

# SIMULACIÓN DINÁMICA Y TÉRMICA DE UNA HABITACIÓN DE ACUERDO CON EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICIACIÓN

## DYNAMIC AND THERMAL ROOM SIMULATION ACCORDING TO THE TECHNICAL BUILDING CODE

Rodríguez Sánchez, A<sup>(1)</sup>; Viñas Arrebola, C<sup>(2)</sup>; Tendero Caballero, R<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup>*Departamento de Construcciones Arquitectónicas y Su Control. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. UPM. Avda. de Juan de Herrera 6, 28040 Madrid. España*

<sup>(2)</sup>*Departamento de Tecnología de la Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. UPM. Avda. de Juan de Herrera 6, 28040 Madrid. España.*  
e-mail: [carmen.vinas@upm.es](mailto:carmen.vinas@upm.es)

### ABSTRACT

The technical building code is the normative frame which regulates all the quality requirements buildings should comply with. These requirements establish the needs within the scope of structural safety, safety in use, sound protection, energy saving, thermal insulation, health issues, environmental protection etc. Each aspect is regulated by a specific understanding.

The international ISO 7730:2006 standard evaluates the environmental assessment in the interior of a building. Regarding this international standard, the technical building code establishes the values of indoor air quality (IAQ) and the foreseen speed fields. In addition, all the physical characteristics both from air and from different materials being used in the construction are stated.

The aim of this paper is to show the first results obtained for determining comfort parameters inside a house built with environmental bioclimatic criteria using the STAR\_CCCM+ form Computational Fluid Dynamics (CFD).

Using this program, a room has been designed, and the speed fields and temperature simulated for different opening configurations regarding the ISO 7730:2006 established criteria. From the obtained results, it can be proved that the simulation program allow to design the most adequate location of the openings in a particular room or house, in order to obtain a greater comfort degree, both in summer and in winter. This design, at the same time, complies with the Technical Building Code and can be checked even before the building has been constructed.

### RESUMEN

El Código Técnico de la edificación (CTE), es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben de cumplir los edificios. Dichas exigencias establecen los requisitos imprescindibles en el ámbito de seguridad estructural, seguridad de utilización ahorro de energía, aislamiento térmico, higiene, salud, protección del medio ambiente.... y se rigen, cada una de ellas, por su norma específica (Norma UNE).

La norma ISO 7730:2006 es una norma internacional que aborda la evaluación del medio ambiente, en el interior de un edificio, tal y como se recoge en el CTE. Con este propósito la norma establece la predicción de índices de calidad del aire IAQ (Indoor Air quality) así como de la predicción del campo de velocidades, de temperatura y, en general, de todas las magnitudes físicas, características, tanto del aire como de los elementos constructivos utilizados en la edificación.

Basándonos en estos criterios el objetivo de este trabajo es presentar los primeros resultados obtenidos en la simulación de parámetros de confort en una habitación, de una vivienda construida con criterios bioclimáticos, mediante el programa de simulación STAR\_CCM+ de Computational Fluid Dynamics (CFD).

Utilizando STAR\_CCM+ diseñamos la habitación en estudio y simulamos el campo de velocidades y de temperatura, en el interior de la misma, para distintas configuraciones de aberturas utilizando los criterios de velocidad y de temperatura del aire dado por la ISO 7730:2006. En esta línea se está investigando actualmente y el trabajo que se presenta muestra que el programa de simulación utilizado permite, por un lado, diseñar la disposición más adecuada de las aberturas en una habitación en particular, y de una vivienda en general, y, por otro lado, hacer un estudio cualitativo y cuantitativo de los parámetros de confort en diferentes situaciones meteorológicas, de acuerdo con el CTE, incluso antes de que la vivienda esté construida.

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de las técnicas de arquitectura bioclimática es un factor esencial para reducir el consumo energético de los edificios. El interés creciente por un uso eficiente de la energía así como la evaluación del medio ambiente, en el interior de un edificio, se plasma en una serie de medidas legales que se derivan de la transposición de la Directiva 2002/91/CE de eficiencia energética de los edificios. En concreto, el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE) y que contiene un Documento Básico sobre Ahorro de Energía con unos requisitos más exigentes de eficiencia energética, que deben introducirse en la fase de diseño de las nuevas edificaciones.

