

EFICIENCIA DE LA SIMULACIÓN FLUIDODINÁMICA PARA LA CLIMATIZACIÓN DEL SALÓN DE LA VILLA DEL PALACIO DE TELECOMUNICACIONES

Francisco Sánchez Sáinz

Gustavo Álvarez Pérez

GEASYT, S.A.

Abstract

The “Salón de la Villa” is the space created after covering the courtyard in the “Palacio de Telecomunicaciones” in Madrid with a light glass structure of 2.600 m² with an approximate height of 24 m, which allows for the hosting of events with a big number of attendees.

From an HVAC point of view, the “Salón de la Villa” is a very complex space due to its height, meaning strong temperature stratification effects and the greenhouse effect caused by the enormous glass ceiling.

To compensate these negative effects when on a cooling regime, a split system is designed, using low speed air diffusion and an underfloor heating system, used as underfloor cooling during the summer. The aim is thus to take advantage of the stratification effects in order to provide comfort to the lower part of the courtyard, resulting in strong energy savings.

Computational fluid dynamics models allow for a more efficient decision making and the optimization of the project. In this case, the software used is FDS 5.0. by NIST that, although specialized in fire scenarios, provides satisfactory results for thermal fluxes at low speed.

Keywords: HVAC; stratification; model; simulation; fluid dynamics; energy

Resumen

El Salón de la Villa surge de la cubrición del patio del Palacio de Telecomunicaciones de Madrid mediante una estructura ligera acristalada de 2.600 m² a una altura aproximada de 24 m, que permitirá la realización de eventos con gran cantidad de público.

Desde el punto de vista de la climatización, el Salón de la Villa es un recinto muy complejo debido a su gran altura, que provocará fuertes efectos de estratificación de temperaturas, y al efecto invernadero producido por la enorme superficie acristalada.

Para compensar estos fuertes efectos desfavorables en régimen de refrigeración, se ha proyectado un sistema mixto, mediante la difusión de aire por desplazamiento, y suelo radiante, utilizado en verano como refrigerante. Se pretende no enfriar el enorme volumen de aire del recinto y aprovechar el efecto de la estratificación para acondicionar básicamente la zona inferior, lo que redundará en un ahorro energético significativo.

Los programas de simulación fluido dinámica permiten abordar de forma eficiente la toma de decisiones y la optimización del proyecto. Para este trabajo se ha utilizado el programa FDS de NIST, que, aunque, especializado en la modelización de incendios da resultados satisfactorios para análisis térmicos en flujos a baja velocidad.

Palabras clave: climatización; estratificación; modelización; simulación; fluidodinámica; energía

1. Introducción

En febrero del año 2005, la sociedad Arquimática, dirigida por el arquitecto Francisco Rodríguez de Partearroyo, ganó el concurso de ideas para la rehabilitación del Palacio de Telecomunicaciones. Este edificio, también conocido como Palacio de Correos, obra de los arquitectos Palacios y Otamendi, se está transformando actualmente en la sede del Ayuntamiento de Madrid.

Uno de los espacios más espectaculares del proyecto de rehabilitación es el que surge de la cubrición del patio con una estructura ligera acristalada para transformarse en el Salón de la Villa. En este recinto podrán realizarse recepciones, conciertos, o cualquier actividad con gran cantidad de público.

Este espacio es de gran altura, con cubierta acristalada sometida a soleamiento y posibilidad de variación rápida de la carga interna. Además, es necesario el mantenimiento de unas condiciones de confort adecuadas y conseguirlo con un consumo de energía contenido. Por todo ello, la climatización del Salón de la Villa es extraordinariamente compleja.

Figura 1: Palacio de Telecomunicaciones de Madrid



La empresa de ingeniería GEASYT realizó el proyecto de la instalación de climatización proponiendo un sistema mixto mediante la difusión de aire por desplazamiento y un suelo radiante-refrescante.

Básicamente consiste en concentrar la climatización en la parte inferior u ocupada del recinto, favoreciendo la estratificación en régimen de refrigeración. La calefacción se realiza mediante el suelo radiante. Adicionalmente, se pretende conseguir que el suelo refrescante capte un porcentaje importante de la radiación solar que incida sobre el. La ventilación necesaria se aporta mediante el sistema de difusión por desplazamiento.

