

**SIMULACION DE TEMPERATURAS INTERNAS EN EL PROCESO PROYECTUAL:
E-TEMP.XLS, UN NUEVO ENFOQUE PARA EVALUAR COMPORTAMIENTO TÉRMICO.**

John Martin Evans¹.

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires
Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria, Buenos Aires.
Tel / Fax: (011) 4789-6274 / e-mail: evansjmartin@gmail.com

RESUMEN: Adoptando la premisa que el proceso proyectual requiere métodos rápidos y robustos para evaluar alternativas de diseño en etapas iniciales de proyectos, este trabajo presenta el desarrollo, aplicación y evaluación de un nuevo enfoque para simular variaciones de temperatura interior de un local naturalmente acondicionado. Después de analizar los requerimientos para esta aplicación, se evalúan las ventajas de planillas electrónicas. Desarrollada en Microsoft Excel, la planilla electrónica *e-temp.xls* permite una aplicación con rápido ingreso de datos pre-establecidos, evitando errores y mostrando los resultados inmediatamente después de cada ingreso de datos. Se presentan las características de la planilla que incluye una base de datos de distintas alternativas constructivas, datos climáticos y solarimétricos. Habiéndose comparado los resultados con otros programas similares, se evaluó el uso de la planilla a nivel de cursos de grado y posgrado, con alumnos de arquitectura y maestrands de cursos especializados, conjuntamente con una encuesta a usuarios.

Palabras clave: simulación térmica, método de admitancia, planilla electrónica, temperaturas interiores.

INTRODUCCION

Los programas de simulación del comportamiento térmico y energético responden a tres distintos tipos de requerimientos, claramente diferenciados: programas sencillos para evaluar alternativas de diseño en las etapas iniciales de proyecto, programas para evaluar el comportamiento térmico con mayor precisión, por ejemplo, en la comparación con mediciones en edificios, y programas muy complejos usados para evaluar el comportamiento energético de un edificio durante el periodo de un año y contemplando la interacción de entre iluminación, ventilación, calefacción y refrigeración. La Tabla 1 indica las características, objetivos y referencias de ejemplos de los tres tipos de programas.

Tabla 1. Distintos tipos de programas de simulación.

Tipo	Objetivo	Métodos	Ejemplos
Básica o 'caja de herramientas' (Clarke, 2001)	Evaluar alternativas de diseño en etapas iniciales del proyecto.	Admitancia Métodos pseudo-dinámicos	Arquipak (Szokolay, 1998) Arquitrop (Brasil) LT-Europe, (Baker et al, 1993)
Detallada	Estudiar el comportamiento térmico de edificios de baja y mediana complejidad: días típicos.	Diferencias finitas, Constante de tiempo Series de Fourier	Quick (Richards, 1992) Simedif (Casermeiro y Saravia, 1984)
Compleja y integrada	Evaluar la demanda anual de energía y dimensionamiento de instalaciones en edificios complejos.	Integración de distintos métodos.	Energy 10, (Balcomb, 1998) Energy+ (Crawley et al, 2001) ESP-r (Clarke, 2001)

Varios autores (Balcomb, 1998; Szokolay, 1998; Clarke, 2001) enfatizan la importancia de apoyar las decisiones de diseño en las etapas iniciales de diseño a fin de orientar el desarrollo del proyecto de modo que permita elegir la forma edilicia, la orientación y el emplazamiento, y definir el carácter arquitectónico del mismo. En esta etapa, se requiere contar con programas básicos que proporcionen resultados rápidos, sin demorar el proceso proyectual, y posibilitar la evaluación de alternativas al momento de orientar al proyectista. Los programas de las categorías 'detallados' y 'complejos' permiten lograr una verificación de los resultados, con mas precisión, cuando las características del edificio en desarrollo requieren mayor definición, situación que no se corresponde con las etapas iniciales de proyecto.

En este trabajo se presenta el diseño, desarrollo y evaluación de un nuevo programa, en forma de una planilla electrónica '*e-temp*', orientada a la evaluación de las decisiones de diseño en las etapas iniciales de proyecto. En primer termino, se evalúan los requerimientos de este tipo de programa, para demostrar las ventajas de utilizar el formato de planilla electrónica y elegir la forma de ingreso de datos. A continuación, se presentan los datos necesarios para alimentar la simulación así como los métodos y algoritmos utilizados. En la sección siguiente, se muestra la planilla y su funcionamiento, acompañada con ejemplos. Finalmente, se comunican los resultados de la aplicación de la planilla. En las conclusiones del trabajo, se evalúa el desarrollo y estructura de la planilla, junto con su factibilidad de aplicación en las etapas iniciales de proyecto.

