

## **ANÁLISIS FLUIDODINÁMICO DE UNA VIVIENDA**

V. Molina, N. Salvo, M. Villena

INENCO – Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 – (4400) – Salta – Argentina  
Tel: 54-387-4255424 Fax: 54-387-4255489  
E-mail: [molinav@inenco.net](mailto:molinav@inenco.net) [nahuel@unsa.edu.ar](mailto:nahuel@unsa.edu.ar) [maiver@inenco.net](mailto:maiver@inenco.net)

**RESUMEN:** La calidad de aire dentro de una vivienda depende entre otros factores de la cantidad de contaminantes presentes en el ambiente. Una efectiva ventilación remueve estos contaminantes y mejora las condiciones de habitabilidad. El movimiento del aire como la ganancia o pérdida de energía de una vivienda dependen entre otras factores del movimiento del aire de su interior y de su patrón de circulación. También la distribución de las habitaciones y aberturas influye en la circulación interna, en este sentido se presentan resultados de simulaciones numéricas que muestran como circula el aire en el interior de una casa y su dependencia con el flujo principal del aire externo. La simulación propiamente dicha contempla la distribución de los ambientes interiores de la vivienda y sus conexiones entre si y con el medio exterior a través de las aberturas.

**Palabras claves:** simulación numérica, ventilación, refrigeración.

### **INTRODUCCIÓN**

La ventilación puede ser definida como el efecto que provoca el movimiento del aire dentro de un edificio. Se pueden definir tres funciones principales de la ventilación: la primera es entregar calidad de aire al interior, entendiendo por calidad de aire al que no contiene contaminantes. La segunda función principal sería la de ventilación, o sea la de proveer a los ocupantes de la vivienda refrigeración; creada por el paso de aire a través de sus cuerpos. Esto se encuentra íntimamente relacionado con la disponibilidad y velocidad de aire en el exterior del edificio; lo que depende en general de la orientación de la vivienda con respecto al flujo medio y de la estación del año. Por último la ventilación debe refrescar la totalidad de la vivienda, fenómeno que puede ser llamado como refrigeración estructural. En particular, el aire necesario para acondicionar el interior de un edificio, dependerá de como ingrese al interior del mismo, de como circule y de su temperatura. Si ingresa con menor temperatura, por ejemplo, absorberá energía de la estructura y la refrescará. Otro aspecto importante en la circulación interior es la conexión entre locales y con el exterior, la que depende fundamentalmente de que estas aberturas se encuentren abiertas o cerradas.

La presión del aire en el exterior prevalecerá sobre la presión en el interior y en el caso de que la orientación de la vivienda con respecto a la dirección principal del flujo medio sea tal que las aberturas se enfrenten directamente a la corriente externa la circulación en el interior se corresponderá con la exterior. Si sucediera que las aberturas no estén directamente enfrentadas, en el interior se generarán corrientes que dependerán fundamentalmente de la distribución de los locales interiores. Prácticamente en la totalidad de los edificios, cuando estos son ventilados, la circulación del aire en su interior presenta una conducta recirculante que está caracterizada fundamentalmente por vórtices. Estos se generan de acuerdo al ingreso del aire externo a la vivienda. Ahora bien, tanto el patrón de circulación interior como el tamaño de los vórtices dependen de muchos factores pero fundamentalmente de las características fluidodinámicas del flujo externo. Todos estos vórtices son arrastrados por el flujo principal dentro del edificio y se mueven y desarrollan de acuerdo a que la corriente se generaliza en el interior.

En principio, para lograr una mejor ventilación, es necesario dirigir eficientemente las corrientes de aire en el interior, lo que puede lograrse a partir de un determinado uso de las aberturas. El aire fluye del lado de barlovento (mayor presión) hacia sotavento (menor presión) entre los espacios interiores, o sea cuanto más espacios interiores (habitaciones) contenga la vivienda mayores serán las variaciones de presión generando una distribución de velocidades en el interior muy compleja. Este tipo de detalles es importante a tener en cuenta a la hora de diseñar cualquier tipo de edificio. Pero en caso donde la vivienda ya este construida y por motivos funcionales se desee modificarla, un análisis fluidodinámico de lo construido puede ser valioso para reformarla y lograr una mejor ventilación.

