

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: MODELIZACIÓN Y
SIMULACIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN DEL
CENTRO DE DATOS DEL BIFI

English tittle: MODELING AND SIMULATING
THE AIR CONDITIONING OF THE BIFI DATA
CENTER

Autor

ANDRÉS SEBASTIÁN TOSCANO CABRERA

Director

JOSÉ MARÍA MARÍN HERRERO

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2017



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. ANDRÉS SEBASTIÁN TOSCANO CABRERA,

con nº de DNI 26056691Z en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
GRADO, (Título del Trabajo)

MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN DEL CENTRO DE DATOS
DEL BIFI

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 19 de junio del 2017

Fdo: _____

MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN DEL CENTRO DE DATOS DEL BIFI

RESUMEN

La climatización de un Centro de Procesamiento de Datos (CPD) es una de las principales preocupaciones de quienes hacen uso del mismo y con el auge que tienen estos en la actualidad debido a la importancia que tienen principalmente para empresas y para servidores online, es interesante estudiar este ámbito de la Ingeniería aplicado a estos Centro de Datos y por lo tanto se ha abordado este tema.

El presente trabajo tiene como propósito realizar la modelización y simulación de las tres maneras diferentes de climatización utilizadas en el Centro de Datos del Instituto Universitario de Investigación de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BIFI) de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza mediante la aplicación CFD ANSYS Icepak, las mismas que son mediante aire previamente climatizado proveniente del pasillo, aire procedente de la calle y aire producido por cuatro climatizadores alojados en el interior de la sala.

Para realizar la mencionada modelización y simulación, en primer lugar se han tenido que tomar datos geométricos y térmicos del Centro de Datos con los instrumentos adecuados.

Se han realizado también medidas experimentales de temperatura y de humedad del Centro de Datos en varios puntos de interés para compararlos y cotejarlos por una parte con los resultados obtenidos mediante los cálculos que realiza ANSYS Icepak y por otra parte con los datos proporcionados por la aplicación para la visualización remota de datos del Autómata de Monitorización y Control del Centro de Datos del BIFI.

Finalmente se han validado los resultados obtenidos y se ha concluido que ANSYS Icepak es una herramienta de modelización y simulación muy potente ya que los resultados que se han obtenido con el mismo son muy aproximados y fieles a los obtenidos de manera experimental, contando con los fallos y desviaciones en el proceso de medida que siempre suelen estar presentes.

Adicionalmente a esto se ha diseñado un guion de práctica adecuado para la asignatura optativa de Centro de Datos que cursan los estudiantes del Grado de Ingeniería Informática en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

TABLA DE CONTENIDOS

Introducción

1. Centro de Procesamiento de Datos (CPD): Generalidades

- 1.1 Definición
- 1.2 Utilidades
- 1.3 Clases de CPD

2. CPD del BIFI

- 2.1 Localización
- 2.2 Descripción

3. Climatización del CPD del BIFI

- 3.1 Descripción de la climatización
- 3.2 Modos de funcionamiento de la climatización
 - 3.2.1 Climatización mediante aire del pasillo
 - 3.2.2 Climatización mediante aire de la calle
 - 3.2.3 Climatización mediante aire de los climatizadores

4. Modelización y Simulación del CPD del BIFI

- 4.1 Toma de medidas geométricas y térmicas
- 4.2 Modelo 1. Aire pasillo
- 4.3 Modelo 2. Aire calle
- 4.4 Modelo 3. Aire climatizadores

5. Resultados y Comparaciones

- 5.1 Resultados
 - 5.1.1 Modelo 1. Aire pasillo
 - 5.1.2 Modelo 2. Aire calle
 - 5.1.3 Modelo 3. Aire climatizadores
- 5.2 Comparaciones

6. Valoraciones finales y mejoras

- 6.1 Valoraciones finales
- 6.2 Mejoras

7. Elaboración del guion de práctica para la asignatura de Centro de Datos

Conclusiones

Anexos

- Anexo I. Planos
- Anexo II. Medidas térmicas
- Anexo III. Construcción del modelo
- Anexo IV. Medidas autómatas
- Anexo V. Guion de práctica

Bibliografía

INTRODUCCIÓN

Detrás de la mayor parte de servicios online que utilizamos y de las aplicaciones que permiten a las empresas seguir funcionando, se encuentran unos casi desconocidos pero imprescindibles lugares que concentran y procesan toda esa información que manejamos a diario. Estos casi desconocidos a los que hago referencia son los CPDs (Centros de Procesamiento de Datos).

No todos los Centros de Datos son iguales, en ocasiones son apenas una habitación, y en otras ocasiones son mega construcciones. Aunque todos ellos alberguen en su interior miles de servidores y unidades de almacenamiento junto con una infinidad de cables y conectores, cada uno es un mundo diferente.

Ahora bien, para que un CPD funcione de manera correcta y óptima, una de las principales preocupaciones que se debe tener es la necesidad de una correcta climatización del mismo, ya que existen rangos de operación definidos dependiendo del tipo de CPD.

En la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza se encuentra el Instituto Universitario de Investigación de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BIFI), el cual cuenta con un CPD, el mismo que es el objeto de este estudio.

Después de hacerse una idea de lo que representa un CPD, y en concreto el del BIFI, como Ingeniero he de hacerme la siguiente pregunta:

¿Se encuentra correctamente climatizado el CPD del BIFI?

Para contestar a dicha pregunta, se atravesarán distintas fases y utilizarán diferentes herramientas y métodos.

En primer lugar, se obtendrán conocimientos básicos sobre algunas maneras utilizadas para climatizar un Centro de Datos, entre las que se distinguirán tres:

- Mediante entradas al CPD de aire climatizado del edificio impulsado por ventiladores.
- Mediante entradas al CPD de aire del exterior del edificio impulsado por ventiladores.
- Mediante unidades de climatización propias del CPD.

Cada una utilizada según las necesidades que se tengan en dicho momento, que varían principalmente según la época del año.

Una vez, obtenidos estos conocimientos sobre un Centro de Datos, se procederá a familiarizarse con una herramienta CFD de simulación térmica de un Centro de Datos, la herramienta elegida ha sido ANSYS Icepak, y a aprender su manejo de una forma general.

Posteriormente se utilizará esta herramienta para realizar cálculos y obtener resultados sobre el CPD del BIFI, a partir de los datos geométricos y térmicos.

En el proceso de toma de datos y realización de medidas necesarias para que el CPD quede definido y pueda ser modelizado y simulado, me he encontrado con el problema de que ha habido algunos cambios en el personal que se encarga del BIFI, por lo cual no ha sido posible medir las potencias consumidas por los RACKs. Así pues, una vez considerada la estimación realizada por Rubén Vallés, perteneciente al personal técnico e investigador contratado por el BIFI, y comparándolos con los consumos medidos en el proyecto fin de carrera: MODELADO DE UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE ANSYS ICEPAK realizado por Víctor Peleato Ota en el año 2015, he supuesto (ya que casi en su totalidad se han mantenido los mismos RACKs, a excepción de que en la actualidad existen dos RACKs menos que en dicho año) que es correcto tomar dichos valores de potencias consumidas por los RACKs.

Una vez obtenidos los datos geométricos, se realizarán los planos del Centro de Datos con una herramienta CAD para dejarlo definido, la elegida ha sido AUTOCAD, para posteriormente basarnos en estos datos en el proceso de modelización del Centro de Datos.

Para obtener los demás datos térmicos (caudales, temperaturas, humedad de la sala), se utilizará por una parte el anemómetro AMI300 Multifunction de la casa KIMO y por otra parte se dispondrá de una aplicación para la visualización remota de datos del Autómata de Monitorización y Control del Centro de Datos del BIFI.

A continuación, con todos los datos obtenidos se procederá a modelizar y simular cada una de las tres modalidades de climatización antes mencionadas del Centro de Datos del BIFI con la herramienta CFD ANSYS Icepak.

Se harán varias pruebas y ajustes de dicha simulación hasta obtener resultados sobre las temperaturas del Centro de Dato en varios puntos de interés para compararlos y contrastarlos con las medidas experimentales realizadas y también con las medidas obtenidas de la aplicación remota de Monitorización y Control del Centro de Datos del BIFI.

Finalmente se validarán los resultados obtenidos, se hará alguna propuesta de mejora y se extraerán conclusiones sobre el trabajo descrito.

Adicionalmente a todo lo mencionado, se aprovechará todo lo llevado a cabo para diseñar un guion de práctica adecuado para la asignatura optativa de Centro de Datos que cursan

los estudiantes del Grado de Ingeniería Informática en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

1. CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS: GENERALIDADES

1.1 DEFINICIÓN

Un Centro de Proceso de Datos (CPD, o “Data Center” en inglés) ‘es aquella ubicación donde se concentran todos los recursos necesarios para el procesamiento de información de una organización.’[1]

Un CPD viene a ser básicamente un edificio o sala de gran tamaño usada para mantener en él una gran cantidad de equipamiento electrónico (servidores, sistemas de almacenamiento de datos, equipos de comunicaciones, etc), en los cuales los componentes más comunes son base de datos, servidores de archivos, servidores de aplicaciones y middleware entre otros.

Los CPD son creados y mantenidos por las organizaciones con objeto de tener acceso a la información necesaria para sus operaciones y prácticamente todas las compañías que son medianas o grandes tienen algún tipo de CPD, mientras que las más grandes llegan a tener varios.

1.2 UTILIDADES

Los CPDs pueden tener diversas utilidades, pero el propósito principal es el de ejecutar las aplicaciones encargadas de procesar y almacenar la información de una persona o empresa.

Otra de las utilidad es la de proporcionar un servicio de Backup externo. Lo usan las empresas que quieren tener una copia de todos los datos en un lugar seguro y así evitar la pérdida de datos irrecuperables a causa de alguna catástrofe como puede ser un incendio o inundación y para disponer de estos datos en todo momento y desde cualquier lugar del mundo.

1.3 CLASES DE CPD

Actualmente, el estándar más extendido para valorar el nivel de disponibilidad de un CPD es el TIA-942. Este estándar incluye cuatro niveles para distintos grados de disponibilidad de la infraestructura de instalaciones del CPD. El concepto de nivel sirve para estratificar los grados de redundancia en los sistemas del CPD. Los cuatro niveles de CPD (denominados niveles TIER) son los siguientes:

CPD de nivel 1 – básico: Un CPD de nivel 1 es un CPD básico sin redundancia. Tiene una sola ruta para la distribución de energía eléctrica y refrigeración sin componentes redundantes. Un CPD de nivel 1 es susceptible de ser interrumpido tanto por las actividades que han sido planificadas como por las que no. Los SAI y grupos electrógenos son sistemas de un único módulo y tienen muchos puntos únicos de fallo. Las cargas críticas pueden estar expuestas a cortes durante el mantenimiento preventivo y trabajos de reparación. Los errores de ejecución o fallos imprevistos de los componentes de la infraestructura del edificio ocasionarían la interrupción del CPD.

CPD de nivel 2 – componentes redundantes: Un CPD de nivel 2 tiene una única ruta para la distribución de la energía eléctrica y refrigeración, y componentes redundantes en esta ruta de distribución. Las instalaciones de nivel 2 con componentes redundantes son un poco menos susceptibles de sufrir interrupciones a causa de las actividades planificadas o no planificadas, en comparación con un CPD básico. La capacidad de los SAI y los grupos electrógenos es la “Need plus one”, que tiene una ruta de distribución única en toda la instalación. El mantenimiento de la ruta de energía crítica y otras partes de la infraestructura constituirían un motivo de cierre temporal.

CPD de nivel 3 – de mantenimiento simultáneo: Un CPD de nivel 3 tiene múltiples rutas de distribución de energía eléctrica y refrigeración, pero sólo una ruta activa. Debido a que los componentes redundantes no se encuentran en una ruta de distribución principal, el sistema es de mantenimiento simultáneo. La capacidad del nivel 3 permite llevar a cabo cualquier actividad planificada en la infraestructura del edificio sin interrumpir el funcionamiento del hardware informático en absoluto. Dichas actividades incluyen, entre otras, el mantenimiento preventivo o programado, la reparación o sustitución de componentes, la inclusión o supresión de componentes, las pruebas de los componentes y sistemas, etc. Debería haber suficiente capacidad y distribución disponible para poder llevar la carga en una ruta mientras se llevan un mantenimiento o se prueba la otra ruta. Las actividades no planificadas, como pueden ser los errores de ejecución o fallos imprevistos de los componentes de las instalaciones, seguirán siendo un motivo de interrupción del CPD.

CPD de nivel 4 – tolerante a fallos: Un CPD de nivel 4 tiene múltiples rutas activas de distribución de energía eléctrica y refrigeración. Debido a que al menos dos rutas están normalmente activas en un CPD de nivel 4, la infraestructura tiene un índice más alto de tolerancia a fallos. Los CPD de nivel 4 disponen de múltiples alimentadores de energía eléctrica para todo el equipo informático y de telecomunicaciones, por lo que es necesario que éste tenga múltiples entradas de potencia. El equipo debería seguir funcionando con una de estas entradas de potencia condenada. El nivel IV requiere que todo el hardware informático tenga dos entradas de potencia. El nivel IV proporciona capacidad a la infraestructura del CPD para permitir cualquier actividad planificada sin que se interrumpa la carga crítica. La funcionalidad tolerante a fallos también proporciona la capacidad de la infraestructura del CPD para soportar al menos un fallo o incidente no planificado, en el peor de los casos, sin causar impacto en la carga crítica. Esto requiere,

rutas de distribución simultáneamente activas. Según los códigos de seguridad contra incendios y de electricidad, seguirá habiendo un periodo de inactividad si se activan las alarmas contra incendios o se inicia una desconexión de emergencia.

2. CPD DEL BIFI

2.1 LOCALIZACIÓN

El Instituto BIFI se encuentra ubicado en el Edificio I+D del campus Río Ebro de la Universidad de Zaragoza y es parte de un polo científico de gran potencial en la Comunidad Autónoma de Aragón, España, en el ámbito de la Computación avanzada, Ciencia Ciudadana y Visualización con servicios para: Investigación científica, Empresas y Ciudadanía.

Su localización y emplazamiento se ven reflejadas en el Anexo I, en el plano N° 1.

2.2 DESCRIPCIÓN

El CPD del BIFI tiene las siguientes características:

- Una superficie aproximada de 100 m² más 40 m² de taller.
- Una potencia instalada de 250 kW, la cual consta de una doble acometida de: 3x250 A y 3x125 A.
- Dos SAI (Digital Energy UPS System de GENERAL ELECTRIC) que suman un total de 320 KVAs: 1 SAI de 200 KVA con acometida de 250 A y 1 SAI de 120 KVA con acometida de 125 A.
- Climatización redundante:
 - Central edificio por agua (geotermia baja profundidad)
 - Sistema autónomo 76kW
 - Free-cooling directo 24.000 m³/h
- Conectividad: 10Gbps “nominales” desde CPD hasta Espanix → RedIris
- Suelo técnico “casero”
- Sistema anti-incendios (detección y extinción)
- Acceso seguridad restringido (RFID, webcam y vigilancia 24h)
- Autómata monitorización 24x7x365 vía email, SMS y GSM

El CPD tiene una infraestructura alojada de 16 RACKs, en la primera fila se encuentran colocados 9 RACKs como se observa en la figura 2.1, enfrentando sus partes posteriores con las partes posteriores de una segunda fila de 7 RACKs como se observa en la figura 2.2, dejando en medio un pasillo el cual se encuentra cerrado por láminas de PVC, el mismo que toma el nombre de pasillo caliente, representado en la figura 2.3. Todo esto se encuentra representado además en el plano 2 del Anexo II.



Figura 2.1

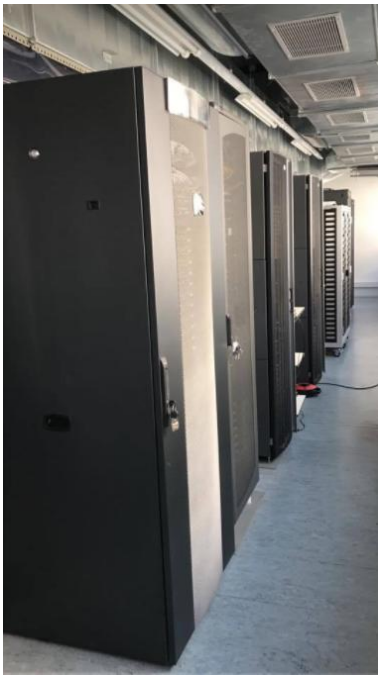


Figura 2.2

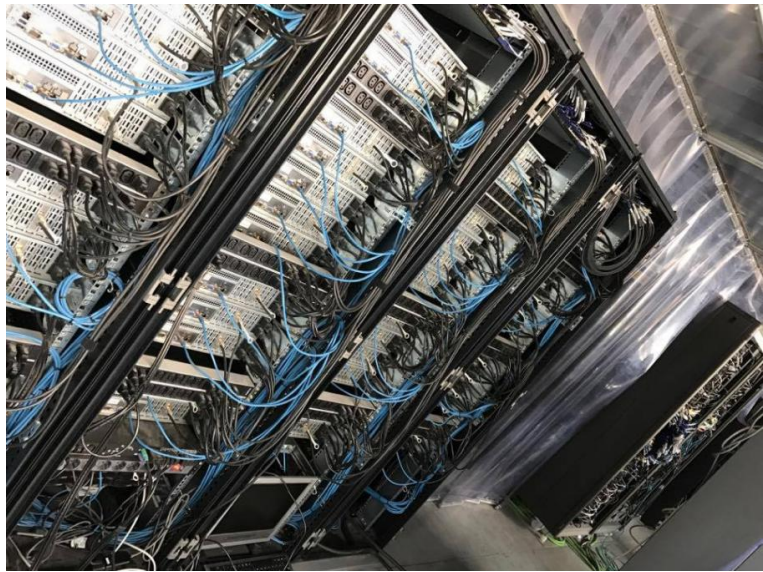


Figura 2.3

Entre los mencionados RACKs se reparten los siguientes clusters con sus respectivas características:

- Memento/Caesaraugusta II:
 - 3072 cores AMD64
 - 12 TB RAM
 - Iband QDR 40 Gbps
 - 51 TB almacenamiento
 - 25,8 TFLOPS Rpeak Nodo RES (ICTS)

- CIERZO:
 - 2080 cores Intel 64 + 8 x GPU Tesla K40 + 2 x Xeon Phi 5110P
 - 7,31 TB RAM
 - Iband FDR 56 Gbps
 - 288 TB almacenamiento
 - 80 TFLOPS Rpeak
- CLOUD COLOSSUS:
 - 1632 computing cores + 192service cores+ 64 cores storage services (Intel Xeon64)
 - 20 TB RAM
 - Iband FDR Conectividad externa 10G Base T
 - Almacenamiento Ceph, 600TB
- Terminus:
 - 996 cores Intel 64
 - 3 TB RAM
 - GE + Iband
 - 12 TB almacenamiento
 - 8 TFLOPS Rpeak

Para terminar de definir el CPD del BIFI faltaría realizar la descripción de su climatización, que por ser el principal objeto de estudio de este trabajo se dedica a él una sección completa, la cual se encuentra a continuación.

3. CLIMATIZACIÓN DEL CPD DEL BIFI

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN

La climatización del CDP del BIFI será realizada mediante tres maneras distintas de operación, y esta estará constituida por varios elementos dependiendo del modo de operación que se esté ejecutando, los cuales se observan en la figura 3.1.

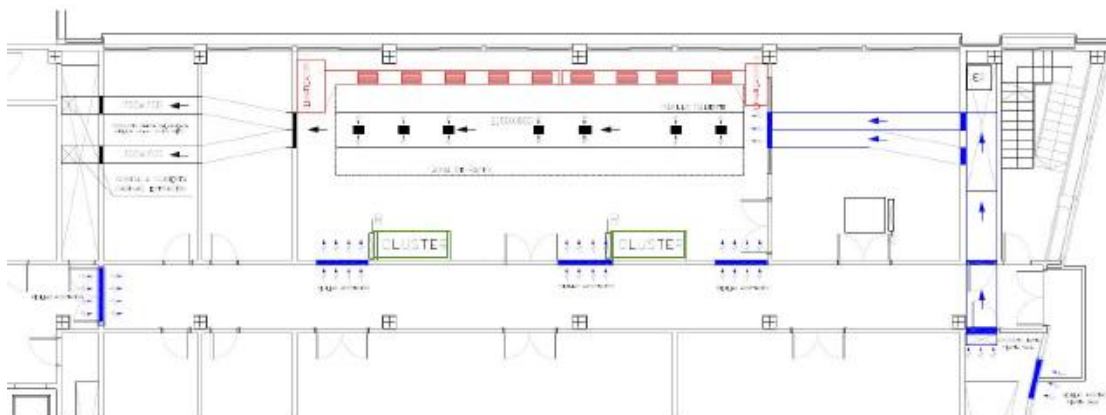


Figura 3.1

En el siguiente apartado se mencionará y explicará cada modo de operación o funcionamiento y los elementos por los cuales está constituido.

Los tres modos de operación comparten elementos comunes que funcionan de manera similar en todos los casos y estos son los siguientes:

- Sistema de extracción
- Autómata

Sistema de extracción:

Como se ha mencionado en la sección 2, existe el llamado pasillo caliente, que gracias a las láminas de PVC que cierran dicho pasillo, aunque no en su totalidad, ya que existen pequeñas fugas a través de estas, encierra dentro de él el aire caliente que sale de la parte posterior de todos los RACKs.

Este aire caliente es extraído por este sistema de extracción mediante dos cabinas extractoras, cada una de las cuales tiene una capacidad máxima de 12000 m³/h, la cual varía dependiendo de los flujos de aire que existan en cada instante de tiempo, con lo que se consigue eliminar dicho aire caliente del CPD a cada momento. En la figura 3.2 se muestran su ubicación y una imagen de las rejillas de extracción.



Figura 3.2

Autómata:

El autómata es el encargado de la monitorización y gestión de la climatización del CPD, lo cual lo puede hacer de dos formas, la primera presencialmente mediante acceso directo al mismo y la segunda de forma remota mediante la aplicación que se comunica con un servidor que forma parte de la informática del autómata y que está conectado a internet de la Universidad de Zaragoza. El autómata y la aplicación se observan en la figura 3.3.

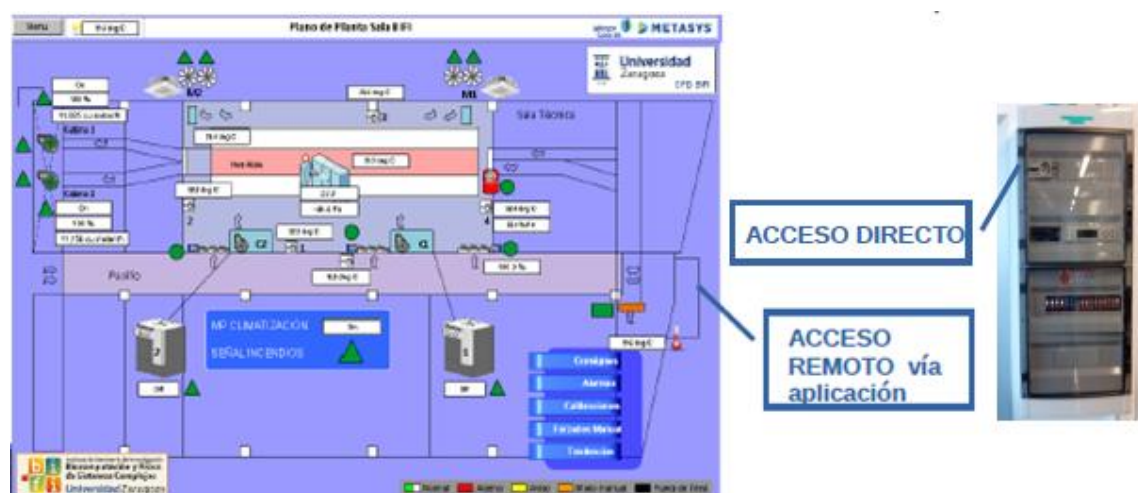


Figura 3.3

Para realizar la función de monitorización posee 4 sondas temperatura y 1 de humedad y se puede conocer en todo momento lo siguiente:

- Estado del CPD, (activo/paro/fallo/...)
- Medidas, (temperatura, humedad...);
- Además la medida de caudal de las cabinas de extracción.

Mediante su segunda función gestiona los Fancoils, cabinas extractoras, compuertas de aporte interior y exterior, filtro del aporte exterior, etc, y activa las alarmas, de las cuales se nos informan a través de emails, envío SMS, llamadas (módulo GSM).

3.2 MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CLIMATIZACIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, este CPD se climatiza de tres modos diferentes dependiendo de la temperatura que se tenga en la sala, la cual varía principalmente dependiendo de la estación del año en la que nos encontremos. Así pues la climatización del CPD se realizará mediante las siguientes formas:

- Climatización mediante aire del pasillo
- Climatización mediante aire de la calle
- Climatización mediante aire de los climatizadores

3.2.1 CLIMATIZACIÓN MEDIANTE AIRE DEL PASILLO

Esta manera de climatización aprovecha el aire que circula por el edificio y en este caso por el pasillo, que se observa en la figura 3.4, que se supone previamente climatizado.



Figura 3.4

La manera de emplear dicho aire en el CPD del BIFI es mediante tres entradas a la sala, que tienen la forma que se observa en la figura 3.4, en las cuales se impulsa el aire hacia el interior utilizando ventiladores, con lo cual el aire una vez dentro se distribuye por la sala.

3.2.2 CLIMATIZACIÓN MEDIANTE AIRE DE LA CALLE

Otra manera de climatizar el CPD es aprovechando el aire exterior (método de Free cooling), es decir el aire de la calle, que solo podrá ser utilizado en invierno debido a las bajas temperaturas a las que se encuentra en el exterior.

La forma de hacerlo es mediante dos conductos como se observa en la figura 3.5, impulsándolo al interior utilizando dos ventiladores localizados en la entrada del CPD destinada para este uso, distribuyéndose el mismo por toda la sala una vez dentro.

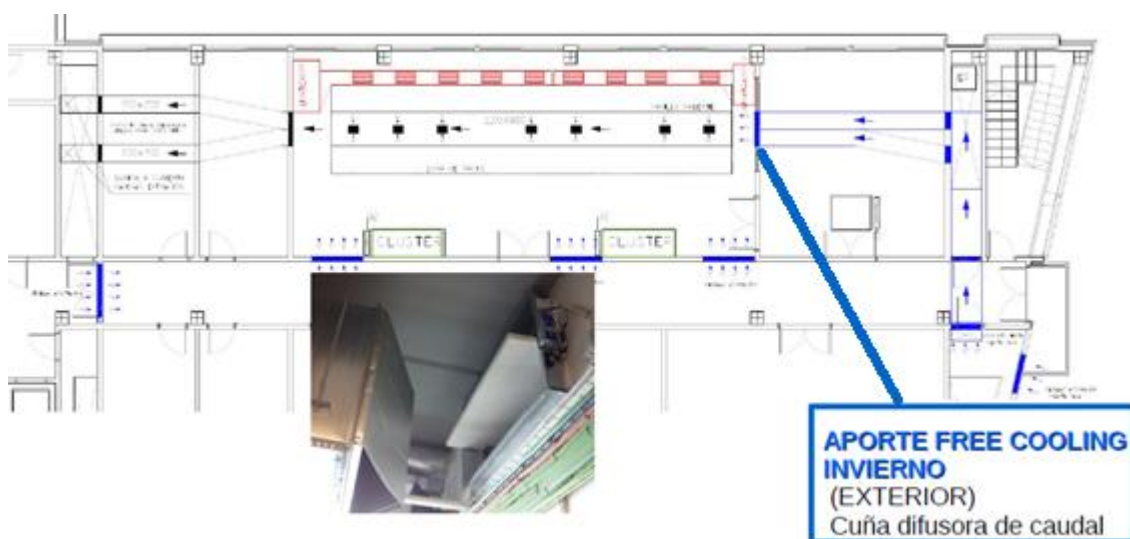


Figura 3.5

3.2.3 CLIMATIZACIÓN MEDIANTE AIRE DE LOS CLIMATIZADORES

Las dos maneras anteriores utilizadas para climatizar el CPD serían las óptimas, pero para verano se necesita emplear una manera distinta para climatizarlo, y en este CPD se realiza con dos sistemas.