¹ Profesor Titular FADU-UBA, Co-Director CIHE-FADU-UBA.

EVALUACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Para lograr una herramienta apta para las etapas iniciales del proceso proyectual, se realizó una evaluación de programas alternativos a fin de definir las prestaciones y calidades específicas de programas de simulación orientados a proyectistas. Entre ellos, se pueden destacar los siguientes aspectos que marcan una diferencia con las herramientas existentes incluidas en la Tabla 1:

- **Instalación y transferencia:** La implementación de programas en forma de planilla electrónica, permite incluir toda la información y programación en un solo archivo, mientras la gran mayoría de los programas con objetivos similares tienen una serie de archivos separados, y algunos requieren una instalación cuidadosa para especificar las rutas de acceso a los archivos de datos.
- **Envío por correo electrónico:** El formato de planilla electrónica sin macros permite mayor seguridad, especialmente cuando se envían por correo electrónico. Muchos prestadores de servicios de correo electrónico no permiten el envío de programas ejecutables como archivos adjuntos.
- **Eliminación de errores de datos ingresados:** El uso de opciones ‘desplegables’ de alternativas para ingresar datos elimina la posibilidad de información errónea. Al mismo tiempo, se permite el ingreso de datos del usuario con pruebas que permiten verificar la consistencia de los mismos.
- **Asociación de texto con datos numéricos:** La selección de datos de un listado en forma de texto facilita la verificación y aptitud de los datos numéricos ingresados y la revisión de los resultados. El ingreso de datos numéricos, fuera de los rangos previstos en programas alternativos, puede introducir resultados erróneos o interrumpir el programa.
- **Obtención de resultados gráficos inmediatos:** Después de cada ingreso o modificación de datos, se obtiene una visualización inmediata de los resultados para lograr la retroalimentación directa de las consecuencias de realizar cambios en el diseño.
- **Evaluación de resultados:** Adicionalmente a la presentación de los resultados en forma gráfica, la planilla electrónica indica la contribución porcentual de las ganancias que provocan un aumento de la temperatura interna. La mayoría de los programas usados para evaluar temperaturas internas, no proporcionan esta información vital para el proyectista.

METODO

Los datos proporcionados en la planilla electrónica corresponden a tres principales grupos:

- datos climáticos y solarimétricos del lugar según el mes,
- datos de las características térmicas de los elementos constructivos
- datos de las ganancias internas de las personas, la iluminación artificial y otras fuentes.

Datos climáticos:

Los datos de cada lugar, incluidos en la base de datos de la planilla, son:

- **Localidad:** Nombre de la localidad correspondiente, con su latitud y altura sobre el nivel del mar.
- **Temperaturas:** Temperaturas media máxima y mínima de cada mes, disponibles del Servicio Meteorológico Nacional para más de 200 localidades en Argentina.
- **Radiación solar:** Transparencias media o máxima de la atmósfera en cada mes, disponibles para 60 localidades en Argentina (Fabris y Yarle, 1985). Se pueden estimar estos valores con el método presentado por Muneer (1997), basado en otras variables meteorológicas, tales como nubosidad media mensual.

Características térmicas:

La planilla presenta los datos de las características térmicas de los elementos constructivos con 20 distintos tipos de construcciones de techos y muros, con cierto énfasis en espesores de aislantes livianos. Aunque las listas ‘desplegables’ de Excel permiten realizar una selección de hasta 32 alternativas, se considera que la extensión de las mismas resultan incómodas de manejar. Los datos de las aberturas permiten elegir el tipo de vidrio y el espesor de marco, adicionalmente a las dimensiones y la orientación de las mismas. En esta versión de la planilla se evalúan las temperaturas internas de un local solamente, según la orientación de la fachada, las dimensiones del local y el tamaño de la abertura considerada.

