

SIMULACIÓN ESTACIONARIA DE LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA POR CIRCULACIÓN DE AIRE DENTRO DE UNA VIVIENDA. ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL

N. Salvo, V. S. Molina Castillo, C. González

Universidad Nacional de Salta – Instituto de Energías no Convencionales (INENCO) – Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas – Avenida Bolivia 5150 - C.P. 4400 – Salta Tel. 54-387-4255424 – Fax 54-387-4255489

E-mail: nahuel@unsa.edu.ar, vicsalmol@gmail.com, gabygonzalez@gmail.com

RESUMEN:

En este trabajo se muestran resultados obtenidos de simular numéricamente la circulación de aire dentro de una vivienda. La simulación se realiza a partir de la implementación del MEF (Método de Elementos Finitos) en un programa de cálculo. La geometría con que se trabajó consiste en locales dispuestos de forma tal que pueden ser considerados como una vivienda muy simple (solo tres habitaciones). Uno de los locales tiene dos aberturas de entrada (puertas, por donde ingresa el aire) y se conecta con los otros a través de otras dos puertas. Los locales restantes además cuentan con una ventana, por donde sale el aire. Se considera siempre, tanto para las puertas como para las ventanas que estas se encuentran completamente abiertas. Se presentan perfiles de temperatura en función de la altura en distintos lugares de la vivienda para diferentes tiempos de simulación. También se muestran las direcciones características de circulación del aire en el interior.

Palabras clave: ventilación, simulación, elementos finitos.

INTRODUCCIÓN

Una ventilación adecuada que permita la renovación de aire en el interior de un local y de esta forma mejorar la calidad del mismo en todo momento, por ejemplo, disminuir la cantidad de contaminantes brindaría a los ocasionales ocupantes un mejor confort. También se podrían mejorar las condiciones térmicas interiores en determinadas épocas del año.

Por lo tanto la circulación del aire en el interior de una vivienda es un aspecto importante cuando se pretende, por ejemplo, simplemente refrigerarla (ventilarla). Los patrones de circulación o sea las distintas formas en que se mueve el aire en el interior depende entre otras cosas de la disposición de las aberturas, el estado de las mismas (abiertas o entornadas), la dirección principal del viento en el exterior de la vivienda, o sea el ángulo entre la dirección principal de circulación de aire exterior con respecto a la normal de la cara expuesta al viento (orientación de la vivienda). Todas estas consideraciones también son fundamentales si se realiza un análisis de intercambio de energía ya sea entre locales o entre la vivienda y el medio ambiente.

También el diseño y disposición de aberturas es muy importante cuando se pretende evaluar energéticamente un local o un grupo de ellos. Por lo tanto analizar ¿cómo se mueve el aire interior? significa determinar zonas donde la circulación del mismo tome valores significativos. Lo que implica determinar lugares de circulación nula o casi nula y zonas donde es muy intensa. Para lograr esto se debe contar con alguna descripción que permita caracterizar el movimiento del aire en el interior. De esta manera también se puede analizar posibles modificaciones en la disposición de los locales. Por ejemplo, en el caso de una vivienda que ya esté construida y que por motivos térmicos o funcionales se desee modificarla, un análisis fluidodinámico de la circulación del aire (diferentes distribuciones) puede aportar información para tomar decisiones y lograr una mejor ventilación.

También conocer y analizar diferentes disposiciones de aberturas, tanto las que comunican los espacios interiores con los exteriores como las que comunican espacios interiores entre si, en una etapa de diseño permitiría estimar diferentes patrones de circulación y por lo tanto se contaría con información útil para predecir una adecuada renovación de aire.