En este contexto de demanda y exigencia de edificios de bajo consumo energético y confort térmico se está llevando a cabo un estudio que trata de aportar, a través de modelos de simulación mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD) y datos experimentales, información relevante que sirva para optimizar tanto el diseño, desde el punto de vista del confort, como el consumo energético en una vivienda construida con criterios bioclimáticos [1].

Dicho estudio surge como consecuencia de un proyecto de edificación que parte de la necesidad de resolución de una serie de condicionantes como son la forma trapezoidal de la parcela construible con los lados menores curvos, el desnivel de 7m existente entre los vértices Noreste y Suroeste, la existencia obligatoria de locales comerciales y la decisión, de acuerdo con la propiedad, de incorporar en el edificio soluciones que supongan un avance en la eficiencia energética y comportamiento bioclimático sin que ello suponga un coste excesivo.

El grado de confort que experimenta el ser humano en un recinto cerrado depende del equilibrio térmico global de su cuerpo. Este equilibrio térmico depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto así como de parámetros ambientales como temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire, humedad del aire.....[2]. Sí estos factores se pueden predecir la sensación térmica global del cuerpo puede predecirse mediante la predicción de índices de confort.

El CTE en su norma ISO 7730:2006 recoge estos índices, considerando el régimen estacionario, y establece los criterios de bienestar térmico en el interior de un local.

Podemos clasificar los índices de confort en índices que miden la incomodidad térmica local e índices que expresan el grado de incomodidad por calor o por frío del cuerpo en su conjunto.

La causas de la incomodidad local son las corrientes de aire, la diferencia de temperatura anormalmente alta entre la cabeza y los tobillos, entre suelos demasiados calientes o demasiados fríos o a una asimetría de temperatura radiante demasiado grande. Los índices que miden la incomodidad local son: El índice DR (draught rate) que mide la insatisfacción debida a la corriente de aire y el índice PD (percentage dissatisfied) que mide la insatisfacción debida a diferencia de temperatura [3].

Los índices que miden el grado de incomodidad térmica global del cuerpo son el PMV (voto medio estimado) y el PPD (porcentaje estimado de insatisfechos) [4]. El PMV refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de siete niveles. Está basado en el equilibrio térmico del cuerpo que se alcanza cuando el calor absorbido, por el cuerpo, desde el medio ambiente es igual al cedido por dicho cuerpo hacia el ambiente. Se utiliza este índice para comprobar si un ambiente térmico determinado satisface los criterios de comodidad y para establecer los requisitos de los diferentes niveles de aceptabilidad. El índice PPD establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas que se sentirán insatisfechas por notar demasiado frío o demasiado calor.

Basándonos en todos estos criterios es necesario, para predecir los índices de confort en el interior de un recinto, conocer previamente cualitativa y cuantitativamente el campo de velocidades y de temperatura del flujo, así como la distribución de los flujos de calor que por conducción, convección y radiación se pueden producir en el proceso.

Presentamos en este trabajo, el análisis cualitativo del campo de velocidades y de temperatura de un flujo introducido en una habitación de una vivienda construida con criterios bioclimáticos, para la predicción de parámetros de confort, utilizando el programa de simulación STAR\_CCM++ de Computacional Fluid Dynamics (CFD).

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Como banco de pruebas se utilizan las viviendas del proyecto mencionado en el apartado anterior situado en el Municipio de Madrid, en la zona conocida como Montecarmelo (Fig.1). Se trata de un único edificio en forma de U apoyado sobre los tres lados de parcela en contacto con los viales de tráfico rodado, con una clara diferenciación compositiva y formal entre el exterior y el interior.

