

DESARROLLO DE UN SOFTWARE AMIGABLE PARA DETERMINAR LA DEMANDA ENERGETICA DE CLIMATIZACION EN UN EDIFICIO

Pinazo Ojer, J.M. – jmpinazo@ter.upv.es
Universidad Politécnica de Valencia
Camino Vera s/n 46022 Valencia. España
Soto Francés, V. – vsoto@ter.upv.es
Universidad Politécnica de Valencia
Camino Vera s/n 46022 Valencia. España
Gracia Laespada, A. – antgarci@ter.upv.es
Universidad Politécnica de Valencia
Camino Vera s/n 46022 Valencia. España

Resumen. *La tendencia en las nuevas normativas energéticas de todos los países pasa por transformar requerimientos prescriptivos en prestacionales, es decir, en lugar de limitar el comportamiento de cada elemento o del edificio en su conjunto, con una serie de valores máximos (caso del Kg en España), se limita su demanda energética anual previsible. Esta forma de observar el problema presenta como ventaja la libertad de componer el edificio sin restricciones iniciales, y como desventaja la mayor complejidad a la hora de evaluar la demanda previsible. Para tener una estimación aceptable de la misma, tanto en calefacción como en refrigeración es necesario realizar simulaciones horarias del intercambio térmico transitorio del edificio, basadas en años tipo y con especificaciones de uso y control de los edificios. El problema actual reside en que los softwares que permiten dicha estimación son, en general, difíciles de usar y los proyectistas no están habituados ni a su uso, ni a la interpretación adecuada de sus resultados. En esta ponencia se da cuenta de la implementación del cálculo de demanda partiendo del software de estimación de cargas térmicas denominado dpCLIMA. Así mismo se especifica los procedimientos matemáticos en los que se fundamenta.*

Palabras clave: *Software, Simulación, Demanda, Climatización*

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la preocupación existente sobre el cambio climático y la contaminación atmosférica, la comunidad europea firmó el protocolo de Kyoto y dispuso la directiva sobre eficiencia energética de edificios. Para responder a la misma, España está elaborando dos normativas que serán de obligado cumplimiento, de una parte el desarrollo del Código Técnico de la Edificación (CTE) (2004), y de otra la transposición de la eficiencia energética en edificios que se concretará en el nuevo RITE y CALENER.

En ambas normativas se establecen procedimientos prescriptivos y prestacionales. La ventaja de utilizar procedimientos prestacionales reside en el hecho de que no imponen

restricciones de ningún tipo a los edificios, y por tanto se tiene plena libertad en la concepción del mismo, ya que la idoneidad o no de una determinada solución arquitectónica se establece en función de sus previsibles resultados en demandas energéticas en el código técnico y en consumos energéticos en el RITE y CALENER.

En la actualidad existe software para poder estimar la demanda de los edificios, tal es el caso de los conocidos DOE.2.2(2000), TRNSYS(v.15 2000), ...El problema reside en que este tipo de programas son en general de uso complicado, e incluso de difícil interpretación de resultados, o adaptación a las condiciones normales de proyecto en España, condiciones climáticas, tipos de muros, etc..

2. OBJETIVO

Desarrollar un software de fácil uso que facilite la transición desde un programa para cálculo de carga térmica (potencia térmica de dimensionamiento de la instalación, programa dpCLIMA v1.5 2000) a otro para estimar la demanda energética del mismo (cantidad de energía en frío o calor para mantener un edificio durante el periodo de funcionamiento dentro de los límites térmicos especificados, programa vpCLIMAD v1.6 2004).

3. DATOS DE PARTIDA

Para estimar la demanda energética de un edificio, hace falta básicamente determinar cinco factores :

3.1. Datos constructivos

Se entienden que son los datos geométricos (cotas y dimensiones de locales) y tipos constructivos (cerramientos, opacos y transparentes, como composición de paredes, suelos techos y ventanas). Este tipo de datos es normalmente manejado por los proyectistas, ya que son necesarios para la estimación de cargas térmicas para dimensionar los equipos.