Con el objeto de aplicar estas consideraciones y aplicarlas en el estudio las características fluidodinámicas del aire que ingresa a una vivienda, se simuló numéricamente la circulación del aire en el interior. Para esto se utilizó la casa perteneciente a la Universidad Nacional de Salta que se encuentra ubicada en la localidad de Payogasta (Cachi). La simulación llevada a cabo tiene por principal objetivo determinar las variaciones de temperatura en el interior por efecto de la ventilación. Además se consideran diferentes orientaciones con respecto a la dirección del flujo principal. En cada caso se analizan las diferentes variables involucradas.

### **SIMULACIÓN CFD**

El aire que circula en el interior de una vivienda se caracteriza por la presencia de vórtices de diferentes escalas, por lo tanto presenta una estructura turbulenta y en este sentido el sistema de ecuaciones a resolver (simular numéricamente) debe contemplar un modelo turbulento para el análisis de las tensiones de corte involucradas, de acuerdo a la hipótesis de

Boussinesq. Estas tensiones son las responsables de la generación de vórtices.

El modelo empleado en este trabajo es el modelo de dos ecuaciones  $k-\omega$ , (Wilcox et al. 1988) en el cual los esfuerzos turbulentos están relacionados con los gradientes de velocidad a través de la viscosidad turbulenta. Además este modelo tiene la ventaja de no presentar problemas en la solución de las ecuaciones próximas a la superficie ya que presenta soluciones asintóticas.

El sistema de ecuaciones de transporte es resuelto numéricamente a través de un programa escrito en lenguaje Fortran 77, que implementa el Método de Elementos Finitos (MEF). Para el diseño de la geometría, el discretizado de la misma y la visualización de los resultados se empleó el programa GiD. El tipo de elemento empleado está formado por cuatro nodos (elementos brick). Se consideró una mayor cantidad de elementos en las regiones de interés, (concentración de elementos) aberturas y algunos sectores internos.

El espacio de estudio se lo consideró dividido en dos subdominios (ambiente externo e interno) (figura 1). Para el ambiente interno se utilizó el diseño de la vivienda construida por el Camel Trophy en la localidad de Payogasta (Departamento Cachi), la que contiene dos habitaciones y un local de mayor tamaño. En el centro de la misma y en su parte posterior se encuentra una habitación (para la simulación esta cerrada). En ambos costados hay dos pequeños sanitarios con sus correspondientes ventanas. Estas son muy pequeñas en el diseño original teniendo poca influencia en las condiciones de circulación global de toda la vivienda. Para la solución numérica se consideró en forma simultánea el exterior e interior; con el objeto de visualizar como se manifiesta la interacción entre ambos dominios. A partir de esto último la discretización de toda la situación se realizó en forma conjunta, tanto interior y exterior.

La figura 1 muestra las dimensiones de la vivienda, de sus espacios interiores y también parte del mallado (estructurado) elegido para la simulación numérica.

Se puede apreciar en ella la simetría de la vivienda en su interior.

La temperatura ambiente inicial en el interior se fijó en  $19^{\circ}\text{C}$  ( $292\text{ K}$ ) la temperatura del aire exterior se fijó en  $4^{\circ}\text{C}$  ( $277\text{ K}$ ) las temperaturas de las paredes internas se fijaron en  $16^{\circ}\text{C}$  ( $289\text{ K}$ ). La velocidad del viento empleada, se estableció para todos los casos simulados en  $u = 0.4\text{ m/s}$  que es una velocidad típica de la zona de Payogasta.

Los valores de temperatura se fijaron en forma arbitraria porque el principal objetivo del trabajo es la de optimizar la herramienta de simulación para predecir la circulación interna y la distribución de energía en todo el dominio bajo estudio.