En ensayos experimentales o mediciones en edificios uno de los parámetros más importante que se utiliza como análisis es la temperatura. Los sensores en estos ensayos, suponiendo una vivienda, se ubican, por lo general, a una determinada altura y en el centro de la habitación. Lo ideal sería disponer de muchos sensores en diferentes alturas y en diferentes puntos, pero esto tiene algunos inconvenientes, que pueden ser: económicos (mayor cantidad de equipos de medida), sistemas de toma de datos de mayor capacidad (muchos canales), se complica la distribución física de los sensores, etc. Una posible solución a lo anterior puede ser complementar datos experimentales con simulaciones numéricas. Esta alternativa puede reducir considerablemente la cantidad de sensores, además de permitir poder predecir valores para otros tiempos o en lugares particulares donde no se tomen medidas.

Un sistema de cálculo numérico que evalúe las ecuaciones de balance de energía y de momento es muy necesario cuando la geometría no es simple. El Método de Elementos Finitos, es lo necesario para estos casos. En forma muy general puede decirse que este método consiste en dividir el sistema a estudiar en una determinada cantidad de elementos (malla) y resolver para una determinada variable las ecuaciones de balance en los puntos definidos por la intersección de los elementos (nodos).

En el caso que se presenta, la variable que se eligió para análisis fue la temperatura, aunque el software utilizado permite determinar tanto temperatura como velocidad media o alguna componente de la velocidad en una dirección determinada, vorticidad, etc. Otro aspecto que es importante destacar es que también se permiten tanto descripciones temporales como espaciales.

Los resultados que se muestran a continuación son valores de temperatura para un grupo de locales inmersos en una corriente de aire. Se muestran también las gráficas de la evolución en el tiempo de la temperatura en distintos puntos del sistema y para diferentes alturas. El principal objetivo del trabajo consiste en mostrar que no solo es posible realizar simulaciones de este tipo (tridimensionales) con computadoras sencillas, sino que además la información obtenida permite describir una determinada variable en todo el dominio espacial de trabajo y en función del tiempo. Lo anterior comparado con simulaciones en 2D brinda una descripción más real de una determinada situación planteada.

Esto último es importante, porque por lo general en una simulación en 2D, salvo que la geometría lo permita los valores son aproximados. Otro aspecto importante a tener en cuenta, es que para el caso 3D se necesita mucho más tiempo de ejecución del programa dependiendo también del sistema informático que se utilice o sea los resultados no se obtienen directamente.

Este trabajo se enmarca en el Proyecto 1367/4 (Consejo de Investigación – UNSa.) “Elementos finitos en problemas de transferencia de calor”.

PLANTEO DEL PROBLEMA

Se analizó una disposición particular de locales con sus correspondientes aberturas. Si bien se estudia un caso muy sencillo el software Fantom – Flow Analysis Numerical Techniques Organized Moduli – (Codina, 2005) que se utiliza conjuntamente con GiD, puede implementar situaciones más complejas. Con respecto a GiD, se puede decir que es una interfaz gráfica que permite el modelado geométrico, construir la malla de elementos finitos y realizar el post-proceso. El cálculo propiamente dicho lo realiza Fantom.

En la figura 1, realizada con GiD, se muestran los locales considerados conjuntamente con una parte de la malla de elementos finitos. En la misma figura se pueden apreciar los puntos de análisis 1, 2, 3, 4 y 5 donde se obtienen los valores de temperatura.



Figura 1: Locales analizados y vista de planta donde figuran los puntos de análisis.

Como el análisis es tridimensional, la malla que se muestra es un corte en planta de la realmente utilizada. Los datos generales de la malla son: 18951 nodos y 15678 elementos hexaédricos, además esta malla se la realizó estructurada. Las mallas estructuradas se caracterizan por estar compuestas de celdas de un tamaño similar y del mismo tipo, por ejemplo, triángulos o rectángulos, en dos dimensiones, tetraedros o hexaedros en tres dimensiones.

La geometría se plantea en tres dimensiones por lo tanto se muestran las variaciones de la temperatura en función de la altura, para diferentes tiempos y en los puntos mostrados de la vivienda. Con respecto al aire incidente, externo, a los locales se tomo como hipótesis de trabajo la situación en que las aberturas de entrada (puerta A y B) estuvieran orientadas en forma normal a la dirección principal del viento incidente. Para tener situaciones para comparar se propusieron dos velocidades diferentes 2 m/s y 4 m/s, aunque solo se muestran los valores obtenidos para la primera velocidad.