El primer sistema para climatizar es utilizando la climatización Central del edificio, la cual consiste en 2 fancoil de agua fría y un sistema de doble fase que utiliza geotermia de baja profundidad para producir aire a una temperatura de 14 °C aproximadamente, el cual se distribuye por el CPD mediante a través de conductos que están ubicados en la parte

superior de la sala, los cuales tienen 8 rejillas por donde sale el aire, el cual se distribuye por toda la sala.

Los fancoil de marca CIAT MAGISTER con potencia de 58.5 KW están ubicados como se observa en la figura 3.6, y los conductos están distribuidos en la sala como se puede observar en el plano N° 6 del anexo I.

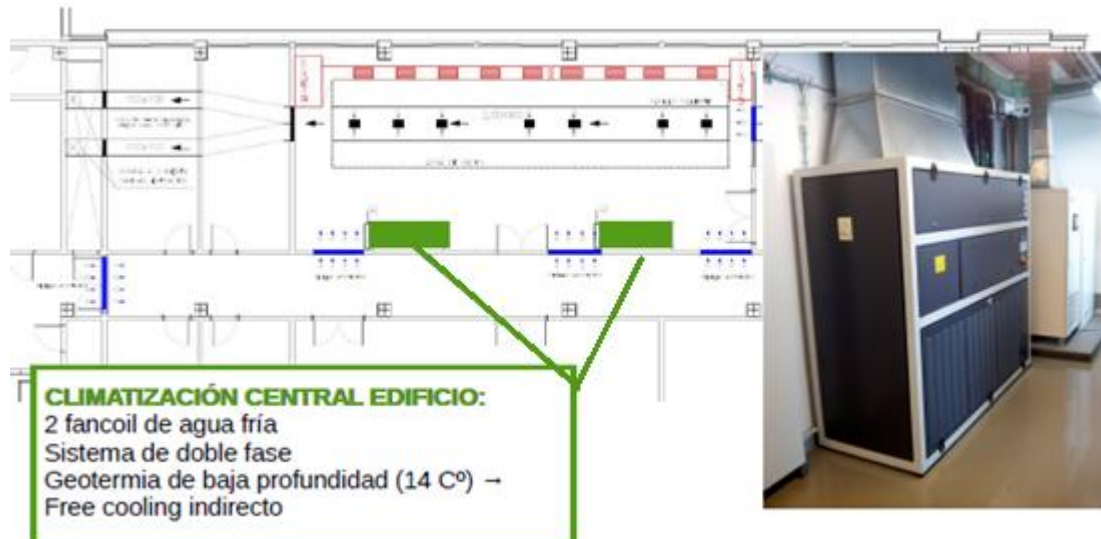


Figura 3.6

El segundo sistema de climatización consiste en un Sistema autónomo, el cual consta de dos climatizadores de marca MITSUBISHI ELECTRIC modelo PEA-RP400GAQ con una potencia de 76 KW (los dos juntos), colocados en el pasillo de atrás como se observa en la figura 3.7, los mismos que fueron colocados recientemente para resolver un problema anterior que se tenía en dicho pasillo (se producía una isla caliente en ese sector), conectados a un conducto por el cual circula el aire que sale a la sala a través de 7 rejillas, para distribuirse por la misma.



Figura 3.7

4. MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DEL CPD DEL BIFI

4.1 TOMA DE MEDIDAS GEOMÉTRICAS Y TÉRMICAS

Como es lógico, antes de realizar una modelización de cualquier cosa, en primer lugar se tendrá que definir la misma realizando todas las medidas necesarias para posteriormente ser introducidas en el programa de modelización y simulación.

He empezado por realizar las medidas geométricas del CPD con un metro y realizando un primer croquis del mismo. A continuación, he utilizado dichas medidas para realizar los planos del mismo en AutoCAD, los cuales se han adjuntado en el Anexo I, en base a los cuales se construirá el modelo para su posterior simulación.

Una vez definida la geometría del CPD, he procedido a la toma de las medidas térmicas necesarias como se explica a continuación:

En primer lugar el CPD cuenta con 16 RACKs (armarios de ordenadores), de los tipos que se han mencionado en la sección 2. De los cuales necesitaremos conocer las potencias que consumen y los caudales de aire que los atraviesan.

Al intentar conocer las potencias que consumen los RACKs, me he encontrado con el problema de que ha habido algunos cambios en el personal que se encarga del BIFI, por lo cual no ha sido posible tomar estas medidas. Considerando que se han mantenido casi en su totalidad los mismos RACKs que los que figuran en el proyecto fin de carrera: MODELADO DE UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE ANSYS ICEPAK realizado por Víctor Peleato Otal en el año 2015, a excepción de dos que ya no están, se han tomado los valores de las potencias consumidas por los RACKs del proyecto de fin de carrera anterior.

Las potencias consumidas se muestran en la tabla 4.1, además en el Anexo II se ha adjuntado la manera en las que se obtuvo dichas potencias en el proyecto fin de carrera mencionado.

	Potencia (W)		Potencia (W)
RACK 1	4800	RACK 9	11000
RACK 2	4800	RACK 10	4800
RACK 3	4800	RACK 11	4800
RACK 4	4800	RACK 12	4800
RACK 5	4800	RACK 13	4800
RACK 6	11000	RACK 14	4800
RACK 7	11000	RACK 15	4800
RACK 8	11000	RACK 16	4800
POTENCIA TOTAL (KW)		101,6	

Tabla 4.1

Entonces, se obtiene que los RACKs tienen un consumo total aproximado de 101.6 KW.

Como en el momento de realizar este trabajo el CPD del BIFI se encuentra funcionando en el modo verano, es decir es climatizado mediante aire producido por los climatizadores, las medidas que se han hecho son las reales para este modo de funcionamiento, que se extrapolaran también a los otros dos modos de funcionamiento ya que como se verá más adelante se utilizarán iguales caudales de entrada y salida de la sala, sin que esto desvirtúe en demasía los resultados del modo aire pasillo y del modo aire calle.

Ahora bien, se realizan las medidas de los caudales de aire que atraviesan cada uno de los RACKs, lo cual se hace como se indica en el Anexo II, obteniendo las medidas que se resumen en la tabla 4.2:

	Caudal (m ³ /s)		Caudal (m ³ /s)
RACK 1	0,585	RACK 9	0,731
RACK 2	0,328	RACK 10	0,163
RACK 3	0,586	RACK 11	0,232
RACK 4	0,423	RACK 12	0,273
RACK 5	0,367	RACK 13	0,245
RACK 6	0,459	RACK 14	0,207
RACK 7	0,602	RACK 15	0,296
RACK 8	0,667	RACK 16	0,228
CAUDAL TOTAL (m ³ /s)		6,399	

Tabla 4.2

Entonces, se obtiene que el caudal total medido experimentalmente que atraviesa los 16 RACKs es 6.4 m³/s.

Para conocer el caudal de extracción utilizamos la aplicación remota del autómata del CPD como se ve en la figura 4.1, por lo tanto he extraído medidas de 6 días diferentes y he realizado la media para conocer el caudal total de extracción, las cuales se recogen en la tabla 4.3. Este caudal prácticamente coincide con la con el caudal medido experimentalmente en los RACKs.

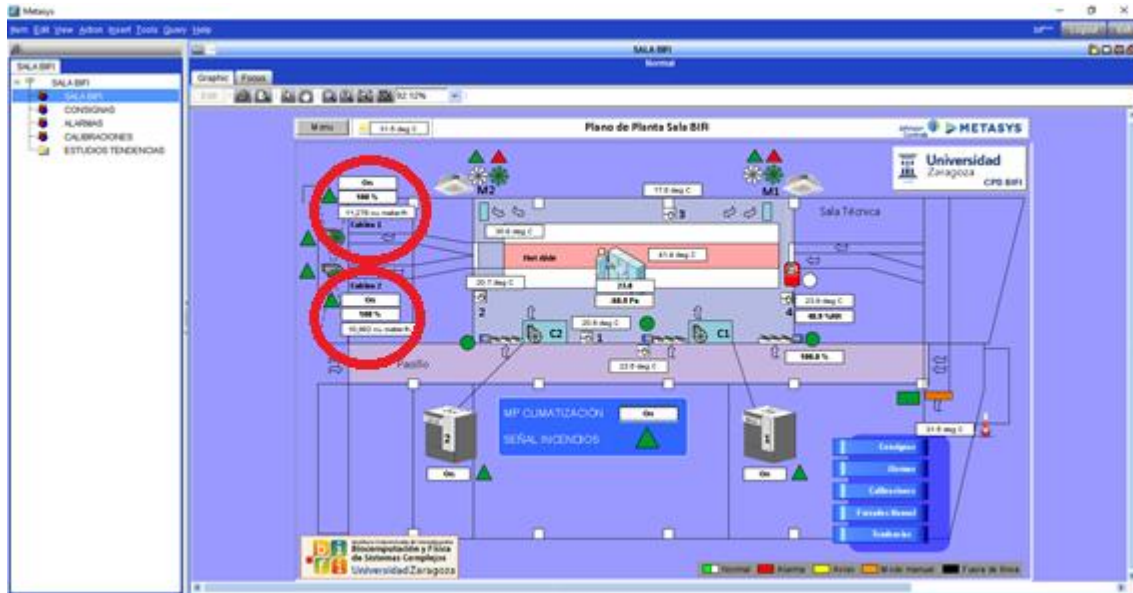


Figura 4.1

	EXTRACTOR 1	EXTRACTOR 2
Caudal día 1 (m ³ /h)	10969	11676
Caudal día 2 (m ³ /h)	11278	10982
Caudal día 3 (m ³ /h)	11535	10902
Caudal día 4 (m ³ /h)	11817	11542
Caudal día 5 (m ³ /h)	11264	11568
Caudal día 6 (m ³ /h)	11041	11285
Media (m ³ /h)	11317,33	11325,83
Caudal (m ³ /s)	3,144	3,146
Caudal total (m ³ /s)	6,290	

Tabla 4.3

Al no poderse determinar el caudal individual de cada uno de los climatizadores, he considerado que el caudal de cada uno aproximadamente será el caudal total de extracción dividido entre cuatro, lo cual se refleja en la tabla 4.4.

REFRIGERACIÓN CLIMATIZADORES	
Caudal 1 (m ³ /s)	1,572
Caudal 2 (m ³ /s)	1,572
Caudal 3 (m ³ /s)	1,572
Caudal 4 (m ³ /s)	1,572
Caudal total (m ³ /s)	6,290

Tabla 4.4

Finalmente, para poder modelizar los casos de refrigeración con aire proveniente del pasillo y con aire proveniente de la calle, he considerado que el caudal de refrigeración para estos será parecido al del caso de refrigeración por climatizadores para poder realizar unos cálculos aproximados en estos dos casos, ya que no se ha trabajado en estos modos de operación durante la realización de este trabajo.

Así, para el caso de refrigeración por aire proveniente del pasillo, ya que se cuenta con tres entradas con ventiladores como se ha explicado en la sección 3, he dividido el caudal de extracción entre tres, obteniendo los valores que recoge la tabla 4.5:

REFRIGERACIÓN AIRE PASILLO	
Entrada1 (m ³ /s)	2,096
Entrada2 (m ³ /s)	2,096
Entrada3 (m ³ /s)	2,096
Caudal total (m ³ /s)	6,290

Tabla 4.5

Para el caso de refrigeración por aire proveniente de la calle, se tiene una única entrada pero con dos ventiladores, por lo cual he dividido el caudal de extracción entre dos, obteniendo los valores que recoge la tabla 4.6:

REFRIGERACION CALLE	
Caudal 1 (m ³ /s)	3,145
Caudal 2 (m ³ /s)	3,145
Caudal total (m ³ /s)	6,290

Tabla 4.6

Una vez obtenidos todos y cada uno de los datos requeridos para definir por completo el CPD, se procede a modelizar el mismo, haciendo las tres diferenciaciones mencionadas en la sección 3, es decir se construyen los tres modelos que se explican a continuación.

4.2 MODELO 1. AIRE PASILLO

El proceso de modelado del CPD requiere de muchos pasos y por su extensión he considerado que su creación detallada debe ser expuesta en un anexo, por lo cual esta se encuentra detalladamente en el Anexo III.

Tras conocer todos los datos tanto geométricos como térmicos, los cuales quedan reflejados en el apartado anterior, se introducen en el programa ANSYS Icepak siguiendo los pasos expuestos en el Anexo III.

Hasta un cierto punto que se detalla en el Anexo III, existe un modelo común para las tres configuraciones de climatización del CPD, el cual difiere uno de otro por la forma de suministro de aire de climatización.

En este caso se crean las tres entradas de aire representadas en la imagen 4.2 y se introducen en el modelo los datos de caudales de refrigeración de la tabla 4.5 a una temperatura de 19 °C, que es una estimación media a la que se encuentra el aire en el pasillo.

Tras finalizar la modelización obtenemos el modelo que se observa en la figura 4.2.

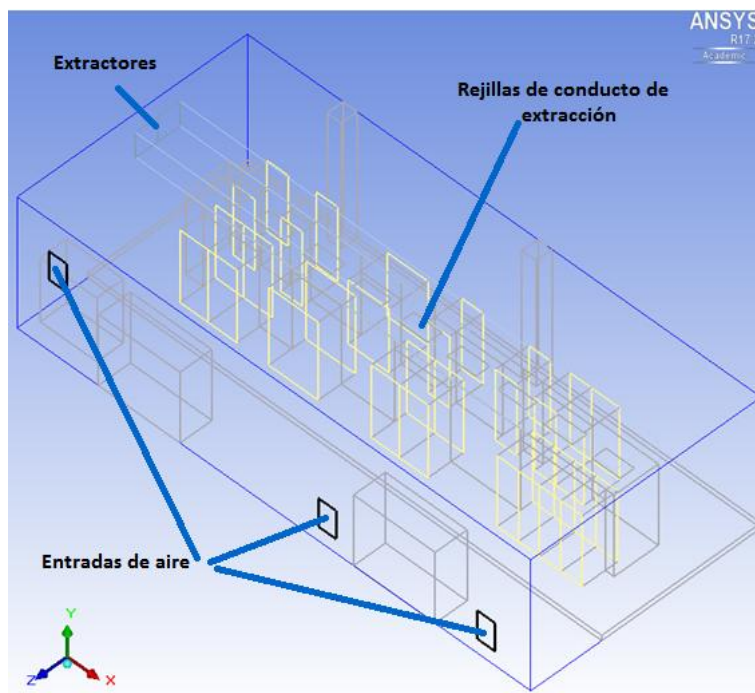


Figura 4.2

4.3 MODELO 2. AIRE CALLE

Para realizar este modelo se siguen los mismos pasos del caso anterior a excepción que en esta ocasión se sustituyen las tres entradas de aire por una sola entrada de aire como se refleja en la imagen 4.3 y se introducen los datos de caudales de refrigeración de la tabla 4.6 a una temperatura de 14 °C, que es una estimación media a la que se encuentra el aire en la ciudad de Zaragoza en esa época del año.

Tras finalizar la modelización obtenemos el modelo que se observa en la figura 4.3.

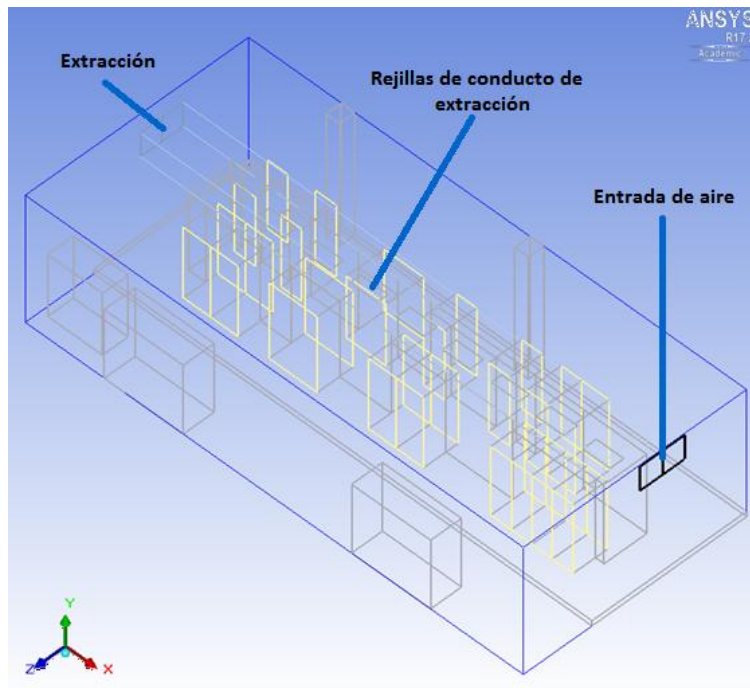


Figura 4.3

4.4 MODELO 3. AIRE CLIMATIZADORES

Este es el modelo más importante realizado en este trabajo, ya que todos los datos han sido tomados en este modo de funcionamiento, por lo tanto los resultados que se obtendrán serán los más fieles a la realidad.

Para realizar este modelo se siguen los mismos pasos del caso de aire pasillo, pero esta vez se sustituyen dichas entradas de aire por un sistema mucho más complejo que consta de cuatro climatizadoras, conductos de aire que emerge de estos y rejillas por los cuales el aire sale para distribuirse por la sala, como se refleja en la figura 4.4, su construcción está también detallada en el Anexo III.

En esta ocasión se introducen los datos de caudales de refrigeración de la tabla 4.4 a una temperatura de 17 °C, que es la estimación media a la que regularmente suministran el aire estas cuatro máquinas

Tras finalizar la modelización obtenemos el modelo que se observa en la figura 4.4.

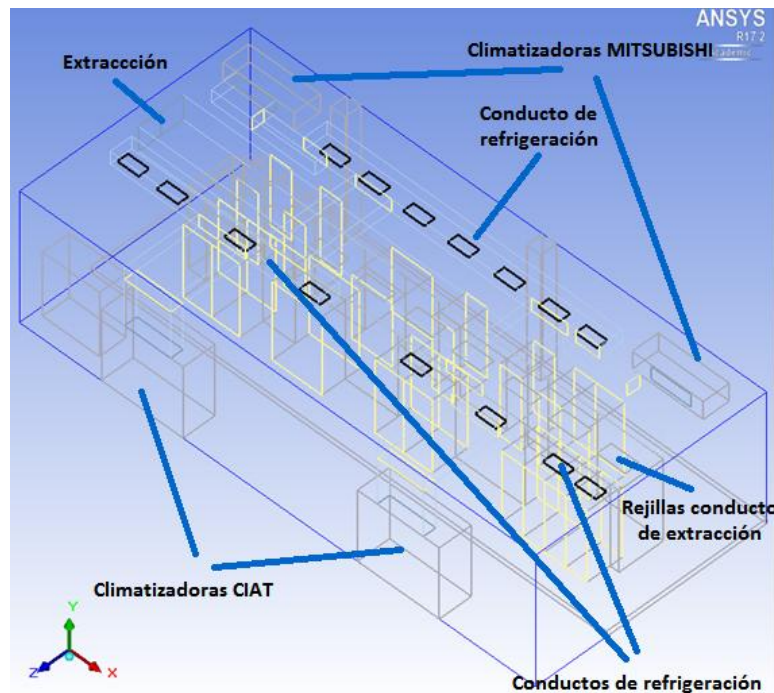


Figura 4.4

Para finalizar la modelización se realiza el mallado en cada caso y se eligen unos parámetros adecuados a los que se simulará el modelo, los cuales están también enunciados en el Anexo III.

A continuación, se procede a realizar varias pruebas de simulación para calibrar el programa, variando algunos de los diferentes parámetros (Momentum, Temperature, Viscosity, Body Forces y Joule heating potencial), hasta encontrar una solución para la temperatura de extracción, indicativa del cierre del balance de energía, ajustada al valor experimental.

Las diferentes soluciones para cada caso obtenidas por el programa se presentan en la sección siguiente.

5. RESULTADOS Y COMPARACIONES

5.1 RESULTADOS

Una vez simulado el modelo el programa emite una solución, para cuya validez debe converger el gráfico de temperaturas de los puntos de monitorización en un número de iteraciones que se haya decidido conveniente y además que el gráfico de soluciones residuales no tenga oscilaciones importantes.

A continuación, se presentan las soluciones diferenciadas para cada modelo y se comparará con las medidas experimentales únicamente el modelo de refrigeración con aire de los climatizadores en el siguiente apartado, por que dada la temporada en la que se ha desarrollado este trabajo fin de grado, es el único de que se disponen medidas suficientes.

5.1.1 MODELO 1. AIRE PASILLO

Se realiza la simulación del modelo para este caso, consiguiendo que las temperaturas de los ventiladores de extracción converja como se observa en la figura 5.1 para lo cual se han necesitado alrededor de unas 500 iteraciones.

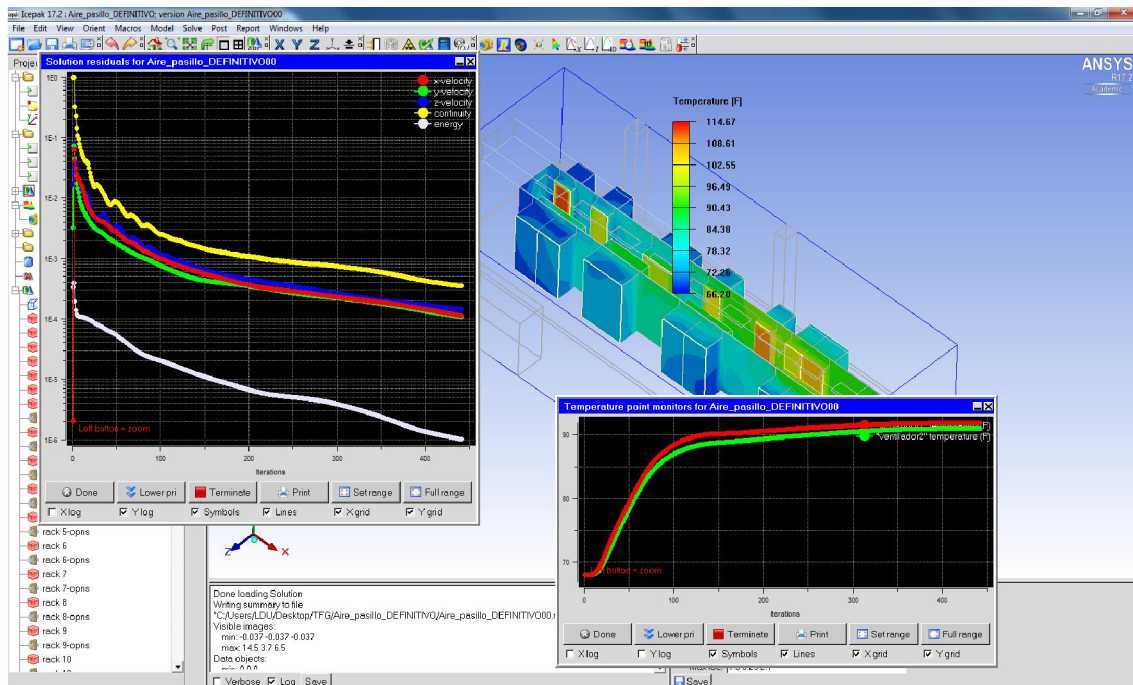


Figura 5.1

Una vez convergido el modelo se puede visualizar la solución de diferentes formas, una de ella es observar a que temperatura se encuentran las superficies de los RACKs y las láminas según el color de la escala, lo cual se refleja en las figuras 5.2 y 5.3.

Así pues, puede hacerse una idea de cómo se encuentran de calientes o frías las superficies que resulten ser de interés.

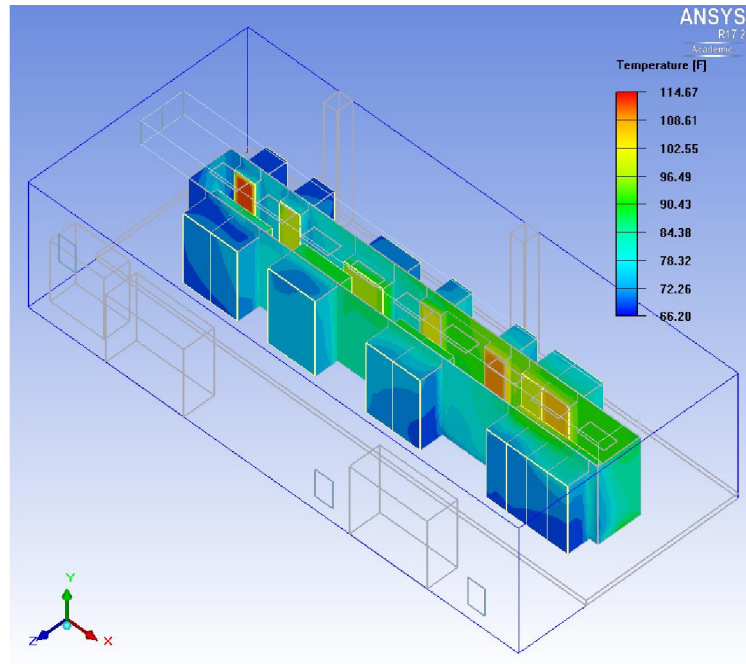


Figura 5.2

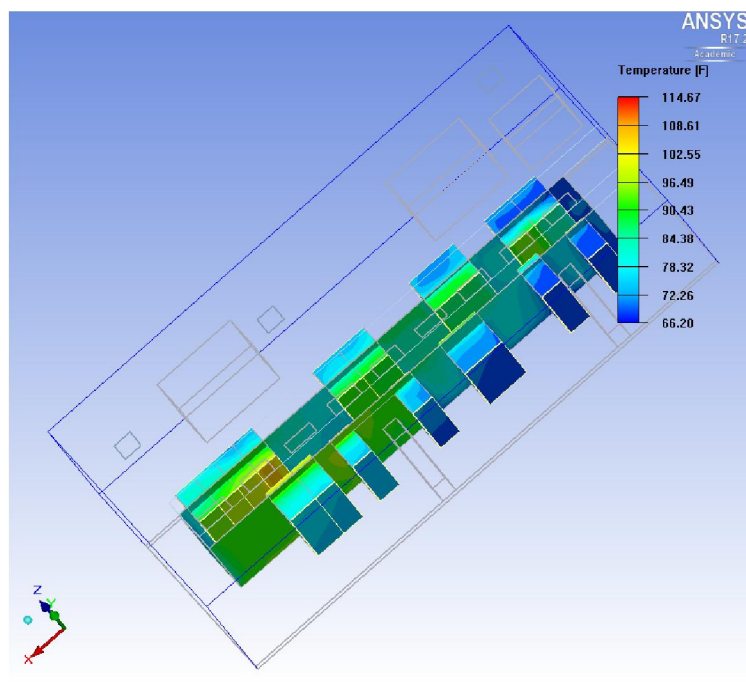


Figura 5.3

Otra forma de visualizar los resultados obtenidos es realizando secciones en cualquier punto deseado o de interés para su estudio, como por ejemplo en este caso se ha realizado una sección en el pasillo caliente, como se observa en la figura 5.4, con lo cual se puede visualizar como varía la temperatura en dicho pasillo.