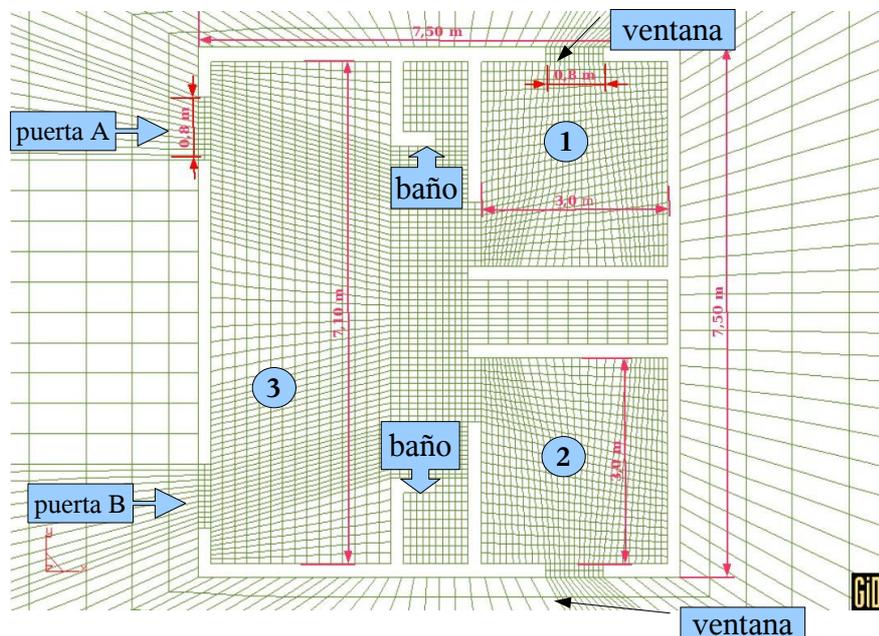


Fig. 1. Corte de planta de la vivienda  
dimensiones externas e internas, mallado parcial  
(1),(2) habitaciones – (3) comedor y sala de estar. (esquema no a escala)

Para una mejor visualización del comportamiento del aire dentro y fuera de la vivienda se consideran varias orientaciones de la misma con respecto a la dirección del flujo externo

## RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Para todas las figuras que se muestran a continuación el viento incide desde la izquierda. Las figuras 2 y 3 muestran la distribución final para la temperatura y la presión respectivamente, para la primera orientación considerada. En la figura 2, que corresponde a un tiempo de simulación real de aproximadamente 3 minutos, se logra una ventilación prácticamente completa de la vivienda. Es interesante observar que entre las dos aberturas de entrada (figura 2) se mantiene una zona donde el aire de mayor temperatura se mantiene casi inalterado, lo mismo que en los sanitarios. Si se comparan ambas imágenes puede observarse que la simulación predice que en los lugares donde el gradiente de presión es prácticamente nulo, la variación de temperatura no tiene modificaciones significativas, lo que está en un todo de acuerdo al modelo teórico empleado.

Para esta disposición de la vivienda con respecto al flujo externo, el comportamiento dentro de la misma es simétrico, por ejemplo las habitaciones pierden energía de manera similar, mientras que en los rincones (esquinas) se presentan zonas de estancamiento motivado principalmente por la recirculación de aire. Con respecto a los vórtices por detrás de la vivienda, estos no tienen influencia alguna sobre el comportamiento del aire dentro de la misma.

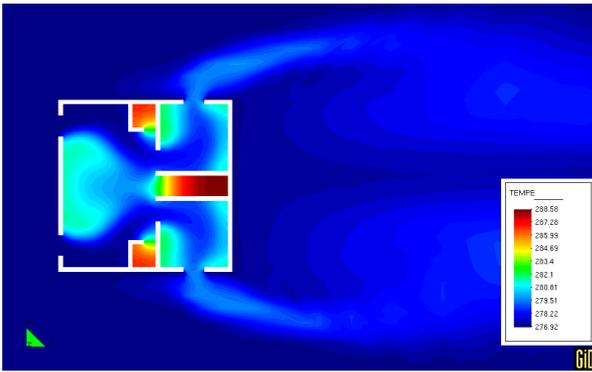


Fig. 2. Distribución final de temperatura.