A partir de la implementación del MEF, se solucionan las ecuaciones de Balance de Masa, Balance de Momento y Balance de Energía. A medida que el aire circula por el interior de los recintos considerados es de esperar que se presenten vórtices debido a la presencia de los vértices en la geometría considerada (aberturas), por lo tanto se consideró una estructura turbulenta del flujo. Esta hipótesis de trabajo implica también considerar un modelo de viscosidad turbulento. En particular se utilizó el modelo para viscosidad turbulenta $k - \epsilon$ lo que significó considerar otra ecuación diferencial más en el sistema de ecuaciones mencionado.

RESULTADOS

En las figuras 2, 3 y 4 muestran, para diferentes instantes de tiempo, valores de temperatura. Para las tres figuras la velocidad del aire que incide sobre la vivienda es de 4 m/s.

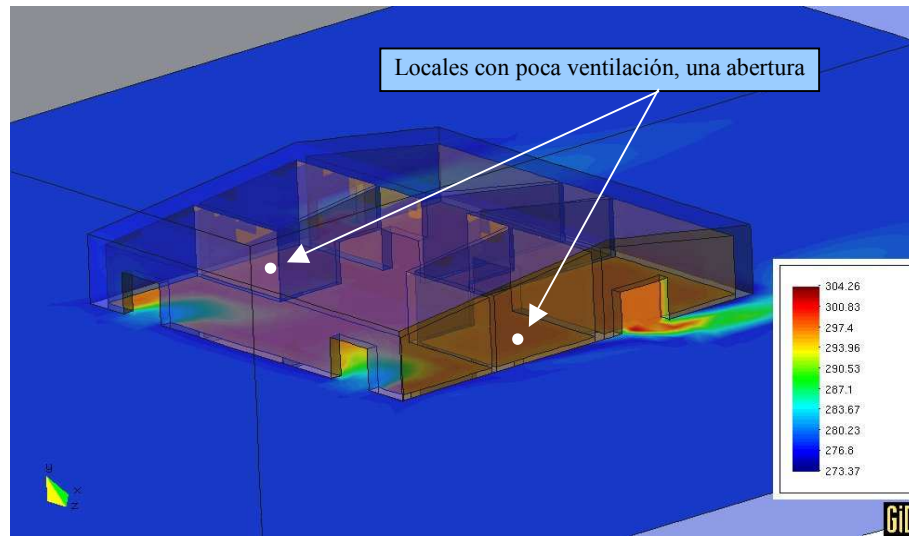


Figura 2: Estado posterior al inicio de temperatura en la vivienda

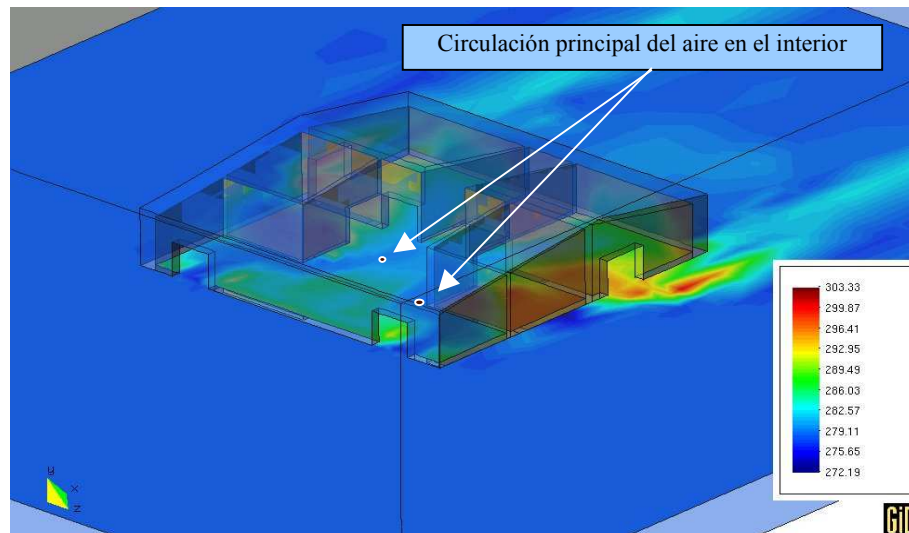


Figura 3: Estado intermedio. Se observan zonas de circulación principales y zonas que no se ventilan.