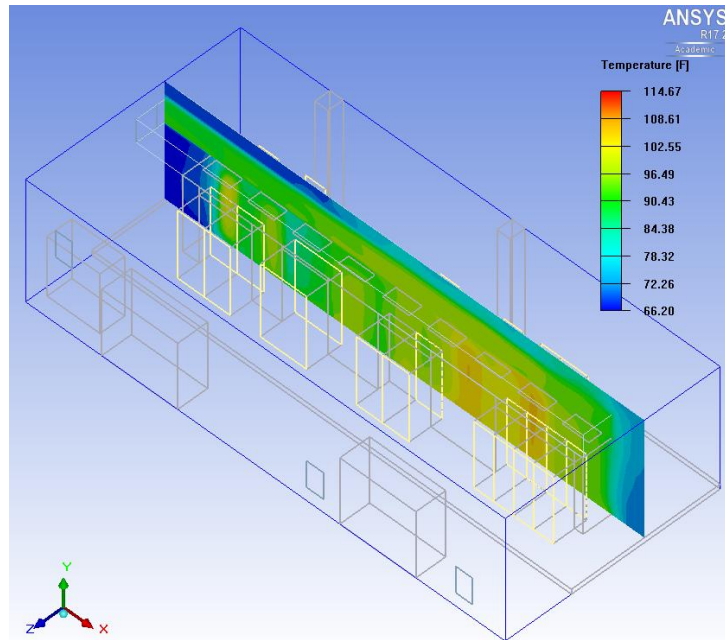


Figura 5.4

Es de interés de este trabajo también conocer el valor de ñas temperaturas en puntas de los ‘pasillos fríos’, así que se han elegido 10 puntos como se observa en la figura 5.5, además de los puntos de los ventiladores de extracción.

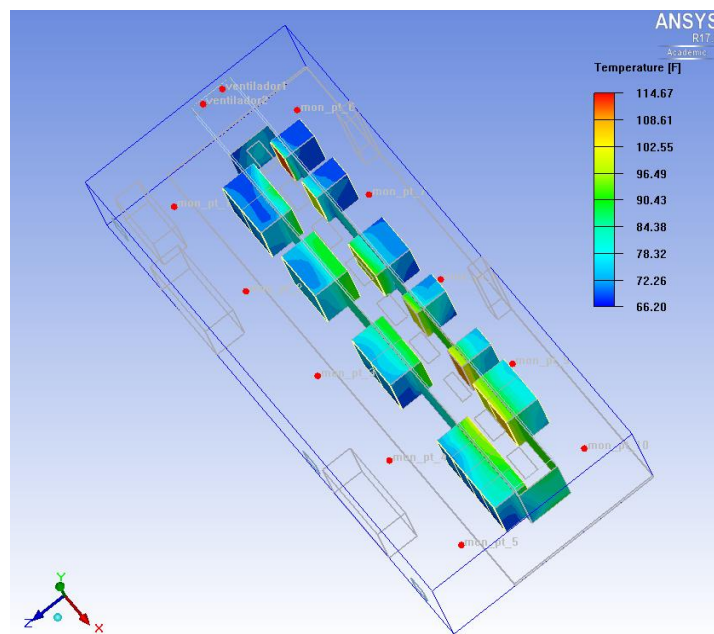


Figura 5.5

Resulta también interesante el poder observar cómo se distribuye tanto el aire de refrigeración, como el aire caliente que se extrae, lo cual también permite visualizar el programa como se observa en la figura 5.6.

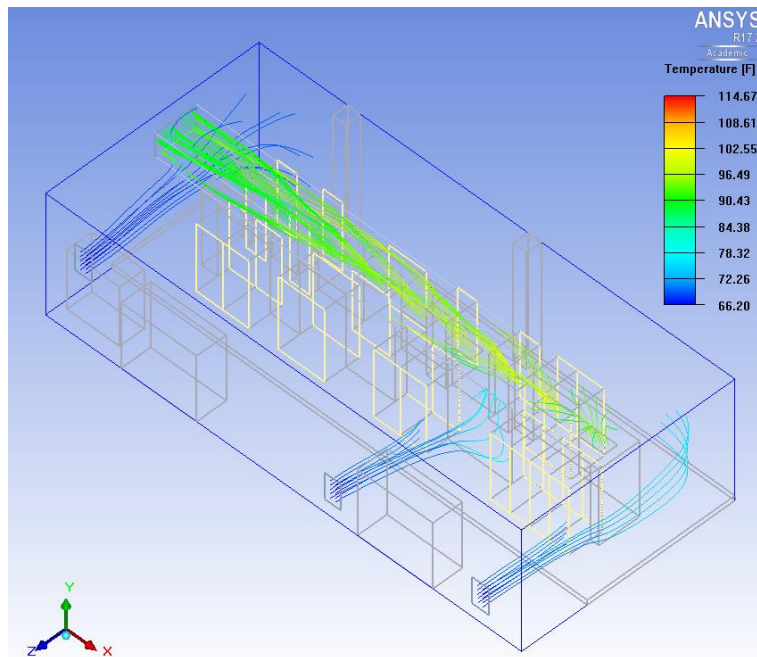


Figura 5.6

Una vez visualizadas todas las zonas de interés se procede a extraer los valores numéricos de las temperaturas en todos esos puntos, los cuales se recogen en la tabla 5.1.

ICEPAK	
Punto	Temperatura (°C)
1	20,9
2	22,4
3	25,8
4	22,9
5	24,2
6	21,4
7	21,1
8	22,4
9	24,6
10	27,2
Extractor (Ventilador1)	33,2
Extractor (Ventilador2)	32,8
Pasillo caliente (Media)	41,9

Tabla 5.1

Finalmente se resumen en la tabla 5.2 las temperaturas a las que se encuentran tanto las superficies de entrada (extract) como las superficies de salida (supply) de cada uno de los 16 RACKs.

	ICEPAK		ICEPAK
	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)
RACK 1 (Extract)	22,2	RACK 1 (Supply)	29,2
RACK 2 (Extract)	22,9	RACK 2 (Supply)	34,7
RACK 3 (Extract)	24	RACK 3 (Supply)	30,9
RACK 4 (Extract)	23,4	RACK 4 (Supply)	33
RACK 5 (Extract)	22,6	RACK 5 (Supply)	33,8
RACK 6 (Extract)	22,2	RACK 6 (Supply)	41
RACK 7 (Extract)	22,1	RACK 7 (Supply)	38
RACK 8 (Extract)	22,5	RACK 8 (Supply)	36,5
RACK 9 (Extract)	22,6	RACK 9 (Supply)	35,4
RACK 10 (Extract)	20,8	RACK 10 (Supply)	44,1
RACK 11 (Extract)	20,8	RACK 11 (Supply)	37,5
RACK 12 (Extract)	21,4	RACK 12 (Supply)	36,1
RACK 13 (Extract)	22,2	RACK 13 (Supply)	38,8
RACK 14 (Extract)	23,8	RACK 14 (Supply)	43,3
RACK 15 (Extract)	24,6	RACK 15 (Supply)	38,7
RACK 16 (Extract)	25,1	RACK 16 (Supply)	42,3

Tabla 5.2

5.1.2 MODELO 2. AIRE CALLE

En este caso se realizan las mismas pruebas de simulación que en el anterior, hasta que se consigue que las temperaturas de los puntos de extracción converjan como se observa en la figura 5.7, las cuales primero tienen un pico y luego consiguen estabilizarse y obteniendo la solución en unas 700 iteraciones aproximadamente.

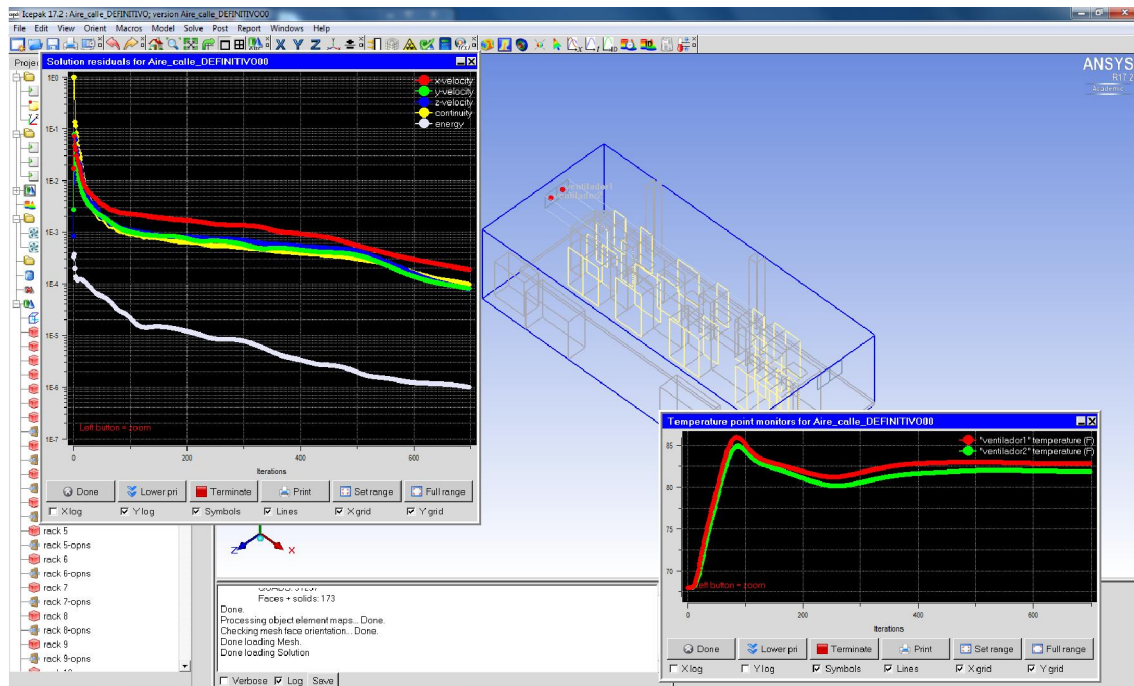


Figura 5.7

A continuación se presentan en las figuras de la 5.8 a la 5.10 la distribución de las temperaturas en las secciones y puntos explicadas en el apartado anterior.

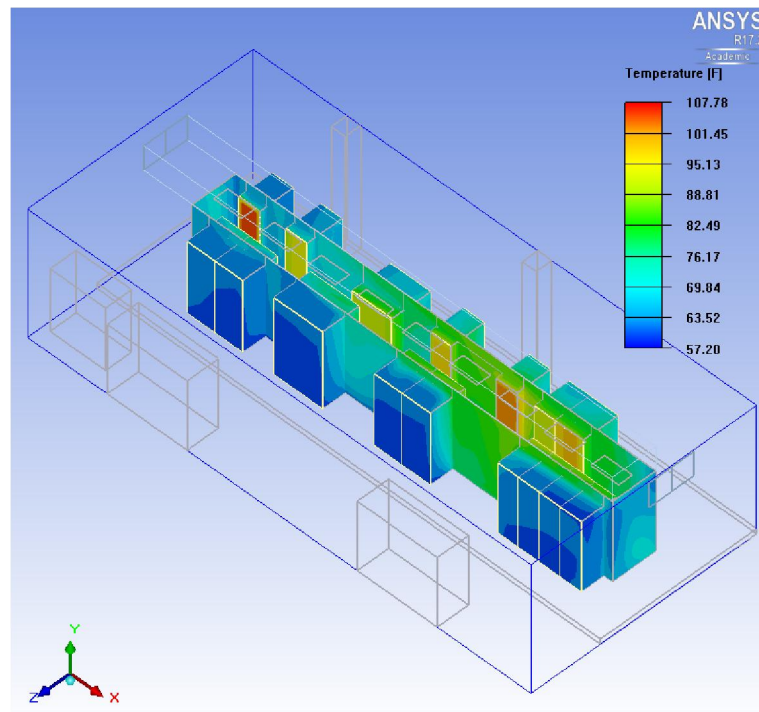


Figura 5.8

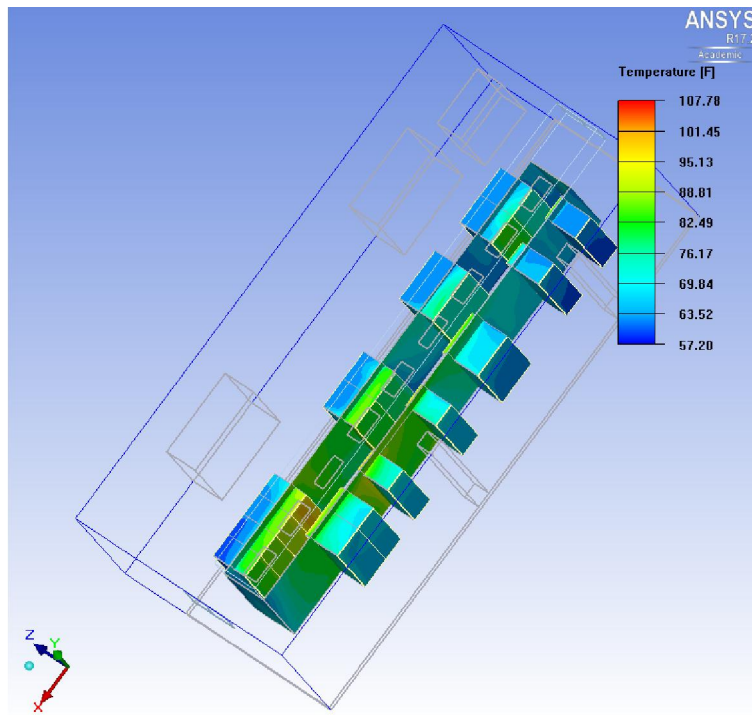


Figura 5.9

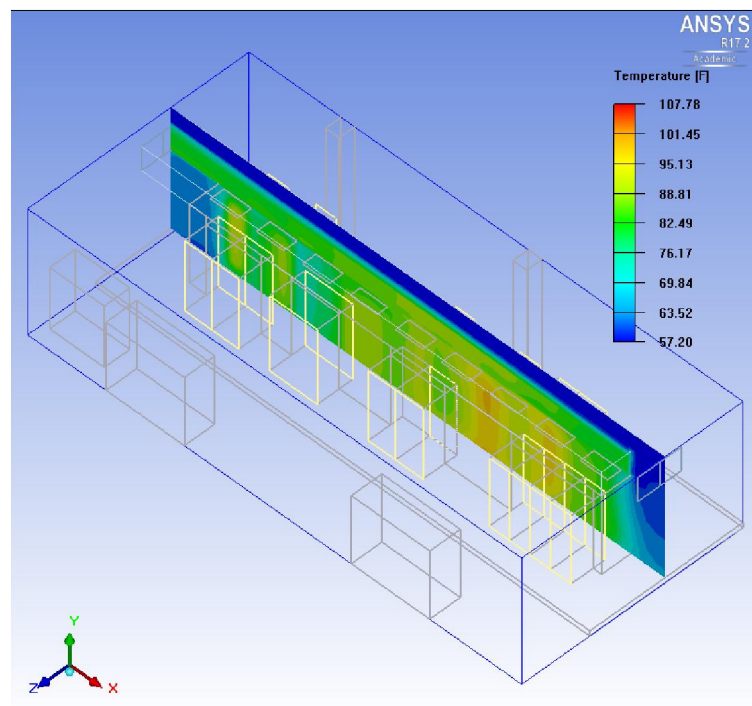


Figura 5.10

En la figura 5.11 se observa cómo se distribuye en este caso el aire de refrigeración y el de extracción.

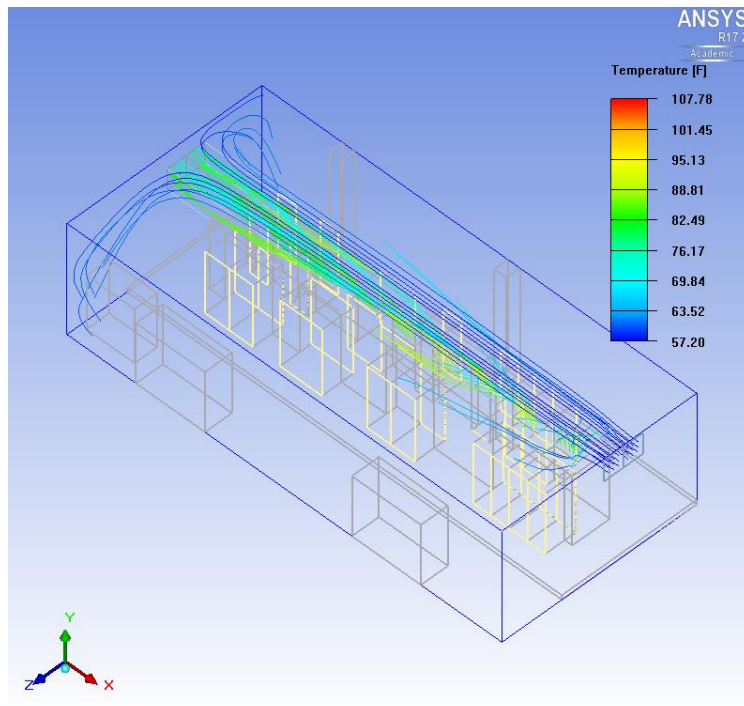


Figura 5.11

Finalmente para este caso se resumen en las tablas 5.3 y 5.4 los resultados numéricos obtenidos en los puntos de interés que se indican y en los RACKs, igual que en el anterior.

Punto	ICEPAK
	Temperatura (°C)
1	17,2
2	17,1
3	17,1
4	16,8
5	17,3
6	17,3
7	18,7
8	20,1
9	20,4
10	20,3
Extractor (Ventilador1)	28,2
Extractor (Ventilador2)	27,7
Pasillo caliente (Media)	38

Tabla 5.3

	ICEPAK		ICEPAK
	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)
RACK 1 (Extract)	17,2	RACK 1 (Supply)	24,2
RACK 2 (Extract)	16,8	RACK 2 (Supply)	28,4
RACK 3 (Extract)	16,7	RACK 3 (Supply)	23,7
RACK 4 (Extract)	16,8	RACK 4 (Supply)	26,4
RACK 5 (Extract)	16,9	RACK 5 (Supply)	28,2
RACK 6 (Extract)	17,4	RACK 6 (Supply)	36,9
RACK 7 (Extract)	17,1	RACK 7 (Supply)	33,0
RACK 8 (Extract)	17,0	RACK 8 (Supply)	31,1
RACK 9 (Extract)	17,0	RACK 9 (Supply)	29,4
RACK 10 (Extract)	16,9	RACK 10 (Supply)	40,3
RACK 11 (Extract)	17,4	RACK 11 (Supply)	34,2
RACK 12 (Extract)	18,6	RACK 12 (Supply)	33,2
RACK 13 (Extract)	19,7	RACK 13 (Supply)	35,8
RACK 14 (Extract)	20,2	RACK 14 (Supply)	39,6
RACK 15 (Extract)	20,0	RACK 15 (Supply)	34,1
RACK 16 (Extract)	20,0	RACK 16 (Supply)	37,0

Tabla 5.4

5.1.3 MODELO 3. AIRE CLIMATIZADORES

Este es el modelo que más interesa, ya que como se ha dicho es en el cual se ha trabajado durante la realización del trabajo y que nos permitirá compararlo con las medidas experimentales en el siguiente apartado.

Se han realizado varias pruebas como en los casos anteriores hasta que las temperaturas del extractor convergen como se observa en la figura 5.12 en alrededor de unas 550 iteraciones, que a excepción del pequeño pico inicial que se tiene permanece constante durante varios instantes.

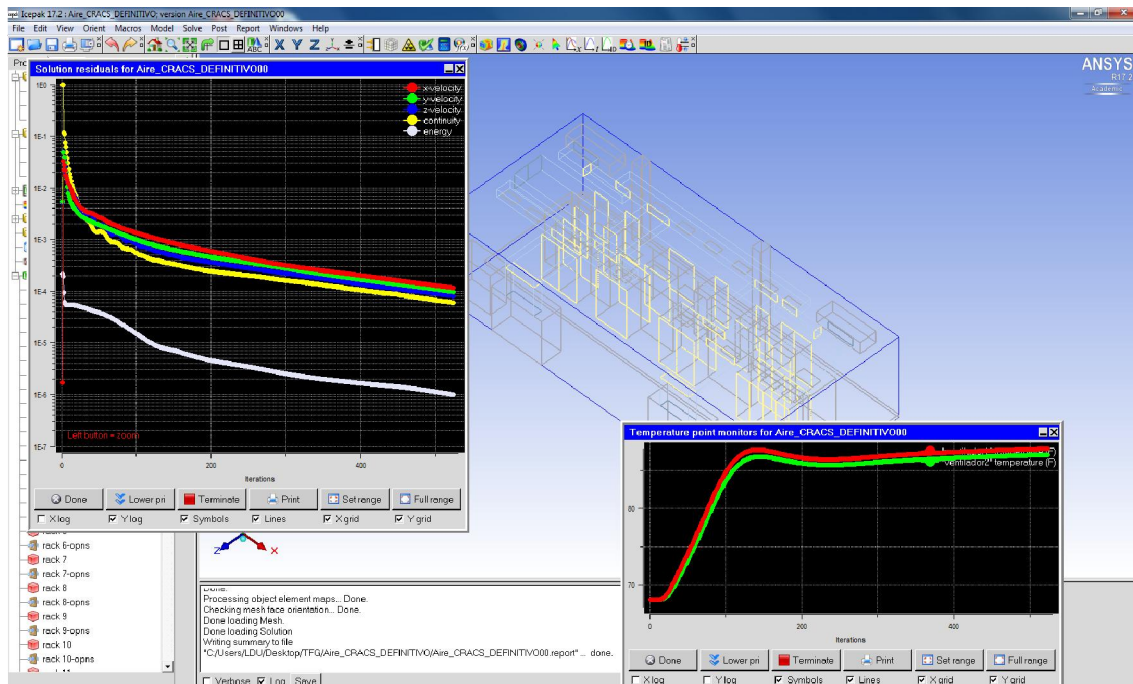


Figura 5.12

Ahora se observan en las figuras 5.13 y 5.14 que las superficies posteriores, es decir las que se dirigen hacia el pasillo caliente, que a mayor temperatura se encuentran son los RACKs número 6 y 10, un poco menos calientes los número 14 y 16, y los demás a unas temperaturas más bajas. Además se visualiza que las superficies delanteras de todos los RACKs se encuentran bien refrigeradas ya que tienen unas temperaturas dentro de los rangos esperados para tener un buen funcionamiento.

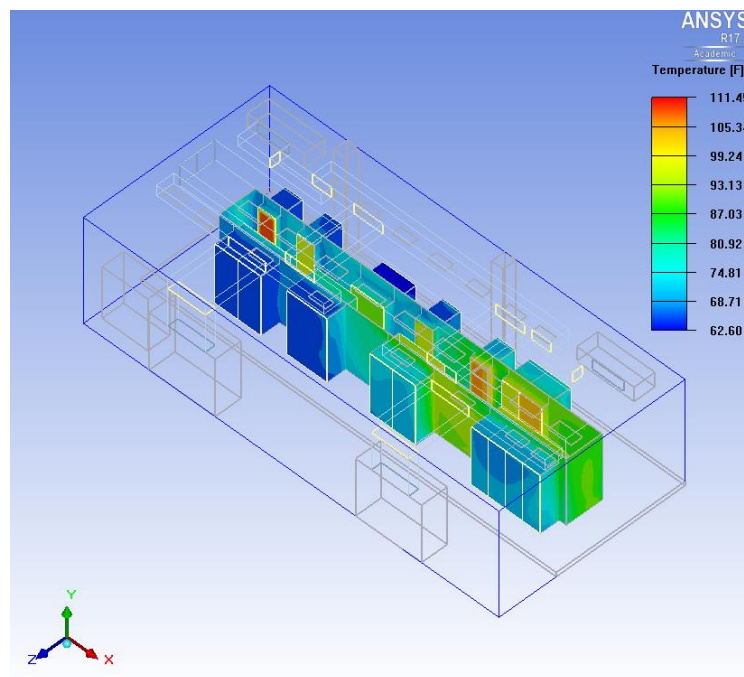


Figura 5.13

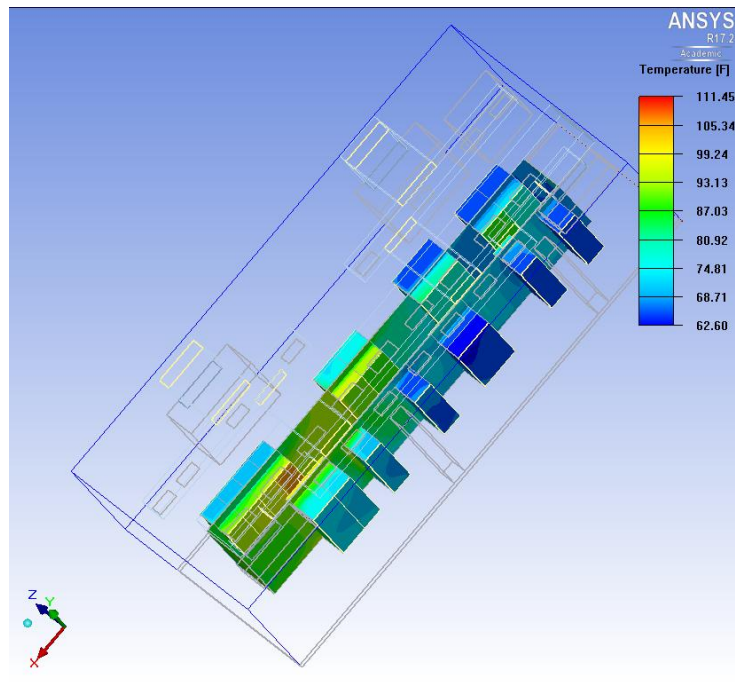


Figura 5.14

Se observa en la figura 5.15 como varía la temperatura a lo largo de la sección hecha en el pasillo caliente.

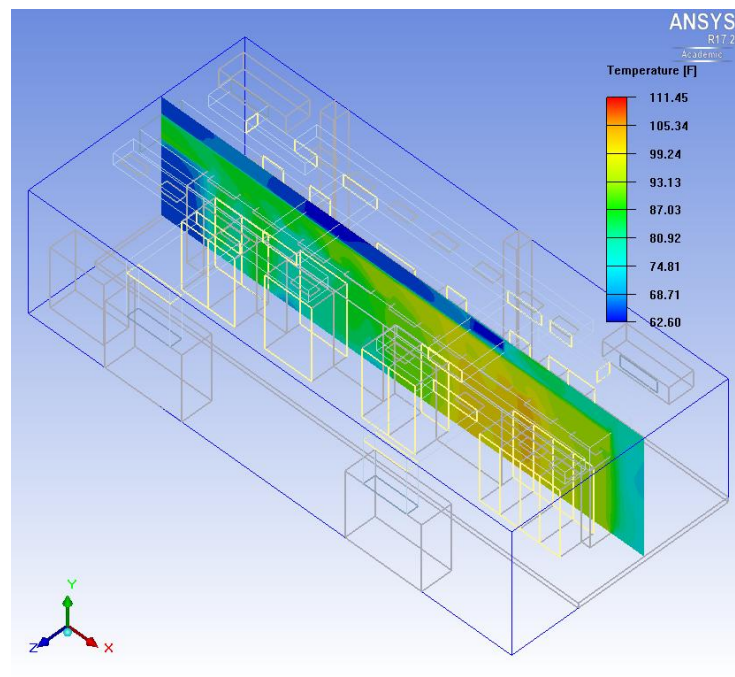


Figura 5.15

Finalmente se visualiza en la figura 5.16 como sale el aire frío de los climatizadores para a continuación recorrer los conductos y sale por las rejillas para distribuirse por la sala de una forma más uniforme que en los casos anteriores.