En el verano del 2008, después de largos debates, era necesario tomar la decisión final sobre el tipo de vidrio adecuado para la cubierta acristalada. Existían dudas sobre si el factor

solar del vidrio de proyecto era suficiente para garantizar el confort de las personas situadas a la sombra simultáneamente con las expuestas a la radiación solar a través del vidrio. Además se quería disponer de la máxima transparencia y luminosidad.

Ante las incertidumbres planteadas GEASYT ofreció la realización de simulaciones fluido-dinámicas que permitieran comprobar el funcionamiento de la climatización con el vidrio de proyecto, en diversas situaciones y condiciones exteriores.

Las simulaciones realizadas han sido un instrumento eficiente que ha permitido tomar decisiones avanzando que condiciones de confort podían esperarse: temperatura, velocidad de aire, estratificación, en varios puntos del recinto.

Posteriormente está siendo posible comprobar que lo proyectado y los resultados de las simulaciones son acordes con el funcionamiento de la instalación ya realizada.

2. Metodología

En los próximos apartados se presentan detalladamente las características del recinto, sus usos, el sistema de climatización proyectado, los modos de funcionamiento, el programa de simulación utilizado, las simulaciones realizadas y los resultados obtenidos.

Figura 2: El Salón de la Villa del Palacio de Telecomunicaciones de Madrid



2.1 Descripción del Salón de la Villa

El Salón de la Villa es el recinto que surge de cubrir con una estructura ligera acristalada de aproximadamente 2.600 m² el gran patio interior del Palacio de Telecomunicaciones de Cibeles. En esta cubierta hay exutorios, que además de estar previstos como sistema de evacuación de humos en caso de incendio, son maniobrables automáticamente para ventilación. Perimetralmente en la cubierta, a una altura de 20 m, también hay una rejilla lineal permanentemente abierta para ventilación, prevista para situaciones de lluvia.

En los accesos de Alcalá y Montalbán, que se encuentran en situaciones opuestas a 98 m de distancia se han dispuesto rejillas de vidrio de apertura y cierre motorizado que permite la realización de enfriamiento gratuito.

La superficie de pavimento de 2.396 m², y la altura media que tiene el recinto resultante es de 25 m.

Usos del Salón de la Villa

Caben distintas situaciones en cuanto a usos del Patio de la Villa:

EVENTOS CON PÚBLICO:

Al tratarse de un espacio muy representativo situado en el interior del Palacio caben todo tipo de eventos: congresos, actos institucionales, banquetes, exposiciones, conciertos...

La duración de estos actos puede ser muy variable, y la ocupación no tiene por que ser gradual. La carga debida a personas puede oscilar entre pocos centenares, y llegar en casos excepcionales a cerca de 2.000 personas.

Para atender las necesidades de climatización de estos eventos será necesario un elevado grado de confort basado en altas tasas de ventilación, adaptabilidad y flexibilidad de temperaturas, baja velocidad del aire, control de la asimetría radiante, especialmente la producida por el soleamiento, y bajo nivel de ruido.

UTILIZACIÓN FRECUENTE:

Entre eventos el uso al que se destinara el Salón de la Villa, será el de patio cubierto que sirve para la circulación e intercomunicación entre las diversas piezas que lo rodean. Es de destacar que en este recinto se encuentra el acceso principal al Salón de Plenos del Ayuntamiento.

Para esta utilización no se requieren unas condiciones de confort tan exigentes como para los eventos, por lo que se propone un modo de funcionamiento de ahorro de energía.

Sistema de climatización proyectado

Desde el punto de vista de la climatización, el Salón de la Villa es un recinto muy complejo debido a su gran altura, que provocará fuertes efectos de estratificación de temperaturas, y al efecto invernadero producido por la enorme superficie acristalada, además de la posibilidad de variación rápida de la carga interna debida a personas y luces.

Para compensar estos fuertes efectos desfavorables en régimen de refrigeración se ha proyectado un sistema mixto, mediante la difusión de aire por desplazamiento, y suelo radiante, utilizado en verano como refrigerante.

Con ello se pretende no enfriar el enorme volumen de aire del recinto y aprovechar el efecto favorable de la estratificación para acondicionar básicamente la zona inferior u ocupada, lo que redundará en un ahorro energético significativo frente a la alternativa de difusión por mezcla que supondría el acondicionamiento de todo el volumen.

