25,0	0,4	Medio	0,8					7 0
18	O-Muro	0,0	0,0	0,4	Medio	0,8					0 0
19	NO-Muro	0,0	0,0	0,4	Medio	0,8					0 0
20	Suelo	0,0	0,0	0,5							0 0
21	OPACOS otros			Cont. ext	Totro(°C) z(m)		b	Ais. per	D(m)	k(W/r e(m)	
22	Otro Local 1	0,0	0,0	2,0	Medio	27,3	0,5				0 0
23	Otro Local 2	40,0	40,0	1,5	Medio	27,3	0,5				93 0
24	Muro Terreno	0,0	0,0	1,4			1				0 0
25	Suelo Terreno	100,0	100,0	1,3			0	C. ais. Hz	↑ 0,03	0,10	-90 0
26	S. Vacio sanit	0,0	0,0	2,0			L(m)	L(estimada_m)			0 0
27	Puentes térmicos otros	0,2					100	108			62 0
28	Puentes térmicos ventanas	0,2					70	50			43 0
29											258 0

Figura 2. Definición de los diferentes tipos de cerramientos y cargas que aportan

- Definición de las cargas interiores. Consideramos las cargas interiores del edificio aquellas debidas a los ocupantes, las luces y los equipos existentes en los recintos. Para la definición de las mismas normalmente es necesario definir un ratio de carga por superficie y una distribución horaria para la misma. Normalmente se utilizan ratios diferentes para cálculos de refrigeración y de calefacción, de manera que se calcule la instalación en las condiciones más desfavorables para cada caso.
- Ventilación del edificio. Las cargas de ventilación del edificio se calculan a partir del volumen de aire exterior que hay que acondicionar para introducirlo en el interior. El volumen de aire que hay que introducir depende de la normativa que se aplica y del tipo de uso que tiene el espacio. En el caso de uso residencial se utilizan los valores que se indican en el Código Técnico de la Edificación (CTE), mientras que si se trata de un edificio terciario el nivel de exigencia es diferente en función del tipo de uso que tiene el espacio (IDA1, IDA2 o IDA3).

Además del volumen de ventilación, también se deben tener en cuenta algunos aspectos como la posibilidad de instalar recuperadores de calor. La hoja de cálculo tiene en cuenta todos estos aspectos y permite mostrar al alumno evaluar las ventajas que supone instalar algún tipo de recuperación.

La hoja de cálculo de transmitancias térmicas permite calcular el valor de la misma para cualquier tipo de cerramiento de la envolvente. Para ello la hoja contiene una base de datos (un rango de datos) con los diferentes materiales definidos en el Código Técnico de la Edificación y sus propiedades. De manera que el alumno puede componer las composiciones que forman cada cerramiento y calcular la transmitancia del mismo. La hoja muestra el valor límite de la transmitancia térmica según la normativa e informa del

cumplimiento de la misma. Además, se muestra para cada muro el cálculo de la presión parcial del vapor en las capas interiores del muro y con ello observar si existen condensaciones en su interior.

			Conductividad W/mK	Espesor (Fijo) m	Resist. Térmica m ² K/W	Factor vapor a
6						
7	Pared exterior 1					
8	Exterior	Coef. Convección exterior				0,04
9	U (W/m ² K)	capa 1	Mortero	0,7	0,015	0,02
10	0,39	capa 2	Fábrica de ladrillo	0,427	0,108	0,25
11	CTE	capa 3	Mortero de LH triple [100 mm < E < 110 mm]	0,031	0,06	1,94
12	Umax (W/m ² K)	capa 4	Asfalto	0,031	0,07	0,16
13	capa 5		MW Lana mineral [0,031 W/mK]	0,432	0,015	0,01
14	capa 6		Particular IV	2,5		
15	capa 7		Chovy1			
16	Cumple Umax	capa 8				
17	Nocondensa	capa 9				
18	capa 10					
19	Interior	Coef. Convección interior				0,13
20				Suma		2,95 Suma
21						
22						
23	Pared exterior 2					
24	Exterior	Coef. Convección exterior				0,04
25	U (W/m ² K)	capa 1	Fábrica de ladrillo	0,991	0,115	0,12
26	0,53	capa 2	Morteros	1,3	0,015	0,01
27	CTE	capa 3	Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1800<d<2000	0,031	0,04	1,29
28	Umax (W/m ² K)	capa 4	Asfalto	0,212	0,06	0,28
29	capa 5		Fábrica de ladrillo	0,212	0,015	0,03
30	capa 6		Enlucidos	0,57		
31	capa 7		Enlucido de yeso 1000<d<1300			
32	Cumple Umax	capa 8				
33	Nocondensa	capa 9				
34	capa 10					
35	Interior	Coef. Convección interior				0,13
36				Suma		1,90 Suma