La planilla electrónica, preparada para Microsoft Excel, utiliza la siguiente serie de algoritmos:

- **Radiación solar:** Se utiliza el método presentado por Muneer (1997) para estimar la radiación solar, similar al procedimiento empleado por Lui y Jordan.
- **Temperatura:** Las temperaturas horarias exteriores se calculan con coeficientes según el método presentado en Evans y de Schiller (1996) y verificado con tres años de datos de temperaturas horarias en días con sol.
- **Balance térmico:** La temperatura media interior se calcula con un balance térmico según las ganancias solares medias, las ganancias internas medias, y las pérdidas del local por grado de diferencia entre el interior y el exterior, con los coeficientes de la eficiencia de radiación solar recomendada por el CIBSE (1980).
- **Temperaturas horarias:** Las temperaturas interiores máximas y mínimas, y los horarios correspondientes se estiman por el método de admitancia (CIBSE, 1980).
- **Confort térmico:** La planilla permite comparar las temperaturas interiores con una zona de confort, la cual puede ser prefijada por el usuario o calculada según distintos métodos.
- **Triángulos de confort:** Otra comparación gráfica (Evans, 2003) permite visualizar la manera por la cual el edificio modifica la temperatura media y la amplitud térmica, comparando los valores interiores y exteriores.

- **Ganancias internas:** Los datos de las ganancias internas son seleccionados por el usuario de las alternativas presentadas en la planilla. En el caso de la iluminación artificial, el usuario ingresa el tipo de luminaria y el nivel de iluminación esperado a fin de estimar la carga térmica.

DESARROLLO

Primera hoja: Esta parte de la planilla ‘*e-temp.xls*’ presenta una descripción de la misma junto con las instrucciones para su uso, las que se pueden imprimir en una hoja tamaño A4 como manual de uso. Los hipervínculos en esta y las siguientes hojas permiten mover automáticamente entre las hojas según los pasos de evaluación o ingreso de datos.

Segunda hoja: Esta parte ‘*Datos*’ permite el ingreso de todos los datos variables en una serie de casillas identificadas con un fondo de color amarillo claro. La Figura 1 presenta una sección de esta hoja. El ingreso de datos está agrupado en ‘cajas’ para clarificar la secuencia, aunque es posible ingresar los datos en cualquier orden y visualizar los resultados parciales o finales en forma inmediata.

- La caja superior permite el ingreso de la descripción del proyecto y la selección de la localidad, el mes en análisis, las condiciones del día, si éstas varían del promedio, y las condiciones de confort.
- La caja siguiente alberga el ingreso de todos los datos del local en estudio: ancho de fachada y su orientación, altura y profundidad del local, ancho y altura de la abertura con tipo de vidrio y marco, construcción de muros y techo, y la tasa de renovación de aire.
- La caja inferior indica las ganancias internas de las personas según su nivel de actividad o metabolismo, la iluminación artificial según tipo de artefacto y nivel de iluminancia sobre el plano de trabajo, y otras ganancias por equipamiento. También se indica si las ganancias internas y la ocupación del espacio coincide con las ganancias solares máximas.


Proyecto	Casa en Buenos Aires		e-temp.xls	Página
Localidad	La Plata	Condiciones de temperatura	16/08/2006	1a
Latitud	-34,9 °S	Normal	Ingreso de datos	
Radiación: KT = 0,56	Enero	Fijado por el usuario (20 - 26)		
Ancho fachada, m	5,4	Ancho, ventana	5,4	Clima
Altura local, m	2,8	Altura, ventana	1,7	Temp ext
Profundidad, m	5,4	Vidrio	Vidrio simple	max
Numero de ocupantes	6	Marco y mantenimiento	Marco mediano	28,5
Numero de vidrios	1	Vidrio incoloro sin protección		
Construcción techo	Losa cerámica, aislante 25 mm	Techo	Piso intermedio	Temp ext
Muro exterior	Madera cámara placa yeso	Vidrio: % de fachada	61 %	min
Muros interiores	Ladrillo cerámico hueco 10 cm.	Ventilación: renovación/hora	1,5	17,6
Construcción piso	Piso mosaico	Orientación	Sudeste	
Ganancia solar media	47	Factor de ganancia solar	0,41	150,0
Otras ganancias	Aporte unitaria Watts o Tipo	Horas de uso o ocupación/Día	Promedio 24hs	
Ilum muy buena: 500 Lux	Tubos fluorescentes eficientes	2	72,9	
Ocupantes activos	660	2	55,0	
Equipamiento	300	4	50,0	
Otros	200	0	0,0	

Figura 1. Sección de la planilla electrónica, con las casillas de ingreso de datos.