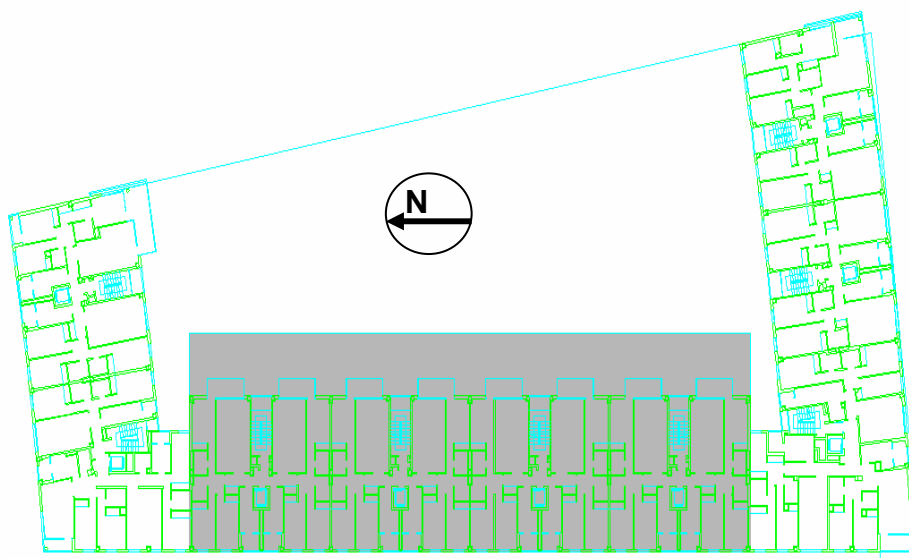


Figura.1.- Plano de una vivienda tipo y disposición de las viviendas en la parcela

Las fachadas “exteriores” se diseñan con huecos de la misma altura alojados en un mínimo rehundido proporcionando una configuración en bandas que acentúa la horizontalidad y permite resolver los quiebros de la fachada debidos al gran desnivel de la parcela.

El material elegido es el ladrillo en dos tonos muy claros alternando en las bandas. Interiormente el tratamiento de las fachadas es uniforme y el material elegido para acentuar la luminosidad, es una piedra caliza con piezas alargadas colocadas en horizontal. Los testeros se constituyen como elementos de transición entre el “exterior” y el “interior”. En ellos se funden con gran expresividad los materiales (ladrillo y caliza) que constituyen las fachadas, aprovechando la incorporación de amplias terrazas en las esquinas Sureste con la mejor orientación del edificio.

La planta baja, tanto exterior como interiormente, tiene un tratamiento diferenciado del resto del edificio a base de paños ciegos de hormigón que permiten resolver los quiebros del mismo y a su vez garantizan la coherencia compositiva del conjunto sin menoscabo de la libertad de diseño de las fachadas de los futuros locales, que quedarán remetidas permitiendo abstraer visualmente dicha zona, reforzando así la horizontalidad del conjunto y minimizando la altura del edificio.

Las fachadas se adaptan a las distintas orientaciones para conseguir un soleamiento adecuado en las distintas épocas del año (Fig.2). Así, en la fachada sur se incorporan marquesinas que permiten el soleamiento de la vivienda en invierno e impiden la penetración de los rayos solares en verano; en las fachadas Oeste y Noroeste se complementan los huecos exteriores con contraventanas correderas de lamas verticales

regulables para el control del soleamiento. La coronación se resuelve con una pérgola de hormigón que unifica los distintos volúmenes interiores y permite controlar el soleamiento de las viviendas situadas en planta ático.



(a)

(b)

Figura.2.- Visualización de las viviendas. (a) Fachada Sur-Oeste. (b) Fachada Sur-Este

Desde el punto de vista energético se decide realizar las fachadas garantizando la continuidad del aislamiento sobre la hoja interior, y con la cámara de aire ventilada. Creemos de especial interés la solución de la fachada de ladrillo, incorporando una subestructura de perfiles verticales anclados a forjados sobre los que apoyan otros horizontales, que situados a la altura de los dinteles sirven para sujetar la hoja exterior de ladrillo en cada planta y además como bastidor para alojar los “cajones” que, a modo de precerco, resuelven la configuración del hueco y el contacto de éste con la fachada, tanto exterior como interiormente

### 3. MODELIZACIÓN

Utilizando el código STAR\_CM++ se ha simulado en 3D el comportamiento que tendría un flujo de aire natural en el interior de una habitación, para distintas configuraciones de abertura de entrada y de salida del flujo, de las viviendas descritas en el apartado anterior [5]. Dado que uno de los vientos dominantes en la zona, donde están ubicadas las viviendas, es del Noroeste se ha elegido para nuestro estudio una habitación con orientación Oeste de tal forma que la ventana (1.20m×1.20m) está en la fachada Oeste y la puerta (0.70m×2.00m) en la pared Este. La Figura.3 muestra la geometría de la habitación en la que se puede observar, una forma irregular en la pared Este que corresponde al hueco de un armario empotrado de dimensiones 1.54m×0.60m×2.10m. En el sistema de ejes elegido el eje “X” tiene dirección Norte, el eje “Y” dirección Este y el eje “Z” perpendicular a estos dos ejes.