En régimen de calefacción se ha proyectado un suelo radiante por agua de 1.800 m², que es el sistema mas adecuado para espacios de gran altura, al atender básicamente los primeros 2 m de altura. Presenta las ventajas de limpieza, confort, bajo nivel de ruido y menor consumo energético.

La temperaturas del suelo radiante se limitan a valores inferiores a 28 °C en calefacción, y a temperaturas superiores a 18 °C, y en cualquier caso al punto de rocío en régimen de refrigeración para evitar condensaciones superficiales.

La impulsión y ventilación necesaria se aporta mediante el sistema de difusión por desplazamiento a través de 24 bancos-difusores, con un caudal de impulsión de 4.500 m³/h cada uno, repartidos a lo largo de dos lados del recinto.

El diseño de los bancos-difusores, que además incorporan iluminación y elementos asociados al suelo radiante, ha sido objeto de un compromiso delicado entre la funcionalidad técnica y los aspectos estéticos, ya que se trata de elementos singulares situados en un espacio muy emblemático.

Figura 4: Banco-difusor de desplazamiento



El retorno se realiza mediante 16 bancos de aspecto semejante al de impulsión, y que también disponen de iluminación y elementos de actuación sobre el suelo radiante (purgadores, manómetros y válvulas de corte). Cada uno retorna 4.500 m³/h.

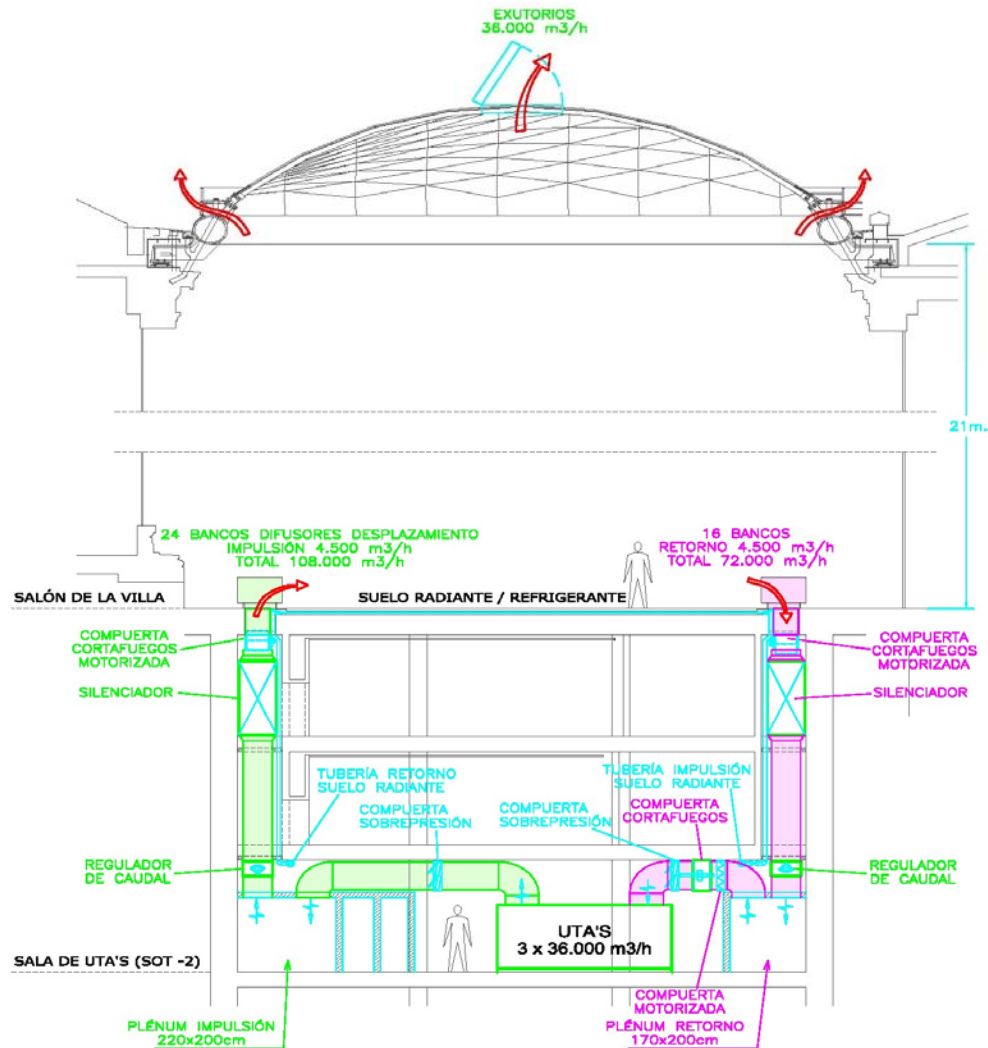
El sistema de aire está formado por tres Unidades de Tratamiento de Aire (UTA's), de 36.000 m³/h cada una, situadas en el sótano 3, que suministran 108.000 m³/h de aire tratado a un plenum de impulsión desde el que se atiende a cada banco-difusor de desplazamiento a través de un regulador de caudal constante, un silenciador y una compuerta cortafuegos.

