ANTESOL: Programa de simulación del comportamiento térmico de cerramientos soleados

MANUEL MARTÍN MONROY

RESUMEN

Se ha desarrollado una herramienta para el análisis térmico de cerramientos de edificios, con cualquier inclinación y composición constructiva, mediante un modelo de simulación por diferencias finitas que considera rigurosamente las condiciones ambientales exteriores e interiores, especialmente el soleamiento y la irradiación infrarroja. Los resultados obtenidos son las temperaturas y flujos de calor generados durante un ciclo diario. El programa de simulación se ha formalizado en la aplicación informática ANTESOL para Windows 95/NT, concebida como una aplicación técnica dirigida a arquitectos, ingenieros o físicos, para cuantificar las cargas térmicas y optimizar el diseño bioclimático de cerramientos de edificios en climas cálidos y soleados.

ABSTRACT

ANTESOL: Simulation Program of thermal conduct of sunny walls and roofs

A tool has been developed for the thermal analysis of walls and roofs in buildings, with any slope and constructive composition, through a simulation model by finite differences which rigorously considers the interior and external environmental conditions, especially the solar energy and the infrared irradiation. The results obtained are the temperatures and heat flows generated during a daily cycle. The simulation program has been formalized in the application software ANTESOL for Windows 95/NT, conceived as a technical application for architects, engineers or physicists, to quantify the thermal load and to optimize the bioclimatic design of envelope of buildings in warm and sunny climates.

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual del control ambiental de edificios se sintetiza en el concepto de **arquitectura bioclimática**, que destaca la importante contribución de los cerramientos de los edificios (fachadas y cubiertas) como principal barrera frente a los factores climáticos, valorando no sólo sus propiedades de **aislamiento térmico** sino también sus propiedades de **capacidad o inercia térmica** para estabilizar y autorregular las condiciones ambientales interiores.

Se ha comprobado que en climas cálidos y soleados, como es el caso de Canarias, el factor dominante en el comportamiento térmico de los cerramientos es el **soleamiento**, pero es un fenómeno muy complejo de estimar y de aplicar a casos concretos. Además, existe el fenómeno denominado **irradiación**

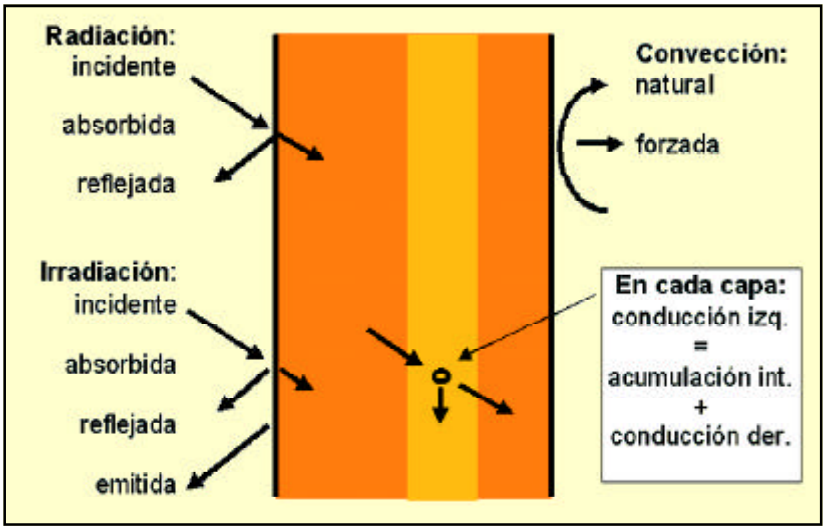
nocturna, inverso al soleamiento y de magnitud similar, que no se suele considerar a pesar de su importancia.

Como consecuencia de la demanda actual de un método científico para estudiar rigurosamente el comportamiento térmico de los cerramientos de edificios, en condiciones ambientales reales, el autor ha desarrollado una línea de investigación que culminó con la elaboración de su tesis doctoral denominada «*Comportamiento Térmico de Cerramientos Soleados: un modelo de simulación por diferencias finitas*», que fue aprobada *cum laude* por esta Universidad.

El modelo de simulación propuesto considera con rigurosidad los parámetros fundamentales del ambiente y del cerramiento que intervienen en los procesos físicos de transferencia del calor, con especial atención a la influencia del soleamiento, y que permite analizar con detalle las **temperaturas y flujos de calor generados durante un ciclo diario**.

Entre los **parámetros físicos del ambiente** en el exterior e interior del cerramiento se han considerado la absorción de la radiación de onda corta (soleamiento real e iluminación) e intercambio de radiación de onda larga (irradiación infrarroja) con el entorno real. También se han estudiado los mecanismos de convección natural y forzada (temperatura y velocidad del aire) durante un periodo diario. Además, en el caso que no se disponga de datos detallados de las condiciones ambientales reales, el modelo de simulación tiene capacidad para estimarlos a partir de unos pocos parámetros estadísticos.

El modelo de simulación también considera los **parámetros físicos del cerramiento**, tanto en sus superficies exterior e interior (radiación y convección) como en su interior (resistencia y capacidad térmica). Además, para la aplicación generalizada del modelo de simulación, se pueden considerar los cerramientos con cualquier inclinación (desde fachadas a cubiertas) y con cualquier estructura interna (cerramientos heterogéneos).