Tercera hoja: Esta parte de la planilla presenta una estimación de las temperaturas internas horarias con gráficos y tablas. Los resultados se presentan en varias formas en la hoja 2 ‘*Datos*’ y en la hoja 3 ‘*Resultados*’: la Figura 2 de la hoja ‘*Datos*’ y ‘*Resultados*’ indica el grafico de las temperaturas interiores y exteriores para cada hora con los límites seleccionados de la zona de confort. La hoja ‘*Resultados*’ también presenta la planilla de datos de temperatura interior y exterior. La Figura 3 presenta el gráfico de los ‘*Triángulos de Confort*’ de Evans (2001 y 2003), con la amplitud y promedio de la temperatura interior y exterior. Esta comparación permite establecer la modificación de la temperatura media y su variación, compararla con la zona de confort y seleccionar las estrategias de diseño que mejoran el comportamiento térmico del recinto. La Figura 4 indica la contribución porcentual de las distintas fuentes de calor: ganancias solares, ganancias internas de personas, ganancias de iluminación artificial, equipos y otras fuentes. Así, el proyectista puede visualizar las contribuciones favorables o desfavorables y enfocar adecuadamente las estrategias de acondicionamiento natural según los aspectos mas relevantes o factibles en el proyecto.

Cuarta hoja: Esta parte contiene la base de datos de temperatura y radiación solar de cada localidad, con espacios para el ingreso de localidades adicionales.

Quinta hoja: Esta parte permite la estimación de la intensidad de radiación solar directa, difusa y reflejada, según la orientación, la inclinación de la superficie y la transmisión del vidrio.

Sexta hoja: Esta hoja, denominada ‘*Ayuda*’, presenta todos datos de ingreso o salida, con símbolos, explicaciones, referencia del ingreso de datos, ubicación de los resultados y el valor vigente en la planilla.

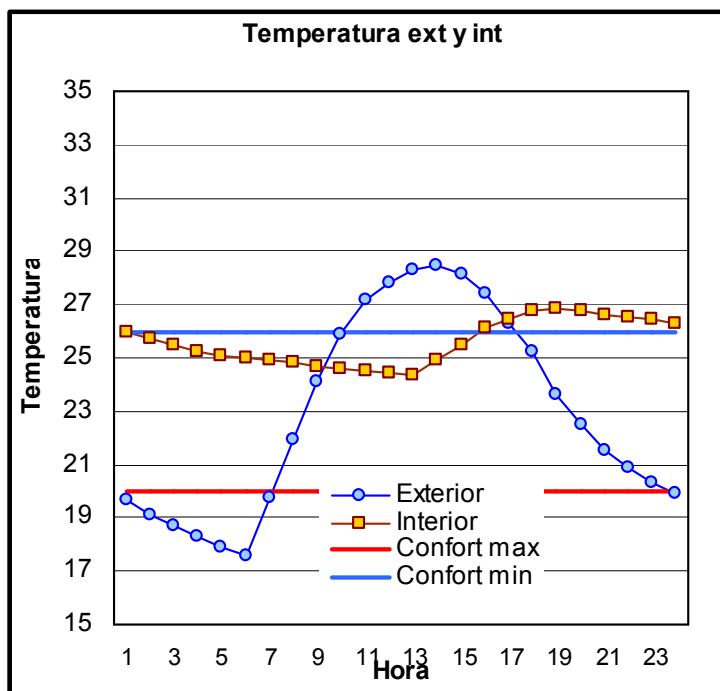


Figura 2. Ejemplo de la presentación de resultados, con temperaturas interiores y exteriores y los límites de confort.

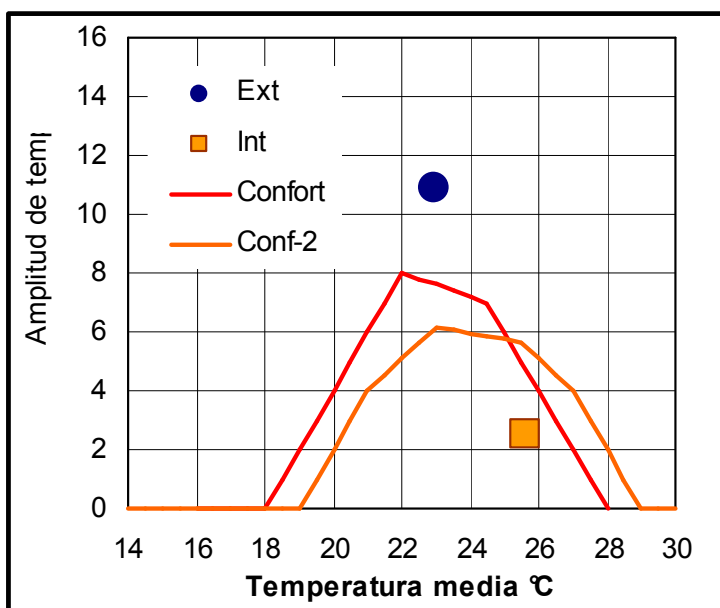


Figura 3. Diagrama de los 'Triángulos de Confort' de Evans (2001) indicando la modificación de la temperatura media y la amplitud térmica, comparando las condiciones exteriores e interiores.