El retorno se realiza a solo dos de las UTA's, por lo que se retornan 72.000 m³/h totales a un plenum de retorno, al que están conectados los 16 bancos de retorno a través de conjuntos compuerta cortafuegos y silenciador.

La tercera UTA, trabaja en condiciones de todo aire exterior y suministra 36.000 m³/h de ventilación. Al no retornarse este caudal el recinto queda en sobrepresión que se descarga por las rejillas perimetrales a la cubierta y por los exutorios.

Las temperaturas de impulsión están controladas por sondas de retorno, y limitadas para impulsar por encima de 19 °C en refrigeración, y a menos de 2 °C por encima de la temperatura ambiente en calefacción, ya que a temperaturas superiores se perdería el calor aportado por creación de penachos sobre los difusores.

Figura 5: Esquema de la instalación de climatización



Aunque no se ha reflejado en el esquema de la Figura 5, se ha dispuesto una UTA adicional que solo se utilizará en contadas ocasiones, como por ejemplo, cuando coincida que se supere el aforo de mil personas y la caga de soleamiento impida que se mantengan las condiciones de confort. Para este caso unas compuertas motorizadas adicionales dotan de la ventilación necesaria. El funcionamiento de esta UTA no se ha contemplado en las simulaciones realizadas por considerarse que arranca en situaciones excepcionales.

Con respecto a la flexibilidad y adaptabilidad de la instalación a la demanda en cada momento, hay que señalar que está garantizada al disponer de varios sistemas, como suelo radiante o refrescante, difusión de aire y free-cooling o enfriamiento gratuito.

Programas de simulación utilizados

La modelización y simulación se desarrolla en tres fases y, para ello, se han utilizado los siguientes programas:

- **Módulo de modelización:** donde se introduce la geometría, las características físicas de las superficies, condiciones de contorno, caudales de aire entrante y

saliente, situación de la difusión, temperaturas exteriores y de impulsión, fuentes emisoras o captadoras de calor,...

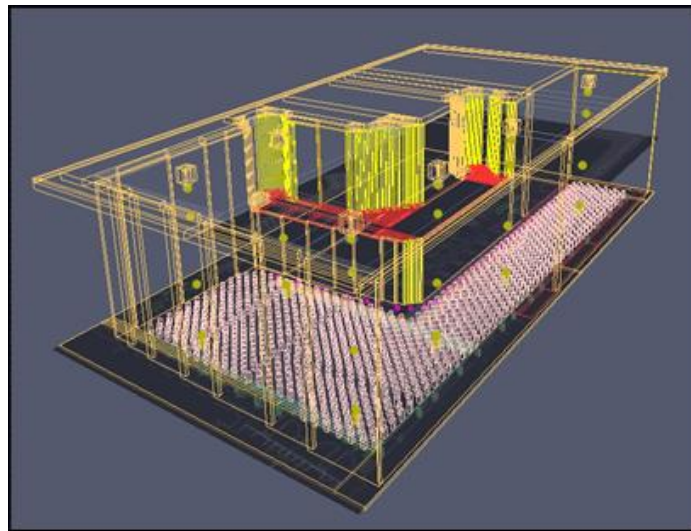
Asimismo se establecen los bucles de control para que la temperatura de impulsión y/o caudal de aire impulsado esté en función de una temperatura de consigna (p.e. la temperatura de retorno).

En este módulo también se introducen todos los elementos captadores de temperatura y velocidad del aire en la situación en que se deseen monitorizar los resultados.