Esquema de los flujos de calor entre un cerramiento y su entorno.

Los **resultados del proceso de simulación** muestran la *historia diaria* del comportamiento térmico del cerramiento: temperaturas de las superficies y de cada punto del interior del cerramiento, los diferentes flujos de intercambio de calor entre las superficies del cerramiento y el entorno, y los flujos de conducción y acumulación de calor en cada punto del interior del cerramiento.

ANTECEDENTES

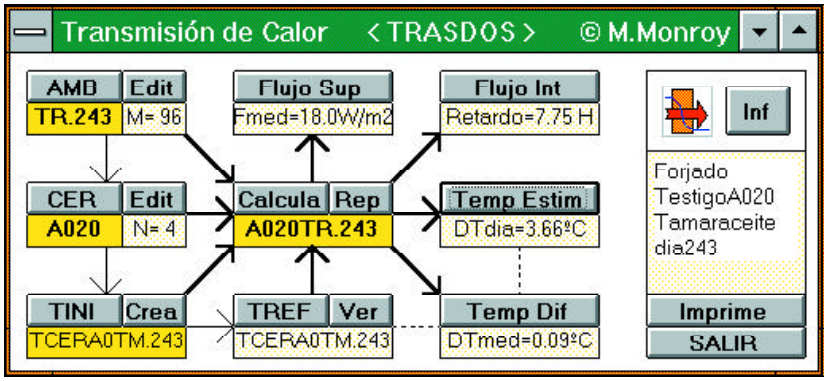
El modelo de simulación propuesto por el autor en su tesis doctoral se concretó en el programa informático TRASDOS, que es una aplicación científica que permite comparar la predicción del comportamiento térmico de cerramientos modelizados con los datos medidos en cerramientos y condiciones ambientales reales en laboratorio, y que fue utilizado como herramienta de verificación de los algoritmos de cálculo desarrollados durante la investigación.

Para comprobar la bondad del modelo de simulación se construyó un *módulo experimental* a escala real para realizar mediciones sobre diferentes tipos de cubiertas, para lo cual se instaló una estación metereológica y un sistema automático de adquisición de datos. Las cubiertas fueron monitorizadas con numerosos sensores temperaturas Pt-100 en su interior, estando sometidas a condiciones exteriores de verano con un ambiente interior climatizado.

Se ha verificado la bondad de modelo de simulación mediante la correlación de sus resultados analíticos con los resultados de un modelo experimental a escala real sometido a condiciones ambientales reales. En la gráfica de verificación se muestran superpuestas las temperaturas estimadas y medidas en una cubierta en Las Palmas durante un día de agosto, donde se aprecian la notable coincidencia de las temperaturas de cada capa.

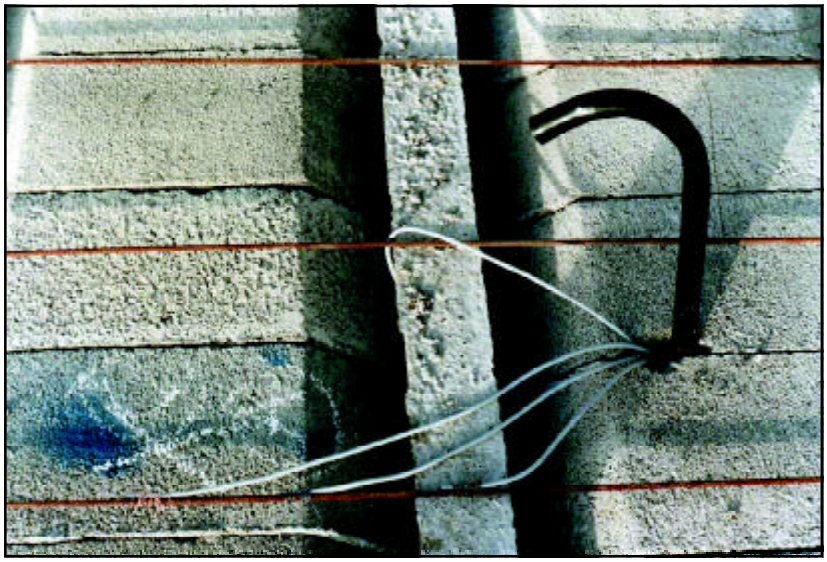
EL PROGRAMA ANTESOL

Al iniciarse el programa ANTESOL se muestra a la izquierda las ventanas del editor de ambiente y el editor de cerramiento para la entrada de datos, y a la derecha la ventana principal de cálculo de la transmisión del calor y las 6 venta-



Ventana principal del programa TRASDOS.

Cubierta experimental monitorizada.



Forjado experimental con sensores Pt-100.

nas de salida de los resultados de temperaturas y flujos de calor, en formato de tabla de valores, gráfico diario y animación de una sección.

El orden lógico de ejecución es crear o cargar los datos del ambiente y del cerramiento antes de iniciar el cálculo, el cual mostrará automáticamente las ventanas con los resultados. Los datos de entrada del ambiente y el cerramiento se pueden combinar y modificar para hacer nuevos cálculos. Todos los datos y resultados se pueden guardar para su uso posterior.