Como condiciones iniciales de velocidad y temperatura de entrada del aire se ha tomado la velocidad media en la dirección dominante del flujo y la temperatura media del aire. Ambas magnitudes se han obtenido a partir de los registros de una torre meteorológica correspondientes a la primavera del año 2007 concretamente entre el 1-04-2007 al 30-06-2007.

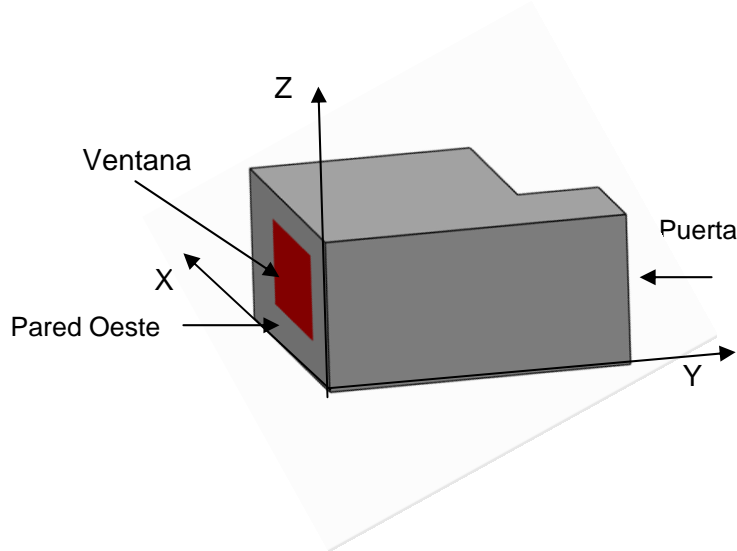


Figura.3.- Geometría de la habitación elegida para la modelización. Dimensiones: W= 2.39m, L=4.64m y H=2.50m (incluido el hueco del armario)

Se han hecho un total de seis simulaciones, la primera corresponde a la disposición de aberturas de la Figura.3 y se toma como simulación inicial de referencia. En esta simulación la entrada se hace por la ventana de la habitación y sale por la puerta de la misma. Para la segunda, tercera y cuarta simulación se coloca una rejilla de 0.15m×0.15m en la pared Este, al lado del armario empotrado, donde existen zonas ventiladas construidas al efecto. En estas tres configuraciones la entrada del flujo se hace por la ventana y sale por la rejilla, correspondiendo cada una de estas simulaciones a una cota distinta de la rejilla en la pared Este. Concretamente la rejilla se coloca a las cotas  $z=0$ ,  $z=0.90\text{m}$  y  $z=1.90\text{m}$ . La Figura.4 muestra, como ejemplo, la geometría de la habitación con la rejilla a  $z=1.90\text{m}$ .

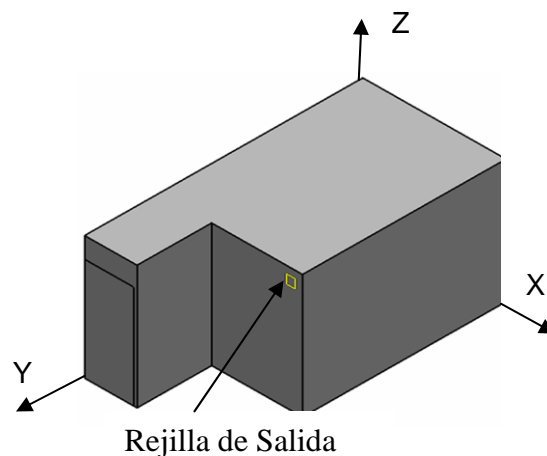


Figura.4.- Geometría de la habitación elegida para la modelización, con la posición de la rejilla de salida del flujo en la pared Este en  $z=1.90\text{m}$