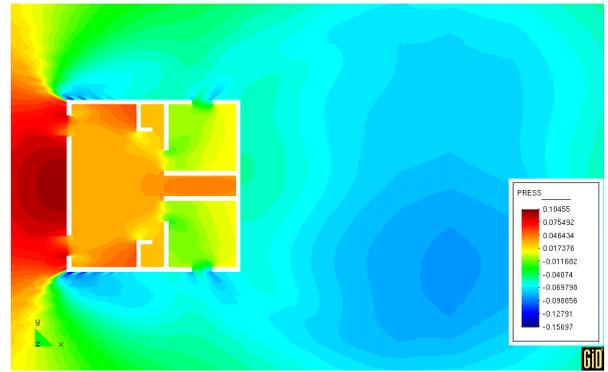


Fig. 3. Distribución final de presión.

La segunda orientación considerada, se encuentra a 45 grados con respecto al flujo principal. La figura 4 muestra la distribución de temperatura una vez iniciada la simulación. Se predice un comportamiento particular del aire del interior de la vivienda. Si se observan las habitaciones (1) y (2) a partir de las figuras 4 y 5, que corresponden a dos instantes diferentes de la simulación, puede concluirse que térmicamente se comportan de diferentes maneras. La explicación de este fenómeno debe realizarse a partir del análisis de las figuras 6 y 7, que muestran el campo de velocidades interno y externo a la vivienda y la distribución de presiones correspondientes. Otro aspecto importante a notar es que a partir de la fuerte interacción entre el interior y exterior de la vivienda se condicionan las características fluidodinámicas y térmicas del edificio.

El estudio global de la situación muestra que en la habitación (1) la ventana presenta una conducta oscilante, mientras que la abertura de la habitación (2) inicialmente se comporta de la misma manera pero luego se establece un patrón de flujo constante.