La problemática reside en que en este nuevo análisis térmico del edificio, es necesario definir todos los cerramientos (aunque estos no aporten carga térmica en diseño), ya que todo cerramiento aporta acumulación de energía y produce el efecto conocido como inercia térmica, siendo esta fundamental en su simulación. Es decir, es necesario definir paredes, suelos y techos entre locales de la misma instalación. Incluso, si se quisiera una determinación mas precisa, el local en concreto que es anexo.

3.2. Datos ambientales

En este tema se debe cambiar completamente la concepción respecto al cálculo de cargas típico, pues no se requiere la evolución de un determinado día extremo para calefacción o refrigeración con un determinado nivel percentil (UNE 100-014, UNE 100-001-85, UNE 100-002-88), sino el conocido como año tipo meteorológico, el cual se define como un posible año medio con valores horarios de todas las variables termohigrométricas, como temperatura seca, humedad relativa, velocidad viento, radiación directa, radiación total, etc...

La idea básica es que la demanda del edificio durante ese año tipo sea representativo de la demanda "en media" que se tendría a lo largo de unos años en ese edificio.

Estos "años tipo" se pueden establecer en base a dos metodologías :

- En base a años reales. Si existe suficiente cantidad de datos en una estación meteorológica (del orden de 20 años) se puede "extraer" el mes de enero real que mas se acerque a la media que se ha tenido durante esos años, y así con todos los meses hasta formar el año tipo. Esta técnica tiene la dificultad real de que, en

general, existen muy pocas localidades en que se disponen de suficientes datos y con la suficiente precisión.

- En base a series estadísticas. En general son procedimientos matemáticos que con la técnica de series temporales, y en base a valores medios mensuales de temperatura seca, radiación global sobre superficie horizontal y humedad específica, son capaces de generar valores horarios que puedan representar adecuadamente dichos años. Un software que en Europa es reconocido como válido es el Meteonorm (2004). En el código técnico de la edificación se tiene la intención de facilitar un año tipo para cada localidad, (aunque se deje la posibilidad de utilizar otros datos siempre que estos puedan dar mayor exactitud).

3.3. Datos de uso

Para realizar una simulación térmica del edificio es necesario conocer en cada hora del año cual va a ser la utilización del mismo, para poder definir en el tiempo las cargas internas, siendo estas debidas a ocupantes (cantidad y actividad) luces (cantidad y tipo) y otras cargas (cantidad). Esta serie de valores es conocida como distribución horaria.

Este dato en la realidad es muy variable y depende fundamentalmente del tipo de edificio en cuanto a uso que se le asigna, época del año considerada e incluso costumbres de los ocupantes.

Con el fin de armonizar la posible diversidad se establecen en la directiva europea 2002/91 referente a la eficiencia energética de los edificios la necesidad de diferenciar los edificios en función de su utilidad, así se establecen 9 categorías : 1) Viviendas unifamiliares, 2) Edificios de viviendas, 3) Oficinas, 4) Edificios de centros de enseñanza, 5) Hospitales, 6) Hoteles y restaurantes, 7) Instalaciones deportivas, 8) Edificios comerciales destinadas a la venta al por mayor o al por menor, 9) Otros tipos de edificios que consuman energía.

El CTE en España asigna a cada uno de estos tipos de edificio una densidad de uso (n° personas/m², actividad, W luz/m², W otras cargas/m²), así como una distribución horaria para días laborables, sábados y festivos. La clasificación concreta establecida es : 1) Salas de reuniones, 2) Oficinas, 3) Comercios, 4) Almacenes, 5) Docencia, 6) Hoteles y moteles, 7) Restaurantes, bares y comedores, 8) Centros de salud, 9) Residenciales.

Al fijarse estas distribuciones se obtiene un modelo determinista para este tipo de edificios, los cuales permite su comparación, aunque en un determinado edificio pueda no corresponder exactamente con la realidad, o se pueda disponer de datos mas fiables.

3.4. Datos de control

Para estimar la demanda es necesario conocer en cada hora del año cuando va a estar en marcha los equipos de climatización (y con ello la ventilación) y cuando no (existirá entonces infiltración), y que temperatura de consigna se establece en el termostato, tanto de calefacción como de climatización. Es evidente que estamos en estos momentos definiendo a grandes rasgos como es la instalación.