- **Módulo de simulación:** consiste en un módulo de cálculo por elementos finitos basado en las ecuaciones de fluidodinámica de Navier-Stokes. El programa que se ha utilizado es el FDS 5.0 de NIST (National Institute for Standards and Technology). Considera el aire del volumen a analizar dividido en pequeños cubos simples, en los que analiza la velocidad en los tres ejes en cada una de sus caras, la densidad media, la temperatura, la transmisión de calor y de masa entre un elemento y sus contiguos,...

A mas resolución se requiere un tamaño menor de los elementos finitos. El tiempo que tarda en generar los resultados el exponencial con el número de elementos finitos que se analicen. En recintos grandes como el que nos ocupa cada análisis puede tardar varias horas en un ordenador de gran capacidad.

Figura 6: Modelo en FDS 5.0. del Salón de la Villa



- **Módulo de visualización:** consiste en un programa que permite ver los resultados de forma amigable. El recinto se puede visualizar desde cualquier perspectiva y mediante códigos de colores ver como evolucionan las temperaturas y velocidades en el tiempo. También permite obtener gráficas para el análisis de varias variables.

Simulaciones realizadas

Se han realizado las siguientes simulaciones:

- **SIMULACIÓN 1 – VERANO SIN CARGA INTERNA**

Se modela la geometría y las características de los materiales que confinan el recinto. Asimismo se simula la insolación a través del vidrio con las características de este. Se simula la impulsión de aire a través de los difusores de desplazamiento a baja velocidad, y se controla la temperatura de impulsión en función de temperatura media de retorno.

- **SIMULACIÓN 2 – VERANO CON CARGAS INTERNA**

Respecto a la simulación número 1, se introducen cargas internas en el patio (1000 personas) y se ajustan las temperaturas de impulsión para aproximarse más a las condiciones de confort.

Figura 7: Esquema de cargas y desplazamiento de aire



- **SIMULACIÓN 3 – VERANO CON SOMBRAS**

Respecto a la simulación número 2, se simula en esta ocasión para las condiciones de los días más desfavorables para aquellas personas situadas en la zona soleada, que la sombra de las mismas hace disminuir el efecto favorable del suelo refrescante y aumenta el calor cedido por las formas expuestas al sol en el ambiente.

En consecuencia, se añaden las cargas térmicas provocadas por la aportación solar sobre las personas y se reajustan las aportaciones solares sobre muros y suelos para la nueva situación, así como las sombras proyectadas por las fachadas sobre el patio

- **SIMULACIÓN 4.1 Y 4.2 – INVIERNO, SIN CARGAS POR SOLEAMIENTO Y CON SOLEAMIENTO RESPECTIVAMENTE**

Se realizan dos simulaciones independientes: en primer lugar se realiza una simulación para las condiciones en invierno sin cargas por soleamiento y, partiendo de los resultados de la misma, se realiza una segunda simulación en la que se introducen las cargas por soleamiento.