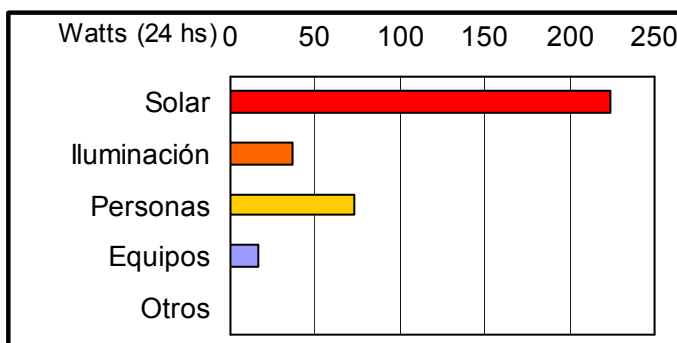


Figura 4. Aporte de calor al interior del local, debido a radiación solar, iluminación artificial, personas y otras fuentes, en Watts promedio durante 24 horas. En este caso, la protección solar será un recurso apto para reducir la temperatura interior.

GANANCIAS DE ENERGÍA

La planilla electrónica *e-temp* proporciona datos de las ganancias de energía térmica provenientes de distintas fuentes: solar, ocupantes, iluminación artificial y otras, indicando no solo su magnitud sino también la posibilidad de modificar los valores.

Ganancias por radiación solar: Las Figuras 5 y 6 indican las ganancias solares horarias y los valores promedios diarios respectivamente, con los componentes de radiación directa, difusa y reflejada, según la latitud, orientación, mes y transparencia de la atmósfera, opciones seleccionadas en la hoja 'Datos'.

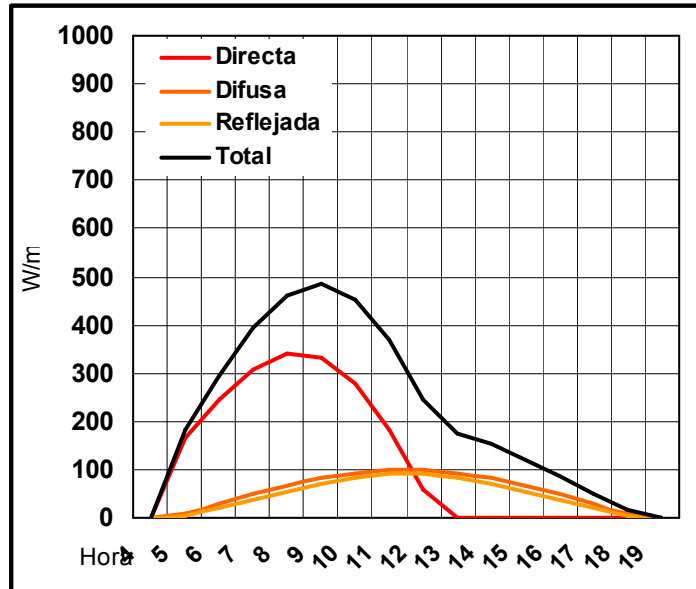


Figura 5. La variación horaria de ganancias solares transmitida por la ventana y sus componentes (directa, difusa, reflejada) y el total en W/m^2 según orientación, número de vidrios, transparencia de la atmósfera, latitud y fecha, presentada en la hoja 'Radiación solar'.

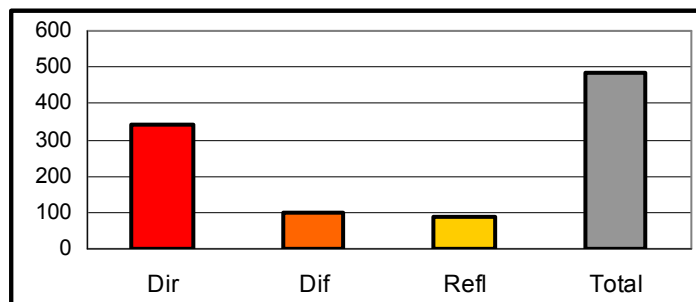


Figura 6. Evaluación del aporte de la radiación solar directa, difusa y reflejada al aumento de temperatura, hoja 'Radiación solar'. La alta proporción de radiación directa indica potenciales reducciones según se modifique la orientación y se mejore la protección solar.