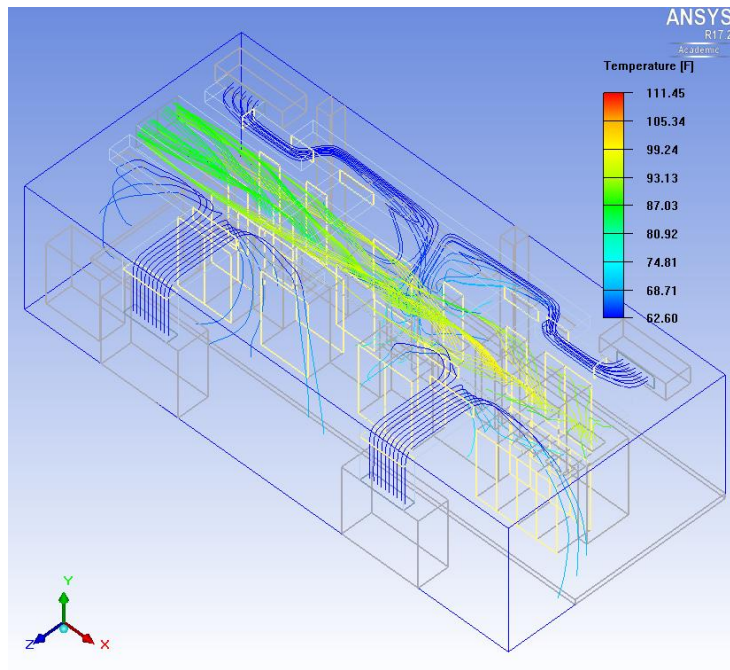


Figura 5.16

Los resultados numéricos se presentan en el siguiente apartado para poderlos comparar con los experimentales.

5.2 COMPARACIONES

Se realiza ahora la comparación las temperaturas de los puntos del 1 al 10, la de los ventiladores 1 y 2 del extractor y la del pasillo caliente, obtenidas mediante la simulación del modelo en ANSYS Icepak y las medidas experimentales que se extraen del Anexo II a excepción de las temperaturas de extracción y del pasillo caliente que se obtienen mediante la aplicación remota del autómata las cuales se pueden consultar en el Anexo IV.

Así pues, todos estos valores mencionados se recogen en la tabla 5.5, la cual es también acompañada con las medidas de la humedad relativa en los puntos del 1 al 10, extraídas también del Anexo II, las mismas que son interesantes medirlas, ya que la humedad es otro factor importante a controlar en un centro de datos, aunque no se tengan valores de estas como resultado de la simulación.

Al observar los valores de la tabla 5.5, se tiene que los valores que se obtienen como resultado de la simulación son muy parecidos a los obtenidos experimentalmente.

	ICEPAK	EXPERIMENTAL	
Punto	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Humedad (%RH)
1	18,9	19,7	56,7
2	18,9	19,5	56,0
3	22,1	21,9	51,2
4	21,4	22,3	51,9
5	21,8	22,2	52,8
6	19,0	20,6	49,8
7	18,7	20,1	51,6
8	20,1	19,7	64,6
9	22,7	21,9	55,7
10	23,8	23,5	49,3
Extractor (Ventilador1)	31,0	30,8	
Extractor (Ventilador2)	30,6		
Pasillo caliente (Media)	40,3	40,0	

Tabla 5.5

Es importante también realizar la comparación de los valores de temperatura de las superficies de los RACKs, tanto delantera como posterior, obtenidas mediante la simulación con las obtenidas experimentalmente, las cuales se extraen del Anexo II. Estos valores se recogen en la tabla 5.6.

	ICEPAK	EXPERIMENTAL		ICEPAK	EXPERIMENTAL
	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
RACK 1 (Extract)	18,9	19,0	RACK 1 (Supply)	25,9	26,3
RACK 2 (Extract)	18,9	19,1	RACK 2 (Supply)	31,1	30,1
RACK 3 (Extract)	19,5	19,4	RACK 3 (Supply)	26,4	28,3
RACK 4 (Extract)	22,5	22,8	RACK 4 (Supply)	32,2	33,0
RACK 5 (Extract)	22,6	23,0	RACK 5 (Supply)	33,9	34,6
RACK 6 (Extract)	21,4	21,7	RACK 6 (Supply)	41,5	41,1
RACK 7 (Extract)	21,2	21,7	RACK 7 (Supply)	37,1	37,6
RACK 8 (Extract)	21,5	21,8	RACK 8 (Supply)	35,6	34,6
RACK 9 (Extract)	22,5	22,1	RACK 9 (Supply)	35,3	34,7
RACK 10 (Extract)	19,0	18,8	RACK 10 (Supply)	42,5	41,3
RACK 11 (Extract)	18,9	19,0	RACK 11 (Supply)	36,0	35,8
RACK 12 (Extract)	18,8	19,1	RACK 12 (Supply)	33,5	33,1
RACK 13 (Extract)	20,0	20,1	RACK 13 (Supply)	36,1	36,6
RACK 14 (Extract)	21,7	21,8	RACK 14 (Supply)	40,9	40,4
RACK 15 (Extract)	22,8	23,0	RACK 15 (Supply)	36,9	37,2
RACK 16 (Extract)	23,2	23,5	RACK 16 (Supply)	40,7	40,1

Tabla 5.6

Se observa que los valores de la tabla 5.6 resultantes de la simulación son también muy parecidos a los de las medidas experimentales como en el caso de la tabla 5.5.

6. VALORACIONES FINALES Y MEJORAS

6.1 VALORACIONES FINALES

Después de los resultados obtenidos, tanto mediante ANSYS Icepak como experimentalmente y una vez hecha su comparación, es momento de realizar valoraciones de dichos resultados, ya sea validándolos o rechazándolos, para lo cual se tomará como referencia la tabla 6.1, la cual fue tomada íntegramente de la bibliografía [6].

Class	Equipment Environment Specifications									
	Product Operation ^{a, b}							Product Power Off ^{b, c}		
	Dry Bulb Temperature (°C)		Humidity Range, Non Condensing		Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/h)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
	Allowable	Recommended	Allowable (% RH)	Recommended						
1	15 to 32 ^d	18 to 27 ^e	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	17	3050	5/20 ^f	5 to 45	8 to 80	27
2	10 to 35 ^d	18 to 27 ^e	20 to 80	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP	21	3050	5/20 ^f	5 to 45	8 to 80	27
3	5 to 35 ^{d, g}	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
4	5 to 40 ^{d, g}	NA	8 to 80	NA	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Tabla 6.1

De la tabla 6.1 se tiene que la temperatura del aire de entrada a la sala recomendada para el correcto funcionamiento de los RACKs de un CPD debe estar en el rango de 18 a 27 °C, y la humedad relativa admisible debe estar en el rango de 20 a 80 %RH.

Observando los datos de la tabla 5.5 y recogiendo en una nueva tabla los valores de temperatura de la superficie delantera de todos los RACKs de los tres modelos simulados (tabla 6.2), se comprueba que todos los puntos de la sala (1 al 10) están dentro del rango de temperatura recomendada y también dentro del rango admisible de humedad relativa, por lo tanto se dan como válidos esos resultados obtenidos.

	ICEPAK	EXPERIMENTAL	
Punto	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Humedad (%RH)
1	18,9	19,7	56,7
2	18,9	19,5	56
3	22,1	21,9	51,2
4	21,4	22,3	51,9
5	21,8	22,2	52,8
6	19,0	20,6	49,8
7	18,7	20,1	51,6
8	20,1	19,7	64,6
9	22,7	21,9	55,7
10	23,8	23,5	49,3

Tabla 5.5

	AIRE PASILLO	AIRE CALLE	AIRE CLIMATIZADORES
	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
RACK 1	22,2	17,2	18,9
RACK 2	22,9	16,8	18,9
RACK 3	24,0	16,7	19,5
RACK 4	23,4	16,8	22,5
RACK 5	22,6	16,9	22,6
RACK 6	22,2	17,4	21,4
RACK 7	22,1	17,1	21,2
RACK 8	22,5	17,0	21,5
RACK 9	22,6	17,0	22,5
RACK 10	20,8	16,9	19,0
RACK 11	20,8	17,4	18,9
RACK 12	21,4	18,6	18,8
RACK 13	22,2	19,7	20,0
RACK 14	23,8	20,2	21,7
RACK 15	24,6	20,0	22,8
RACK 16	25,1	20,0	23,2

Tabla 6.2

En la tabla 6.2 se observa en primer lugar que las temperaturas de los 16 RACKs refrigerados por aire del pasillo están dentro de los rangos recomendados, por lo tanto sus resultados se siguen como válidos

En segundo lugar, se observa que las temperaturas de los RACKs del 1 al 11 refrigerados mediante aire de la calle, se encuentran por debajo del rango recomendado por muy poco

margen, pero se encuentran dentro del rango admisible cuyo límite por debajo son 15 °C, por lo cual se dan como válidos esos resultados. Por otra parte los RACKs del 12 al 16 se encuentran dentro del rango recomendado, siendo también válidos. Así pues, sería recomendado reducir la entrada de aire de refrigeración para disminuir el consumo energético y se seguiría teniendo una óptima climatización de la sala.

Finalmente se observa que todos los RACKs refrigerados por aire de las climatizadoras se encuentran dentro del rango recomendado y son menores que las del modelo aire pasillo, por lo cual se dan como válidos estos resultados y se advierten mejores que los del modelo aire pasillo; sin embargo para conseguir estos se necesita mayor consumo de electricidad por lo cual se elegiría la climatización por aire pasillo ante la de aire por climatizadores, aunque en los meses más calurosos, es decir en modo verano, será totalmente necesario utilizar los climatizadores.

6.2 MEJORAS

En el proceso de pedir información al responsable del CPD, comentaba que antes de la última modificación del CPD, lo cual ocurrió en el año 2016, esta sala no contaba con un sensor para medir la humedad y además que en la zona del pasillo de atrás se tendía a tener una isla caliente ya que únicamente se contaba con los dos climatizadores CIAT, con lo cual el aire de refrigeración que llegaba a esa zona llegaba aumentado un poco su temperatura, así que refrigeraba algo menos, así como la manera en la que estaban contruidos los conductos de esa zona y además de todo eso se contaba con 2 RACKs más en esa zona.

Para solucionar el problema de la humedad, se incorporó un sensor de humedad de la misma para mantener monitorizada y controlada esa variable en la sala mediante el autómeta y su aplicación remota.

El problema de la isla caliente se solucionó añadiendo dos climatizadores independientes extra en esa zona, de los cuales nace un nuevo conducto con una forma diferente a la anterior y con más rejillas para una mejor distribución del aire de refrigeración por la sala, cuya distribución de conductos y nuevos climatizadores se puede observar en el plano VI del Anexo I.

Además de estas modificaciones, se cambió también la localización de varios RACKs y se disminuyó su cantidad en dos, con lo cual también se ha mejorado la eficiencia de la climatización de la sala.

Algunas mejoras que se podrían implementar es, sustituir algunos elementos como el SAI o ventiladores por sus equivalentes pero de funcionamiento ECO, así se consumiría menos energía.

Otra mejora que se podría implementar es realizar el cerramiento del pasillo caliente de una forma más robusta y eficaz, ya que el aislamiento actual que se tiene son láminas de PVC que permiten fugas de aire tanto del aire caliente hacia el pasillo frío como viceversa, con lo cual la solución sería mejorar la estanquidad de dicho pasillo con algún método o material más adecuado, así se puede mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración de la sala. Esta solución reduce al mínimo la mezcla de aire caliente y frío y esto puede ahorrar un 40% en el coste anual de la energía del sistema de refrigeración, según la bibliografía [7].

7. ELABORACIÓN DEL GUION DE PRÁCTICA PARA LA ASIGNATURA DE CENTRO DE DATOS

Para finalizar el presente trabajo, observando los contenidos del mismo, he considerado que puede ser interesante aprovecharlo para realizar un guion de práctica docente para la asignatura optativa de Centro de Datos que cursan los estudiantes del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Zaragoza.

Debido a que el contenido de dicho guion de práctica es algo extenso, he optado por incluirlo en los anexos del presente trabajo, concretamente en el Anexo V.

CONCLUSIONES

Tras la finalización de la realización del presente trabajo se han obtenido varias conclusiones:

La conclusión principal que se obtiene es que ANSYS Icepak es una herramienta de modelización y simulación muy potente ya que los resultados que se han obtenido con el mismo son muy aproximados y fieles a los obtenidos de manera experimental.

Se ha observado también que al comparar las tres maneras de climatizar el CPD del BIFI, se ha obtenido una mejor distribución del aire de refrigeración y por lo tanto una mejor climatización mediante el modo de aire de la calle, llegando incluso a tener una sobre climatización en algunos puntos de la sala, lo cual indica que se podría incluso disminuir la entrada de aire a la sala y por ende la extracción del mismo, con la consecuencia de disminuir aún más el consumo energético por parte de los ventiladores de impulsión y extracción de aire sin disminuir la calidad de la climatización de la sala. Pero como contraparte se tiene que este modo de operación o funcionamiento es exclusivo de la temporada de invierno.

El segundo modo de operación que mejor realiza la climatización de esta sala es el que funciona con climatizadores, ya que genera en la sala tanto unas temperaturas como humedades óptimas para el buen funcionamiento del CPD, además de una buena distribución de las mismas, evitando zonas con grandes diferenciales térmicos. Por contraparte se tiene que consume mucho más energía que los otros modos de operación, aunque la utilización de esta manera de climatización es obligatoria en los meses de más calor, es decir en el modo verano.

El modo de climatización por aire que proviene del pasillo, es el que temperaturas más altas genera en la sala, además de la peor distribución del aire de las tres, ya que al entrar solo por una superficie, genera un pasillo con mayor aire frío que el pasillo posterior por el cual no hay ingreso de aire de refrigeración, con lo cual se obtienen mayores diferencias de temperatura entre zonas; sin embargo los rango de temperatura que se producen con este modo de funcionamiento no es malo ya que se encuentra dentro de los rangos recomendados de temperatura por la Thermal Guidelines for Data Processing Environments– Expanded Data CenterClasses and Usage Guidance de la ASHRAE TC 9.9, 2011. Así que se da como buena esta manera de climatizar ya que se aprovecha un aire que en principio ya ha cumplido con el cometido de climatizar el edificio y por lo tanto funciona con un menor consumo que la de aire climatizadores, al solo usar tres ventiladores para ingresar el aire de refrigeración a la sala y los mismos ventiladores en las cabinas de extracción que en ese caso.

Entonces, en el modo verano en el que se ha desarrollado el trabajo, lo ideal sería trabajar con el modo de funcionamiento del aire proveniente del pasillo para tener un menor

consumo de energía para climatizar el CPD y además apoyarse con modo de operación del aire proveniente de las climatizadoras cuando este sea requerido, lo cual sucede en los días de mayores temperaturas del año, con lo cual se tendría un consumo menor de energía y más eficiente.

Debido a la época del año en la que se ha desarrollado este trabajo, no se han podido realizar medidas experimentales en los modos de funcionamiento de aire pasillo y de aire calle para compararlas con los resultados obtenidos con ANSYS Icepak, lo cual resultaría interesante, así que se deja para futuros trabajos que se puedan realizar sobre este tema.

Ha resultado interesante aprovechar el contenido del trabajo realizado para elaborar un guion que posiblemente se utilice en el curso 2017/2018 para la impartición de una práctica docente de la asignatura optativa Centro de Datos que se cursa en cuarto año del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Zaragoza.

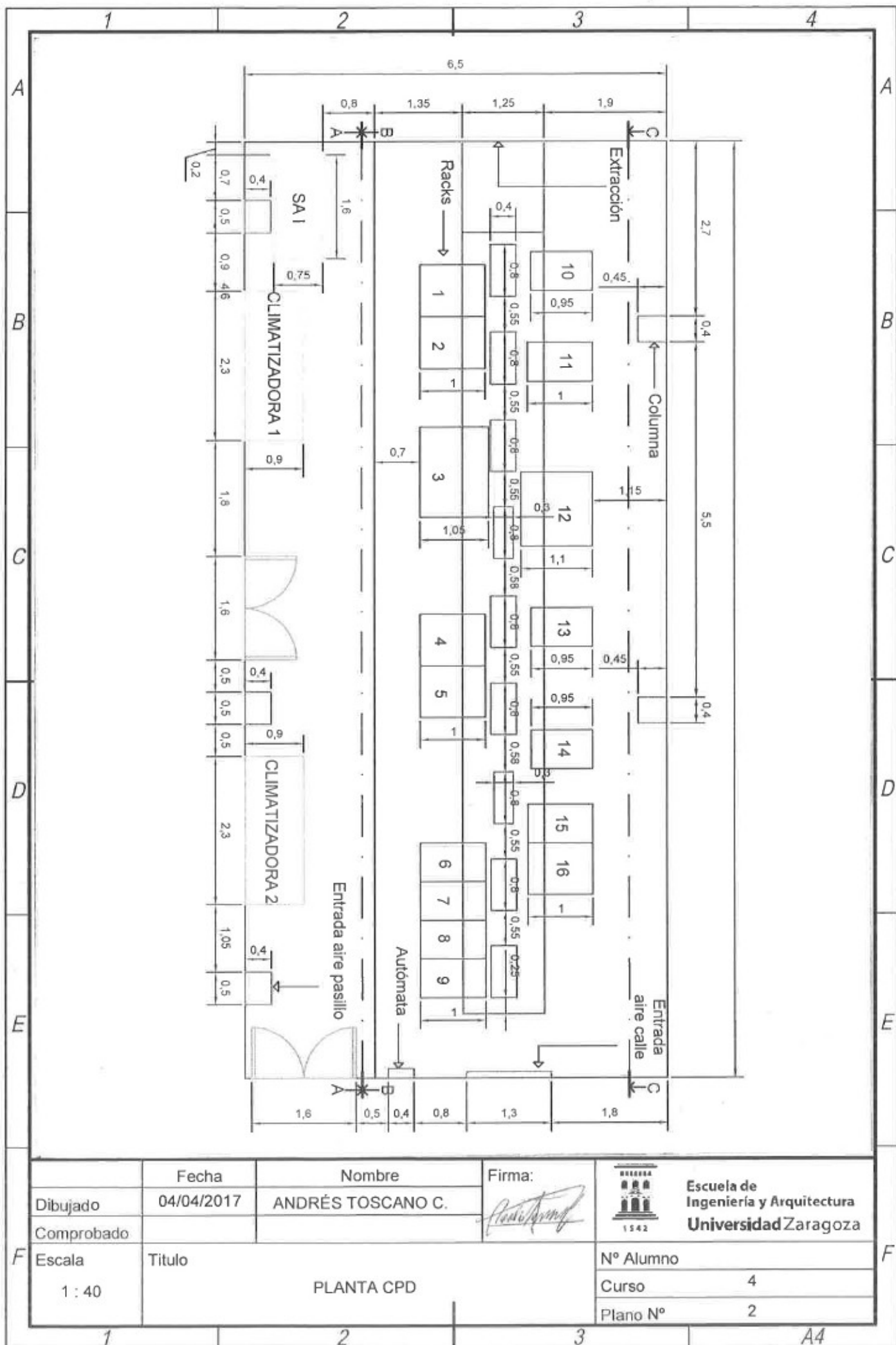
Como conclusión final se tiene que se han alcanzado los objetivos planteados al inicio del trabajo.

ANEXOS

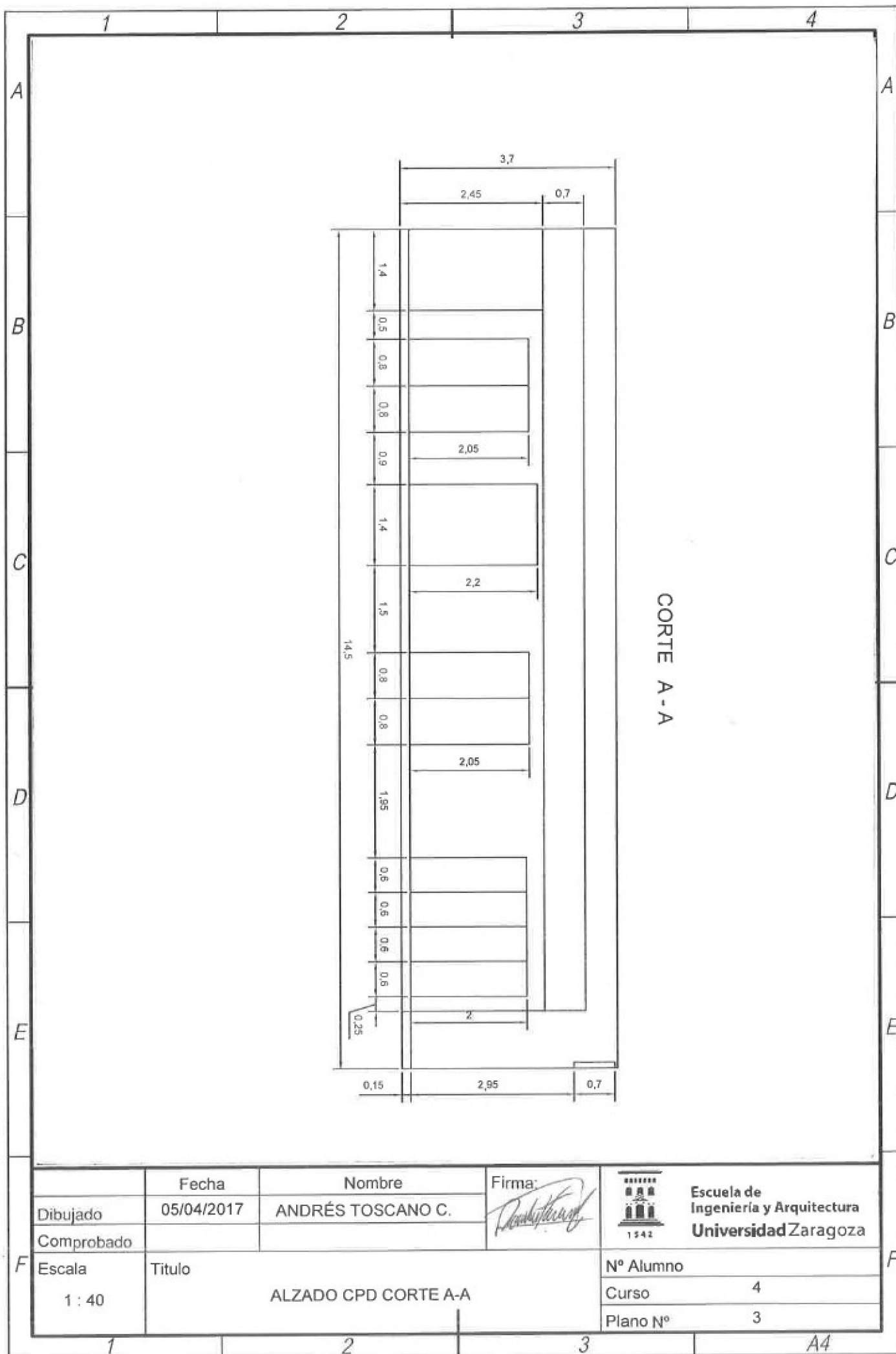
ANEXO I. PLANOS

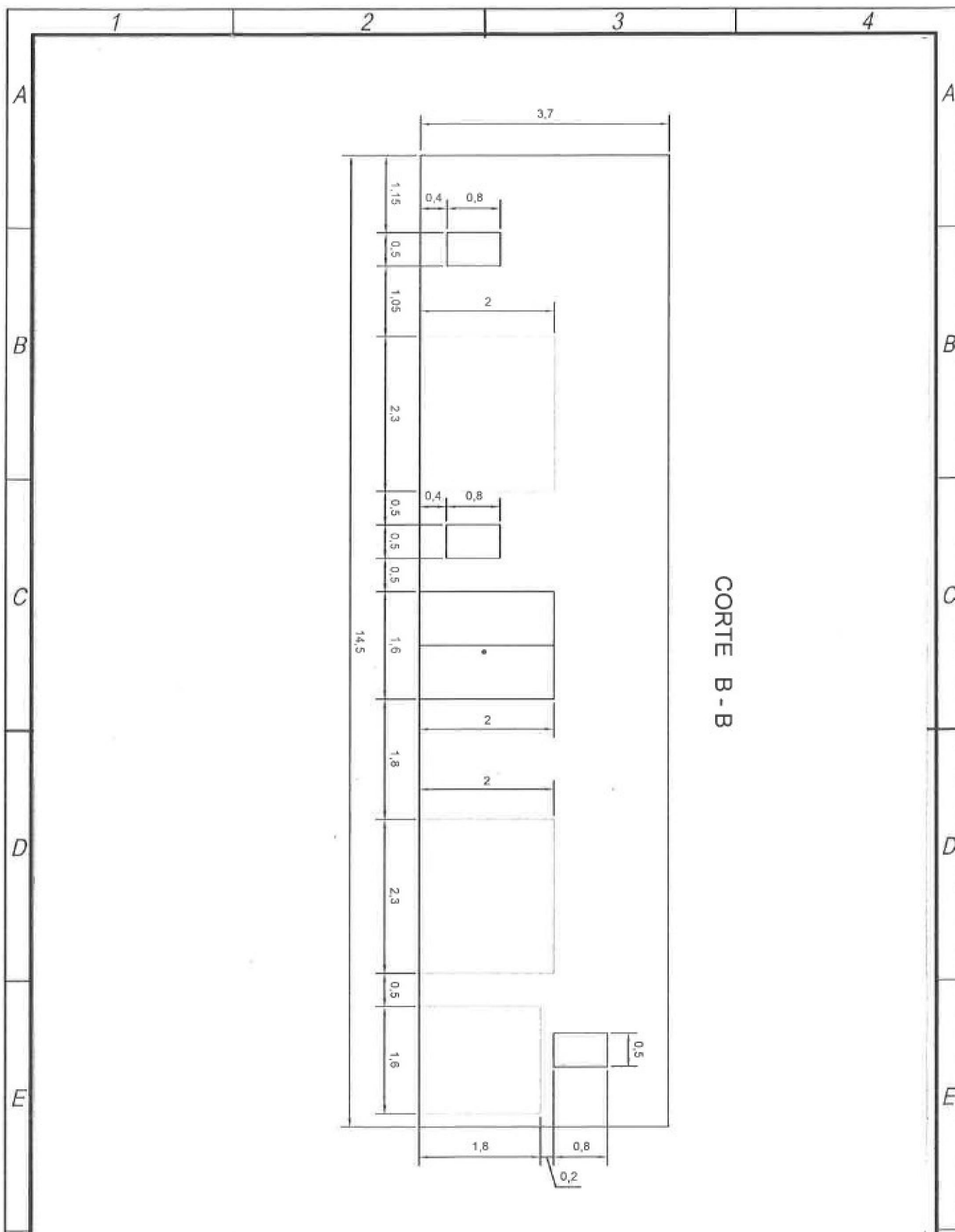
- **PLANO 1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO**
- **PLANO 2. PLANTA CPD**
- **PLANO 3. ALZADO CPD CORTE A – A**
- **PLANO 4. ALZADO CPD CORTE B – B**
- **PLANO 5. ALZADO CPD CORTE C – C**
- **PLANO 6. PLANTA REFRIGERACIÓN CPD**

	1	2	3	4																									
A					A																								
B					B																								
C					C																								
D					D																								
E					E																								
F	<table border="1"> <tr> <td></td><td>Fecha</td><td>Nombre</td><td>Firma:</td></tr> <tr> <td>Dibujado</td><td>03/04/2017</td><td>ANDRÉS TOSCANO C.</td><td></td></tr> <tr> <td>Comprobado</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>				Fecha	Nombre	Firma:	Dibujado	03/04/2017	ANDRÉS TOSCANO C.		Comprobado				<table border="1"> <tr> <td rowspan="4"> </td> <td colspan="2">Escuela de Ingeniería y Arquitectura</td></tr> <tr> <td colspan="2">Universidad Zaragoza</td></tr> <tr> <td>Nº Alumno</td><td></td></tr> <tr> <td>Curso</td><td>4</td></tr> <tr> <td>Plano Nº</td><td>1</td><td></td></tr> </table>		Escuela de Ingeniería y Arquitectura		Universidad Zaragoza		Nº Alumno		Curso	4	Plano Nº	1		F
	Fecha	Nombre	Firma:																										
Dibujado	03/04/2017	ANDRÉS TOSCANO C.																											
Comprobado																													
	Escuela de Ingeniería y Arquitectura																												
	Universidad Zaragoza																												
	Nº Alumno																												
	Curso	4																											
Plano Nº	1																												
	1	2	3	A4																									