Igualmente al caso anterior el CTE asigna a cada uno de los tipos de edificios definidos una estrategia de control, en la cual se especifica el periodo de funcionamiento para días laborables, sábados y festivos y la temperatura de consigna del termostato.

3.5. Datos extra de inercia

Un último valor necesario es la cantidad de muebles que existen en los locales, con el fin de poder contabilizar su inercia térmica. En general se asigna un peso por metro cuadrado, y un

"tipo" de material clasificado en ligero o pesado, definiéndose unas diferentes propiedades térmicas y geométricas, ver DOE.2.2 (2000).

4. Planteamiento teórico del problema

La demanda sensible, o cantidad de calor transferida en una hora hacia el interior de un local se puede estimar mediante el uso de las funciones de transferencia, y es debida a diferentes contribuciones que a continuación se detallan (Fig. 1).

En la técnica aquí expuesta se utiliza un coeficiente equivalente de convección-radiación fijo, esto implica :

- Los intercambios se estiman en función de la temperatura del local y la temperatura equivalente exterior.
- La convección interior y exterior es constante.
- Se linealiza el intercambio radiante en el interior del local.

Estas simplificaciones son comúnmente aceptadas como válidas (DOE-2.2), (para una discusión mas pormenorizada del conjunto de ecuaciones ver Pinazo (1995)).

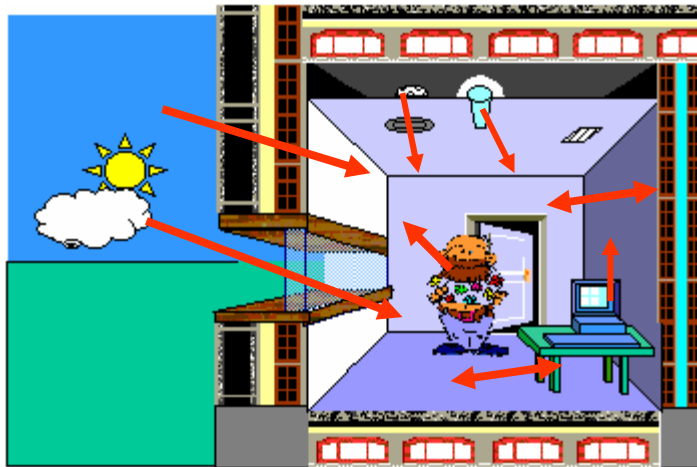


Fig. 1. Intercambio térmico en un local

4.1. Debida a cerramientos opacos

La ecuación general en función de los coeficientes de las funciones de transferencia se expresa como :

$$Q_{\text{cerramientos opacos}} = A_{\text{sup.cerram}} \left(\sum_{i=0}^{\infty} (Y_{\text{cerram}}(i)T_{sa}(n-i) - Z_{\text{cerram.}}(i)T_{sL}(n-i)) \right) \quad [1]$$

pudiéndose descomponer en función de ser cerramientos exteriores, interiores a otros locales a diferentes temperaturas o interiores a otros locales a la misma temperatura.

$$\begin{aligned}
Q_{\text{cerramientos opacos}} &= A_{\text{sup.cerram ext}} \left(\sum_{i=0}^{\infty} (Y_{\text{cerram. ex}}(i) T_{sa}(n-i) - Z_{\text{cerram. ex}}(i) T_{sL}(n-i)) \right) + \\
&+ A_{\text{sup.cerram int otras dep.}} \left(\sum_{i=0}^{\infty} (Y_{\text{cerram. cerram int otras dex}}(i) T_{sa}'(n-i) - Z_{\text{cerram. cerram int otras dex}}(i) T_{sL}(n-i)) \right) + \\
&+ A_{\text{sup.cerram int misma inst}} \left(\sum_{i=0}^{\infty} (Y_{\text{cerram. cerram int misma ins}}(i) T_{sL}'(n-i) - Z_{\text{cerram. cerram int misma ins}}(i) T_{sL}(n-i)) \right)
\end{aligned} \tag{2}$$