Figura 3. Composición de muros exteriores y valores de su transmitancia térmica (U)

Metodología

Para la realización de ejercicios en clase con los alumnos se requiere el uso de ordenadores. Normalmente, los alumnos no tienen problema en traerlos a clase, de hecho, la asignatura de climatización suele impartirse con más asignaturas de carácter técnico en las que los alumnos están acostumbrados a trabajar con diferentes programas informáticos. Normalmente se advierte al inicio del curso y en caso de problemas se puede reservar algún espacio con ordenadores para las sesiones que lo requieran.

Los ejercicios propuestos son de dos tipos: los primeros son ejercicios ilustrativos que se realizan intercalados con la explicación teórica del tema, en ellos se observa la sensibilidad de un parámetro sobre el resultado final; el segundo tipo es un ejercicio de evaluación, que representa una situación real e incluye tener en cuenta diferentes aspectos para dimensionar la instalación.

Se presentan algunos ejemplos de ejercicios ilustrativos para las clases intercalados con la teoría:

- Cálculo de la transmitancias térmica de cerramientos y cálculo de condensaciones. Durante la sesión teórica se explica el modo en que se calcula la transmitancia térmica de los cerramientos, este valor depende de las propiedades de las capas que lo componen y del tipo de cerramiento. Según el Código Técnico de la Edificación, la transmitancia térmica tiene un límite máximo en función de la zona climática del edificio. Es necesario que los cerramientos del edificio cumplan esta restricción para cumplir con la exigencia de limitación de la demanda energética. Un ejercicio que se propone a los alumnos es determinar el espesor de aislante necesario en una zona climática determinada para cumplir con el CTE.

- Comparativa de cargas por cerramientos y huecos en una zona. Se proponen unas composiciones estándar de cerramientos y de huecos con la finalidad de comparar la cantidad de carga térmica que aporta cada elemento y la influencia de la orientación en la misma. Se compara la carga térmica aportada por cerramientos o huecos en las diferentes orientaciones y se discuten los valores en clase.
- Analizar la influencia de la ventilación en el resultado final de cargas térmicas. Se modifica el valor del caudal en función del tipo de local (residencial, IDA1, IDA2 o IDA3) para observar la influencia sobre las cargas. Resulta más interesante la comparativa con diferentes estrategias de ahorro de energía: sin recuperador; con recuperador sensible; con recuperador adiabático; etc.

Finalmente se propone un ejercicio individual para la evaluación del tema. El ejercicio consiste en el cálculo de cargas térmicas de una vivienda con la finalidad de seleccionar el equipo adecuado para cubrir las necesidades de la misma. El alumno deberá tener en cuenta la correcta definición de todas las variables que intervienen: condiciones exteriores, cargas internas, definición de la envolvente y ventilación. Además, el alumno deberá definir cerramientos y huecos que cumplan con las restricciones de la normativa.

Anteriormente se dedicaba tiempo a conocer otro tipo de herramientas comerciales cuyos cálculos no resultaban transparentes para los alumnos. Esta herramienta permite al alumno visualizar de forma más clara la relación entre variables y su influencia en el resultado del cálculo.

Resultados

La puesta en práctica de la herramienta en clase ha permitido hacer las clases del tema más dinámicas, ya que los alumnos pueden comprobar de forma sencilla el contenido teórico de las explicaciones, lo cual ilustra más la explicación y crea mayor atención por parte de ellos. En general ha habido buena acogida por parte de los alumnos, y el uso de ordenadores propios en el aula no ha resultado ser ningún inconveniente. La práctica también nos muestra algunos aspectos que permitirán mejorar la herramienta para posteriores ediciones. Se detallan a continuación los aspectos mejor valorados y aquellos que requieren un nuevo planteamiento.