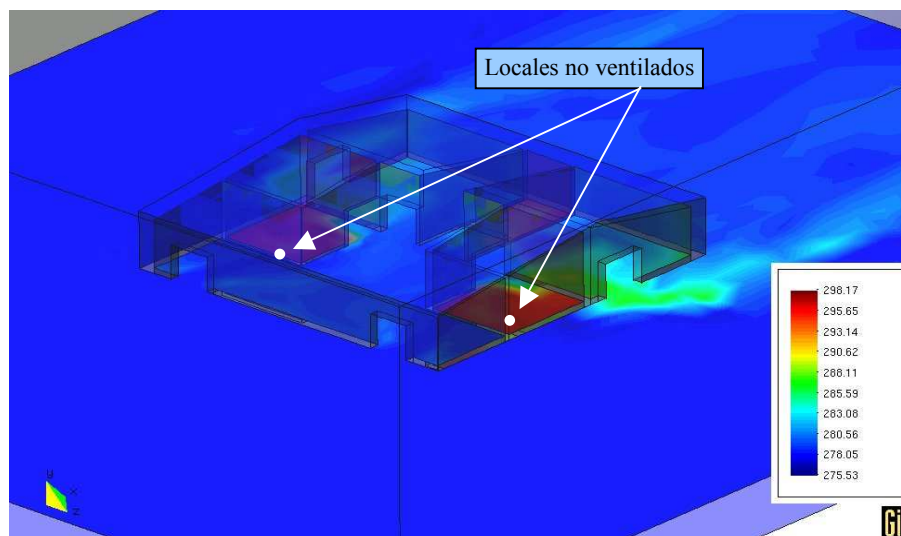


Figura 4: Estado final de la simulación. Aún persisten zonas de mayor temperatura, no ventiladas

Se puede observar claramente, de la comparación cualitativa de las tres figuras, como se establecen las corrientes de aire entre los diferentes locales y como cambia la temperatura en el interior de los mismos a medida que transcurre el tiempo.

Si se compara la figura 1 con las mostradas anteriormente, se puede apreciar que la altura de la vivienda no es la misma, la explicación a esto es que en el caso de las figuras 2, 3, y 4 los valores de temperatura se muestran sobre un plano horizontal que se encuentra a una altura media. Esta es la razón por la cual se aprecia que las puertas y ventanas son más pequeñas. Los puntos 1, 2, 3, 4, 5 a los que hace referencia la figura 1 también se encuentran en este plano medio.

En un instante inicial, toda la vivienda se encuentra a una temperatura promedio del orden de los 297,4 K, la figura 2 muestra la situación algunos segundos después. Se puede observar claramente en esta figura que el programa predice correctamente el ingreso del aire frío del exterior (275 K). Simultáneamente en la ventana trasera también se observa una pérdida de energía debido a la salida de aire caliente del interior. La simulación es coherente en este sentido o sea predice lo que uno intuitivamente puede suponer.

En la figura 2, que representa un estado intermedio de la simulación, se observan las principales características de la circulación del aire en el interior o sea la trayectoria de las corrientes principales. Por otro lado, también se puede apreciar que en caso de los locales que solo están conectados por una abertura, que sería el caso de los baños (ver figura 1), la temperatura no cambia sustancialmente en el tiempo, el aire es mucho más estanco en estos lugares, recién en la figura 3, se empieza a notar un cambio de temperatura en esta zona.