Con el fin último de poder estimar la evolución de la temperatura del local, y poder determinar si el equipo de climatización estará o no en marcha, es útil expresar la demanda real en función de la que se tendría si el local se mantuviera constante a una temperatura de referencia (TR). Dicha expresión resultante es :

$$\begin{aligned}
Q_{\text{cerramientos opacos}} &= Q_{\text{cerramientos opacos a TR}} + A_{\text{sup.cerram. ext}} \left(\sum_{i=0}^{\infty} (Z_{\text{cerram. ex}}(i) TR - Z_{\text{cerram. ex}}(i) T_{sL}(n-i)) \right) + \\
&+ A_{\text{sup.cerram int otras dep}} \left(\sum_{i=0}^{\infty} (Z_{\text{cerram. cerram int otras dex}}(i) TR - Z_{\text{cerram. cerram int otras dex}}(i) T_{sL}(n-i)) \right) + \\
&+ A_{\text{sup.cerram int misma inst}} \left(\sum_{i=0}^{\infty} (Y_{\text{cerram. cerram int misma ins}}(i) - Z_{\text{cerram. cerram int misma ins}}(i)) T_{sL}(n-i) \right)
\end{aligned} \tag{3}$$

4.2. Debida a cerramientos semitrasparentes

La ecuación general en este caso es :

$$\begin{aligned}
Q_{\text{cerramientos semitrasparentes}} &= +A_{\text{ventana}} U(T_{\text{sext}}(n) - T_{sL}(n)) + \\
&+ nv A_{\text{ventana}} \left[\begin{aligned} &F_{\text{sol}} \left(I_{\text{Ori}}(n) + \sum_{i=0}^{\infty} Z_{\text{suelo}}(i) \frac{mr}{100 hc_{\text{int}}} I_{\text{Ori}}(n-i) \right) + \\ &(1 - F_{\text{sol}}) \left(I_N(n) + \sum_{i=0}^{\infty} Z_{\text{suelo}}(i) \frac{mr}{100 hc_{\text{int}}} I_N(n-i) \right) \end{aligned} \right]
\end{aligned} \tag{4}$$

Igual al caso anterior se puede expresar en función de la demanda que existiría si la temperatura interna estuviera a una de referencia constante (TR) como:

$$Q_{\text{cerramientos semitransparentes}} = Q_{\text{cerramientos semitrasparentes a TR}} + A_{\text{ventana}} U(TR - T_{sL}(n)) \tag{5}$$

4.3. Debida a luces, ocupantes y otras cargas

La ecuación general en este caso es :

$$Q_{Luz,Ocp,OC} = PT_{ilu}(n) + \sum_{i=0}^{\infty} \frac{mr}{100} PT_{ilu}(n-i) \left[0,3 \frac{Z_{suelo}(i)}{hc_{suelo}} + 0,3 \frac{Z_{techo}(i)}{hc_{techo}} + 0,4 \frac{Z_{paredes}(i)}{hc_{paredes}} \right] +$$

$$+ PT_{per}(n) + \sum_{i=0}^{\infty} \frac{mr}{100} PT_{per}(n-i) \left[0,3 \frac{Z_{suelo}(i)}{hc_{suelo}} + 0,3 \frac{Z_{techo}(i)}{hc_{techo}} + 0,4 \frac{Z_{paredes}(i)}{hc_{paredes}} \right] + Q_{sen_{otras\ carg\ as}}(n)$$

[6]

siendo la misma que la determinada con cualquier temperatura interna de referencia.

$$Q_{Luz,Ocp,OC} = Q_{Luz,Ocp,OC\ a\ TR} \quad [7]$$

4.4. Debida a ventilación e infiltración

La forma de obtener dicho aporte sería :

$$Q_{ventilacion+Infiltracion} = (Cp_{as} + W_e Cp_v) V_{vent} (T_{sext}(n) - T_{sL}(n)) + (Cp_{as} + W_e Cp_v) V_{inf} (T_{sext}(n) - T_{sL}(n))$$

[8]

y en función de la demanda a TR

$$Q_{ventilacion+Infiltracion} = Q_{ventilacion+Infiltracion\ a\ TR} + (Cp_{as} + W_e Cp_v) (V_{vent} + V_{inf}) (TR - T_{sL}(n))$$

[9]

4.5. Variación debida a la inercia de muebles y volumen de aire del local

Considerando funciones de transferencia para los muebles y los valores de peso por metro cuadrado real (PM) y standard (PS), la cantidad de calor intercambiada se evalúa como :

$$Q_{muebles+aire\ local} = A_{suelo} \frac{PM}{PS} \sum_{n=0}^{48} (Z+Y-X+Y)_{muebles}(i) T_{sL}(n-i) +$$

$$+ (Cp_{as} + W_L Cp_v) \rho Vol_{local} (T_{sL}(n-1) - T_{sL}(n))$$

[10]

Resaltemos que esta inercia térmica no sería considerada si el local se mantuviera a una temperatura constante.