Iluminación artificial: Si bien en la etapa inicial del proyecto, las ganancias por iluminación artificial no se encuentran todavía claramente definidas, éstas pueden afectar significativamente las temperaturas internas. Por tal razón, la planilla electrónica evalúa dichas ganancias ingresando las siguientes variables:

- Nivel de iluminación sobre el plano de trabajo, con valores entre 100 y 500 lux (Hoja 'Datos', Casilla B20).
- Tipo de iluminación, por ejemplo, lámparas fluorescentes compactas, tubos fluorescentes de distintas eficiencias o lámparas incandescentes (Hoja 'Datos', Casilla C20).
- Horas de uso de la iluminación artificial, con las opciones 2, 4, 6, 8 o 10 horas por día (Hoja 'Datos', Casilla D20).

Ocupantes: La planilla proporciona una estimación inicial de las ganancias internas debido a los ocupantes, considerando los siguientes factores:

- Numero de ocupantes del local (Hoja 'Datos', Casilla C10).
- Tipo de actividad física, seleccionada de una lista de alternativas: descanso, sentado, trabajo liviano, trabajo pesado, etc., (Hoja 'Datos', Casilla B21).
- Numero de horas de ocupación por día, con las opciones 2, 4, 6, 8 o 10 horas (Hoja 'Datos', Casilla D21).

Adicionalmente, se pueden agregar las ganancias producidas por el equipamiento, las instalaciones u otras fuentes, a fin de estimar las ganancias promedio en Watts durante 24 horas. Para la estimación de la temperatura pico, es importante evaluar las ganancias internas y solares que coinciden con la temperatura máxima interior, información ingresada en la Hoja 'Datos'.

Las ganancias promedio, divididas por las pérdidas de calor promedio de la envolvente, indican la elevación de la temperatura interior media, mientras las ganancias en hora pico, divididas por la admitancia total del local, permiten estimar la temperatura pico.

RESULTADOS

Los resultados de la aplicación de la planilla fueron evaluados de dos formas (Szokolay, 1998): la precisión y confiabilidad de los resultados, comparando las simulaciones con mediciones y otros programas, y la facilidad de uso y manejo 'amigable' en etapas iniciales de diseño o donde la información sobre las características del edificio es limitada.

Precisión: El método de admitancia (CIBSE, 1980) fue desarrollado en la década del 60 para evaluar el comportamiento de edificios y controlar el riesgo de sobre-calentamiento en escuelas y oficinas. En estos edificios, el aumento de la superficie de vidrios para obtener mayor iluminación en climas templados y fríos del norte de Europa, produjo elevadas temperaturas interiores en verano, especialmente en construcciones livianas.

El método contó con el respaldo de instituciones oficiales y fue evaluado y promovido por las mismas, adicionalmente a la difusión en importantes publicaciones en idioma inglés y castellano (Danter, 1960; Milbank y Harrington-Lynn, 1974; Burberry, 1978; Burberry, 1983).

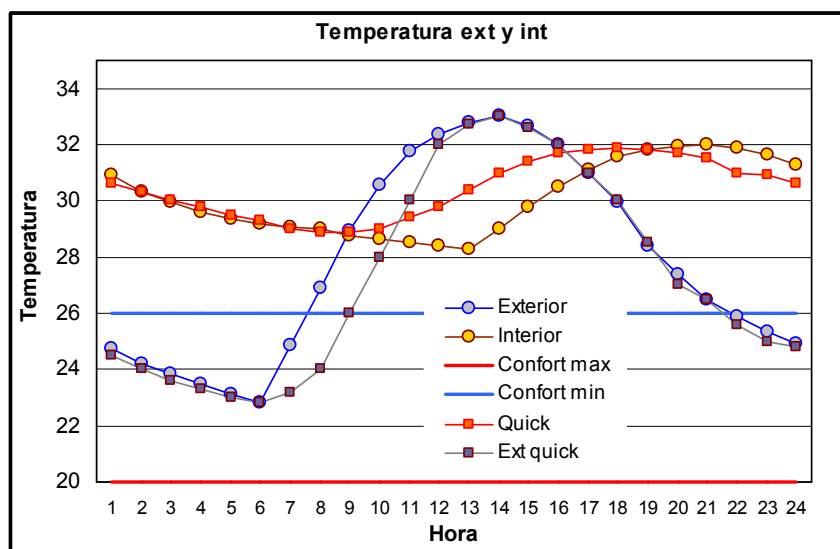


Figura 7. Comparación de los resultados de Quick (Richards, 1992) y *e-temp* con los mismos datos de ingreso.