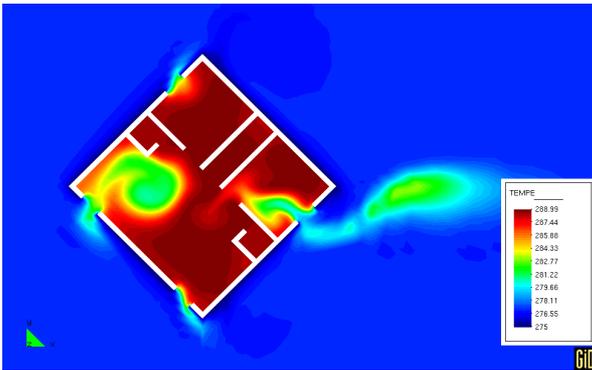


Fig. 4. Distribución de temperatura instantes iniciales

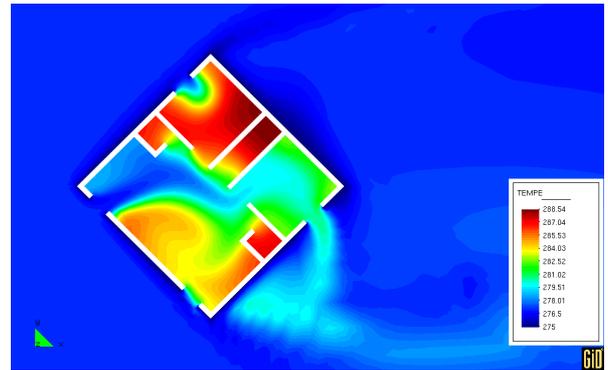


Fig. 5. Distribución de temperatura instantes finales

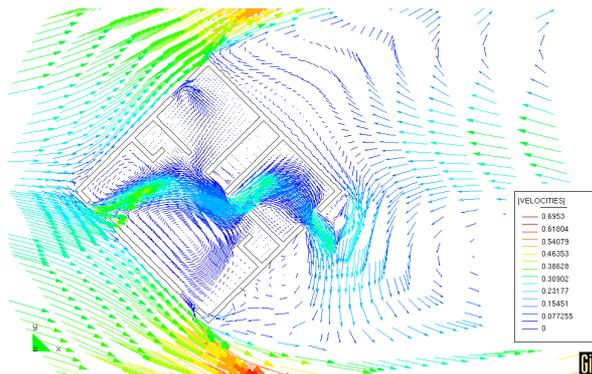


Fig. 6. Distribución de velocidad instantes finales

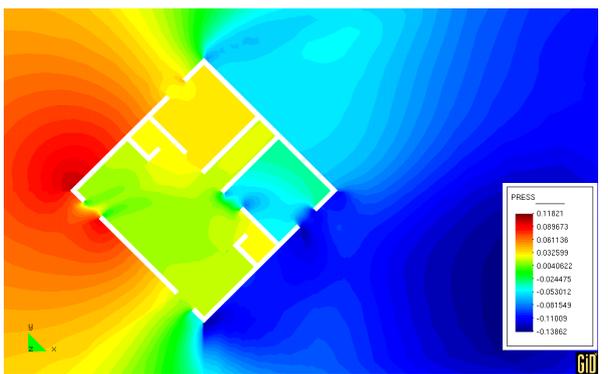


Fig. 7. Distribución de presión instantes finales

Esta última observación puede analizarse a partir de la figura 6 y de como es la característica principal del flujo externo a la vivienda. Debido a su orientación con respecto al flujo principal, los vórtices generados tienen una gran influencia en el comportamiento del aire en el interior. Por ejemplo si se observa esta figura puede apreciarse que en el frente solo la puerta A está casi enfrentada directamente al viento, mientras que sobre la puerta B, la corriente de aire es paralela a la misma, esto hace que las distribuciones de presión sean diferentes. A través de la puerta A, al inicio de la simulación (figura 4), se genera en el comedor un núcleo (vórtice) que se desplaza por el interior para luego dirigirse hacia la habitación (2), donde interacciona con un segundo vórtice que ingresa por la ventana de dicha habitación. El resultado final de esta situación es que en el comedor se establece una corriente general con una zona de cuasi calma hacia la puerta B.

Toda esta situación es completamente distinta si el viento incide desde otro sector. Por ejemplo para el caso de las figuras 8 y 9 (la corriente de aire siempre incide de la izquierda) es como si la vivienda recibiera una corriente desde atrás en forma diagonal a la misma. En este caso la habitación (2) es la que recibe la totalidad de la corriente de aire. Las condiciones térmicas de la habitación (1) son mas estables. Lo que resulta interesante es que la simulación predice una característica oscilante del flujo que ingresa a la vivienda por la puerta A, lo que se corresponde con el exterior (ver figura 8).

En la figura 10 se muestra la distribución final de temperatura cuando las condiciones de los diferentes flujos a través de la vivienda se han estabilizado (estado estacionario). En esta figura queda establecido cuales son las corrientes principales de aire a través de la vivienda determinando que habitación es más ventilada para esta orientación. Un aspecto importante a tener en cuenta es que aunque en el caso anterior hay más aberturas expuestas al flujo externo que en este caso la ventilación global es menor (figuras 5 y 10)

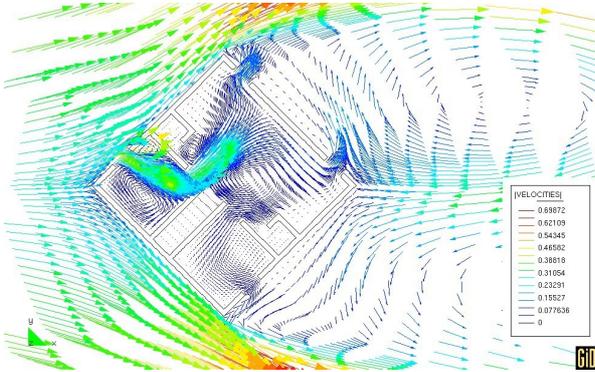


Fig. 8. Distribución final campo velocidad

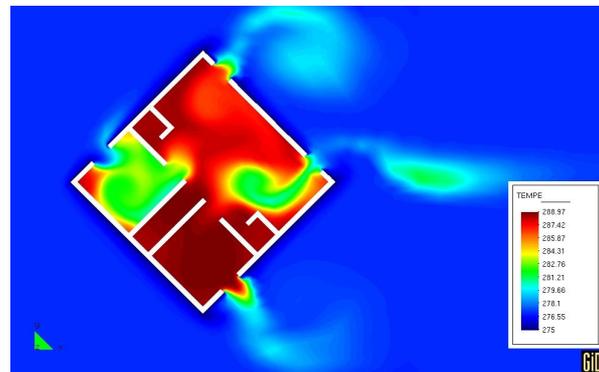


Fig. 9. Distribución de temperatura instantes iniciales.