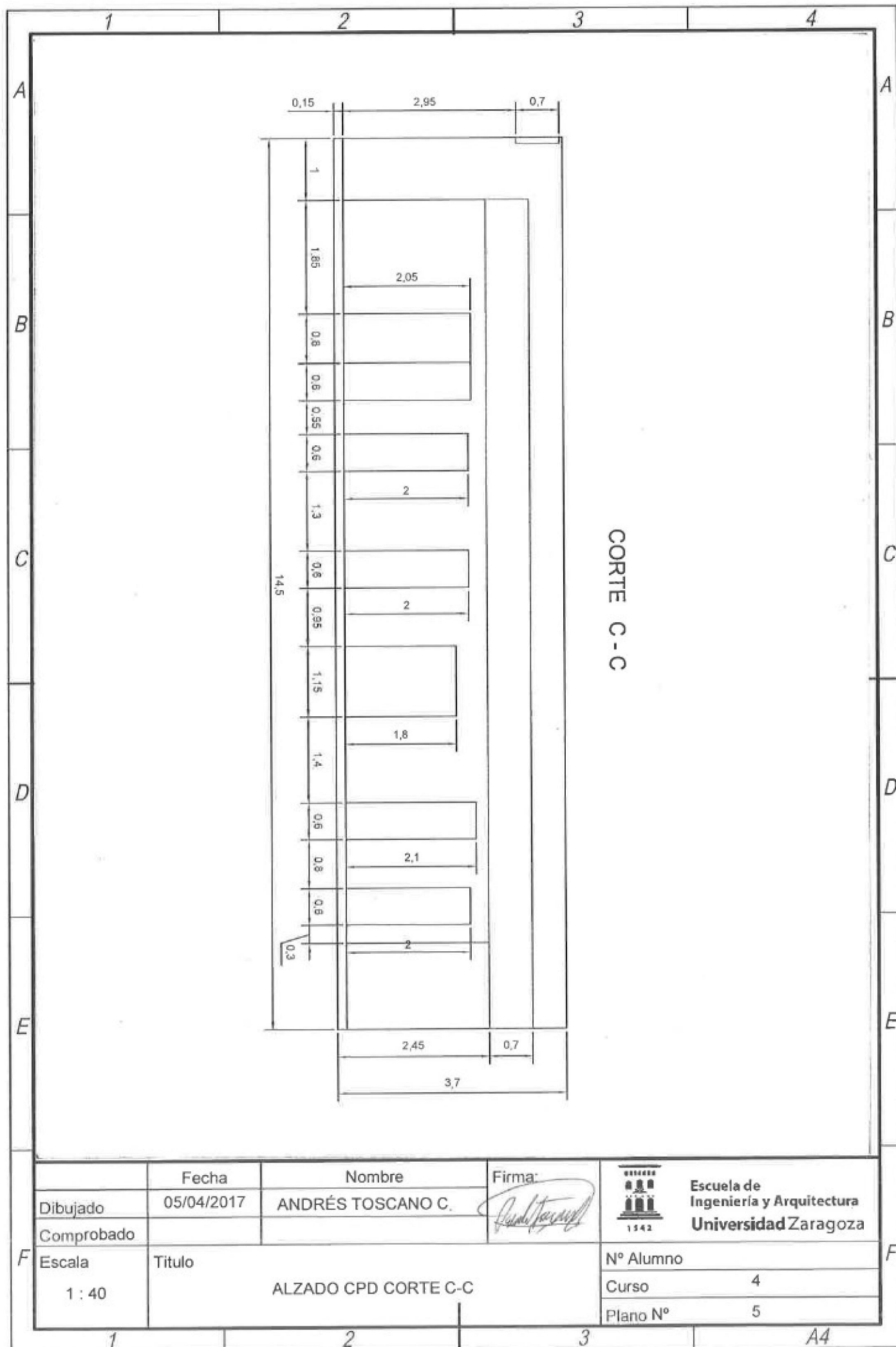
	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	04/04/2017	ANDRÉS TOSCANO C.		
Comprobado				
Escala	Titulo			
1 : 40		PLANTA CPD	Nº Alumno	
			Curso 4	
			Plano Nº 2	





CORTE B-B

	Fecha	Nombre	Firma:	 Escuela de Ingeniería y Arquitectura Universidad Zaragoza
Dibujado	05/04/2017	ANDRÉS TOSCANO C.		
Comprobado				
Escala	1 : 40	Titulo	ALZADO CPD CORTE B-B	
			Nº Alumno	
			Curso	4
			Plano Nº	4



ANEXO II. MEDIDAS TÉRMICAS

En la memoria se ha explicado que el trabajo se ha realizado en el modo de funcionamiento de climatización con aire de los climatizadores, así que las medidas que se presentan a continuación han sido todas realizadas en dicho modo.

Para realizar estas medidas se cuenta con el Anemómetro AMI300 Multifunction de la casa KIMO, que ha sido facilitado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, con el cual se tomarán medidas de temperatura, humedad de la sala en diferentes puntos de interés y la velocidad de entrada del aire a los RACKs que servirá para calcular el caudal que circula a través de los mismos.

El Anemómetro AMI300 Multifunction, tiene varios modos de medición, cada uno con una sonda diferente, de los cuales he utilizado las dos siguientes:

- En primer lugar se tiene una sonda de molinete, la cual tiene un diámetro de 10 cm y la he usado para medir la velocidad de aire a la entrada de los RACKs, así como su temperatura a la entrada de los mismos y a la salida (parte posterior que se encuentra en el pasillo caliente).
- En segundo lugar se tiene un higrómetro, el cual he usado para medir la humedad y la temperatura en diez puntos de la sala.

Se ha empezado por realizar las medidas en cada uno de los 16 RACKs, para lo cual colocamos en el Anemómetro la sonda de molinillo y tomamos medidas de velocidad del aire a la entrada de cada RACK en diez puntos diferentes de su superficie como se observa en la figura II.1, el propio aparato tiene un modo de funcionamiento que nos proporciona la media de dichas medidas y su desviación típica, además de darnos también una media de esos diez puntos de la temperatura a la que se encuentra dicha superficie. Todos esos valores se reflejan en las tablas de la II.1 a la II.16, junto con la superficie de cada uno que al multiplicarla por la velocidad media se obtiene el caudal de cada RACK.



Figura II.1

RACK 1			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,55	1,64	0,586
2	0,11		
3	0,50		
4	0,27		
5	0,29		
6	0,51		
7	0,09		
8	0,28		
9	0,35		
10	0,60		
Media	0,357		
Desviación	0,179	Temperatura (°C)	19,0

Tabla II.1

RACK 2			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,31	1,64	0,328
2	0,09		
3	0,19		
4	0,06		
5	0,19		
6	0,39		
7	0,05		
8	0,10		
9	0,41		
10	0,20		
Media	0,200		
Desviación	0,131	Temperatura (°C)	19,1

Tabla II.2

RACK 3			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,30	3,08	0,587
2	0,08		
3	0,00		
4	0,05		
5	0,41		
6	0,00		
7	0,09		

8	0,20		
9	0,00		
10	0,32		
Media	0,191		
Desviación	0,151	Temperatura (°C)	19,4

Tabla II.3

RACK 4			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,40	1,64	0,423
2	0,10		
3	0,19		
4	0,28		
5	0,40		
6	0,38		
7	0,26		
8	0,08		
9	0,19		
10	0,30		
Media	0,258		
Desviación	0,117	Temperatura (°C)	22,8

Tabla II.4

RACK 5			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,30	1,2	0,367
2	0,09		
3	0,20		
4	0,19		
5	0,30		
6	0,73		
7	0,41		
8	0,07		
9	0,37		
10	0,41		
Media	0,306		
Desviación	0,191	Temperatura (°C)	23,0

Tabla II.5

RACK 6			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,40	1,2	0,460
2	0,61		
3	0,40		
4	0,07		
5	0,40		
6	0,51		
7	0,29		
8	0,31		
9	0,05		
10	0,79		
Media	0,383		
Desviación	0,224	Temperatura (°C)	21,7

Tabla II.6

RACK 7			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,44	1,2	0,603
2	0,68		
3	0,44		
4	1,00		
5	0,49		
6	0,75		
7	0,27		
8	0,53		
9	0,18		
10	0,26		
Media	0,502		
Desviación	0,251	Temperatura (°C)	21,7

Tabla II.7

RACK 8			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,50	1,2	0,668
2	0,92		
3	0,60		
4	0,89		
5	0,45		
6	1,02		
7	0,30		

8	0,71		
9	0,09		
10	0,08		
Media	0,556		
Desviación	0,334	Temperatura (°C)	21,8

Tabla II.8

RACK 9			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,15	1,2	0,731
2	1,16		
3	0,46		
4	0,22		
5	0,59		
6	0,89		
7	0,76		
8	0,81		
9	0,38		
10	0,67		
Media	0,609		
Desviación	0,313	Temperatura (°C)	22,1

Tabla II.9

RACK 10			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,15	1,2	0,164
2	0,24		
3	0,00		
4	0,26		
5	0,23		
6	0,00		
7	0,00		
8	0,23		
9	0,00		
10	0,24		
Media	0,136		
Desviación	0,120	Temperatura (°C)	18,8

Tabla II.10

RACK 11			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,00	1,26	0,232
2	0,00		
3	0,00		
4	0,00		
5	0,43		
6	0,47		
7	0,27		
8	0,30		
9	0,17		
10	0,21		
Media	0,184		
Desviación	0,182	Temperatura (°C)	19,0

Tabla II.11

RACK 12			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,16	2,07	0,274
2	0,00		
3	0,20		
4	0,24		
5	0,10		
6	0,16		
7	0,12		
8	0,23		
9	0,00		
10	0,11		
Media	0,132		
Desviación	0,084	Temperatura (°C)	19,1

Tabla II.12

RACK 13			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,11	1,2	0,245
2	0,08		
3	0,20		
4	0,21		
5	0,29		
6	0,34		
7	0,17		

8	0,35		
9	0,14		
10	0,15		
Media	0,204		
Desviación	0,095	Temperatura (°C)	20,1

Tabla II.13

RACK 14			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,12	1,2	0,208
2	0,11		
3	0,28		
4	0,29		
5	0,26		
6	0,36		
7	0,09		
8	0,10		
9	0,06		
10	0,06		
Media	0,173		
Desviación	0,360	Temperatura (°C)	21,8

Tabla II.14

RACK 15			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,16	1,23	0,296
2	0,21		
3	0,13		
4	0,11		
5	0,87		
6	0,23		
7	0,20		
8	0,16		
9	0,13		
10	0,22		
Media	0,241		
Desviación	0,224	Temperatura (°C)	23,0

Tabla II.15

RACK 16			
Punto	Velocidad (m/s)	Sección (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0,11	1,64	0,228
2	0,06		
3	0,07		
4	0,21		
5	0,09		
6	0,06		
7	0,17		
8	0,21		
9	0,24		
10	0,18		
Media	0,139		
Desviación	0,071	Temperatura (°C)	23,5

Tabla II.16

Al realizar la suma de los caudales de los 16 RACKs obtenemos lo siguiente:

CAUDAL TOTAL (m³/s)	6,399
---------------------------------------	-------

A continuación, se realiza también la medición de la temperatura en la superficie de salida de cada RACK, las cuales se resumen en la tabla II.17:

	Temperatura (°C)		Temperatura (°C)
RACK 1	26,3	RACK 9	34,7
RACK 2	30,1	RACK 10	41,3
RACK 3	28,3	RACK 11	35,8
RACK 4	33,0	RACK 12	33,1
RACK 5	34,6	RACK 13	36,6
RACK 6	41,1	RACK 14	40,4
RACK 7	37,6	RACK 15	37,2
RACK 8	34,6	RACK 16	40,1

Tabla II.17

Finalmente con el higrómetro se tomarán las medidas de temperatura y humedad en los 10 puntos que se observan en la figura II.2.

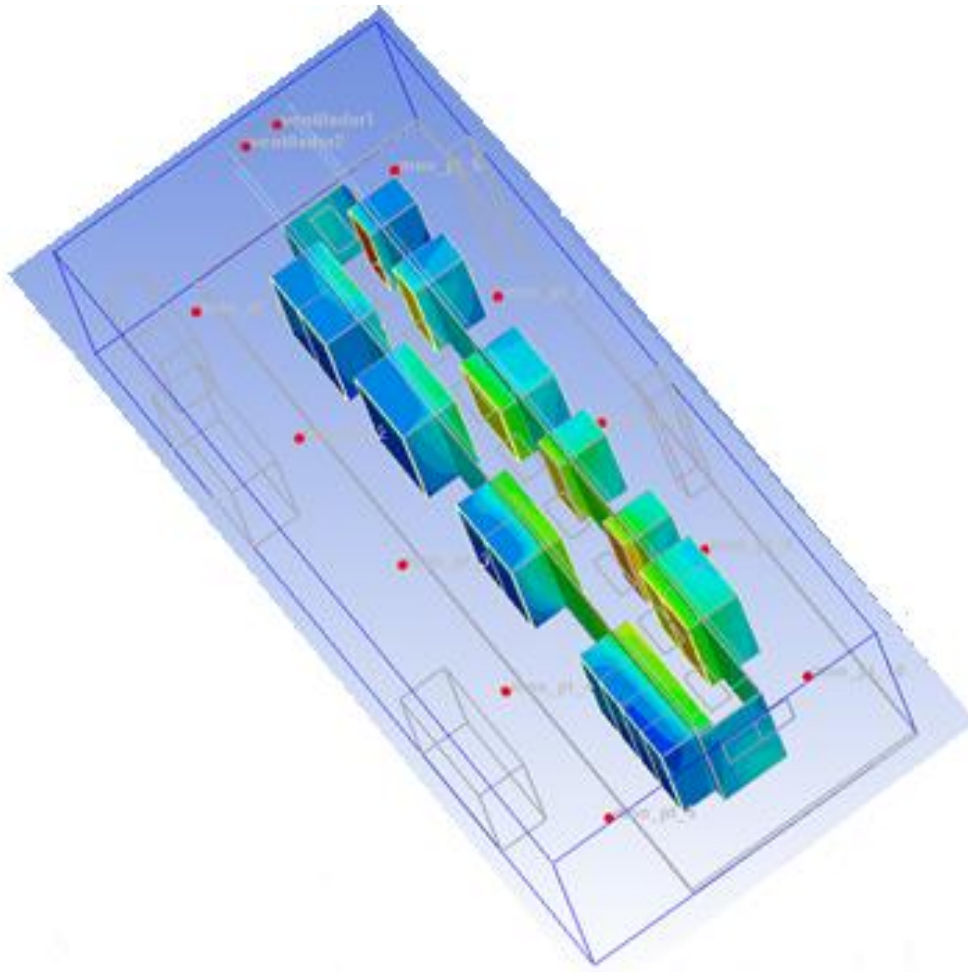


Figura II.2

Los valores de las medidas de dichos puntos se reflejan en la tabla II.18.

Punto	Temperatura (°C)	Humedad (%RH)
1	19,7	56,7
2	19,5	56
3	21,9	51,2
4	22,3	51,9
5	22,2	52,8
6	20,6	49,8
7	20,1	51,6
8	19,7	64,6
9	21,9	55,7
10	23,5	49,3

Tabla II.18

Faltaría por conocer los consumos de los RACKs que como se ha explicado en la memoria no se han podido medir. Así pues como se ha dicho, se han tomado estos valores de la bibliografía [5], lo cual se enuncia a continuación:

Se empieza en primer lugar por los 12 racks que cuelgan del SAI:

- Para saber la potencia consumida del SAI por los racks se necesita conocer la intensidad que circula por cada una de las fases del sistema trifásico. Los ingenieros informáticos Guillermo Losilla y Arturo Giner tienen una aplicación del SAI que permite ver por control remoto a través de cualquier ordenador con acceso a la aplicación las intensidades que circulan por cada una de las fases a través de Internet.

Así pues, con el acceso a la aplicación, se hizo un historial de dos semanas de medidas de intensidad por cada una de las fases para hacer una media del consumo de los racks.

Conviene aclarar que lo único que interesa de la aplicación es el dato de intensidad por cada una de las fases, pues el factor de carga es “irreal”, ya que el SAI se encuentra sobredimensionado (fue comprado muy posteriormente a la instalación de la línea), ya que puede darnos entorno a los 96 kW (120 kVAs) y sin embargo está limitado por la propia línea trifásica de 125A capaz de suministrar hasta unos 82 kW, por lo que el valor no nos sirve.

Se tiene 9 días con datos de la aplicación del SAI, y se tiene para el caso más desfavorable:

$$\text{FASE 1: } (100+101+100+101+100+100+97+98+98) / 9 = 99.5 \text{ A}$$

$$\text{FASE 2: } (72+73+72+71+72+72+73+77+77) / 9 = 73.2 \text{ A}$$

$$\text{FASE 3: } (101+102+99+97+99+101+96+94+95) / 9 = 98.2 \text{ A}$$

$$\rightarrow \text{Potencia de cada rack: } 230 \text{ V} \cdot (99.5 + 73.2 + 98.2) \text{ A} / 12 \text{ racks} \approx \mathbf{4800W}$$

Se va a suponer que el consumo es igual para cada rack, ya que aunque no sea totalmente cierto, los informáticos están de acuerdo en los valores obtenidos pues esos racks tienen todos unos consumos muy similares, y para una primera aproximación es suficiente.

Para los 4 racks restantes que cuelgan de un cuadro eléctrico independiente se van a estimar los siguientes valores de potencia, pues se intentó medir con miembros de mantenimiento con unas pinzas la intensidad en el cuadro y fue imposible debido al grado máximo de compactación con el que ahora se hacen estos cuadros.

Para los 4 racks de Memento al tener el consumo más elevado, los informáticos los tienen muy controlados y estimaron la potencia total en 44kW, es decir, **11000W** para cada rack.

ANEXO III. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En el presente anexo se procede a explicar detalladamente como se han construido cada uno de los modelos enunciados en este trabajo.

Para construir los modelos me he basado en el documento (ANSYS Icepak Tutorials 14.5 de octubre del 2012 publicado en USA).

Se empieza a explicar los modelos en el siguiente orden:

1. Modelo Aire Pasillo
2. Modelo Aire Calle
3. Modelo Aire Climatizadores

1. MODELO AIRE PASILLO

Para crear el modelo seguimos los siguientes pasos:

Paso 1: Crear un nuevo proyecto

1. Iniciar ANSYS Icepak.
2. Hacer clic en **New** en el panel **Welcome to Icepak** para iniciar un nuevo proyecto ANSYS Icepak
3. Especificar un nombre para el proyecto, en este caso **REFRIGERACIÓN AIRE PASILLO**, y hacer clic en **Create**.

ANSYS Icepak crea un armario predeterminado con las dimensiones 1 m × 1 m × 1 m, y lo muestra en la ventana gráfica.

Paso 2: Configurar las preferencias

En este paso se configuran el entorno del programa.

1. Ir a **Edit → Preferences**
2. Ir a **Display** en la carpeta **Options**
 - a. Seleccionar **Float** para **Color legend data format** e introducir 2 en **Numerical display precision**.
3. Ir a **Editing** en la carpeta **Options**
 - a. Establecer **Default Dimensions** a **Start/lenght**
4. Ir a **Object types** en la carpeta **Options**
 - a. Quitar **Decoration** e introducir 2 en **Width** para blocks, fans, openings, resistances, grilles y enclosures, tal y como aparece en la figura III.1

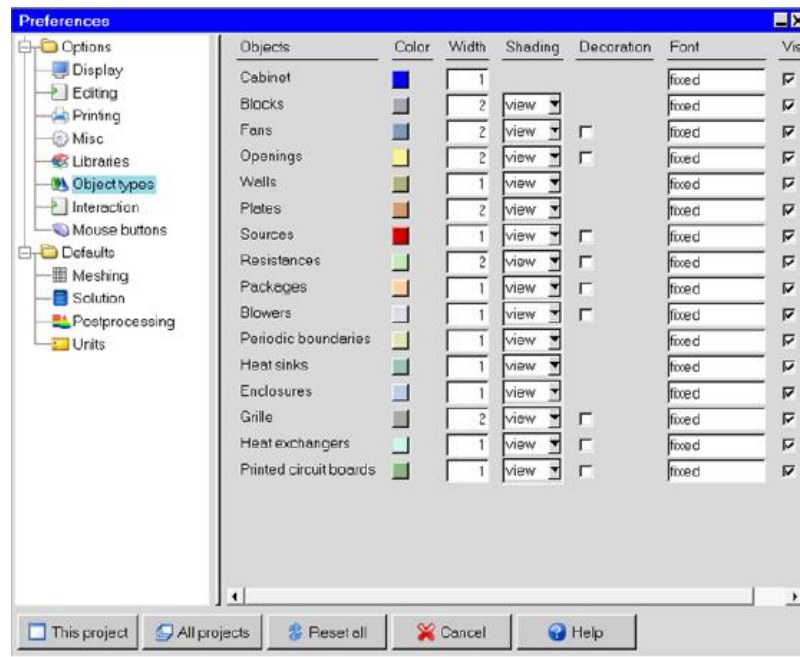


Figura III.1

5. Ir a **Units** en la carpeta **Defaults**
 - a. Hacer clic en **Set all to Imperial**
 - b. Hacer clic en **This project** para aplicar las preferencias a este proyecto

Paso 3: Construcción del modelo

En este paso se comienza a construir el modelo del CPD del BIFI con las herramientas del programa basándose en las medidas geométricas plasmadas en los planos del N° 2 al 5 del Anexo I y también en las medidas térmicas enunciadas en el Anexo II, (así que todas las medidas que aparecen a continuación se pueden consultar en los anexos mencionados), sin crear la entrada de aire calle, la cual se implementará en el segundo.

1. Dimensionar la cabina con las dimensiones del CPD:
 - a. Seleccionar **Cabinet** del árbol **Model** e introducir las dimensiones de la figura III.2

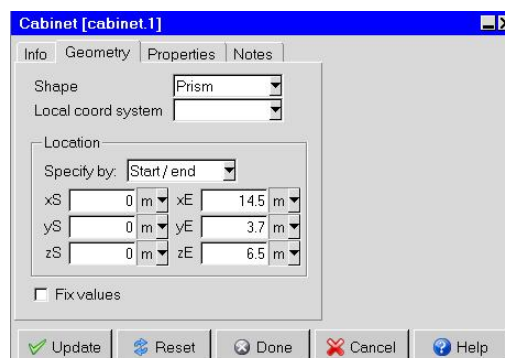


Figura III.2

- b. Hacer clic en **Apply**
 - c. Hacer clic en **Isometric view** (vista general del modelo)
2. Crear el suelo elevado:



- a. Hacer clic en **Create blocks**
- b. En **Name** poner *suelo elevado*
- c. En **Group** poner SUELO
- d. En **Type** seleccionar del desplegable **hollow** (para que este sea hueco)
- e. Introducir las dimensiones de la figura III.3

Blocks [suelo elevado]					
Info Geometry Properties Notes					
Shape		Prism			
Local coord system					
Location					
Specify by: Start / length					
xS	0 m	xL	14.5 m		
yS	0 m	yL	0.15 m		
zS	0 m	zL	4.5 m		

Figura III.3

3. Crear las columnas de la sala siguiendo el mismo procedimiento que para el suelo, con las dimensiones y nombres de las figuras III.4 y III.5

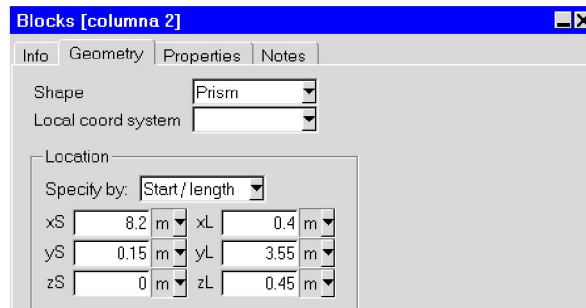
Blocks [columna 1]					
Info Geometry Properties Notes					
Shape		Prism			
Local coord system					
Location					
Specify by: Start / length					
xS	2.7 m	xL	0.4 m		
yS	0.15 m	yL	3.55 m		
zS	0 m	zL	0.45 m		

Figura III.4

Blocks [SAI]					
Info Geometry Properties Notes					
Shape		Prism			
Local coord system					
Location					
Specify by: Start / length					
xS	0.2 m	xL	1.6 m		
yS	0 m	yL	1.8 m		
zS	5.3 m	zL	0.75 m		

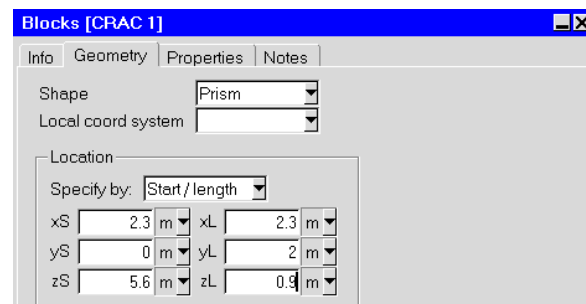
Figura III.5

4. Crear el SAI (sistema de alimentación ininterrumpido) y las dos climatizadoras (modeladas como dos bloques que ocupan un espacio del dominio), siguiendo el procedimiento anterior con los datos de las figuras III.6, III.7 y III.8



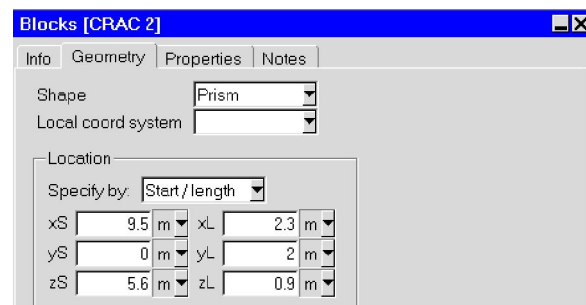
Property	Value	Unit
Shape	Prism	
Local coord system		
Location		
Specify by:	Start / length	
xS	8.2	m
xL	0.4	m
yS	0.15	m
yL	3.55	m
zS	0	m
zL	0.45	m

Figura III.6



Property	Value	Unit
Shape	Prism	
Local coord system		
Location		
Specify by:	Start / length	
xS	2.3	m
xL	2.3	m
yS	0	m
yL	2	m
zS	5.6	m
zL	0.9	m

Figura III.7



Property	Value	Unit
Shape	Prism	
Local coord system		
Location		
Specify by:	Start / length	
xS	9.5	m
xL	2.3	m
yS	0	m
yL	2	m
zS	5.6	m
zL	0.9	m

Figura III.8

El modelo va quedando como se observa en la figura III.9.