En la comparación presentada en la Figura 7, se muestra el comportamiento de un local construido con ladrillos macizos y una ventana con orientación norte, ejemplo representativo de una serie de evaluaciones realizadas. En este caso, se pueden destacar las siguientes observaciones:

- Los distintos algoritmos utilizados en los dos programas para calcular las temperaturas exteriores producen variaciones de temperatura, especialmente en las horas de la mañana.
- Si bien los retrasos térmicos son diferentes, produciendo variaciones de hasta 3-4 horas, debido en parte a las correcciones de longitud, la diferencia entre la temperatura interior máxima de los programas es menor a 0,25° C mientras la diferencia de las temperaturas mínimas es 0,5° C, variación aceptable para esta aplicación.

Aplicación: La aplicación de la planilla fue probada con alumnos de la materia 'Energía en Edificios' de los últimos años de la Carrera de Arquitectura, de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires. El plan de estudios de esta carrera solo incorpora estudios del comportamiento térmico de construcciones en régimen estable, sin aplicar estudios de las variaciones de temperatura en régimen periódico.

De esta manera, la introducción de dichos conceptos ha representado una innovación relevante para los 60 alumnos que cursaron la materia. A pesar de la novedad de los conceptos y la innovación que implica el uso de planillas electrónicas para este tipo de aplicación, esta prueba fue muy exitosa, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

- La planilla electrónica fue enviada a todos los alumnos por correo electrónico, sin problemas dado su formato y reducido tamaño de solo 227 KB.
- Los alumnos aplicaron la planilla a un local en distintos edificios para evaluar su comportamiento, sin encontrar dificultades en el uso de la planilla, aunque se detectó la tendencia a sobreestimar las ganancias internas.

- La planilla enviada a los alumnos incluyó una hoja de evaluación de la misma con espacios para comentarios y preguntas específicas sobre aspectos tales como ‘facilidad de uso’, ‘errores detectados’, ‘apreciación de la precisión de los resultados’, ‘estructura de la planilla’, ‘visualización de resultados’ y ‘experiencia previa con planillas electrónicas’.
- Las planillas fueron enviadas por los alumnos a la casilla electrónica de la Cátedra con las respuestas para obtener la evaluación correspondiente.

Los respuestas resultaron altamente satisfactorias, sin comentarios adversos, tanto en la encuesta como en las discusiones con los alumnos en clase y después de completar la materia.

Los siguientes aspectos surgen de dichos comentarios y respuestas:

- Los alumnos consideran que las planillas son ‘precisas’ o ‘muy precisas’ a pesar de las advertencias incluidas en la planilla que indican el objetivo de obtener resultados aproximados en las etapas iniciales de proyecto.
- Los alumnos solicitaron un mayor número de localidades en la base de datos, y fuentes de información con datos de kt, la transparencia de la atmósfera para otras localidades.

La planilla también fue presentada y distribuida en el curso de posgrado de la Carrera de Especialización ‘Diseño Bioclimático’ organizada en forma conjunta por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Catamarca y la Unión de Arquitectos de Catamarca, así como en la Maestría en Arquitectura, orientación en Diseño Bioclimático, de la Universidad de Colima, México. Los comentarios de los alumnos participantes fueron muy favorables, especialmente por la facilidad del ingreso de datos y la rapidez de uso.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que el uso de la planilla electrónica para estimar temperaturas internas tiene importantes ventajas para lograr rapidez, facilidad de uso y respuestas aptas para aplicación durante el proceso de diseño. Las experiencias en cursos de grado y posgrado fueron muy positivas y las comparaciones con otros programas demostraron la utilidad y grado de precisión apto para lograr los objetivos establecidos. El uso de los ‘Triángulos de Confort’ y otros métodos gráficos facilita la comprensión y selección de apropiadas estrategias de diseño en el proceso proyectual.

RECONOCIMIENTOS

Esta planilla fue desarrollada en el marco del Proyecto de Investigación A-020 ‘Certificación de edificios sustentables y Mecanismo de Desarrollo Limpio aplicado al sector edilicio’, acreditado y financiado por la SECyT-UBA, Programación Académica 2004-2007.