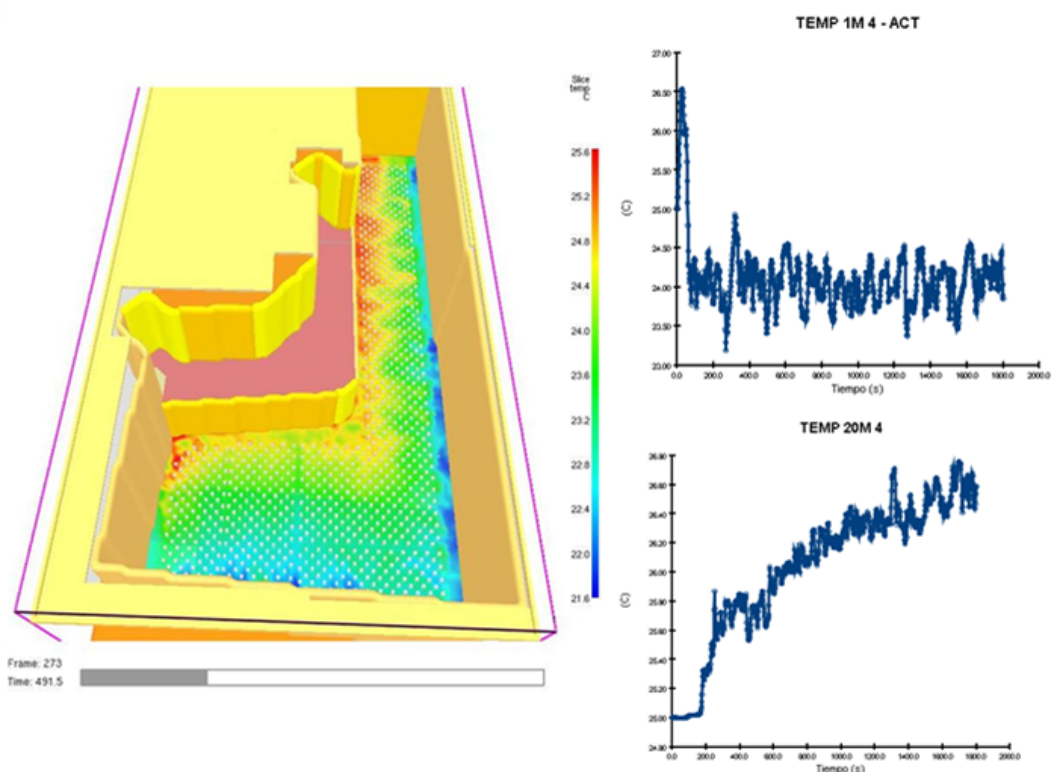
Resultados obtenidos

De las simulaciones realizadas en verano, la más interesante es la que considera que las personas arrojan sombra sobre el suelo radiante, por lo que absorben la radiación solar que interceptan y el sistema refrigerante del suelo no puede contribuir a eliminar esta radiación. Del análisis de los resultados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Las temperaturas medias oscilan entre 22,5 °C y 24,3 °C lo que supone un rango admisible teniendo en cuenta una tolerancia de $\pm 1,5$ °C sobre una temperatura operativa de 24 °C; lo que supone un índice de insatisfechos inferior al 10%.

Los gradientes medios de temperatura entre 0,1m y 1,1m oscilan entre 0,16 °C y 1,31 °C, nunca superando los 1,86 °C; lo que supone un índice de insatisfechos inferior al 5%.

Figura 8: Visualización de los resultados en régimen de refrigeración



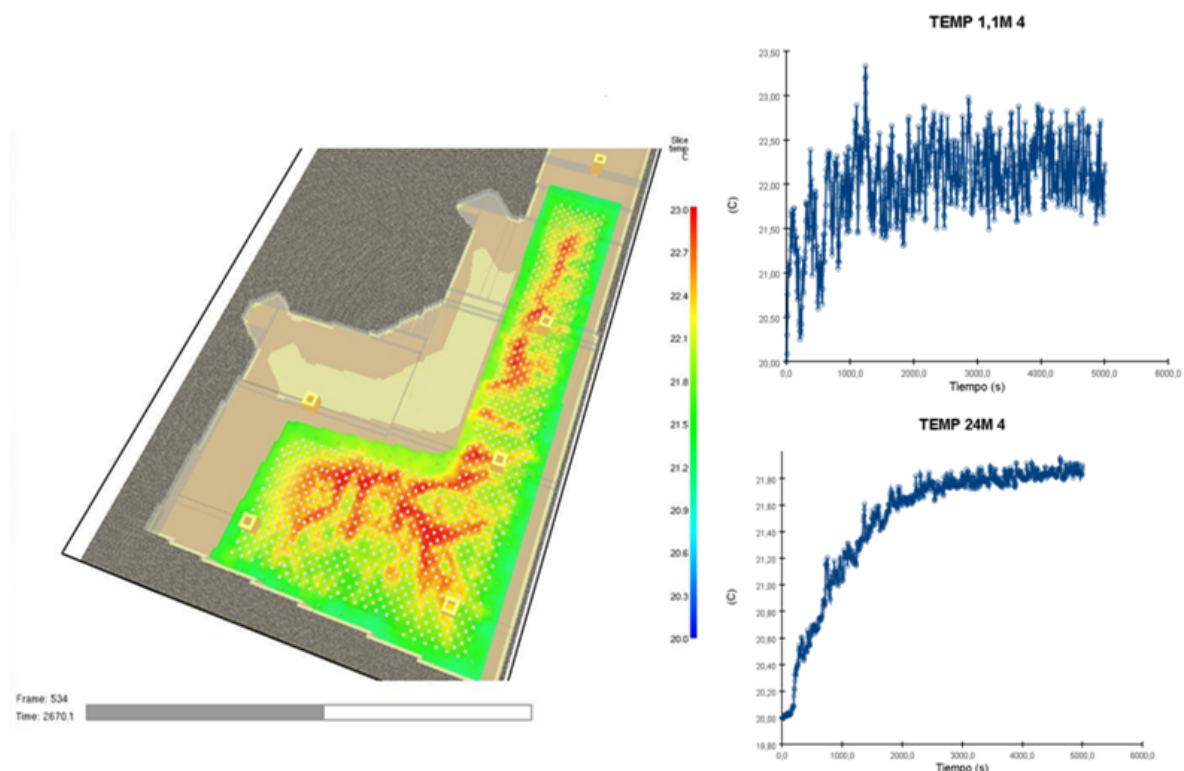
Con respecto a las simulaciones realizadas en invierno, del análisis de los resultados sin cargas por soleamiento, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Las temperaturas medias en la zona de ocupación oscilan entre 21,8 y 22,9 °C lo que supone un rango admisible teniendo en cuenta una tolerancia de ± 1 °C sobre una temperatura operativa de 22 °C; lo que supone un índice de insatisfechos inferior al 6%.
- Los gradientes medios de temperatura entre 0,1m y 1,1m oscilan entre $-0,32$ y $-0,03$ °C, nunca superando los 0,6 °C; lo que supone un índice de insatisfechos inferior al 2%.
- La temperatura del suelo, fijada a 26 °C, se encuentra entre los valores de 19 y 29 °C, para los que el porcentaje de insatisfechos no será mayor del 10%.