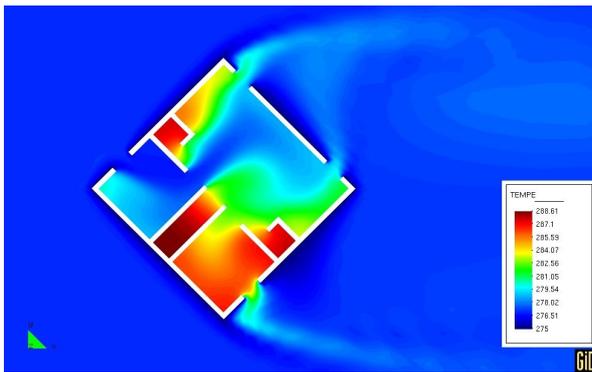


Fig. 10. Distribución final de temperatura

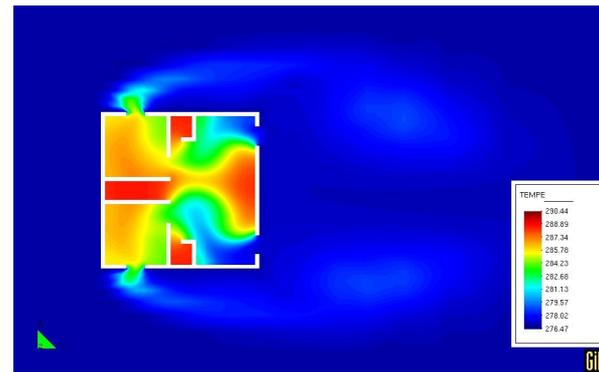


Fig. 11. Distribución de temperatura instantes iniciales

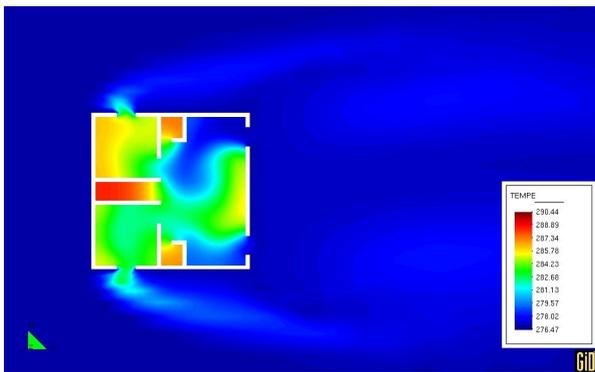


Fig. 12. Distribución de temperatura mitad de la simulación

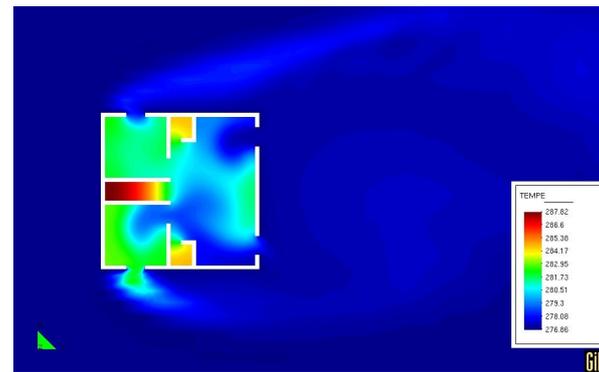


Fig. 13. Distribución de temperatura instantes finales

En las figuras 11, 12 y 13 se muestra, para una cuarta orientación, la distribución de temperatura para tres instantes diferentes de la simulación. (siempre el viento incide desde la izquierda)

Para esta situación se consideró un tiempo de simulación igual al doble de los casos anteriores. El principal motivo para aumentar el tiempo de simulación fue que las principales variables del flujo no se estabilizaban correctamente o sea se continuaba con un estado no estacionario. Para las puertas, el flujo de aire que circula por el interior de la vivienda tiene una

forma oscilante. Esto significa, que por ejemplo, el aire exterior entra por una de ellas y sale por la otra estableciéndose una característica oscilante de flujo, por lo tanto el intercambio de energía entre ambos medios también tiene una característica oscilante.