EDITOR DE AMBIENTE

Esta ventana permite la creación y edición de los parámetros del ambiente exterior e interior de cualquier cerramiento durante un *día de proyecto*, caracterizados por los valores de temperatura, velocidad del aire y radiación incidente, en intervalos de 15 minutos durante 24 horas. Se incluyen los datos utilizados para calcular la radiación y un resumen estadístico de cada parámetro, además del nombre descriptivo.

Este módulo dispone de botones que permiten abrir un fichero de la base de datos y guardar o imprimir los resultados. En caso de querer crear un nuevo fichero de ambiente se inicializan todos los datos.

Los valores diarios exteriores e interiores de **temperatura (TE, TI)** y **viento (VE, VI)** se generan con la ventana del editor de curvas, introduciendo de forma gráfica los valores *máximo* y *mínimo*, las *horas* en que ocurren, y un coeficiente de *valle* o *montaña* que modifican la curva pseudo-sinusoidal, para luego importar los valores diarios parametrizados en la columna correspondiente.

Los valores de **radiación exterior (RE)** se generan mediante una subprograma que considera la *lati-*

tud del lugar y la *fecha* del año, la *humedad* de la atmósfera (transparencia) y el coeficiente de *horas de sol* efectivas/teóricas (nubosidad), la *orientación* e *inclinación* del exterior del cerramiento, la *altura del horizonte* (obstrucciones solares) y el *albedo* (reflectancia del entorno), para calcular la suma de la radiación directa, difusa y reflejada para cada instante del día. Otro subprograma calcula, con los mismos datos, la *emitancia* aparente del entorno para la estimación de la **irradiación infrarroja**.

También se pueden generar los valores de la **radiación interior (RI)** mediante el *factor de luz de día*, que es un coeficiente constante entre la iluminación natural del interior del cerramiento y la iluminación horizontal exterior.

Por último, se puede verificar la integridad de los datos, y analizar los valores por su resumen estadístico o desplegar la tabla de valores diarios con diferentes resoluciones. Además, los datos archivados están perfectamente estructurados como un fichero de texto que se puede modificar con un editor externo.

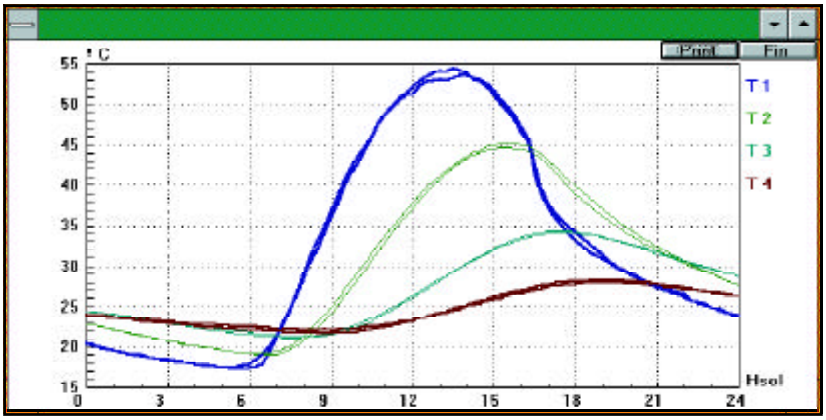
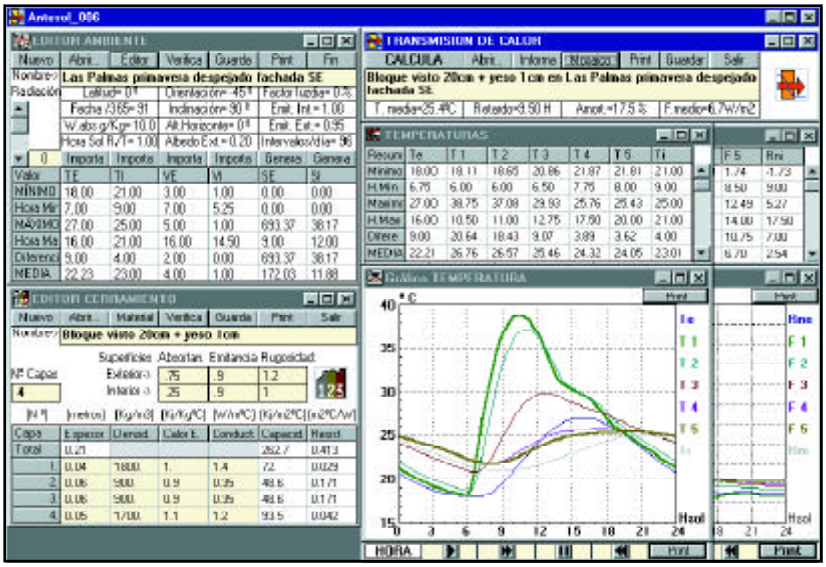


Gráfico de verificación de temperaturas estimadas y medidas.



Ventana del programa ANTESOL.

EDITOR DE CERRAMIENTO

Esta ventana permite la creación y edición de los parámetros de cualquier tipo de cerramiento, caracterizado por los valores de las superficies y la composición del interior del cerramiento.