La quinta simulación se realiza introduciendo el flujo por una rejilla colocada debajo de la ventana de dimensiones  $1.20\text{m}\times 0.20\text{m}$  y la salida a través de un montante abatible colocado encima de la puerta de dimensiones  $0.85\text{m}\times 0.20\text{m}$  Figura.5

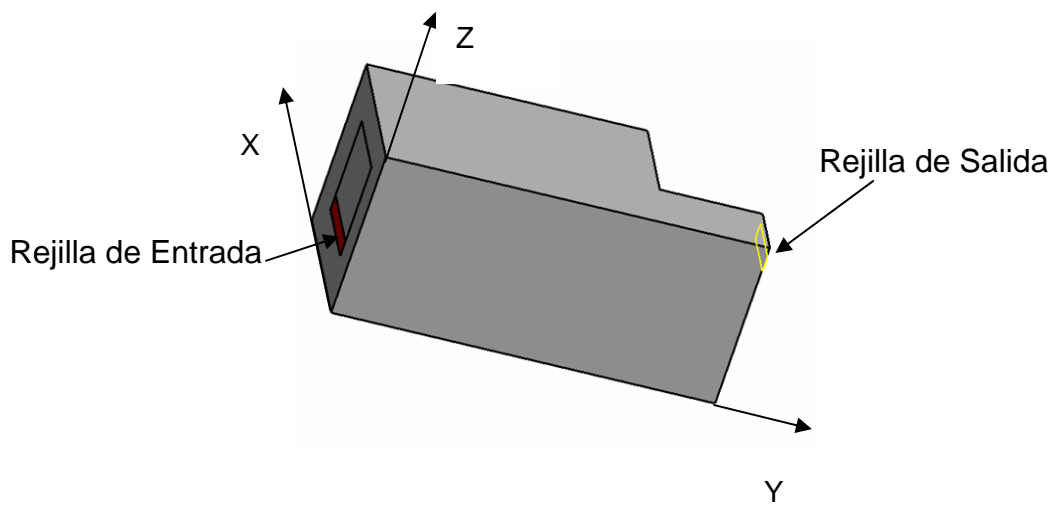


Figura.5.- Geometría de la habitación elegida para la modelización. Muestra la posición de la rejilla de entrada en la facha de la ventana y el montante de salida encima de la puerta

La última simulación realizada para este trabajo es una combinación de la anteriores de tal forma que la entrada del flujo se hizo por la rejilla colocada debajo de la ventana y la salida del mismo a través de la rejilla situada a la cota a  $z= 1.90m$  Figura.6.

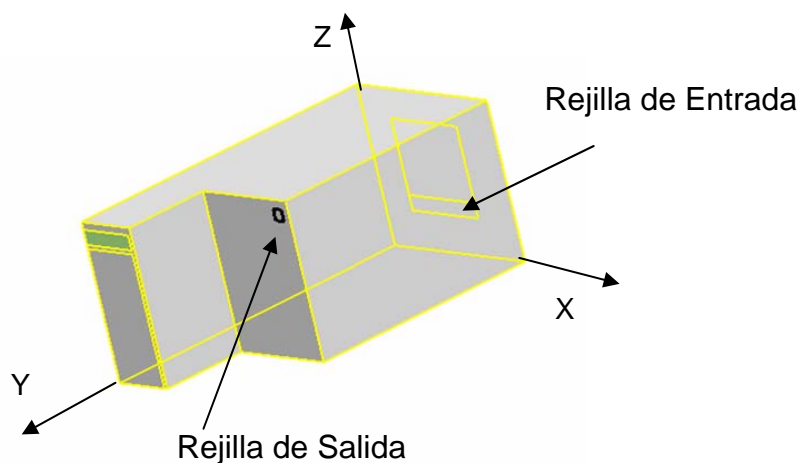


Figura.6.- Geometría de la habitación elegida para la modelización. Muestra la posición de la rejilla de entrada en la facha de la ventana y la de salida a  $Z=1.90m$

En todos los casos se ha tomado como temperatura interior del aire  $16^{\circ}C$ , como temperatura de entrada del aire  $19^{\circ}C$  y como vector velocidad media en la dirección

dominante considerada  $V(1.41, -1.41, 0) \text{ ms}^{-1}$ , que corresponde a un módulo de velocidad de  $2 \text{ ms}^{-1}$ .