Por lo tanto cuando se tienen las aberturas expuestas de la forma descrita, las corrientes de aire en interior, adquieren una forma tal que el intercambio de energía se puede realizar en algunos momentos a contra corriente de la dirección principal. Otro aspecto importante a destacar es que las corrientes del aire en el interior de la vivienda, en algunos momentos, son opuestas a las del flujo externo y esto es de esperar ya que hacia atrás de la vivienda se establecen vórtices de gran tamaño que son los responsables de este cambio de dirección del flujo interno.

Las figuras 14, 15 y 16 muestran la última orientación considerada, de esta forma se logra abarcar todas las posibles situaciones de orientación de la vivienda con el flujo medio. Para situaciones intermedias los resultados pueden ser semejantes a los obtenidos.

En las siguientes imágenes hay una ventana (habitación 2) que se encuentra directamente enfrentada al flujo principal.

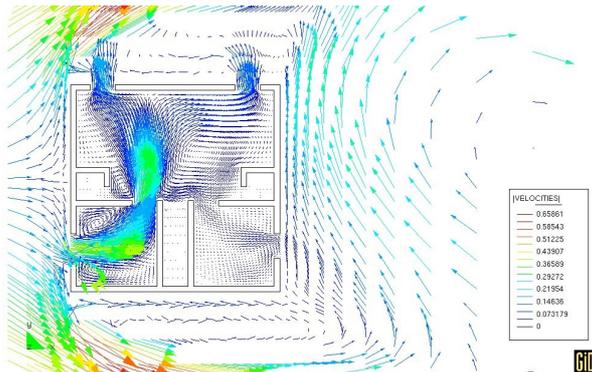


Fig. 14. Distribución final de velocidad

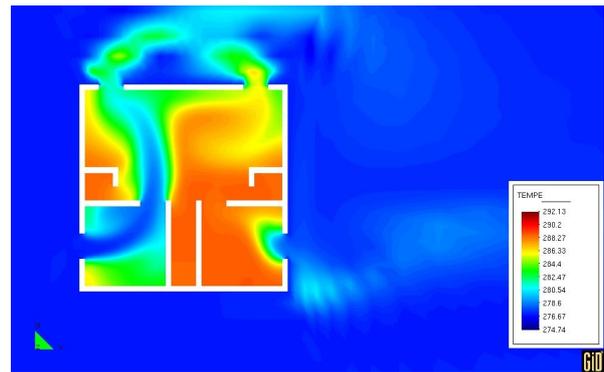


Fig. 15. Distribución inicial de temperatura.

La distribución de velocidad determina la distribución de temperatura que se muestra. En este caso hay una corriente principal que se establece entre la habitación 2 y el comedor mientras que en la otra habitación la variación de energía es mínima.

Resulta interesante observar en la figura 16 que el aire fresco del exterior ingresa por la ventana de la habitación 2 determinando la corriente principal dentro de la vivienda. También ingresa aire fresco por la ventana de la otra habitación aunque en menor proporción, por efecto de los vórtices generados en el flujo principal por la vivienda en la parte de atrás de la misma.

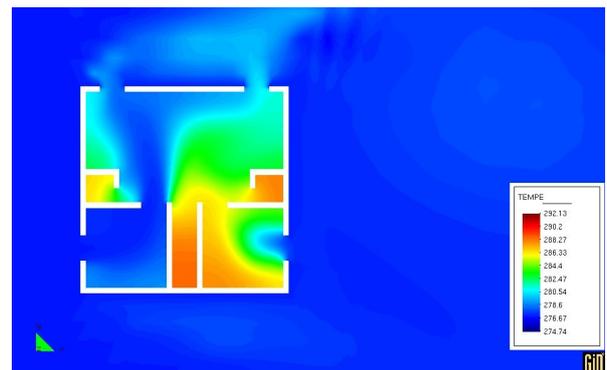


Fig. 16. Distribución final de temperatura

## CONCLUSIONES

Los diferentes resultados obtenidos permiten predecir la circulación interior en una vivienda. A partir de la técnica de cálculo utilizada (MEF) se puede aproximar la calidad del cálculo considerablemente. Para lograr esto solo hay que refinar la malla de elementos finitos en las zonas de interés. Esta técnica de refinamiento de malla, si bien brinda una mayor precisión de cálculo puede generar inestabilidades numéricas que se manifestarán en los resultados.