Este módulo, igual que el anterior, dispone de botones que permiten abrir un fichero de la base de datos y guardar o imprimir los resultados. En caso de querer crear un nuevo fichero de cerramiento se inicializan todos los datos.

Los parámetros de las superficies exterior e interior se definen por los valores introducidos en las *celdas* de **absortancia** para la radiación solar, **emitancia** para la radiación infrarroja y **rugosidad** para la convección. Se advierte que la inclinación del cerramiento es un parámetro ambiental.

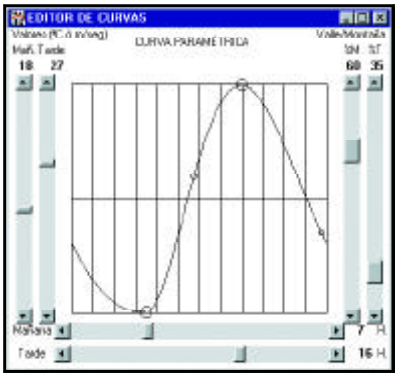
La composición del interior del cerramiento se define primero por el valor introducido en la *celda* del **número de capas**, con lo que automáticamente se genera una *hoja de cálculo* para introducir los valores de los siguientes parámetros de cada capa: **espesor, densidad, calor específico** y **conductividad**. Según se introducen los valores el programa calcula automáticamente la capacidad y resistencia térmica de cada capa y del total del cerramiento.

Por último, se puede verificar la integridad de los datos o mostrar la ventana auxiliar de material, con valores tabulados de propiedades superficiales y térmicas de la mayoría de los materiales de construcción. Además, cuando se apunta cualquier elemento con el ratón, el programa muestra automáticamente un rótulo con información específica.

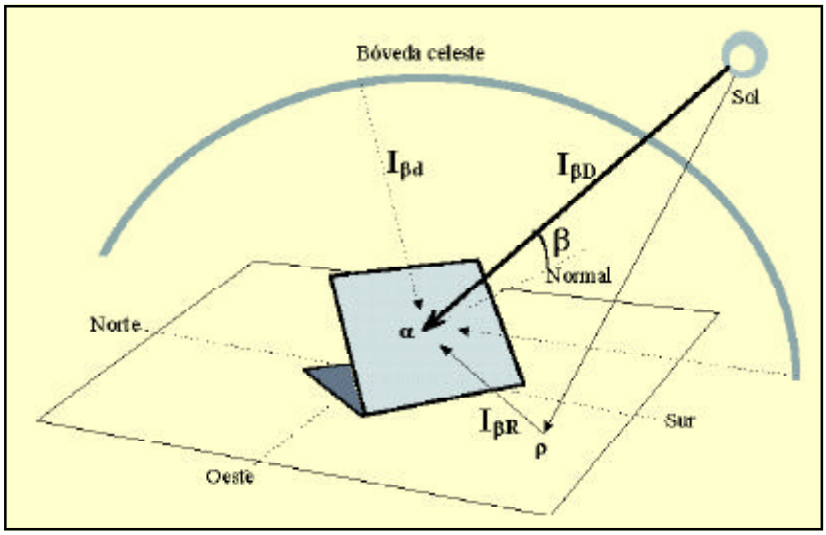
Editor de ambientes.

CALCULO DE TRANSMISIÓN DE CALOR

Una vez que se dispone de una combinación de datos de un ambiente y un cerramiento, con sólo pulsar el botón de **calcula** se desencadenan numerosos procedimientos de gestión de datos, algoritmos de cálculo y tratamiento de resultados, que por su interés se comentan en detalle.



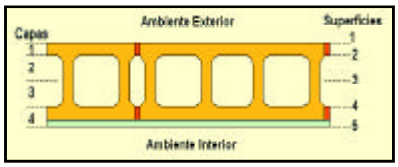
Editor de curvas parametrizadas.



Esquema de radiación solar directa difusa y reflejada.

Editor de cerramientos.

Como preparación al proceso de cálculo se inicializan y verifican las matrices de datos y se crea un título como combinación del nombre del cerramiento y del ambiente.



Esquema de sección de cerramiento.

La primera tarea es el precálculo de las temperaturas provisionales de cada capa en el instante inicial, según los datos del ambiente y cerramiento con unas resistencias superficiales típicas, considerando el cerramiento en equilibrio térmico estacionario.

El algoritmo fundamental de cálculo del ciclo diario en cada instante se basa en el *Método de Crank-Nicolson* para determinar la *transmisión de calor en cerramientos en régimen transitorio*, utilizando la técnica de *diferencias finitas*, y que ha sido ampliado por el autor para *cerramientos heterogéneos con radiación en sus superficies*, tal como se describe en el capítulo 3.5 de su tesis y se aplicó en el programa TRASDOS.

En esta versión del programa se ha optimizado el algoritmo al considerar las temperaturas en las fronteras de las capas en vez de en su centro. El fundamento de este método alternativo es considerar que, durante el intervalo considerado de 15 minutos, la diferencia entre el flujo medio de calor procedente de la capa izquierda y enviado a la capa derecha se acumula en la capacidad térmica de las semicapas izquierda y derecha de la frontera, provocando una variación de la temperatura en dicha frontera.