4.6. Expresión del balance final

Recomponiendo las anteriores ecuaciones podemos llegar a la expresión final

$$Q_{real} = Q_{TR} + C1 + C2 * (V_{vent}(n) + V_{inf}(n)) + C3 * T_{sL}(n-1) - \sum_{i=1}^{\infty} D_i T_{sL}(n-i) - C0 * T_{sL}(n)$$

[11]

Los valores de C0,C1,C2,C3 y Di son constantes y dependen del local

$$C0 = A_{sup.cer\ ram.\ ext} Z_{cer\ ram.\ ex}(0) + A_{sup.cer\ ram.\ nt\ otras\ dep} Z_{cer\ ram.\ nt\ otras\ dep}(0) + A_{sup.cer\ ram\ int\ mism\ a\ ins} (Z+Y)_{cer\ ram.\ cer\ ram\ int\ mism\ a\ ins}(0) +$$

$$+ A_{suelo} \frac{Peso/m^2}{Standar} \sum_{n=0}^{48} (Z+Y-X+Y)_{muebles}(0) + A_{ventana} U + (Cp_{as} + W_e Cp_v) (V_{vent} + V_{inf}) + (Cp_{as} + W_L Cp_v) Vol_{local}$$

$$C1 = A_{sup.cer\ ram.\ ext} U_{cer\ ram.\ ex} TR + A_{sup.cer\ ram\ int\ otras\ dep} U_{cer\ ram.\ cer\ ram\ int\ otras\ dep} TR + A_{ventana} U TR$$

$$C2 = (Cp_{as} + W_e Cp_v) TR$$

[12]

$$C3 = (Cp_{as} + W_e Cp_v) \rho Vol_{local}$$

$$D(i) = A_{sup.certram.ex} Z_{certram.ex}(i) + A_{sup.certram.intotrasdep} Z_{certram.intotrasdep}(i) + A_{sup.certramintmismainst} (Z + Y)_{certram.certramintmismainst}(i) + A_{suelo} \frac{PM}{PS} \sum_{n=0}^{48} (Z + Y - X + Y)_{muebles}(i)$$

Para el cálculo de la demanda a una temperatura interior constante de referencia TR (generalmente se utiliza un valor entorno a los 23°C), se puede operar con las mismas herramientas que se utilizaban en el cálculo de cargas térmicas, únicamente variando las condiciones ambientales exteriores (año tipo) y las distribuciones de uso (personas, luces, otras cargas) de acuerdo a las nuevas condiciones especificadas como hemos dicho en función del tipo de edificio seleccionado. Recordemos que en estos cálculos, al ser constante la temperatura interior de los locales, no se debe contabilizar ni la inercia de cerramientos interiores, ni la del los muebles.

Por lo tanto una vez determinada la demanda a una temperatura interior del local constante (TR), la expresión [11] nos permite de forma rápida estimar la demanda real cuando la temperatura interior es diferente, o la evolución de la temperatura del local en el caso de no compensar esta demanda. Así podemos utilizar la anterior expresión bajo dos supuestos en función del instante considerado :

- 1) No está en marcha el equipo de climatización. (El control definido así lo determina)
Se utiliza la anterior expresión igualando a cero la demanda sensible real y estimando en consecuencia la temperatura del local de equilibrio $T_{sL}(n)$.
- 2) Está en marcha el equipo de climatización. Se entiende que sí que está en marcha la ventilación, así como la disponibilidad de poder ceder frío o calor si el local y el termostato lo indica. Se pueden por tanto presentar dos situaciones, pudiendo distinguirlas en función de la temperatura interna del local que obtendríamos fijando una demanda de calor sensible real nula, así :
 - a) Si la temperatura de equilibrio que se alcanzase fuera inferior a la del termostato en caso de refrigeración o superior en caso de calefacción, tendríamos una demanda térmica real nula (no estaría en marcha la producción de frío o calor) y la temperatura de local evolucionaría hasta la temperatura de equilibrio calculada.
 - b) En caso contrario, la temperatura final del local sería la del termostato, y la demanda del local se estima con la expresión [11]. (En este estudio se supone que la potencia del local o equipo es suficiente, ya que no se ha especificado la instalación)