Con el objetivo de conocer el régimen del flujo introducido por las aberturas, necesario para realizar las simulaciones, calculamos el número de Reynolds [6] a partir de la ecuación

$$R_e = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

donde  $V$  es la velocidad de entrada del aire por la abertura,  $L$  una dimensión característica de la abertura de entrada y  $\nu$  el coeficiente de viscosidad cinemática del aire de valor  $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Para la determinación del número de Reynolds se ha tomado como dimensión característica  $1.20 \text{ m}$ , representativa de todas las aberturas. Con esta consideración y para la velocidad de  $2 \text{ ms}^{-1}$  del flujo se obtiene un número de Reynolds de  $R_e = 16 \times 10^4$ . Este resultado indica que el flujo introducido en la habitación, en todos los casos, es un flujo turbulento, típico, por otro lado, de los procesos de ventilación natural y forzada en recintos cerrados [7]

#### 4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Con el modelo geométrico considerado y en las distintas configuraciones descritas, ejecutamos el programa de simulación STAR\_CM++ de CFD en régimen estacionario y para flujos turbulento, utilizando el modelo turbulento  $k-\epsilon$ .

Las figuras 7, 8, 9 y 10 muestran ejemplos del campo de velocidades, en el interior de la habitación, para las configuraciones en estudio. En todas ellas, la intersección de los tres planos corresponde a una zona intermedia de la habitación.

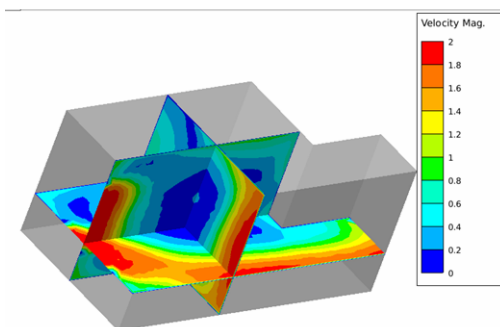


Figura.7.- Campo de velocidades. Configuración inicial de referencia

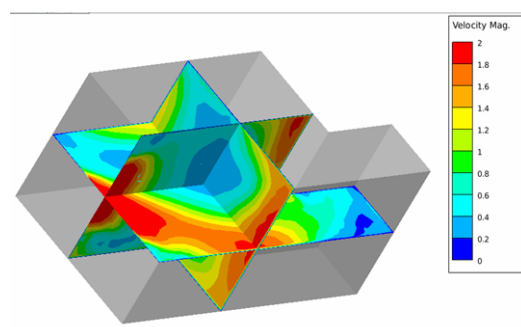


Figura.8.- Campo de velocidades. Configuración ventana-rejilla Este ( $z=1.90 \text{ m}$ )

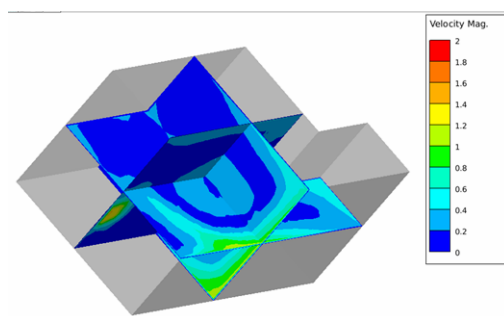


Figura.9.- Campo de velocidades. Configuración rejilla Oeste-montante abatible

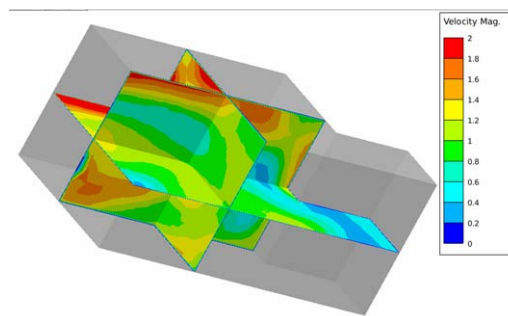


Figura.10.- Campo de velocidades. Configuración rejilla Oeste-rejilla Este ( $z=1.90 \text{ m}$ )