Partiendo de las temperaturas iniciales se calculan las ecuaciones de equilibrio para todas las capas, introduciendo los flujos de calor superficiales provocados por la radiación neta de la las superficies (soleamiento absorbido e irradiación neta) y la convección, y se puede resolver un sistema de ecuaciones simultáneas que determina las temperaturas en cada punto al final del intervalo considerado.

En cada periodo es preciso estimar la radiación solar absorbida y la irradiación infrarroja neta, que depende de la temperatura instantánea de la superficie. La convección también se estima en cada periodo, con una resistencia superficial variable dependiente de la rugosidad, la inclinación, el viento y la temperatura instantánea del aire y la superficie, utilizando una compleja función de convección mixta desarrollada por el autor.

Es decir, que el proceso diario se calcula partiendo de las temperaturas conocidas del instante inicial Y=0 para estimar las temperaturas del instante siguiente, y repitiendo el ciclo hasta determinar las temperaturas del instante final y=96.

Ahora bien, dado que se han utilizado una temperaturas iniciales provisionales, se debe reiniciar el cálculo tomando como temperaturas iniciales (hora 0:00) las temperaturas estimadas para el instante final (hora 24:00), proceso que se repite automáticamente durante varios ciclos diarios hasta comprobar

que las diferencias entre inicio y final son inferiores a 0.01ºC.

Al final del ultimo ciclo diario se conocen todos los flujos superficiales y las temperaturas interiores, lo cual permite calcular los flujos interiores de transmisión y de acumulación en cada capa.

Por último, se procesan todos los resultados, se calculan los valores estadísticos, y se muestran las 4 celdas con la síntesis del cálculo: temperatura media del cerramiento, retardo de las temperaturas superficiales máximas, amortiguación de la onda de calor y flujo medio interior.

Esta ventana dispone de botones para abrir y guardar un fichero con todos los datos y resultados, imprimir todas las ventanas, informar de las instrucciones del programa, ordenar el mosaico de todas las ventanas y salir del programa.

Terreno con humedad natural	1800	1460	2.10
Urea-formol espuma	12		0.04
Vermiculita expandida	120		0.04
Vidrio celular	160		0.04
Vidrio plano	2500	836	0.95

MATERIALES NBE-CT-79:	Densidad	CalorE	Conduc
Unidades:	Kg/m3	J/Kg*C	W/m*C

SUPERFICIES:	Coef. de rugosidad R
Estuco o tirolesa	1.50
Ladrillo o pintura rugosa	1.20
Hormigón visto	1.15
Enfoscado (valor referencia)	1.00
Madera natural	0.95
Guarnecido de yeso	0.90
Vidrio o superficie pulida	0.85

SUPERFICIES:	Absortancia	Emitancia
Plástico blanco	0.05	0.92
Cal, yeso	0.08	0.95
Nieve	0.10	0.85
Aluminio pulido	0.10	0.05

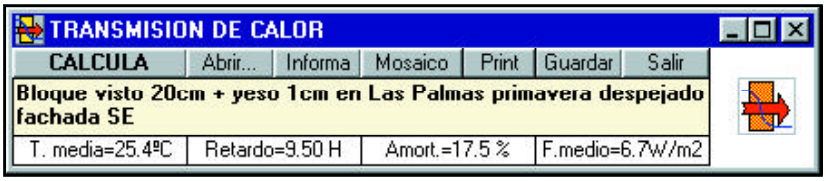
Detalle de la tabla de propiedades de los materiales.

TEMPERATURAS ESTIMADAS

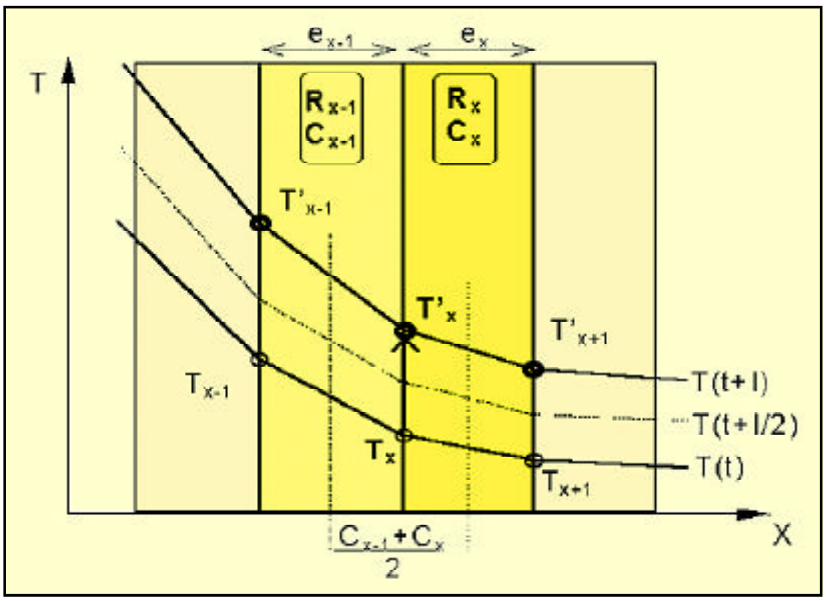
Los valores de las **temperaturas** (ºC) calculadas se muestran en tres ventanas con formatos de tabla de valores, gráfico diario y animación de una sección para facilitar su análisis.