5. Conversión de un cálculo de cargas en un cálculo de demanda

Una vez determinado como operar para estimar la demanda a partir del mismo conjunto de herramientas utilizado para determinar el cálculo de cargas térmicas cabe plantearse cuantos datos suplementarios son necesarios aportar, para poder realizarlo.

Como datos suplementarios necesarios tenemos :

- 1) Datos climáticos. Se trata de especificar la localidad, ya que el año tipo es un valor conocido, fijado por el CTE o por herramientas como el Meteonorm (2004).
- 2) Datos de uso o de control. En este caso hay que seleccionar (local a local, o como edificio una de las clasificaciones de tipo de edificio establecidas por Europa, y asignar las distribuciones dadas en el CTE, o asignadas de forma particular por el usuario)
- 3) Facilitar los cerramientos que no aportan carga térmica de diseño, pero si inercia térmica al edificio. Son las paredes, techos y suelos que comunican con otros locales de la misma instalación. Se deben especificar, o bien de forma aproximada se pueden

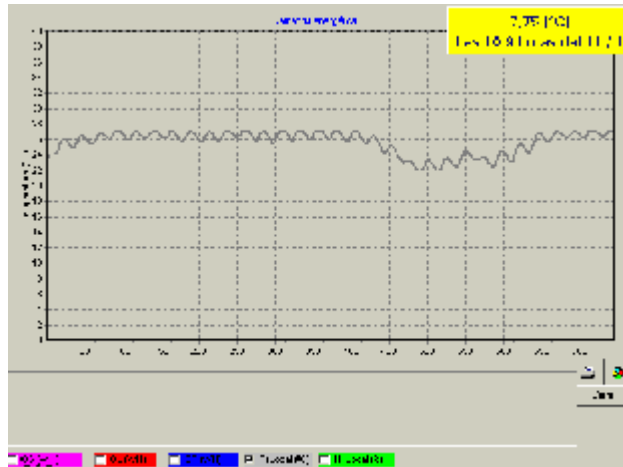


Figura 4 – Pantalla donde se observa la evolución de la temperatura del local

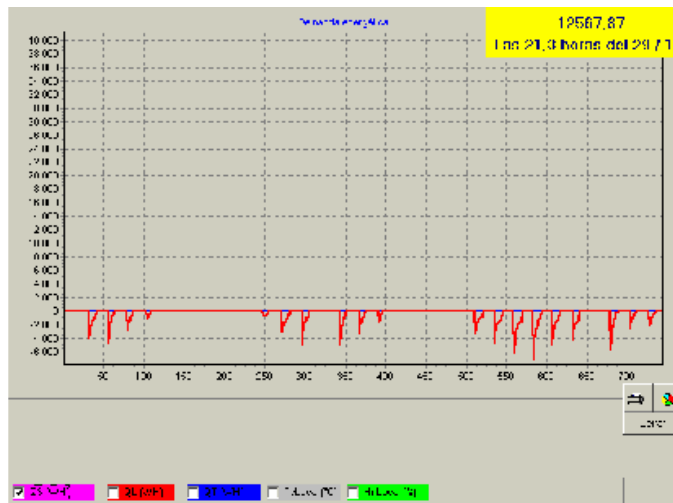


Figura 5 – Pantalla donde se observa la demanda instantánea

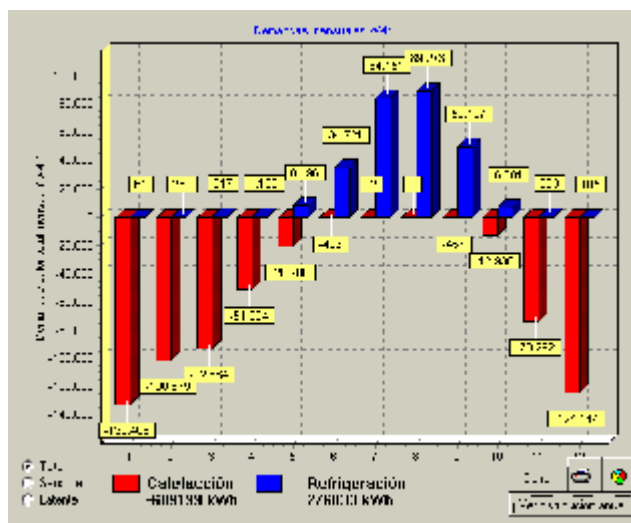


Figura 6 – Pantalla donde se observa la demanda mensual

7. Conclusiones

Se ha especificado someramente en esta ponencia como transformar un modelo informático para que a partir de un programa de estimación de cargas térmicas mediante las funciones de transferencia sea posible obtener la demanda térmica de un edificio, y por tanto analizarlo mediante procedimientos prestacionales

Se ha representado como trabaja el programa de estimación de demanda vpCLIMAD

NOMENCLATURA

A - Area (m^2)

$C_{p_{as}}$ - Calor específico del aire ($1\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)

C_{p_v} - Calor específico del vapor de agua ($1,805\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)

F - Fracción soleada (tanto por uno)

h_c - Coef. convección ($\text{W/m}^2\text{C}$)

I - Radiación solar transmitida a través de un cristal simple por m^2 (W/m^2)

m_r - Porcentaje de energía disipada en forma radiante (%)

n_v - Shade Coefficient del cerramiento semitransparente (tanto por uno)

PT - Potencia total disipada (W)

PM - Peso muebles por m^2 de suelo(kg/m^2)

PS - Peso estándar de muebles por m^2 de suelo(kg/m^2)

Q - Demanda (kWh)

T - Temperatura seca ($^\circ\text{C}$)