En la configuración inicial Figura.7, se observa, por un lado, tal y como se preveía un fuerte gradiente de velocidad a lo largo a la pared Sur en dirección a la puerta de salida de la habitación y, por otro lado amplias zonas de absoluto remanso del flujo. De las simulaciones realizadas con la ventana como entrada del flujo y las rejillas en la pared Este como salida del mismo se observa, en los tres casos, un comportamiento semejante del flujo en el interior de la habitación (Fig.8). En general, en todas ellas, mejora la distribución del flujo y disminuyen de forma importante las zonas de remanso, aunque existen importantes recirculaciones del flujo. En este sentido de estas tres configuraciones, la que mostramos en la Figura.8 es la que tiene una distribución del flujo mas adecuado. El análisis de la simulación rejilla pared Oeste-montante abatible (Fig.9) indica, en contraposición a lo esperable, la peor configuración posible con calmas absolutas en toda la habitación.

La Figura.10 muestra el campo de velocidades de la configuración rejilla pared Oeste-rejilla pared Este, apreciándose, en este caso, una mejora sustancial en la distribución del flujo en el interior de la habitación.

De los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas, para el campo de velocidades del flujo, se concluyen dos cosas: Primero, para la geometría que presenta la habitación modelizada, las configuraciones de entrada y salida del flujo correspondientes a ventana-rejilla Este a  $z=1.90m$  y rejilla Oeste-rejilla Este a  $z=1.90m$  son las que ofrecen la mejor distribución del flujo, siendo la última la mejor solución. Segundo, atribuimos a los límites de la habitación la zona de mayor remanso que se produce, en todos los casos, hacia el centro de dicha habitación. Este efecto es debido a que al no existir ningún foco, en su interior, que ayude a mover el flujo son las propias paredes las que realizan dicha función, a partir de los flujos de calor generados en el proceso y dando lugar en las capas límites, de las mismas, los perfiles de velocidad observados.

Las Figuras 11, 12, 13 y 14 muestran el campo de temperatura en el interior de la habitación para las mismas configuraciones anteriores. Observamos, en todas ellas, que la temperatura interior del aire alcanza la temperatura de entrada del chorro, apreciándose ligeras diferencias en la configuración rejilla Oeste-rejilla Este (Fig.14). Finalmente, existe una estrecha concordancia entre el campo de velocidades del flujo y el campo de temperatura, es decir, a las zonas de mayor velocidad tienen menor temperatura.

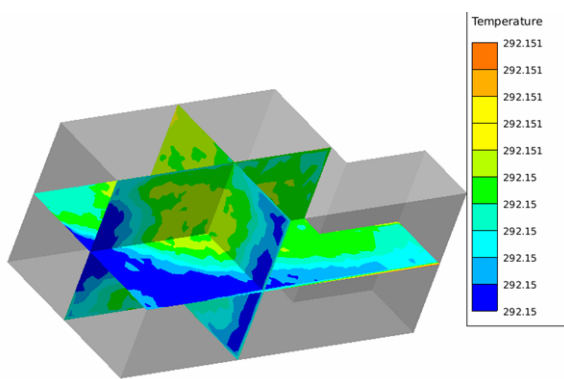


Figura.10.- Campo de temperatura. Configuración inicial de referencia

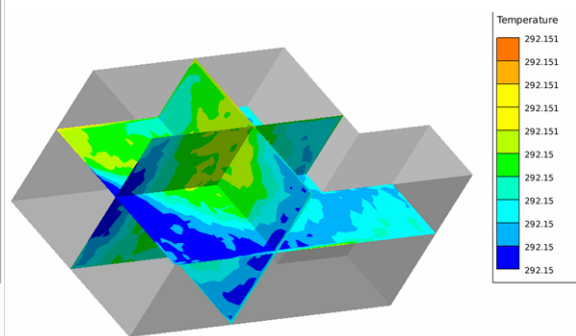


Figura.11.- Campo de temperatura. Configuración ventana-rejilla Este ( $z=1.90m$ )