La ventana de *tabla de valores* muestra el resumen estadístico de las temperaturas del aire exterior (Te) e interior (Ti), y las temperaturas del interior del cerramiento en cada una de las fronteras de las capas, correspondiendo la primera (T_1) a la superficie exterior y la última (T_{N+1}) a la superficie interior. Una barra deslizante permite desplegar otra tabla con las temperaturas instantáneas con diferente resolución temporal.

La ventana de *gráfico diario* muestra las curvas de evolución diaria de cada columna de temperatura, con



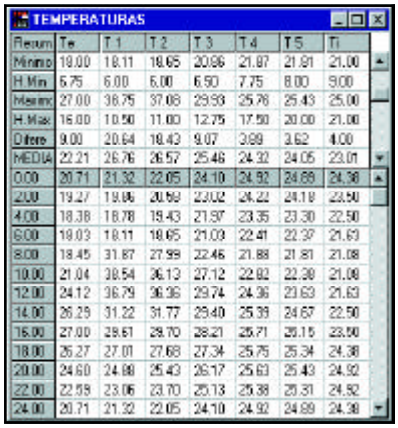
Ventana principal de transmisión de calor.



Esquema del método de diferencias finitas.

$$\frac{\frac{T'_{x-1}-T'_x}{2}+\frac{T_{x-1}-T_x}{2}}{R_{x-1}}-\frac{\frac{T'_x-T'_{x+1}}{2}+\frac{T_x-T_{x+1}}{2}}{R_x}=\frac{\frac{C_{x-1}+C_x}{2}}{l}(T'_x-T_x) \quad [W/m^2]$$

Ecuación adaptada del método Crank-Nicolson.



TEMPERATURAS

Resum	Te	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	Ti
Mínimo	19.00	18.11	18.65	20.86	21.97	21.91	21.00
H.Min	5.75	6.00	6.00	6.50	7.75	8.00	9.00
Máxim	27.00	36.75	37.08	29.93	25.76	25.43	25.00
H.Máx	16.00	10.50	11.00	12.75	17.50	20.00	21.00
Difere	9.00	20.64	18.43	9.07	3.99	3.62	4.00
MEDIA	22.21	26.76	26.57	25.46	24.32	24.05	23.01
0.00	20.71	21.32	22.05	24.10	24.92	24.89	24.38
2.00	19.27	19.06	20.69	23.02	24.22	24.19	23.50
4.00	18.38	18.78	19.43	21.97	23.35	23.30	22.50
6.00	19.03	18.11	18.65	21.09	22.41	22.37	21.63
8.00	18.45	31.87	27.99	22.46	21.88	21.81	21.08
10.00	21.04	30.54	36.13	27.12	22.82	22.38	21.08
12.00	24.12	36.79	36.36	29.74	24.36	23.63	21.63
14.00	26.29	31.22	31.77	29.40	25.39	24.67	22.50
16.00	27.00	29.61	28.70	28.21	25.71	25.15	23.50
18.00	26.27	27.01	27.68	27.34	25.76	25.34	24.38
20.00	24.60	24.88	25.43	26.17	25.63	25.43	24.92
22.00	22.58	23.06	23.70	25.13	25.38	25.31	24.92
24.00	20.71	21.32	22.05	24.10	24.92	24.89	24.38

Tabla de temperaturas estimadas.

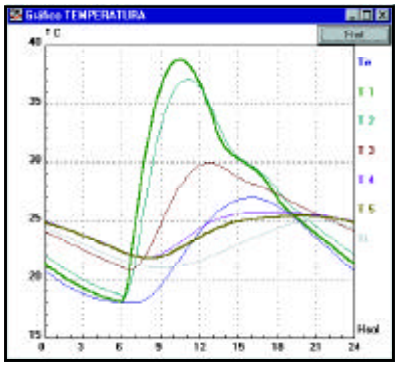
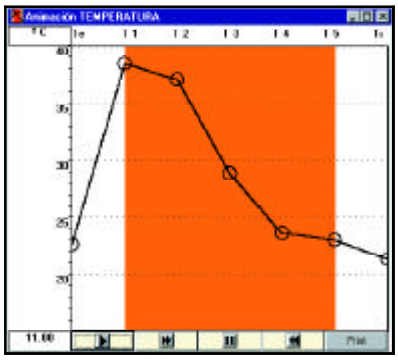
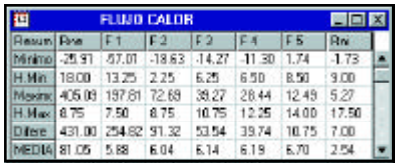


Gráfico de temperaturas estimadas.



Animación de temperaturas estimadas.