TR - Temperatura de referencia ($^\circ\text{C}$)

U - Coef. global de transferencia de calor ($\text{W/m}^2\text{C}$)

V - Caudal aire (m^3/h)

Vol - Volumen del local (m^3)

W - Humedad específica (gr/gr as)

X - Coef. X de las funciones de transferencia ($\text{W/m}^2\text{C}$)

Y - Coef. Y de las funciones de transferencia ($\text{W/m}^2\text{C}$)

Z - Coef. Z de las funciones de transferencia ($\text{W/m}^2\text{C}$)

REFERENCIAS

Código Técnico (2004) <http://www.codigotecnico.org>

DOE.2.2 (2000) United States Department of Energy <http://www.doe2.com>

TRNSYS (2000) Solar Energy Laboratory Wisconsin v.15 <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>

Meteonorm (2004) v.5.0 <http://www.meteotes.ch/>

dpCLIMA (2004) v1.5 <http://www.upv.es/termotec/>

Pinazo J.M. Manual climatización. Tomo II. (1995) ISBN 84-7721-341-0

DEVELOPEMENT OF A FRIENDLY SOFTWARE TO ESTIMATE THE ENERGY DEMAND OF A BUILDING.

Abstract:

The trends in the new energy codes and normatives in Europe goes through changing from the prescriptive into the performance point of view. That means that instead of constraining the energy demand of each constructive element or the building as a whole by a maximum in their thermal conductance (named Kg-method in Spain) what is limited is the whole foreseen energy demand for a typical mean year. This new method has advantages and drawbacks; on one hand it gives more freedom to the architect and the engineer when projecting but on the other makes more complex the estimation of the energy demand. In order to get an acceptable estimate of the demand, either for cooling or heating, a one year simulation of the thermal response of the building seems to be necessary. The simulation should take into account, at least; the weather through the use of a mean typical year, and schedules of occupancy and control of the facilities. When the simulation is brought to every-day practice a common drawback appears related with the difficulty of the software tools at hand. Moreover, the engineers are not used to the new concepts, to the understanding of the results and the learning curve turns into a too steep mountain. This article shows how, a commercial software already used by many engineers (in Spain), that need to compute the thermal loads of buildings and named dpCLIMA©, has been adapted without a dramatic increase in complexity to the energy demand estimation, thus making easy and feasible the transition to the new european normatives.

Key works : Software, simulation, energy demand, loads air conditioning