Para el resto de los locales, cuando el tiempo de simulación es bastante avanzado, todos ellos modificaron su temperatura completamente o sea que la vivienda estaría en un estado que podría considerarse como muy ventilada. Esta situación se presenta para los 30 s aproximadamente.

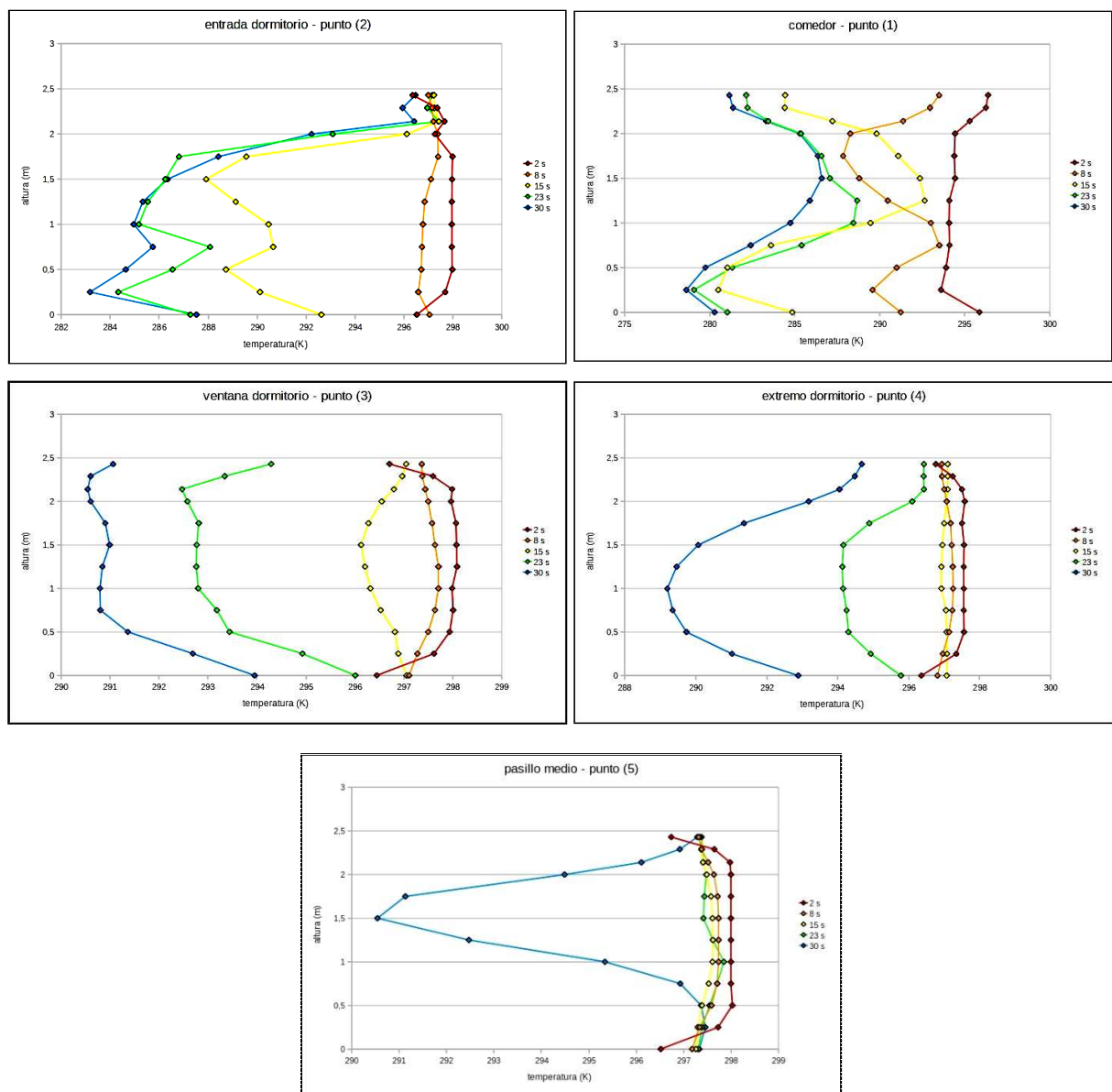


Figura 5: Variaciones de temperatura en función de la altura para distintos tiempos en diferentes locales