Independientemente de estas consideraciones técnicas, se puede concluir en una primera aproximación que se cuenta con una herramienta de diseño para predecir las características y formas en que circulará el aire que ventila una vivienda.

A partir de los resultados obtenidos queda claro que el movimiento interno del aire depende de varios factores pudiéndose mencionar a la orientación de la vivienda con respecto al flujo principal, la disposición de las aberturas y de la estructura interna de la vivienda misma (distribución de habitaciones), etc. Esto último es quizás el principal responsable de la circulación de aire en el interior, ya que estas determinan la dirección del flujo principal como se puede apreciar en las diferentes figuras mostradas. Para algunos de los casos mostrados esta disposición interna favorece la circulación en el interior, mientras que en otras situaciones no la favorece.

Para todas las situaciones ensayadas, la circulación del aire exterior tiene una fuerte influencia sobre el interior, a partir de lo cual se puede deducir que en el caso de considerar un grupo de viviendas las características de ventilación de todas ellas serán completamente diferentes.

Si bien se realizó la simulación para un dado valor de la velocidad del viento incidente ( $u = 0.4 \text{ m/s}$ ) el programa permite variar su valor como sea necesario. También sucede lo mismo con los valores iniciales de temperatura. Con respecto a las

condiciones de contorno el programa acepta condiciones tipo Dirichlet como Newman tanto para la velocidad como para la temperatura teniendo además la facilidad de imponerlas en cualquier nodo de la malla, esto tiene la principal ventaja de que pueden considerarse condiciones variables en el espacio.

Con respecto a la distribución de temperatura, para calcularla se resolvió la ecuación de conducción convección en estado no estacionario. El programa permite calcular los coeficientes convectivos, esto no se llevo a cabo porque el objetivo principal del trabajo es mostrar las diferentes características del aire y la distribución de temperatura en el interior de la vivienda.

Si bien no se presentan resultados es posible simular el comportamiento presentado en una distribución en 3D. El principal inconveniente de esto es la capacidad de cálculo necesaria (tamaño de PC).

## **BIBLIOGRAFIA**

M. Grosso (1992) "Wind pressure distribution around buildings: a parametrical model".- Department of Environmental Science and Technology, Politecnico di Torino, Turin (Italy).

A.R. Kristoffersen (2004) "Effect of room air delay on the decay rate of tracer gas concentration".- Norwegian Building Research Institute, Norway

D. Faulkner (2002) "Ventilation efficiencies of a desk-edge-mounted task ventilation system".- Lawrence Berkeley National Lab, Berkeley, CA, USA.

R. W. Bottcher (1986) "Experimental analysis of wind ventilation of poultry buildings".- American Society of Agricultural Engineers.

J. Niu & J. Van der Kooi (1992) "Two-dimensional simulation of airflow and thermal comfort in a room with open-window and indoor cooling systems".- University of Technology of Mekelweg , Netherlands.

L Davison (2003) "An Introduction to Turbulence Models".- Departament of thermo and fluid dynamics. Chalmers University of Technology – Suecia.

**ABSTRACT:** The air quality inside a housing depends among other factors of the quantity of present pollutants in the environment. An effective ventilation removes these pollutants and improves the conditions of habitability. The movement of the air and the profit or loss of energy inside a housing they depend among other factors of the movement of the air of its interior and of its orientation. Also the distribution of the rooms and openings influences the internal circulation. In this sense there appear result of numerical simulations that show since it moves himself the air inside a house and its dependence with the principal flow of the external air. Are considered also the internal environments of the housing.

**Keywords:** numeric simulation, ventilation, refrigeration.