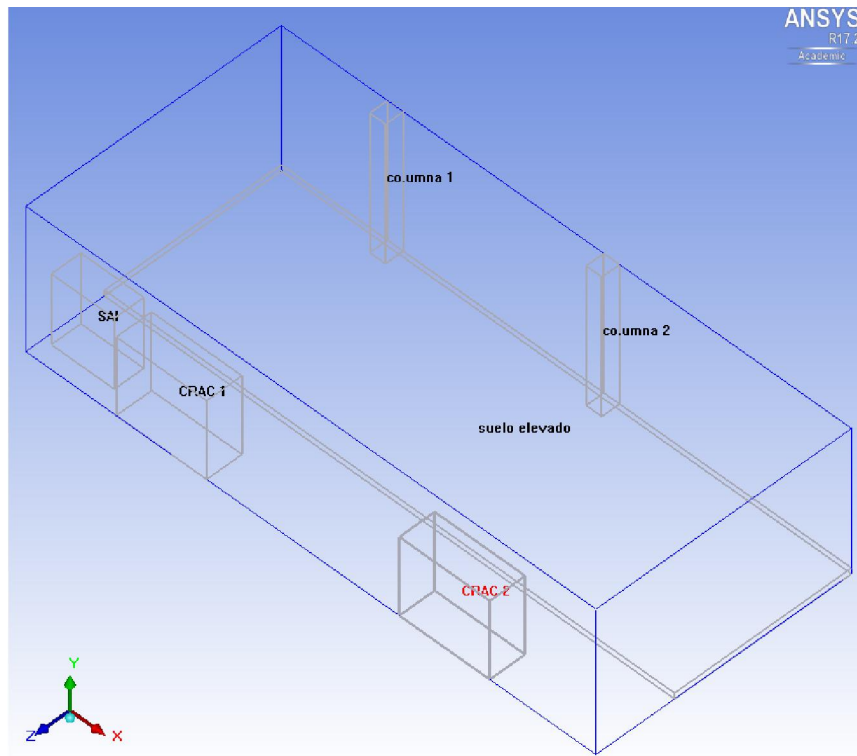


Figura III.9

5. A continuación se crean cada uno de los 16 RACKs de la sala en los que irán albergados los ordenadores y servidores.
 - a. Crear el primer RACK: ir a **Macros** → **Datacenter components** → **Rack (front to rear)**; (el flujo de aire entra por la parte delantera y sale por la trasera del rack)
 - b. Introducir las dimensiones de la figura III.10
 - c. Establecer la dirección del flujo de aire como $-Z$
 - d. Especificar una carga de calor de 4800 W
 - e. Especificar un flujo volumétrico de $0.5856 \text{ m}^3/\text{s}$

Figura III.10

f. El resto de RACKs se crean de la misma manera que este, con los datos que se reflejan en la tabla III.1

	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)	Flow direction	Heat load (W)	Volume flow (m ³ /s)
RACK 2	2,7	0,15	2,8	0,8	2,05	1	- Z	4800	0,328
RACK 3	4,4	0,15	2,75	1,4	2,2	1,05	- Z	4800	0,587
RACK 4	7,3	0,15	2,8	0,8	2,05	1	- Z	4800	0,423
RACK 5	8,1	0,15	2,8	0,8	2,05	1	- Z	4800	0,368
RACK 6	10,85	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,460
RACK 7	11,45	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,603
RACK 8	12,05	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,668
RACK 9	12,65	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,731
RACK 10	1,7	0,15	1,15	0,6	2	0,95	+ Z	4800	0,164
RACK 11	3,1	0,15	1,15	0,6	2,1	1	+ Z	4800	0,232
RACK 12	5,1	0,15	1,15	1,15	1,8	1,1	+ Z	4800	0,274
RACK 13	7,2	0,15	1,15	0,6	2	0,95	+ Z	4800	0,245
RACK 14	9,1	0,15	1,15	0,6	2	0,95	+ Z	4800	0,208
RACK 15	10,25	0,15	1,15	0,6	2,05	1	+ Z	4800	0,296
RACK 16	10,85	0,15	1,15	0,8	2,05	1	+ Z	4800	0,228

Tabla III.1

- g. Crear un grupo que englobe a todos los racks para poder después analizarlos de manera conjunta, de la siguiente manera:
Seleccionar con **Shift + botón izquierdo** del ratón desde *rack 1* hasta *rack 16-ops* → **Botón derecho** → **Create** y clic en **Group** → Se introduce el nombre **RACKS** para este grupo → Clic en **Done**.

El modelo va quedando como se observa en la figura III.11.

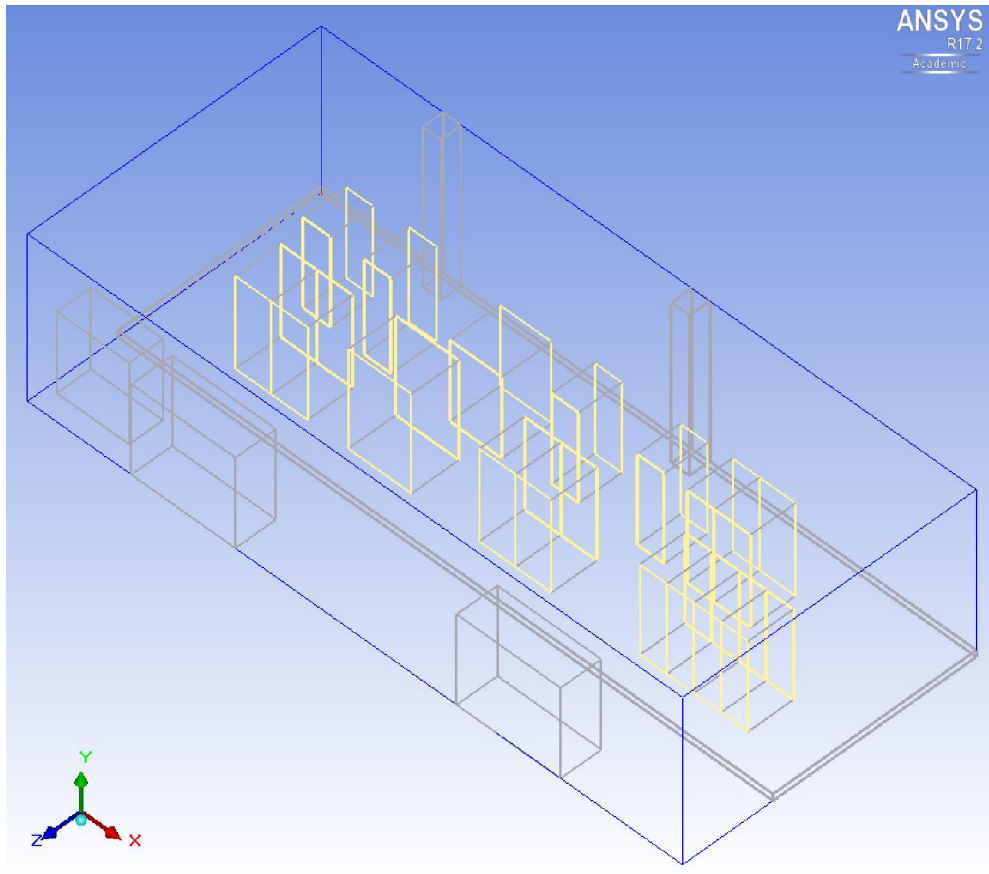


Figura III.11

6. Crear el conducto de extracción del aire caliente a través del cual se conduce el aire caliente de la sala al exterior del edificio:



- Clic en el icono **Create enclosures**
- En la pestaña **Info** se introduce en **Name** el nombre *conductoextraccion*
- En la pestaña **Geometry** se introducen las dimensiones que se ven en la figura III.12

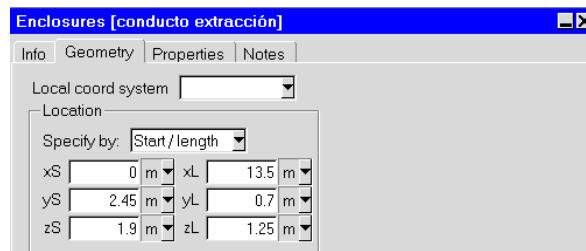


Figura III.12

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar **Boundary type** de **Min X** a **Open**, consiguiéndose un conducto abierto por el plano de la cara de menor distancia en el eje X.

El modelo va quedando como se observa en la figura III.13.

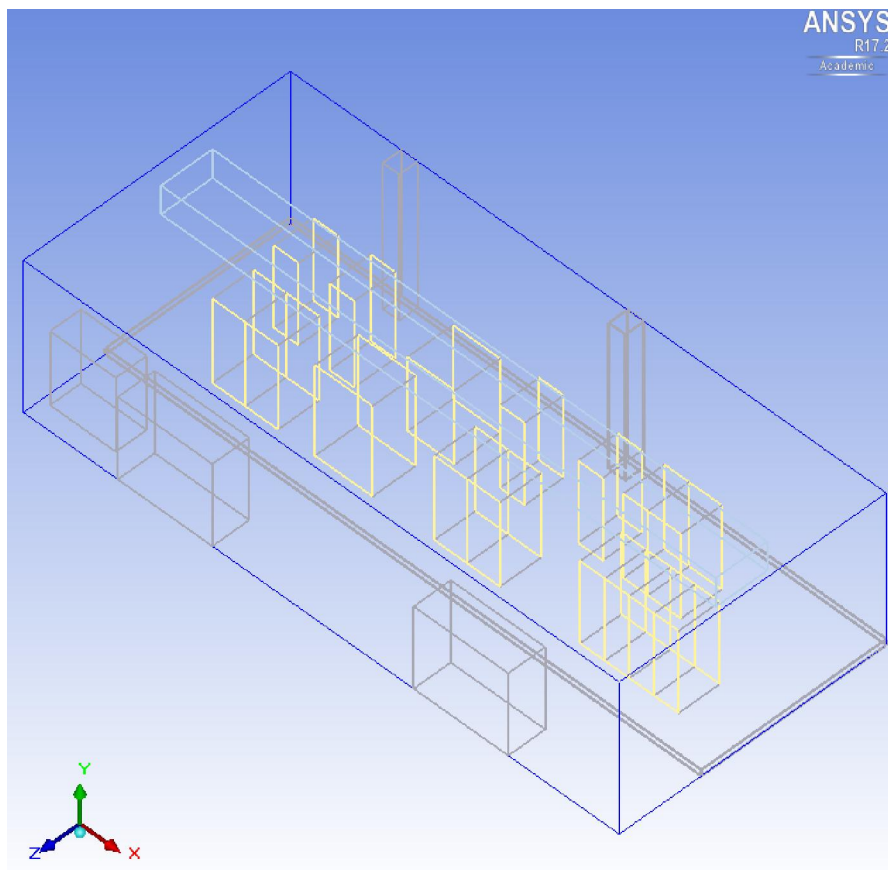



Figura III.13

7. Crear los orificios de extracción, simulados como dos ventiladores (que en este caso son los de las extractoras del tejado) de forma rectangular por los que el aire es succionado del interior de la sala hacia el exterior:

- a. Clic en el icono **Create fans** 
- b. En la pestaña **Info**, introducir *ventilador1* en **Name**

- c. En la pestaña **Geometry** introducir **Rectangular** en **Shape**, **Y-Z** en **Plane** y las dimensiones de la figura III.14

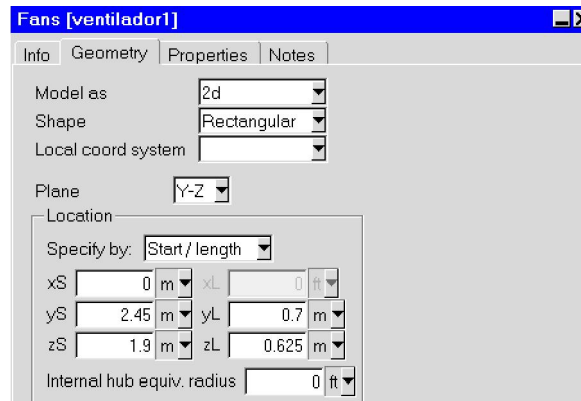


Figura III.14

- d. En la pestaña **Properties** establecer **Exhaust** para **Fan type**, **Fixed** para **Flow type** y $3.1449 \text{ m}^3/\text{seg}$ en la casilla **Volumetric**, como se observa en la figura III.15

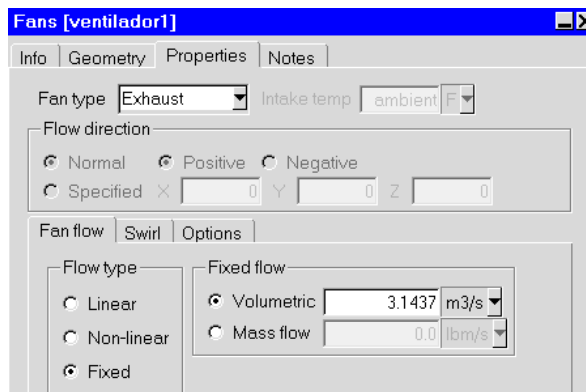


Figura III.15

- e. Se repiten los pasos anteriores para el segundo ventilador (*ventilador2*), con las dimensiones de la figura III.16

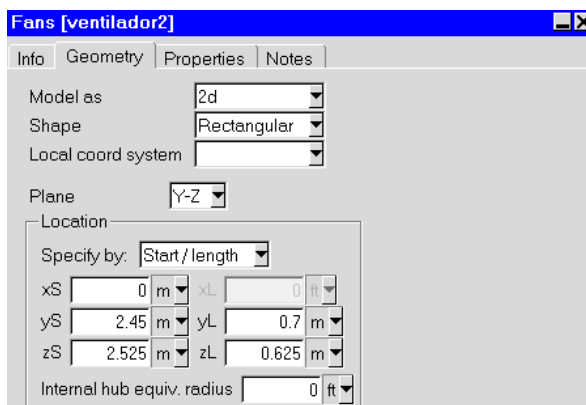


Figura III.16

- f. Se crea un grupo llamado EXTRACCION que englobe estos dos ventiladores, de la misma manera que se ha realizado anteriormente.
- g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares para estos dos ventiladores:



- Clic en el icono **Generate Mesh** ().
- En la pestaña **Local**, marcar **Object params** y pulsar **Edit**
- Seleccionar *ventilador1* y *ventilador2*, marcar **Use per-object parameters**
- Marcar **Ycount** y **Zcount**, e introducir en el campo **Request** un **4**
- Hacer clic en **Done** y **Close**.

8. Crear las rejillas por las que se succiona el aire caliente hacia los conductos de extracción:



- a. Clic en el icono **Create grille** ().
- b. En la pestaña **Info** introducir *rejilla1* en **Name**
- c. En la pestaña **Geometry**, establecer **X-Z** en **Plane** e introducir las dimensiones de la figura III.17

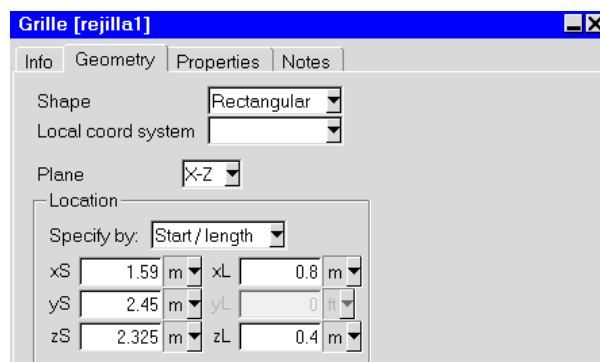


Figura III.17

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar únicamente el valor de **Free area ratio** a 0.7 (valor estimado típico para apertura de rejillas en CPDs).
- e. Crear el resto de rejillas siguiendo los pasos anteriores, modificando únicamente las dimensiones a introducir del *paso c*, que en este caso serán para cada una de las rejillas las dimensiones que se recogen en la tabla III.2 y con la misma **Free área ratio** de 0.7 para todas

	Plane	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)
Rejilla 2	X-Z	2,94	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 3	X-Z	4,29	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 4	X-Z	5,64	2,45	2,375	0,8	-	0,3
Rejilla 5	X-Z	7,02	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 6	X-Z	8,37	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 7	X-Z	9,75	2,45	2,375	0,8	-	0,3
Rejilla 8	X-Z	11,1	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 9	X-Z	12,45	2,45	2,325	0,8	-	0,4

Tabla III.2

- f. Se seleccionan todas las rejillas y se agrupan bajo el nombre REJILLAS
- g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares, siguiendo estrictamente los mismos pasos que en el *apartado anterior 7g*, seleccionando en esta ocasión las nuevas rejillas creadas.

El modelo va quedando como se observa en la figura III.18.

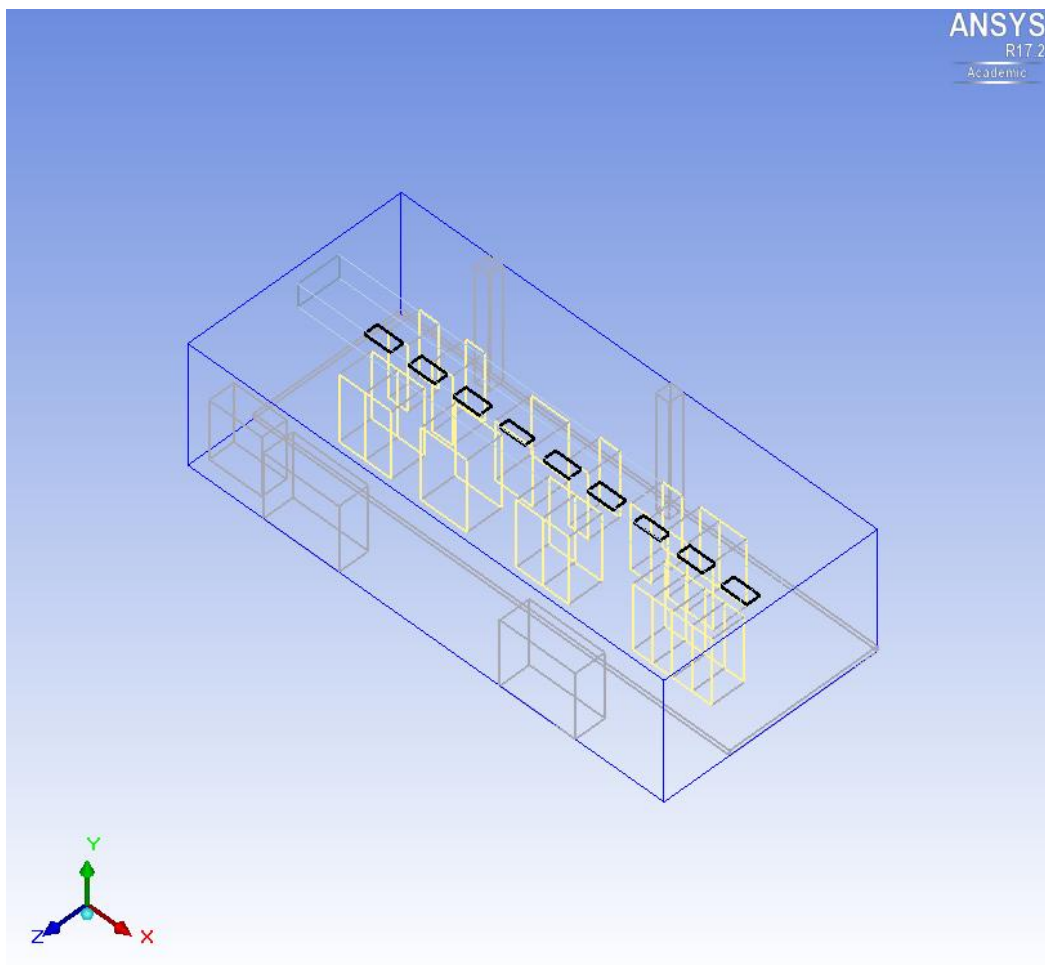


Figura III.18

9. Crear las “paredes” del pasillo caliente, que en este caso al haber una pequeña cantidad de fugas se simularán como si fueran rejillas con una mínima área de paso de aire (se suponen unas pérdidas del 5%):
- Se procede a construir las rejillas del mismo modo que en el apartado 8, introduciendo en este caso los valores que se recogen en la tabla III.3
 - Se seleccionan todos los plásticos y se agrupan con el nombre LAMINAS

	Plane	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)
Lámina 1	X-Y	1,4	0,15	3,15	0,5	2,3	-
Lámina 2	X-Y	3,5	0,15	3,15	0,9	2,3	-
Lámina 3	X-Y	5,8	0,15	3,15	1,5	2,3	-
Lámina 4	X-Y	8,9	0,15	3,15	1,95	2,3	-
Lámina 5	X-Y	13,25	0,15	3,15	0,25	2,3	-
Lámina 6	Y-Z	13,5	0,15	3,15	-	2,3	-1,25
Lámina 7	Y-Z	1,4	0,15	1,9	-	2,3	1,25
Lámina 8	X-Y	1,4	0,15	1,9	0,3	2,3	-
Lámina 9	X-Y	2,3	0,15	1,9	0,8	2,3	-
Lámina 10	X-Y	3,7	0,15	1,9	1,4	2,3	-
Lámina 11	X-Y	6,25	0,15	1,9	0,95	2,3	-
Lámina 12	X-Y	7,8	0,15	1,9	1,3	2	-
Lámina 13	X-Y	9,7	0,15	1,9	0,55	2,3	-
Lámina 14	X-Y	11,65	0,15	1,9	1,85	2,3	-
Lámina 15	X-Y	1,9	2,2	3,15	1,6	0,25	-
Lámina 16	X-Y	4,4	2,35	3,15	1,4	0,1	-
Lámina 17	X-Y	7,3	2,2	3,15	1,6	0,25	-
Lámina 18	X-Y	10,85	2,15	3,15	2,4	0,3	-
Lámina 19	X-Y	1,7	2,15	1,9	0,6	0,3	-
Lámina 20	X-Y	3,1	2,25	1,9	0,6	0,2	-
Lámina 21	X-Y	5,1	1,95	1,9	1,15	0,5	-
Lámina 22	X-Y	7,2	2,15	1,9	2,5	0,3	-
Lámina 23	X-Y	10,25	2,2	1,9	1,4	0,25	-

Tabla III.3

El modelo va quedando como se observa en la figura III.19.

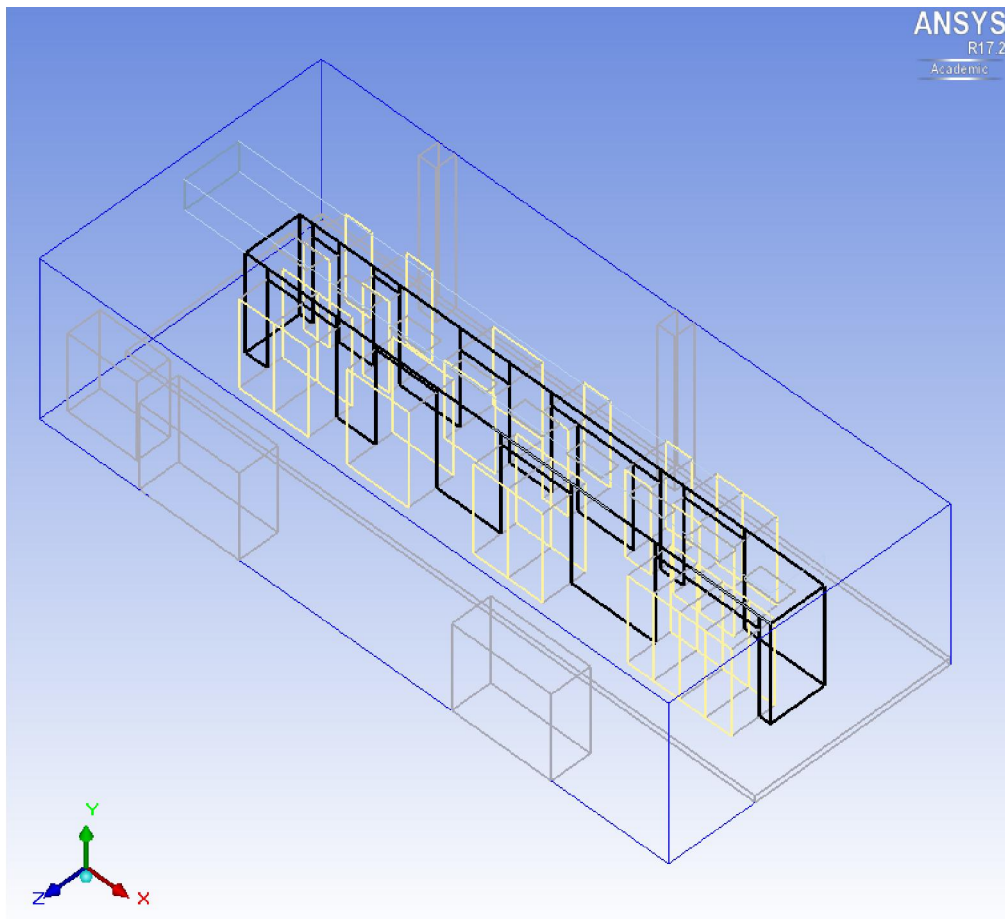



Figura III.19

Hasta este apartado, la sala es igual para los tres modelos. A partir de aquí se van a incluir en cada modelo sus respectivos elementos. En este primer caso, AIRE PASILLO, se van a incluir las entradas del aire de refrigeración provenientes del pasillo.

10. Crear las entradas del aire de refrigeración del pasillo:

- a. Clic en el icono **Create fans** 
- b. En la pestaña **Info**, introducir en **Name** *refrigeracion1*
- c. En la pestaña **Geometry**, cambiar **Shape** a **Rectangular** e introducir las dimensiones que aparecen en la figura III.20

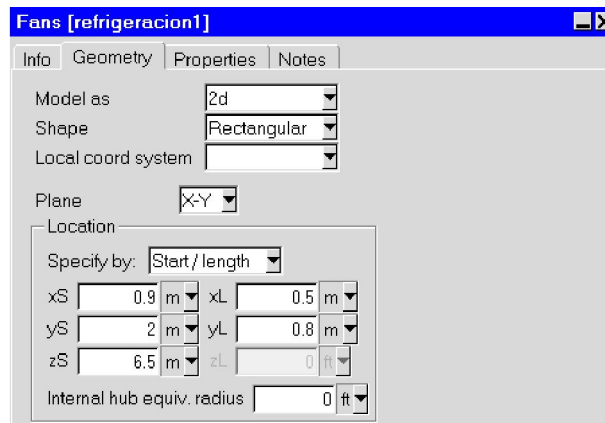


Figura III.20

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar **Intake temp** a **19°C**, establecer **Flow type** en **Fixed**, e introducir el valor de caudal para este caso que es $2.097 \text{ m}^3/\text{s}$ como se observa en la figura III.21

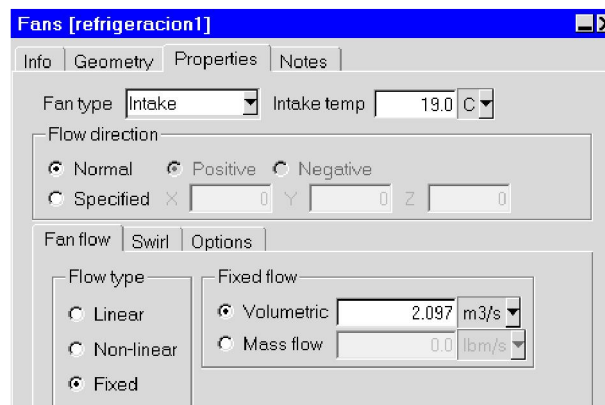


Figura III.21

- e. Para la segunda y tercera entrada de aire, *refrigeracion2* y *refrigeracion3*, seguir los mismos pasos anteriores, introduciendo para cada una las dimensiones que aparecen en las figuras III.22 y III.23, con los mismos valores de temperatura y caudal de la *refrigeracion1*.