En la figura 5 se muestran los perfiles de temperatura para diferentes tiempos en diferentes locales. En cada gráfico muestra valores de temperatura (eje de las abscisas) para diferentes alturas (ordenadas) las gráficas están parametrizadas en el tiempo. En estos gráficos se puede apreciar que la variación de la temperatura cambia en diferentes alturas, no es constante a medida que transcurre el tiempo. Estos perfiles de temperaturas se modifican de forma muy irregular. Lo diferente de cada perfil demuestra además, que en poco tiempo la temperatura del aire cambia en el interior de cada ambiente rápidamente. Todas las gráficas corresponden a una velocidad de 2 m/s.

Por otra parte y haciendo referencia a la figura 5, queda claro que cuando se realizan medidas experimentales, los equipos de toma de datos deben tener una respuesta en frecuencia muy alta, o sea en intervalos de tiempo cortos, los cambios de la variable temperatura cambia rápidamente. También se observa que la ubicación de un sensor en una determinada posición solo proporciona una descripción mínima de la situación. Esto justifica una vez más, que considerar conjuntamente medidas experimentales y resultados de simulaciones numéricas puede constituir una herramienta de trabajo muy eficaz a la hora de estudiar completamente situaciones de ventilación de locales.

En el mismo grupo de graficas (figura 5), y considerando por ejemplo en el caso del pasillo, donde no hay una buena ventilación, la temperatura se mantiene sin cambio durante un tiempo considerable y luego aproximadamente a los 30 s hay una variación muy brusca lo que no sucede con las habitaciones. Aunque en estas, a pesar de que las aberturas se encuentran completamente abiertas (hipótesis de trabajo), siguen existiendo lugares donde la temperatura se mantiene con valores casi constantes, o sea no cambia sustancialmente en función del tiempo (punto 4).

Queda claro entonces que una simulación numérica predice valores de una determinada variable (temperatura) en forma más ajustada a lo que podría determinarse un ensayo experimental. Por otro lado se pueden estudiar diferentes lugares gracias a que el sistema está dividido en una malla y donde cada punto constituye un lugar determinado del sistema. O sea si se cambia de nodo, se obtiene la descripción en otro lugar. Esta situación, de seleccionar puntos, permite además analizar varios lugares a la vez en forma simultánea.

O sea se cuenta con una herramienta potente, que puede ser usada para predecir valores en lugares donde experimentalmente sería casi imposible de considerar porque, por ejemplo, implicaría poner sensores en muchos lados. De esta forma con pocos sensores y con una simulación como la presentada se puede obtener una descripción muy completa de un sistema.

Otra forma de trabajo sería simular primero el sistema y a partir de lo obtenido determinar los lugares donde ubicar los diferentes sensores. Este mecanismo de simular antes de medir, permitiría contar con una primera cantidad de datos que determinarían la correcta ubicación de los puntos de medida. O sea es una herramienta que justifica ¿dónde y porqué? se ubicó un determinado sensor en un ensayo experimental. Por otro lado como la simulación numérica predice valores de determinadas variables, estos valores acotan el rango de los equipos a utilizar.