FLUJO CALOR

Resum	Rne	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	Rni
Mínimo	-25.91	-57.01	-18.63	-14.27	-11.30	1.74	-1.73
H.Min	18.00	13.25	2.25	6.25	6.50	8.50	9.00
Máxim	405.09	197.61	72.68	38.27	28.44	12.49	5.27
H.Máx	8.75	7.50	8.75	10.75	12.25	14.00	17.50
Difere	431.00	254.62	91.32	53.54	39.74	16.75	7.00
MEDIA	81.05	5.88	6.04	6.14	6.19	6.70	2.54

Tabla de flujos de calor estimados.

un botón para su impresión. Esta ventana se puede desplazar libremente y modificar su tamaño hasta ocupar toda la pantalla. Picando con el ratón se muestra un rótulo con el instante y valor de dicho punto del gráfico.

La ventana de *animación* muestra una sección del cerramiento con el gráfico transversal de temperaturas en un instante. Los botones inferiores permiten ver la evolución temporal de las temperaturas paso a paso, en movimiento continuo, detener y reiniciar. Igual que la anterior, esta ventana se puede imprimir, desplazar y ampliar.

FLUJOS DE CALOR ESTIMADOS

Los valores de la intensidad de los **flujos de calor** (W/m²) calculados se muestran también en tres ventanas con formatos de tabla de valores, gráfico diario y animación de una sección para facilitar su análisis.

La ventana de *tabla de valores* muestra el resumen estadístico de los flujos de **radiación neta** de la superficie exterior **(Rne)** e interior (**Rni**), como sumas de la radiación

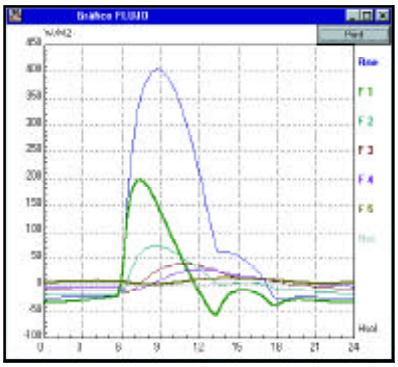


Gráfico de flujos de calor estimados.

solar absorbida y la irradiación infrarroja neta, y los flujos de calor de **conducción** del interior del cerramiento en cada una de las fronteras de las capas, correspondiendo la primera ($\mathbf{F_1}$) a la superficie exterior y la última ($\mathbf{F_{N+1}}$) a la superficie interior. Una barra deslizante permite desplegar otra tabla con los flujos instantáneos con diferente resolución temporal.

La ventana de *gráfico diario* de flujo de calor muestra las curvas de evolución diaria de cada columna, similar a la de las temperaturas.

La ventana de *animación de flujo* de calor muestra una sección del cerramiento con un gráfico transversal de intensidades del flujo calorífico de **radiación** y **conducción**, que se considera positivo cuando entra del exterior (izquierda) hacia el interior (derecha). Las diferencias entre intensidades consecutivas se muestran con columnas de color rojo cuando existe una fuente y de color azul cuando existe un sumidero de calor en dicha zona, correspondiendo la primera columna a la radiación neta exterior, la segunda a la **convección** exterior, y las interiores a la **acumulación** en cada capa del cerramiento, para terminar con la convección y la radiación interior.

APLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Como conclusión, se pretende que este programa contribuya a conocer mejor el comportamiento térmico de los cerramientos de nuestros edificios durante un ciclo diario y poder experimentar con lo que pasaría si se cambian las condiciones ambientales o su composición constructiva.

Una aplicación inicial del programa sería el calculo detallado de la transmisión del calor en el tiempo y cuantificar la carga térmica

máxima para el dimensionado de las instalaciones de climatización. El programa que se distribuya contará con una amplia base de datos de ambientes y cerramientos típicos, especialmente orientado a su aplicación en climas cálidos como el de Canarias.

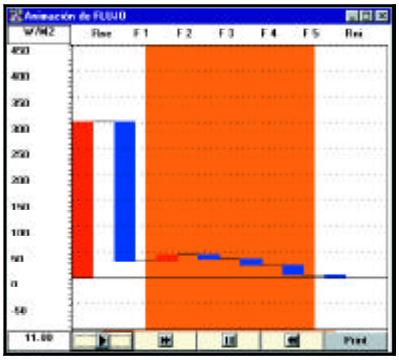
La aplicación del programa al estudio de cerramientos ya construidos también puede facilitar el diagnóstico de patologías térmicas, que pueden llegar a degenerar en un *síndrome de edificio enfermo*, y permitir la correcta aplicación de medidas correctoras.

Sin embargo, la más interesante aplicación del programa sería su utilización como herramienta de diseño de cerramientos bioclimáticos, permitiendo optimizar la resistencia e inercia térmica de fachadas y cubiertas para adaptarse a las inclemencias ambientales.

La flexibilidad del programa para comparar los resultados obtenidos cuando se efectúan cambios en algunos de los parámetros de entrada permitiría evaluar la influencia de factores tales como:

- Diferentes orientaciones e inclinaciones del cerramiento.
- Reflectancia, absortancia o rugosidad de las superficies.
- Posición del aislamiento en el interior del cerramiento.
- Variación de la masa y su influencia en la inercia térmica (retardo y amortiguación)

Se ha dedicado especial atención en dotar al programa de una presentación clara y facilitar su utilización por técnicos no especialistas, con numerosas ayudas contextuales, para lo cual se ha contado con la colaboración del experto en informática Dr. Víctor Espino, con el afán de potenciar la transferencia de los resultados de la investigación al desarrollo técnico y económico de la sociedad.