En cuanto a los más valorado por parte de los alumnos ha sido la facilidad de uso de la aplicación. Es una hoja de cálculo, por tanto, no tiene ningún problema en manejabilidad ni instalación. Por otra parte, la organización de la introducción de datos también es un aspecto positivo, aunque algunos datos no son intuitivos y requieren alguna explicación detallada.

Uno de los aspectos que hay que replantear es la estructura de los datos que no son de introducción por parte del alumno, es decir, los cálculos que incluye la hoja. La gran cantidad de cálculos hace que las dimensiones de la hoja sean muy grandes, lo cual dificulta el seguimiento de los mismos. Una solución que se plantea para este inconveniente es ordenar los datos del cálculo en diferentes hojas del libro para que resulten de más fácil acceso.

Conclusiones

Del desarrollo y aplicación en el aula de la nueva herramienta para cálculo de cargas térmicas hemos obtenido las siguientes conclusiones:

- La nueva herramienta de cálculo de cargas permite mostrar al alumno de forma sencilla la influencia de los elementos que aportan cargas térmicas al edificio. Con ella se complementa la explicación teórica del aula y atrae más la atención del alumno, ya que requiere un trabajo activo por su parte en el aula.
- Utilizar como base de la programación una hoja de cálculo muestra las fórmulas utilizadas en el análisis, así como la relación entre los diferentes elementos. Además, no presenta dificultades de compatibilidad con sistemas operativos ni problemas de instalación.
- La participación activa del alumno en el aula facilita la explicación del contenido expuesto de forma teórica y mejora la asimilación del contenido.
- El planteamiento de ejercicios con la herramienta permite evaluar este tema. Antes había que utilizar métodos de cálculo más sencillos para hacer ejercicios.

Referencias

- Spitler, J.D. (2014). *Load Calculation Applications Manual*. Atlanta, GA: ASHRAE. Retrieved from: <https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/preview-load-calculations.pdf>
- Pinazo, J.M. (1996). *Manual de Climatización*. Tomo II: Cargas Térmicas. UPV: Valencia.
- CALCULACONATECYR (2016). www.calculaconatecyr.com y <http://www.calculaconatecyr.com/cargas.php>
- ICE (2016). *Guía para la elaboración de objetos de aprendizaje digitales: simulaciones numéricas interactivas con cálculo*. Retrieved from: <http://www.upv.es/contenidos/DOCENRED/infoweb/docenred/info/U0734901.pdf> [Consulta: junio 2017], Universitat Politècnica de València.
- IDAE (2010). *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Madrid: IDAE. Retrieved from: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf
- Plan de acciones para la convergencia europea (PACE). *Los objetos de aprendizaje como recurso para la docencia universitaria: criterios para su elaboración*. Universidad Politècnica de Valencia.

Emilio José Sarabia Escriba. Profesor Ayudante Doctor en la Universitat Politècnica de València. Colabora como profesor en diferentes Masters en otras universidades y en cursos profesionales en la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Líneas de investigación relacionadas con la climatización, refrigeración y eficiencia energética de edificios. Desarrollo de diferentes softwares técnicos registrados en la UPV y distribuidos a través de la plataforma www.calculaconatecyr.com. Colaborador del programa CERMA, reconocido para la certificación energética de viviendas en España. Colaboración en proyectos de transferencia de tecnología entre universidad y empresas: Daikin, Atecyr, Habitec, IVE, etc. Autor en diferentes artículos en revistas científicas relacionados con la simulación energética de edificios.

Víctor Manuel Soto Francés. Profesor Titular de Universidad en la Universitat Politècnica de València. Miembro del comité técnico de la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). Líneas de investigación relacionadas con la climatización, refrigeración y eficiencia energética de edificios. Desarrollo de diferentes softwares técnicos registrados en la UPV y distribuidos a través de la plataforma www.calculaconatecyr.com. Autor del programa CERMA, reconocido para la certificación energética de viviendas en España. Colaboración en proyectos de transferencia de tecnología entre universidad y empresas: Daikin, Atecyr, Habitec, IVE, etc. Autor en diferentes artículos en revistas científicas relacionados con la simulación energética de edificios.