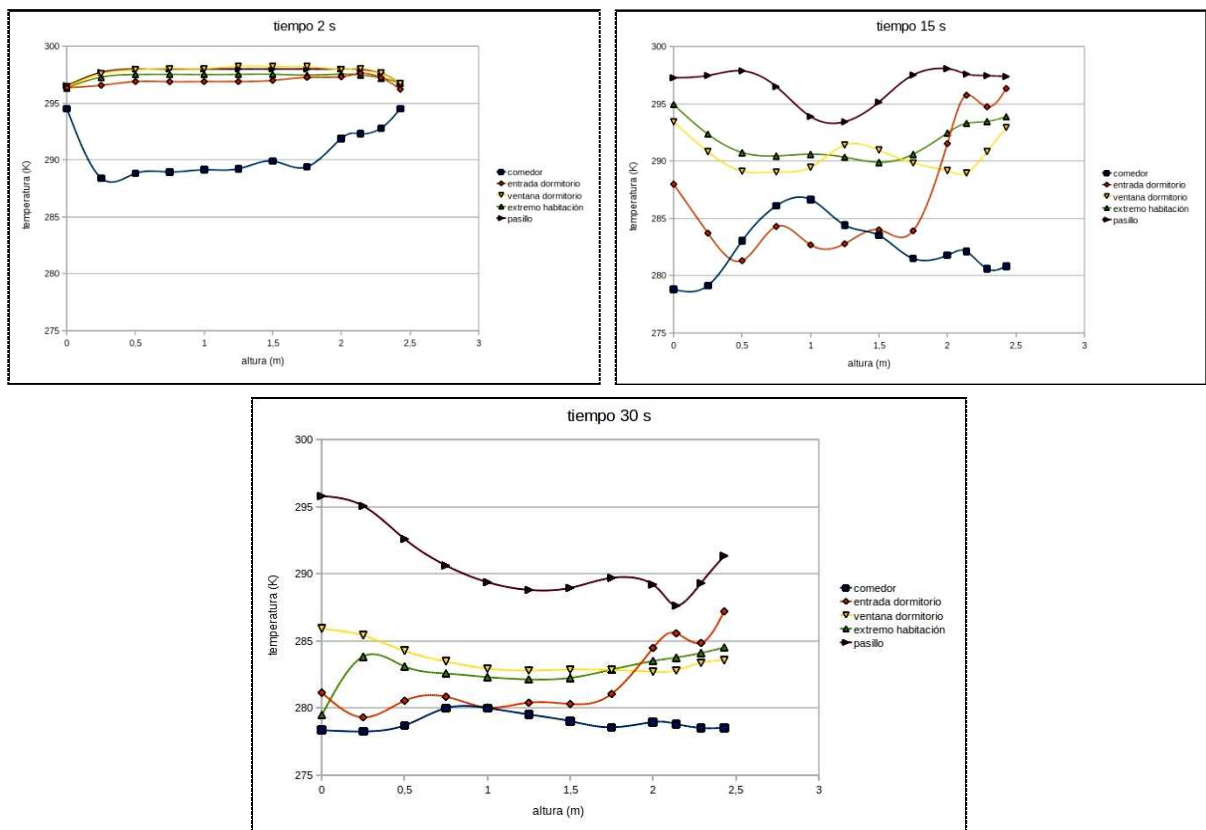


Figura 6: Valores de temperatura para todos los locales en un mismo tiempo

En la figura 6 se muestra otra forma de visualizar los valores del parámetro temperatura, para un mismo tiempo y en todos los locales. Por claridad se tomaron los mismos puntos de la figura 1, pero como se conocen todas las coordenadas de la malla de elementos finitos, se podría obtener haber elegido cualquier punto del sistema o en un local determinado todos los nodos de este y obtener un perfil completo del local. En este último caso se tendría un panorama completo de la distribución de temperatura de cada lugar en una vivienda para diferentes tiempos. O sea se puede realizar un “video” de un determinado parámetro.

Si se analiza la figura 6 puede verse que a los 2 s el comedor se encuentra a una temperatura mucho menor que el resto de los locales. Para este tiempo los otros locales están todos casi a la misma temperatura. Luego, 30 s después, la distribución de temperatura en todo el sistema, como es de esperar, no es tan uniforme como antes. Además puede observarse que en cada local hay marcadas diferencias de temperaturas a diferentes alturas.