Animación de flujos de calor estimados.

GLOSARIO

Absortancia: Coeficiente entre la energía solar absorbida y la incidente sobre una superficie.

Amortiguación: coeficiente entre la amplitud de salida y la de entrada de la onda de calor.

Bioclimático: Edificio o sistema con cierta capacidad de autorregulación para conservar la comodidad ambiental interior, adaptándose a las variaciones climáticas.

Calor específico: Propiedad de cada material para acumular calor en su masa cuando aumenta su temperatura (KJ/Kg ºC).

Capacidad térmica: Cantidad de calor que acumula un elemento constructivo por unidad de superficie cuando aumenta su temperatura (KJ/m^2 ºC).

Conductividad: Propiedad de cada material para conducir un flujo de calor entre dos superficies separadas cuando existe una diferencia de temperatura (W/m ºC).

Convección: Mecanismo de transmisión de calor entre una superficie y un fluido (el aire) que se desplaza por dilatarse (C. Natural) o por fuerzas externas (C. Forzada).

Diferencias finitas: Método matemático que sustituye los términos de una ecuación diferencial por incrementos de dimensión finita para su cálculo numérico aproximado.

Emitancia: Coeficiente entre la radiación infrarroja que emite una superficie y la que emitiría si fuera un emisor perfecto (cuerpo negro).

Inercia térmica: Fenómeno de acumulación transitoria de calor en la masa del cerramiento cuando es sometido a un flujo de calor periódico (diario), que provoca un *retardo* y una *amortiguación* en la onda de calor saliente.

Irradiación infrarroja: Flujo de energía electromagnética de onda larga que emiten todas las superficies a temperatura ambiente.

Irradiación infrarroja nocturna: Pérdida neta de calor por irradiación de las superficies orientadas al firmamento, debido a la transparencia parcial de la atmósfera al infrarrojo (emitancia aparente).

Retardo: Desfase entre los máximos de la onda de calor entrante y saliente de un cerramiento con *inercia térmica* (horas).

Rugosidad: Coeficiente entre el área real y el área aparente de una superficie, que influye en la convección.

Síndrome de edificio enfermo: Conjunto de patologías o defectos ambientales de un edificio que perjudica la salud o comodidad de sus ocupantes.

BIBLIOGRAFÍA

ASHRAE. (1975): *Handbook of fundamentals 1975.* Nueva York, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Atwater, M. A. / Ball, J. T. (1978): *"A numerical solar radiation model based on standard metereological observations". Solar Energy*, Vol. 21, págs. 163-170. Pergamon Press.

Isachenko, V. et al. (1979): *Transmisión del calor.* Barcelona, Marcombo.

Kreith, F. Black, W. Z. (1980): *La transmisión del calor: Principios fundamentales.* Madrid, Ed. Alhambra.

Liu, B. Y. H. / Jordan, R. C.(1960): *"Interrelationship and characteristic distribution of direct,diffuse and total solar radiation". Solar Energy*, Vol. 4, Nº3, págs.1-19. Pergamon Press.

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.(1979): *NBE. CT-79: Norma básica sobre condiciones térmicas en edificios.* Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Norris, D. J.(1968): *"Correlation of solar radiation with clouds". Solar Energy*, Vol. 12, págs.107-112. Pergamon Press.

Unsworth, M. J. / Monteith, J. L. (1975): *"Longwave radiation at the ground: angular distribution of incoming radiation". Quart. Journey of Royal Metereological Society*, nº101, págs. 1-13.

Yáñez, G.(1982): *Energía solar, edificación y clima.* Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 2 tomos.

BIOGRAFÍA

MANUEL MARTÍN MONROY

Natural de Gran Canaria (1954), es Doctor Arquitecto y Profesor Titular del Departamento de Construcción Arquitectónica de la ULPGC, impartiendo docencia de Acondicionamiento Ambiental desde 1978. Es experto en Arquitectura Bioclimática e Instalaciones en Edificios, impartiendo cursos de doctorado y de especialidad nacionales, y presentando ponencia en el congreso COMPAT-97(Porto Alegre)
Es director del Proyecto de Innovación Docente «El Edifico: Editorial Electrónica de Construcción», ejerciendo de Editor y Webmaster, experiencia que ha defendido en la «EAAE-1997: European Associación for Architectural Education». Además es autor de la colección «Ambiente». Es responsable del grupo de trabajo «AEVARQ: Acondicionamiento y Evaluación Arquitectónica», realizando trabajos técnicos y de investigación con la colaboración de la Fundación Universitaria. Actualmente es Secretario de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Dirección:
Departamento de Construcción Arquitectónica.
Escuela de Arquitectura.
Campus Universitario de Tafira
35017 Las Palmas de Gran Canaria.
Tlf. 928.451387. Fax 928.451365
Email mmm@arucas.cda.ulpgc.es
http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente

Este trabajo ha sido seleccionado por el Programa Innova de la
Fundación Universitaria de Las Palmas

y patrocinado por:

SOCIEDAD ANÓNIMA CANARIA DE TRABAJOS Y OBRAS (SATOCAN)