La evaluación de dicha planilla se realizó durante el dictado de la Materia ‘Energía en Edificios’ de la Carrera de Arquitectura de la FADU-UBA. El autor agradece los comentarios y aportes de docentes y alumnos de dicha Cátedra, especialmente la Arq. Gabriela Casabianca, mientras el Arq. José Reyes contribuyó en el desarrollo de una parte de la planilla de radiación solar.

A nivel posgrado, se verificó su aplicación en la Especialización en ‘Diseño Bioambiental’ de la Universidad Nacional de Catamarca, y en la Maestría en Arquitectura de la Universidad de Colima, México.

REFERENCIAS

- Baker, N, Franchiotti, A y Steemers, K. (1993) Daylighting in Architecture, The LT Method 19-22, James and James. Londres.
- Balcomb, D. (1998) The coming revolution in building design, pp 33-37, Environmentally friendly cities, Proceedings of PLEA '98, James and James Science Publishers Ltd, Londres.
- Burberry P. (1978) A Guide to domestic heating installations, Architectural Press, London.
- Burberry P. (1983) Ahorro de energía: instalaciones térmicas, aislamiento energía solar, Manuales AJ, Hermann Blume Ediciones, Madrid.
- Casermiro, M. y Saravia, L. (1984) Cálculo Térmico horario de Edificios Solares pasivos Actas de la 9ª Reunión de trabajo de ASADES, Vol II, UNSJ, San Juan.
- CIBSE (1998) Applications manual AM11: Building Energy and environmental modelling, Chartered Institute of Building Services Engineers, Londres
- CIBSE, (1980) Manual CIBSE, Volume A, Chartered Institute of Building Services Engineers, Londres
- Clarke, J. A. (2001) Energy simulation in building design, 2nd Edition, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Crawley D. B, Winkelmann, F. C. Lawrie L. K. Y Pedersen, C. O. (2001) Energy plus: New capabilities in a whole energy simulation program, pp 51-58, Building Simulation, Seventh International IBSA Conference, IBPSA, Rio de Janeiro.
- Danter, E. (1960) Periodic heat flow characteristics of simple walls and roofs, Journal, IHVE, 28, 136-146.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.
- Evans, J. M. y de Schiller, S., (1996) Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar, (2da. edición), SEUBE-FADU-UBA, EUDEBA, Buenos Aires.
- Evans, J. M., (2001), Las Tablas de Mahoney y los Triángulos de Confort, Actas, COTEDI, Universidad de Zulia, Maracaibo.

- Evans, J. M., (2003) Evaluation of comfort with varying temperatures: a graphic design tool, *Energy & Buildings*, vol. 35, pp 87-93.
- Fabris A. y Yärke, E. (1985) Método del Cociente Carga Colector. Instituto Solar Arquitectura Buenos Aires, Buenos Aires.
- Milbank, N. O. and Harrington-Lynn (1974) Thermal response and the and the Admittance Procedure, Building Research Station, Current Paper 61, BRS, Garston.
- Muneer, T. (1997) Solar radiation and daylight models for the energy efficient design of buildings, Architectural Press, Londres.
- Richards, P. G. (1992) A design tool for the thermal performance of buildings, University of Pretoria, Pretoria.
- Szokolay, S. y Gokhale, M. (1998) The limitations of simulation, pp 535-538, *Environmentally Friendly Cities*, Proceedings of PLEA '98, James and James Science Publishers Ltd, Londres.

ABSTRACT

Adopting the premise that designers require robust and rapid methods to evaluate alternatives in the initial design stages, this paper presents the development, application and evaluation of a new approach to simulation of temperature variations in rooms of naturally conditioned buildings. Following an evaluation of the requirements for this type of application, the advantages of simulations with electronic spread-sheets are presented. Developed in Microsoft Excel, it allows a rapid and error-free data input, selected from a pre-established list of alternatives. The spread-sheet shows the results immediately in graphic form after each data input. The structure and characteristics of the spread-sheet are presented, with the data base of climatic data and construction alternatives. The results are compared with other programs and measured conditions. Finally, the use of the spread-sheet is evaluated following experiences at graduate and postgraduate level, both with students of architecture and master students in specialised courses, with a survey of user reactions.

Keywords: thermal simulation, admittance method, electronic spread-sheet, indoor temperatures.