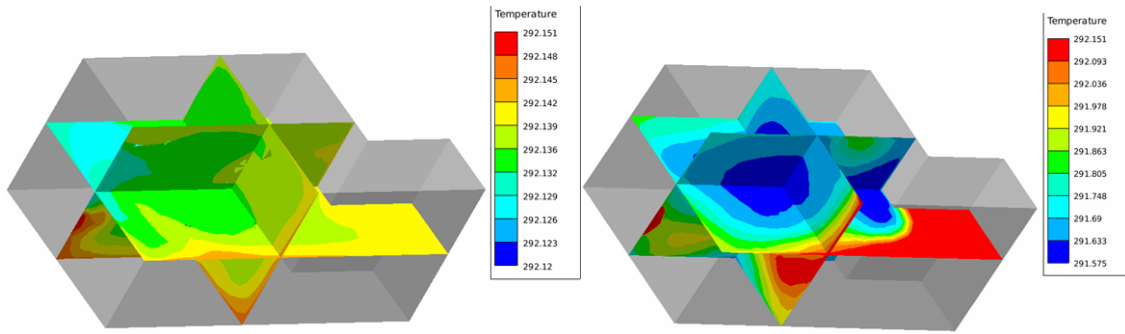


Figura.12.- Campo de temperatura. Configuración rejilla Oeste-montante abatible

Figura.14.- Campo de temperatura. Configuración rejilla Oeste-rejilla Este (z=1.90m)

## 5. CONCLUSIONES

Utilizando STAR\_CCM+ diseñamos la habitación en estudio y simulamos el campo de velocidades y de temperatura, en el interior de la misma, para distintas configuraciones de aberturas. De los resultados obtenidos podemos decir: a) Para la geometría que presenta la habitación modelizada, las configuraciones de entrada y salida del flujo correspondientes a ventana-rejilla Este a  $z=1.90\text{m}$  y rejilla Oeste-rejilla Este a  $z=1.90\text{m}$  son las que ofrecen la mejor distribución del flujo, siendo la última la mejor solución. b) Segundo, atribuimos a los límites de la habitación la zona de mayor remanso que se produce, en todos los casos, hacia el centro de dicha habitación. Este efecto es debido a que al no existir ningún foco, en su interior, que ayude a mover el flujo son las propias paredes las que realizan dicha función, a partir de los flujos de calor generados en el proceso y dando lugar en las capas límites, de las mismas, los perfiles de velocidad observados.

c) Existe una estrecha concordancia entre el campo de velocidades del flujo y el campo de temperatura, es decir, a las zonas de mayor velocidad tienen menor temperatura.

Se han presentado los primeros resultados para el estudio de los parámetros de confort, en una vivienda, establecidos por el Código Técnico de la Edificación. Actualmente, se está trabajando en la predicción de los índices de confort a partir de los datos de velocidad, temperatura y flujos de calor generados con la simulación. Próximamente, se realizará una campaña de medidas experimentales en diferentes configuraciones del modelo y de situaciones meteorológicas, con el objetivo de validar los resultados obtenidos en las simulaciones.

## REFERENCIAS

- [5] Costa, J.J.; L.A. Oliveira y D. Blay, (1999). *Test of several versions the  $k-\epsilon$  type turbulence modelling of internal mixed convection flows*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 42, 4391-4409.
- [3] Dubovsky, V. et al., (2001). *Natural convection inside ventilated enclosure heated by downward-facing plate: experiments and numerical simulations*. International of Journal Heat and Mass Transfer. 44, 3155-3168
- [7] Etheridge, D. y Sandberg, M. (1996). *Building Ventilation: Theory and Measurement*. Ed. John Wiley and Sons.
- [1] Isaksson, C. and Karlsson, F. Indoor climate en low -energy house- an interdisciplinary investigation. *Building and Enviroment*. 2006. **vol. 41** (12), pp. 1678- 1690.
- [2] Kruse N. y R. von Rohr, (2006). *Structure of turbulent heat flux in a flow over a heated wavy wall*. International Journal of Heat and Mass Transfer. 49, 3514-3529.

- [6] Viñas. C.; B. Blasco y J.C. Losada (2006). Ventilación en la Edificación: Medida y simulación virtual. *Libro de Actas de la I Jornadas de Investigación en la Edificación..* Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid.
- [4] Wurtz, E.; L. Mora y C. Inard (2006). An equation-based simulation environment to investigate fast building simulation. *Building and Enviroment..* **vol. 41** (11), pp. 1571- 1583.