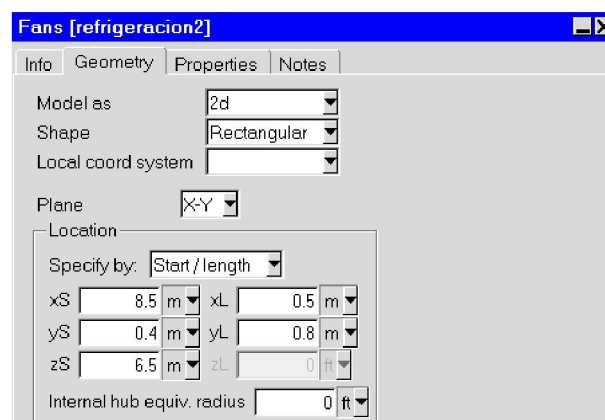


Figura III.22

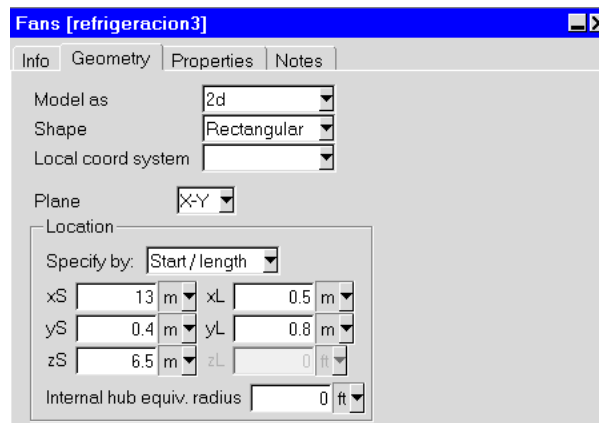


Figura III.23

- f. Agrupar las tres entradas de aire con el nombre REFRIGERACION
- g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares, siguiendo idénticamente los pasos del apartado 7g, para estas tres entradas (*refrigeracion1*, *refrigeracion2* y *refrigeracion3*)

El modelo va quedando como se observa en la figura III.24.

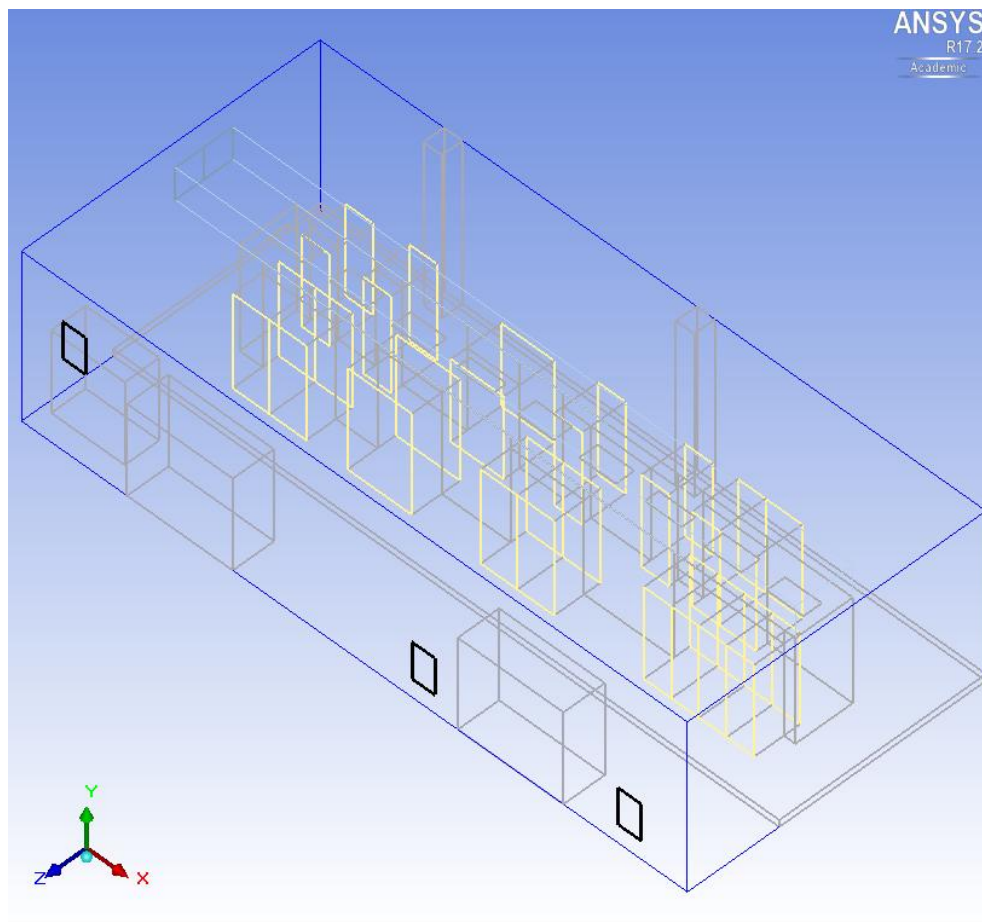



Figura III.24

Paso 4: Generar el mallado

En este apartado se va a proceder a generar el mallado global del modelo.

1. Generar la malla:

- Hacer clic en el icono **Generate Mesh** .
- Dejar los valores que aparecen por defecto recomendados por el programa, como se puede ver en la figura III.25

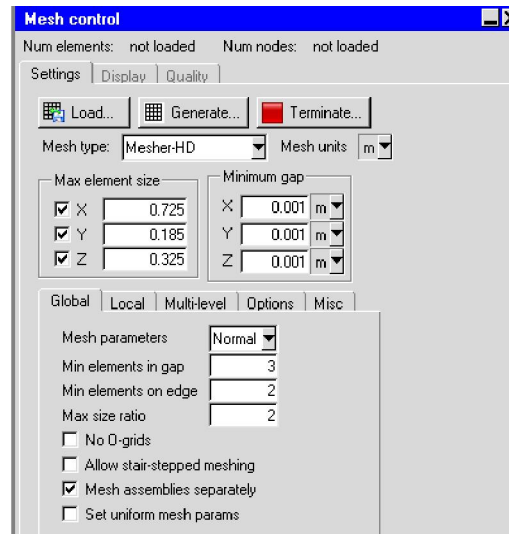


Figura III.25

- Hacer clic en **Generate and Close**.

Paso 5: Crear Monitor Points







Los Monitor points son puntos que permite monitorizar el programa, en los cuales se puede saber específicamente algunas variables de gran interés como son la temperatura, velocidad, presión, etc.

En este caso interesa únicamente la temperatura, así que se eligen dos puntos para monitorizar dicha variable, los cuales son *ventilador1* y *ventilador2*, que son parte de la extracción, para lo cual se arrastran del árbol de modelado los dos ventiladores de extracción, *ventilador1* y *ventilador2*, a la carpeta Points.

Paso 6: Configuración de los parámetros físicos y numéricos

Antes de simular el modelo, hay que introducir en el programa una serie de consignas y pautas, numéricas y físicas, para que pueda resolver el modelo satisfactoriamente. Los valores de los parámetros que se indican a continuación (Momentum, Temperature,

Viscosity, Body Forces y Joule heating potencial) son el resultado de las pruebas realizadas para calibrar el programa con las cuales se ha obtenido la solución más ajustada al valor experimental de la temperatura de extracción, mencionadas en la sección 4:

1. Configuración de parámetros físicos y numéricos:
 - a. Ir a  **Problem setup** →  **Basic parameters.**
 - b. En la pestaña **General setup**:
 - Desactivar **Radiation**
 - Seleccionar **Turbulent** y **Zero equation** para **Flow regime**
 - Marcar **Gravity vector**
 - c. En la pestaña **Defaults**:
 - Seleccionar **Myca-Typical** para **Insulators** en la sección **Default solid**
 - Seleccionar **Paint-non-metallic** para **Paint** en la sección **Default surface**
 - d. En la pestaña **Transient setup**, introducir un valor inicial de **0.5 m/s** para **Y velocity**
 - e. En la pestaña **Advanced**
 - Seleccionar **Boussinesq approx**
 - Marcar **Operating density**
 - f. Hacer clic en **Accept**
 - g. Ir a  **Solution settings** →  **Basic settings.**
 - h. Cambiar el **número de iteraciones a 1000** y el **criterio de convergencia de la energía a 1e-6**. Aceptar.
 - i. Ir a  **Solution settings** →  **Advanced settings.**
 - Seleccionar para **Pressure** en **Discretization scheme** → **Body Force Weighted**
 - Para los valores de **Under-relaxation** introducir, **0.3** para **Momentum**, **0.8** para **Temperature**, **0.8** para **Viscosity**, **0.2** para **Body Forces** y **0.8** para **Joule heating potencial**.
 - Aceptar.


Paso 7: Guardar y calcular la solución

1. **File** → **Save Project**
2. **Solve** → **Run solution**
3. Hacer clic en **Start Solution**

Paso 8: Examinar los resultados

En este apartado se explicará rápidamente algunas maneras de poder examinar los resultados obtenidos:

1. Mostrar contornos de temperatura de racks y plásticos:

- a. Clic en el icono **Object Face** .
- b. Introducir un nombre, por ejemplo *temperatura-racks*
- c. En la lista de objetos, seleccionar en el apartado grupos, RACKS y LAMINAS. **Aceptar**
- d. Marcar **Show contours** y hacer clic en **Create**. Se obtiene lo que se observa en la figura III.26

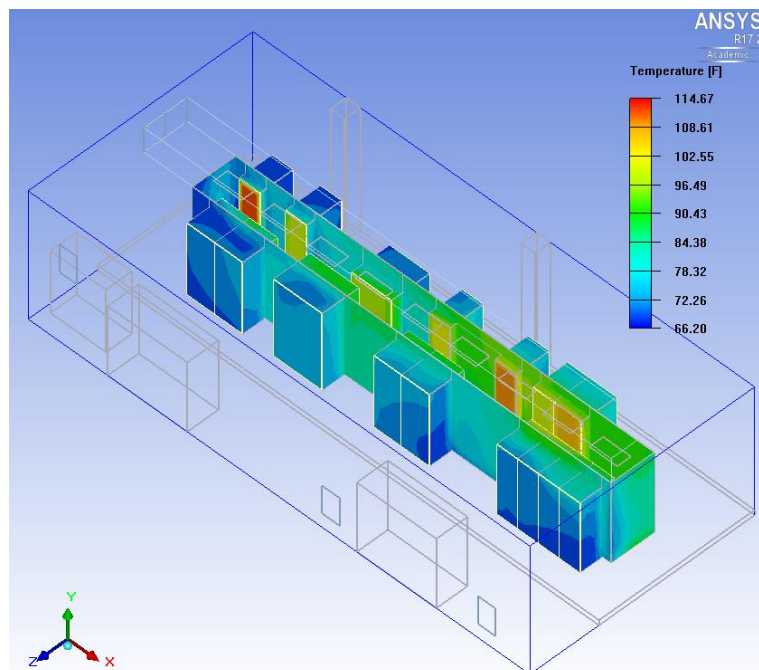



Figura III.26

2. Mostrar un plano de temperatura cualquiera de la sala:

- a. Hacer clic en el icono **Plane Cut** .
- b. Introducir un nombre, por ejemplo *temperatura-pasillocaliente*
- c. Marcar **Show contours** y clic en **Create**, se obtiene lo que se observa en la figura III.27

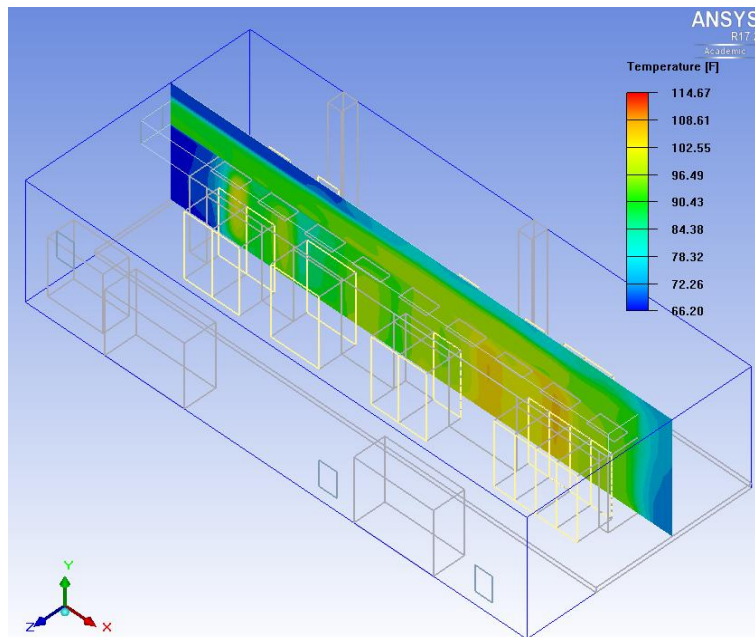


Figura III.27

2. MODELO AIRE CALLE

En este segundo caso la refrigeración del CPD se realiza con aire procedente de la calle, así que para construirlo se deben seguir todos los pasos que se han descrito en el MODELO AIRE PASILLO a excepción del apartado 10 que es el único que se debe modificar, lo cual se hace de la siguiente manera:

1. Crear la entrada de aire de refrigeración de la calle, la cual se modeliza mediante dos ventiladores como se ve a continuación:



- a. Hacer clic en el icono **Create fans**
- b. En la pestaña **Info**, introducir en **Name** *refrigeracion1*
- c. En la pestaña **Geometry**, cambiar **Shape** a **Rectangular** e introducir las dimensiones que aparecen en la figura III.28

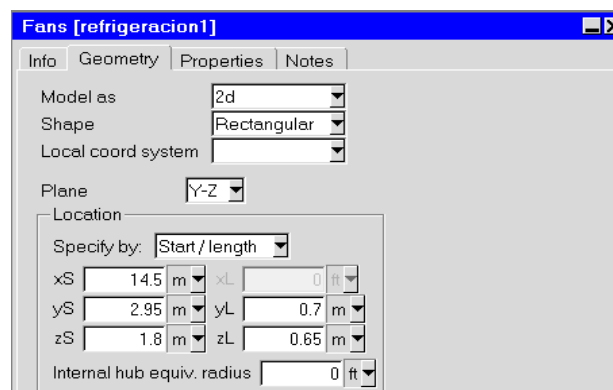


Figura III.28

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar **Intake temp** a **14°C** (la temperatura a la que se supone el aire exterior), establecer **Flow type** en **Fixed**, e introducir el valor de caudal para este caso que es $3.1449 \text{ m}^3/\text{s}$ como se observa en la figura III.29

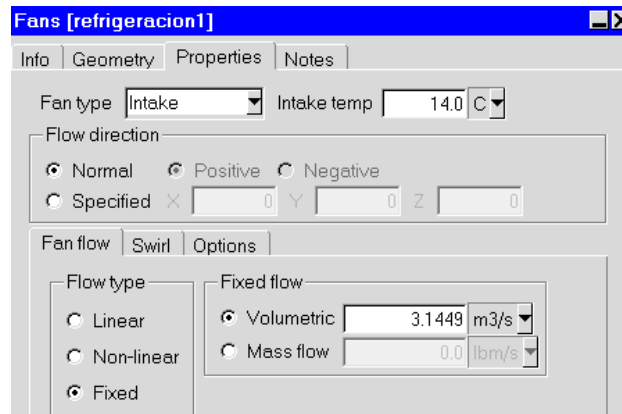


Figura III.29

- e. Para el segundo ventilador, *refrigeracion2*, seguir los mismos pasos anteriores, introduciendo para cada una las dimensiones que aparecen en la figura III.30, con los mismos valores de temperatura y caudal de la *refrigeracion1*.

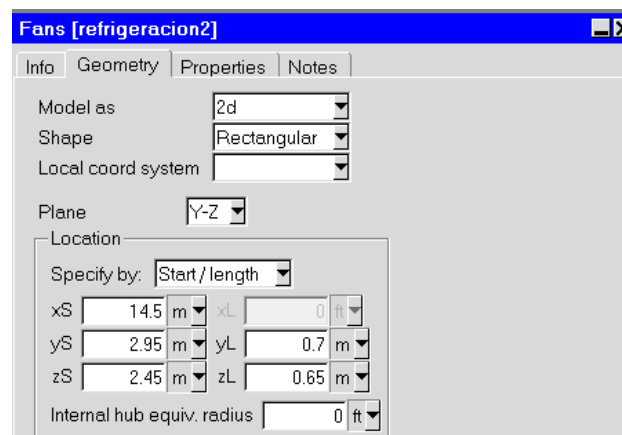


Figura III.30

- f. Agrupar los dos ventiladores con el nombre REFRIGERACION
g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares, siguiendo idénticamente los pasos del apartado 7g, para estos dos ventiladores (*refrigeracion1* y *refrigeracion2*).

El modelo queda como se observa en la figura III.31.

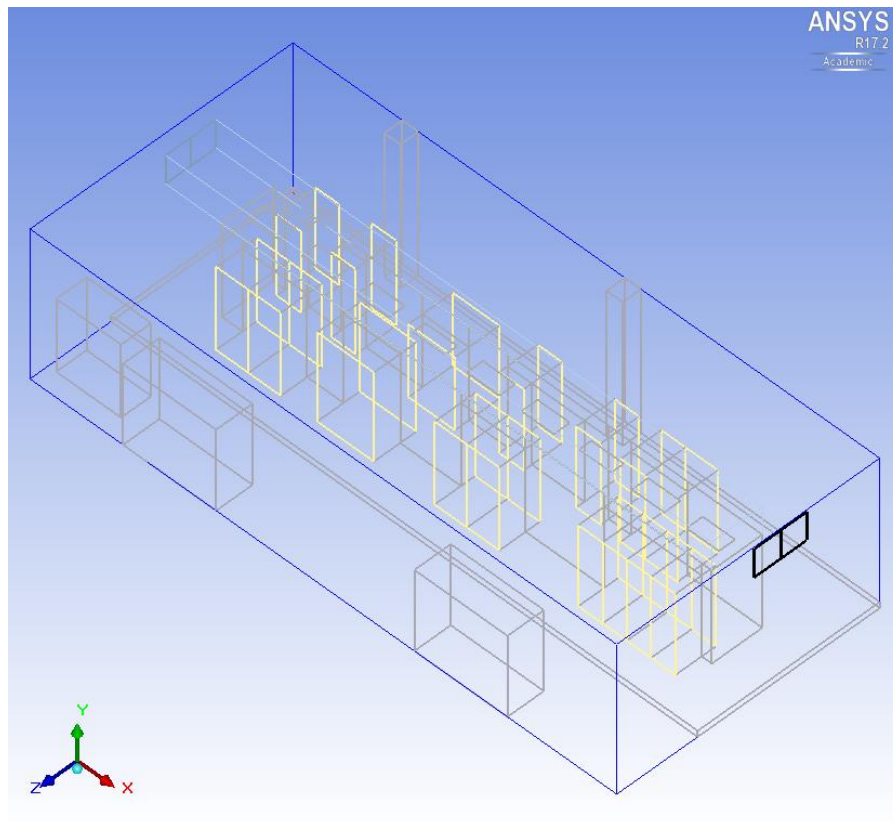


Figura III.31

3. MODELO AIRE CLIMATIZADORES

En este tercer caso la refrigeración del CPD se realiza con aire procedente de los climatizadores, así que para construirlo se deben seguir todos los pasos que se han descrito en el MODELO AIRE PASILLO a excepción del apartado 10 que es el único que se debe modificar, lo cual se hace de la siguiente manera:

1. Crear los conductos por los que circula el aire frío de las climatizadoras:
 - a. Hacer clic en el icono **Create enclosures**
 - b. Crear los 13 conductos a partir de los datos de la tabla III.4, los cuales han sido tomados del plano N° 6 del Anexo I.

	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)	MinX	MaxX	MinY	MaxY	MinZ	MaxZ
Conducto 1	2,95	2	6,15	1,3	1,3	0,35	-	-	Open	Open	-	-
Conducto 2	2,95	3,3	4,4	1,3	0,35	2,1	-	-	-	-	Open	-
Conducto 3	0,45	3,3	3,8	5,85	0,35	0,6	-	-	-	-	-	-
Conducto 4	4,35	3,3	1,4	1	0,35	2,4	-	-	-	-	Open	Open
Conducto 5	0,65	3,3	1,08	1,12	0,35	0,67	-	-	-	-	Open	-
Conducto 6	1,77	3,3	1,4	1,78	0,35	0,35	Open	-	-	-	-	-
Conducto 7	2,9	3,3	0,75	8,3	0,35	0,65	-	-	-	-	-	-
Conducto 8	10,05	2	6,15	1,3	1,3	0,35	-	-	Open	Open	-	-
Conducto 9	10,05	3,3	4,4	1,3	0,35	2,1	-	-	-	-	Open	-
Conducto 10	8,35	3,3	3,8	5,65	0,35	0,6	-	-	-	-	-	-
Conducto 11	9,3	3,3	1,4	1	0,35	2,4	-	-	-	-	Open	Open
Conducto 12	12,33	3,3	1,08	1,12	0,35	0,67	-	-	-	-	Open	-
Conducto 13	10,55	3,3	1,4	1,78	0,35	0,35	-	Open	-	-	-	-

Tabla III.4

- c. Crear las 10 aperturas necesarias para que circule el aire a través de los conductos
- Hacer clic en **Create openings**
 - Introducir para cada una los datos de la tabla III.5

	Plane	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)
Abertura 1	X-Z	2,95	3,3	6,15	1,3	-	0,35
Abertura 2	X-Y	2,95	3,3	4,4	1,3	0,35	-
Abertura 3	X-Y	4,35	3,3	3,8	1	0,35	-
Abertura 4	X-Y	4,35	3,3	1,4	1	0,35	-
Abertura 5	X-Y	2,9	3,3	1,4	0,65	0,35	-
Abertura 6	Y-Z	1,77	3,3	1,4	-	0,35	0,35
Abertura 7	X-Z	10,05	3,3	6,15	1,3	-	0,35
Abertura 8	X-Y	10,05	3,3	4,4	1,3	0,35	-
Abertura 9	X-Y	9,3	3,3	3,8	1	0,35	-
Abertura 10	X-Y	9,3	3,3	1,4	1	0,35	-
Abertura 11	X-Y	10,55	3,3	1,4	0,65	0,35	-
Abertura 12	Y-Z	12,33	3,3	1,4	-	0,35	0,35

Tabla III.5

El modelo va quedando como se observa en la figura III.32.

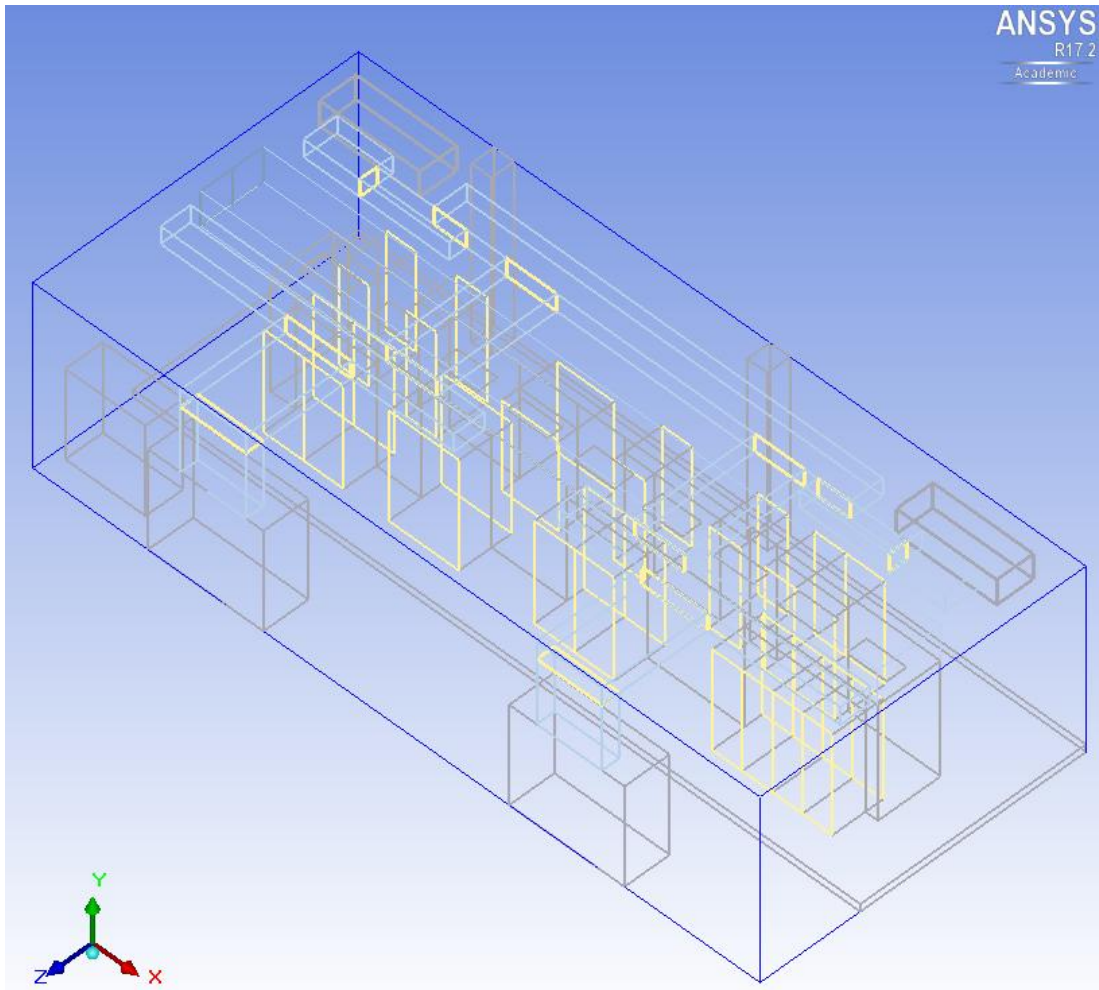



Figura III.32

2. Crear las rejillas de los conductos por donde saldrá el aire frío para distribuirse por la sala

- a. Clic en el icono **Create grille** .
- b. En la pestaña **Info** introducir *rejillafria1* en **Name**
- c. En la pestaña **Geometry**, establecer **X-Z** en **Plane** e introducir las dimensiones de la figura III.33

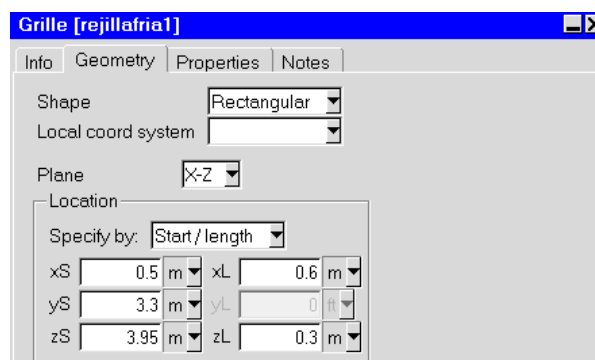


Figura III.33

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar únicamente el valor de **Free area ratio** a 0.7 (valor estimado típico para apertura de rejillas en CPDs).
- e. Crear el resto de rejillas siguiendo los pasos anteriores, modificando únicamente las dimensiones a introducir del *paso c*, que en este caso serán para cada una de las rejillas las dimensiones que se recogen en la tabla III.6 y con la misma **Free área ratio** de 0.7 para todas

	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)
Rejilla fría 2	1,6	3,3	3,95	0,6	-	0,3
Rejilla fría 3	3,5	3,3	3,95	0,6	-	0,3
Rejilla fría 4	5,6	3,3	3,95	0,6	-	0,3
Rejilla fría 5	8,45	3,3	3,95	0,6	-	0,3
Rejilla fría 6	10,55	3,3	3,95	0,6	-	0,3
Rejilla fría 7	12,45	3,3	3,95	0,6	-	0,3
Rejilla fría 8	13,35	3,3	3,95	0,6	-	0,3
Rejilla fría 9	3,15	3,3	0,925	0,6	-	0,3
Rejilla fría 10	4,25	3,3	0,925	0,6	-	0,3
Rejilla fría 11	5,5	3,3	0,925	0,6	-	0,3
Rejilla fría 12	6,75	3,3	0,925	0,6	-	0,3
Rejilla fría 13	8,05	3,3	0,925	0,6	-	0,3
Rejilla fría 14	9,3	3,3	0,925	0,6	-	0,3
Rejilla fría 15	10,35	3,3	0,925	0,6	-	0,3