Y, también en la simulación en invierno, el resumen de los resultados obtenidos, pero con carga con soleamiento:

- Las temperaturas medias en la zona de ocupación oscilan entre 21,3 y 23,4 °C lo que supone un rango admisible teniendo en cuenta una tolerancia de ± 2 °C sobre una temperatura operativa de 22 °C; lo que supone un índice de insatisfechos inferior al 10%.
- Los gradientes medios de temperatura entre 0,1m y 1,1m oscilan entre $-0,23$ y $0,14$ °C, nunca superando los $0,82$ °C; lo que supone un índice de insatisfechos inferior al 2%.
- La temperatura del suelo se encuentra entorno a los 25,5 °C a lo largo de la simulación. Esta temperatura se encuentra entre los valores de 19 y 29 °C, para los cuales el porcentaje de insatisfechos no será mayor del 10%.

Figura 9: Visualización de los resultados en régimen de calefacción



3. Conclusiones

La simulación utilizando programas basados en la fluidodinámica permite abordar de manera muy eficiente la solución de problemas complejos de climatización, suministrando datos de temperaturas locales, estratificación de temperatura, velocidades de aire, etc., que no se podrían obtener a no ser que se realizaran por procesos mucho más costosos.

En el caso que nos ocupa, y para situaciones de soleamiento, el efecto de la estratificación que puede observarse en los resultados para alturas de 10m y 20m, donde se alcanzan temperaturas superiores a 25 °C, es consistente con la ventaja del sistema proyectado, ya que el gasto energético para climatizar el recinto se está concentrando principalmente en la zona “habitada” y no en alturas superiores, y por lo tanto no se está climatizando todo el volumen del local, como ocurriría con un sistema de mezcla.

Hay que señalar, no obstante, que sólo se retornan a nivel de suelo dos tercios, es decir 72.000 m³/h, del total del caudal impulsado, 108.000 m³/h, y que se expulsan a través de los exutorios de cubierta los 36.000 m³/h restantes. El efecto de desplazamiento ascendente es de 4 minutos por metro.

En todos los casos analizados, teniendo en cuenta que un porcentaje de personas insatisfechas menor que el 15% se considera un éxito (categoría C del informe CR 1752), se puede establecer que las condiciones de confort se alcanzan adecuadamente.

Otro parámetro a tener en cuenta es que la velocidad del aire en todos los puntos de muestreo es inferior a 0,2 m/s, lo que está dentro de las condiciones de confort.

Agradecimientos a ARQUIMÁTICA, S.L.

Correspondencia (Para más información contacte con):

GEASYT, S.A. Francisco Sánchez Sáinz

Phone: +34 91 579 56 94

Fax: +34 91 570 51 04

E-mail : geasyt@geasyt.com

URL : www.geasyt.com