Si bien en todos los locales la temperatura desciende no lo hace de la misma forma. Siempre el comedor esta a menor temperatura en promedio que el resto de los locales. Si bien todos los locales se alinean hacia temperaturas menores, no lo hacen de manera uniforme. Además existe siempre una pequeña diferencia entre el piso y el techo. Esta es una característica de haber considerado flujo turbulento para el análisis. Esto pone de manifiesto que existe un perfil de velocidad del aire con relación a la altura de la vivienda (efecto de la viscosidad). Finalmente en la misma figura puede observarse que a los 15 s de simulación, los perfiles de temperatura en función de la altura son muy aleatorios (presencia de vórtices). Si bien se realizaron simulaciones considerando otras velocidades de incidencia del aire exterior, los resultados obtenidos son muy similares a los presentados.

CONCLUSIONES

A partir de lo desarrollado en párrafos anteriores se puede asumir que realizar simulaciones numéricas de este tipo proporciona una poderosa herramienta que permite predecir en 3D parámetros característicos de un sistema. Si bien en el caso presentado se utilizó una vivienda, lo mismo podría haber sido un colector o un intercambiador de calor.

Otro aspecto interesante del trabajo presentado es que todos los cálculos o mejor dicho la simulación propiamente dicha se llevo a cabo con una computadora estándar, o sea que tampoco es necesario contar con un sistema informático muy grande para implementar una simulación de este tipo. En realidad la idea principal del MEF es esa, o sea, está pensado como una forma de resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un sistema complejo, de geometría complicada de forma muy simple. Este método es muy popular, por ejemplo, en el cálculo de estructuras.

Si debido al problema a estudiar, la precisión del cálculo debe ser importante, el MEF también lo permite pero en este caso los requerimientos informáticos son mayores. Por ejemplo, para concebir mallas de muchos elementos o concentrar elementos en una determinada zona, significa resolver un sistema de muchas ecuaciones y la capacidad de cálculo del sistema debe ser elevada (mejor procesadores)

También concebir en conjunto experimentación y simulación, a partir de utilizar el MEF, proporciona una herramienta de diseño muy poderosa que permite no solo obtener valores de una variable en diferentes puntos de un sistema sino que optimiza de alguna manera la ubicación de sistema de medidas ya que se contaría con una descripción completa del sistema.

Si bien se realizaron simulaciones considerando diferentes valores de velocidades de incidencia del viento sobre la vivienda solo se mostraron algunos resultados porque el análisis que se puede hacer es muy similar al realizado. Además también se consideraron diferentes orientaciones de la vivienda. Lo importante a resaltar es que se pueden determinar diferentes perfiles de algún parámetro característico no solo en función de alguna variable espacial sino también en función del tiempo. Otro aspecto importante de lo realizado es que todo el software utilizado puede ser implementado muy fácilmente y no es necesario conocimientos avanzados del manejo de sistemas operativos. Además FANTOM, puede ser obtenido en forma gratuita de la red.

BIBLIOGRAFIA

- Incropera F. De Witt D. (1999) “Fundamentos de transferencia de Calor” Pearson Educación SA – ISBN 970-17-0170-4
J. A Duffie, W. Beckman “SolaR Engineering of Thermal Processes”-John Wiley & Sons, INC–ISBN 13 978-0-471-69867-8
J.R. Welty, C.E. Wikcs, R.E. Wilson, “Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa” - LIMUSA
O .C. Zienkiewicz, R.L. Taylor “El Método de los Elementos Finitos” vol I y II. 4ta edición – Cimne – Mc Graw Hill
R. Codina. C.I.M.N.E. – U.P.C. - <http://codina.rmee.upc.edu/software.html>

ABSTRACT

In this paper we show results of numerical simulation of airflow inside a home. The simulation is based on the implementation of the FEM (Finite Element Method) in a calculation program. The geometry with which we worked is local so placed that can be considered as a very simple house (only three rooms). One of the premises has two inlet openings (doors, where air enters) and connects with others through two doors. The remaining premises also have a window where air comes out. Is always considered, both for the doors and windows, that these are fully open. Temperature profiles are presented in terms of height at different locations of housing for different simulation times and for different air speeds beyond housing. Also shown are the directions of air flow characteristics inside.

Keywords: numerical simulation, ventilation, forced convection.