Tabla III.6

- f. Se seleccionan todas las rejillas y se agrupan bajo el nombre REJILLASFRIAS
 - g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares, siguiendo estrictamente los mismos pasos que en el *apartado anterior 7g*, seleccionando en esta ocasión las nuevas rejillas creadas.
3. Crear los cuatro ventiladores que simularán la producción de aire de refrigeración de cada uno de los climatizadores llamadas *refrigeracion1*, *refrigeración2*, *refrigeracion3* y *refrigeración4*,
 - En primer lugar las *refrigeracion1* y *refrigeración2* (que son iguales) con las características que aparecen en las siguientes las figuras III.34, III.35 y III.36 (dimensiones, caudal, temperatura):

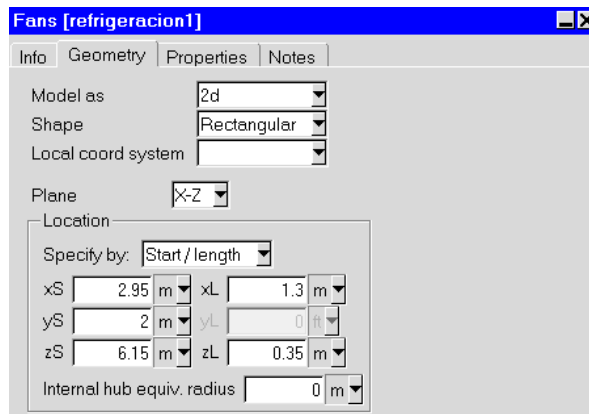


Figura III.34

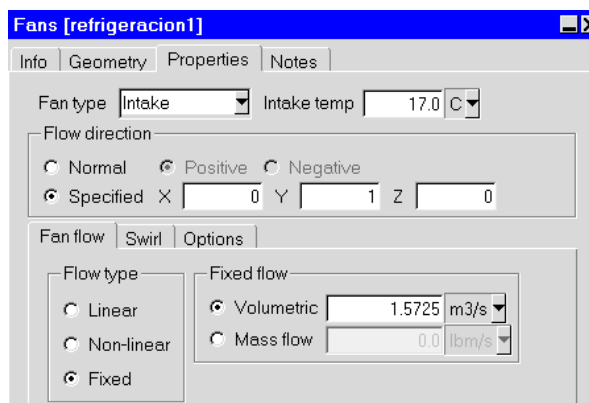


Figura III.35

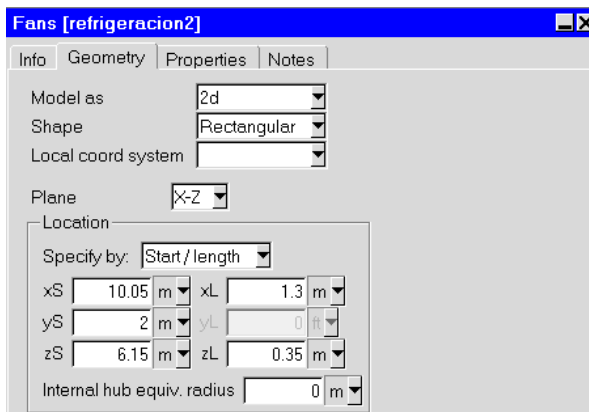


Figura III.36

- En segundo lugar las *refrigeracion3* y *refrigeración4* (que son iguales) con las características que aparecen en las siguientes las figuras III.37, III.38 y III.39 (dimensiones, caudal, temperatura):

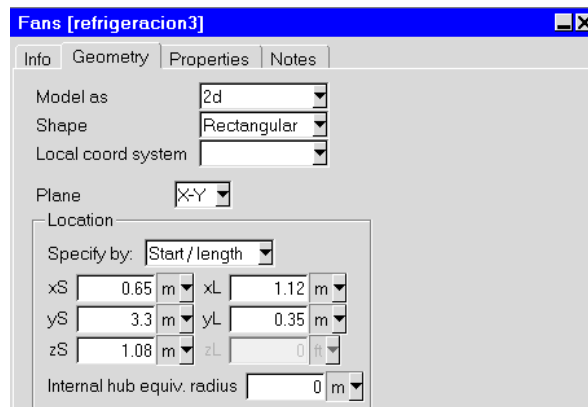


Figura III.37

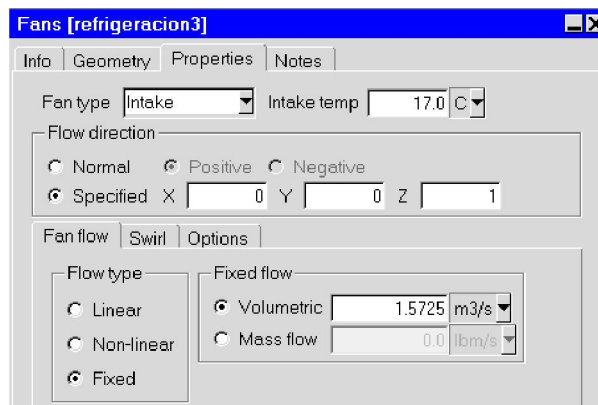


Figura III.38

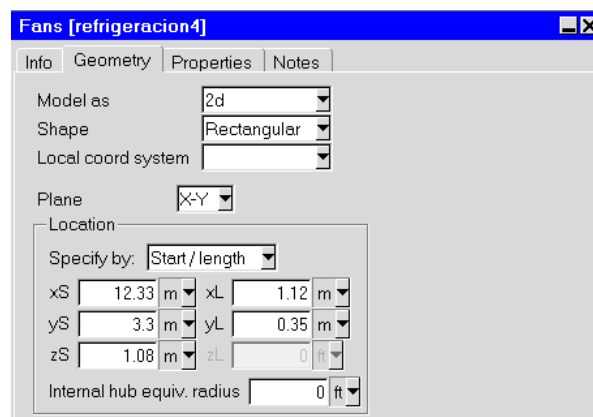


Figura III.39

Finalmente el modelo queda como se observa en la figura III.40.

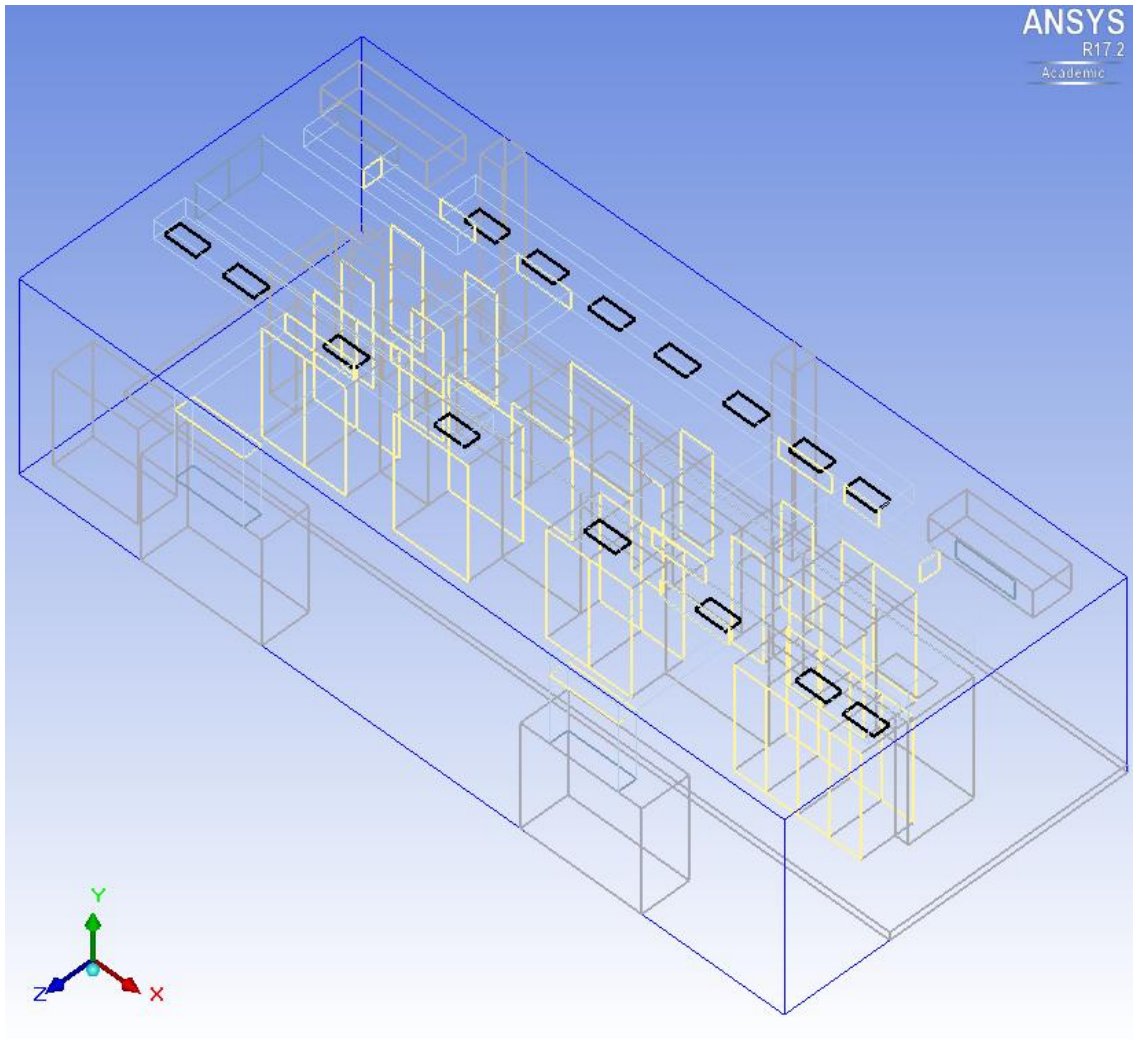


Figura III.40

ANEXO IV. MEDIDAS AUTÓMATA

Al realizar este trabajo se ha tenido a disposición lecturas de datos que son útiles para el estudio de este CPD que son proporcionadas por el Autómata de manera remota a través de su aplicación.

Para realizar la comparación de los resultados obtenidos por el programa ANSYS Icepak con las medidas experimentales, esta aplicación nos ha sido de utilidad para conocer las temperaturas de las cabinas de extracción y del pasillo caliente, así como también para hacerse una idea de las temperaturas medias en otras zonas de la sala.

Así, para conocer valores de las temperaturas de las cabinas de extracción y del pasillo caliente (como se observa en la figura IV.1), se han tomado medidas de 6 días diferentes y se ha hecho una media, las cuales se recogen en la tabla IV.1.

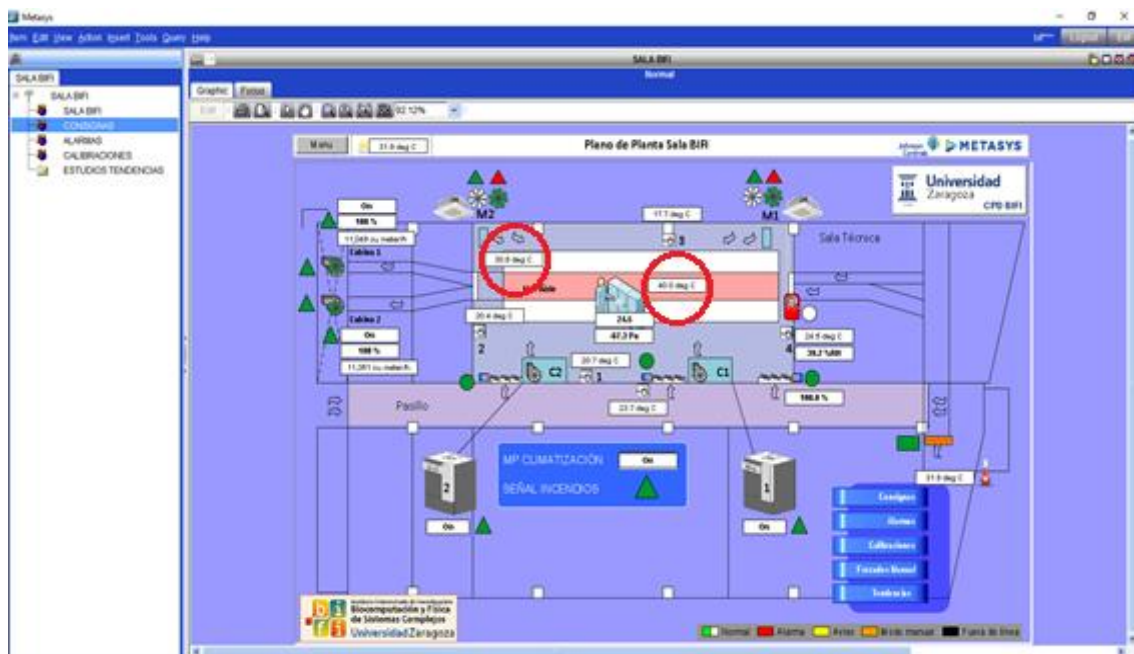


Figura IV.1

	Extracción	Pasillo caliente
Temperatura 1 (°C)	30,9	39,9
Temperatura 2 (°C)	31,1	40,2
Temperatura 3 (°C)	30,7	40,0
Temperatura 4 (°C)	30,8	40,2
Temperatura 5 (°C)	30,6	39,8
Temperatura 6 (°C)	30,7	39,9
Media (°C)	30,8	40

Tabla IV.1

Además ha sido útil también para conocer los caudales de extracción de aire caliente, (como se observa en la figura IV.2), los cuales se han tomado en 6 días distintos para obtener un valor medio, los mismos que se recogen en la tabla IV.2

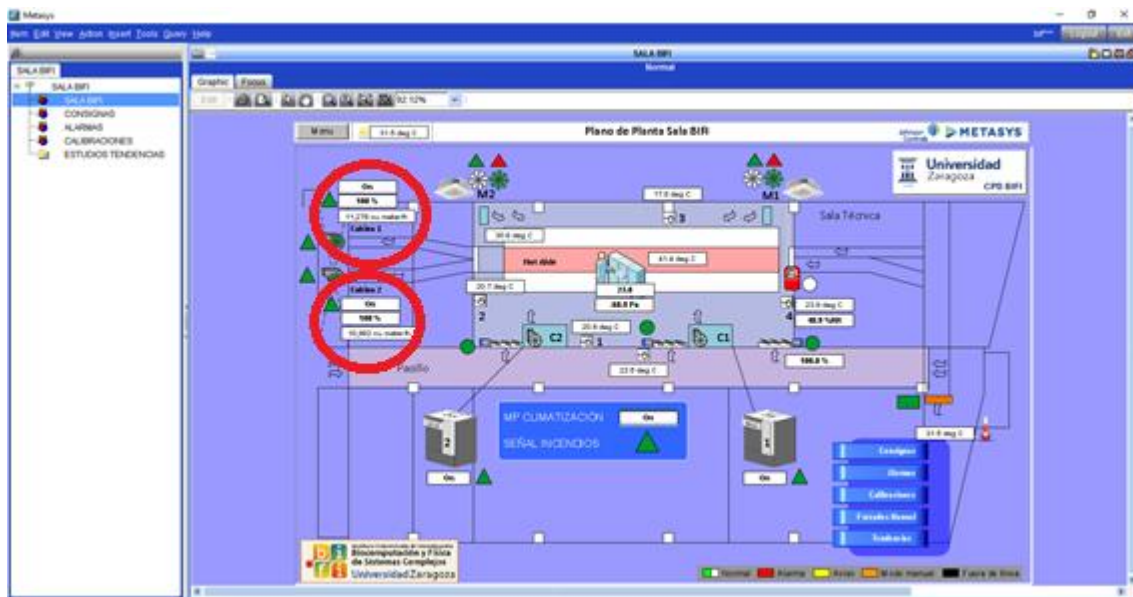


Figura IV.2

	EXTRACTOR 1	EXTRACTOR 2
Caudal día 1 (m ³ /h)	10969	11676
Caudal día 2 (m ³ /h)	11278	10982
Caudal día 3 (m ³ /h)	11535	10902
Caudal día 4 (m ³ /h)	11817	11542
Caudal día 5 (m ³ /h)	11264	11568
Caudal día 6 (m ³ /h)	11041	11285
Media (m ³ /h)	11317,33	11325,83
Caudal (m ³ /s)	3,144	3,146
Caudal total (m ³ /s)	6,290	

Tabla IV.2

Con la aplicación remota del autómata se puede también observar la tendencia que tiene la temperatura media total de la sala y como varía, por ejemplo a lo largo de un día como se observa en la figura IV.3 (el día 26 de mayo en este caso), o llevarla más allá pudiendo observar incluso como varía a lo largo de algunos meses como se observa en la figura IV.4, (los meses de abril y mayo en este caso).



Figura IV.3

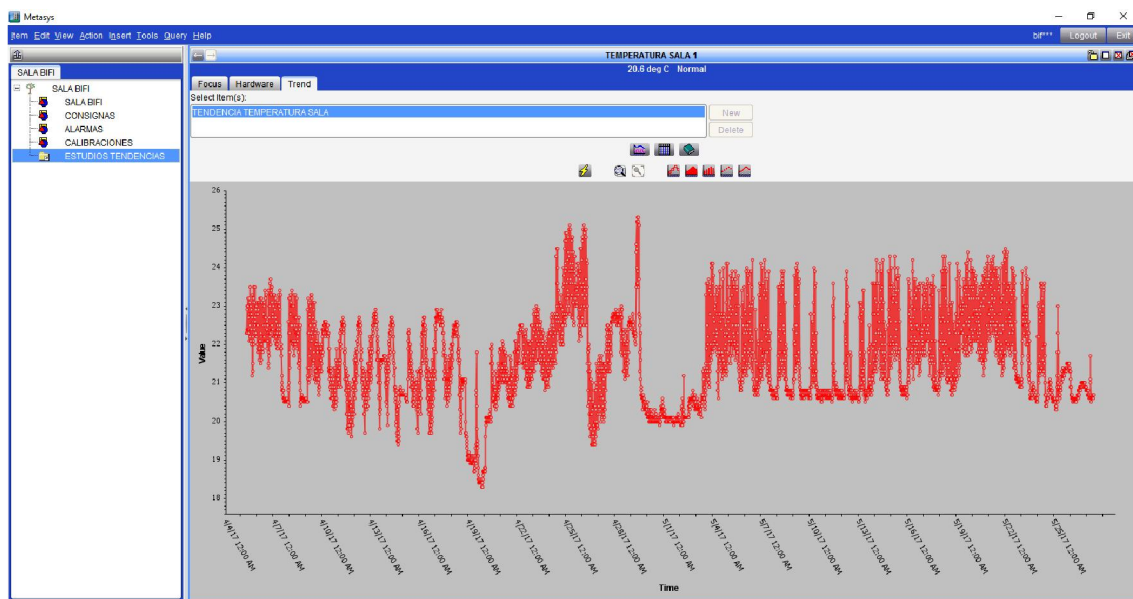


Figura IV.4

ANEXO V. GUION DE PRÁCTICA

En este anexo se presenta un guion que posiblemente se utilice en el curso 2017/2018 para la impartición de una práctica docente de la asignatura optativa Centro de Datos que se cursa en cuarto año del Grado de Ingeniería Informática de la Universidad de Zaragoza, la misma que será muy parecida a lo presentado en el Anexo II pero más corta y con simplificaciones.

Ya que el tiempo de impartición de una práctica es reducido y suele durar alrededor de 3 horas, se trabajará únicamente con un modelo y el elegido será el modelo aire pasillo (ya que el tiempo no daría para la creación del modelo aire climatizadores) y el contenido de la misma deberá contener datos previamente facilitados, los cuales serían los siguientes:

- Potencias consumidas por los RACKs
- Caudales de aire que ingresan a los RACKs
- Caudales de las cabinas de extracción
- Caudales de aire de refrigeración
- Medidas geométricas de la sala

Con estas consideraciones previas el guion de la práctica quedaría así:

MODELIZACIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN DE UN CENTRO DE DATOS

En esta práctica se va a modelar la climatización del Centro de Datos del BIFI de la Universidad de Zaragoza mediante aire de refrigeración procedente del pasillo.

Para realizar el modelo se utilizará el programa ANSYS Icepak y se contará con los datos que suponemos previamente obtenidos que se irán dando sobre la marcha.

Para crear el modelo seguimos los siguientes pasos:

Paso 1: Crear un nuevo proyecto

1. Iniciar ANSYS Icepak.
2. Hacer clic en **New** en el panel **Welcome to Icepak** para iniciar un nuevo proyecto ANSYS Icepak
3. Especificar un nombre para el proyecto, en este caso **REFRIGERACIÓN AIRE PASILLO**, y hacer clic en **Create**.

ANSYS Icepak crea un armario predeterminado con las dimensiones 1 m × 1 m × 1 m, y lo muestra en la ventana gráfica.

Paso 2: Configurar las preferencias

En este paso se configuran el entorno del programa.

1. Ir a **Edit → Preferences**
2. Ir a **Display** en la carpeta **Options**
 - a. Seleccionar **Float** para **Color legend data format** e introducir 2 en **Numerical display precision**.
3. Ir a **Editing** en la carpeta **Options**
 - a. Establecer **Default Dimensions** a **Start/lenght**
4. Ir a **Object types** en la carpeta **Options**
 - a. Quitar **Decoration** e introducir 2 en **Width** para blocks, fans, openings, resistances, grilles y enclosures, tal y como aparece en la figura 1

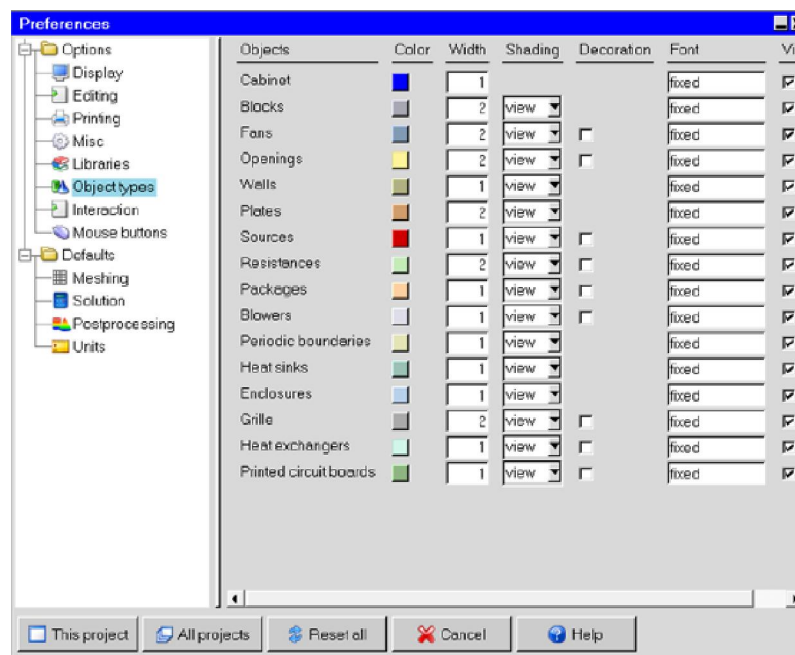


Figura 1

5. Ir a **Units** en la carpeta **Defaults**
 - a. Hacer clic en **Set all to Imperial**
 - b. Hacer clic en **This project** para aplicar las preferencias a este proyecto

Paso 3: Construcción del modelo

En este paso se comienza a construir el modelo del CPD del BIFI con las herramientas del programa.

1. Dimensionar la cabina con las dimensiones del CPD:
 - a. Seleccionar **Cabinet** del árbol **Model** e introducir las dimensiones de la figura 2

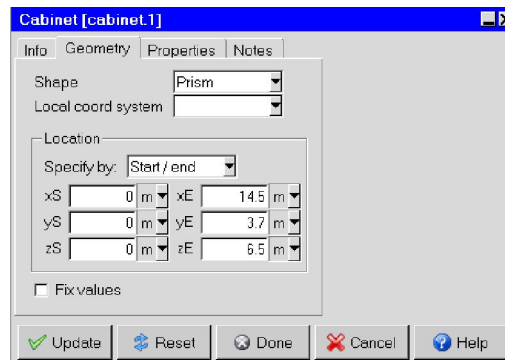


Figura 2

- b. Hacer clic en **Apply**
 - c. Hacer clic en **Isometric view** (vista general del modelo)
2. Crear el suelo elevado:



- a. Hacer clic en **Create blocks**
 - b. En **Name** poner *suelo elevado*
 - c. En **Group** poner SUELO
 - d. En **Type** seleccionar del desplegable **hollow** (para que este sea hueco)
 - e. Introducir las dimensiones de la figura 3

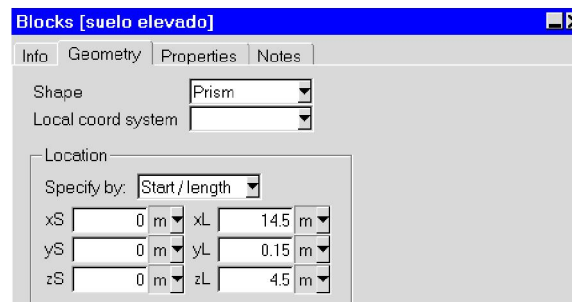


Figura 3

3. Crear las columnas de la sala siguiendo el mismo procedimiento que para el suelo, con las dimensiones y nombres de las figuras 4 y 5

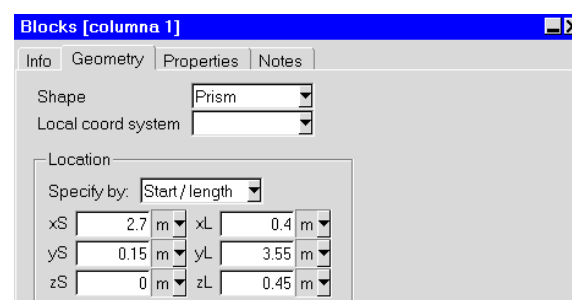


Figura 4

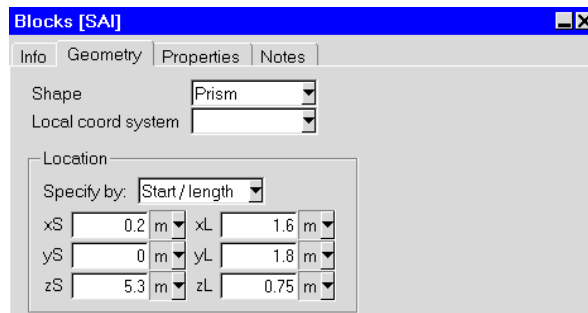


Figura 5

4. Crear el SAI (sistema de alimentación ininterrumpido) y las dos climatizadoras (modeladas como dos bloques que ocupan un espacio del dominio), siguiendo el procedimiento anterior con los datos de las figuras 6, 7 y 8

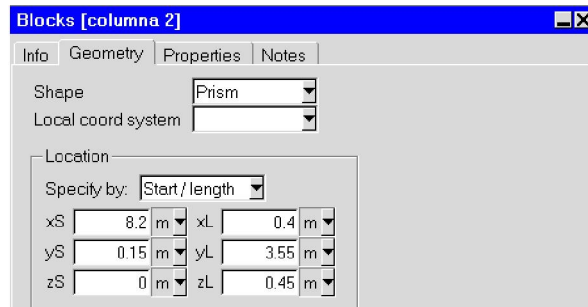


Figura 6

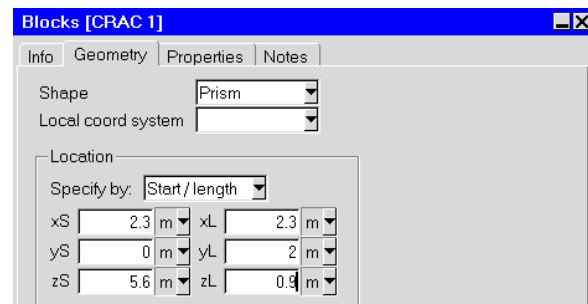


Figura 7

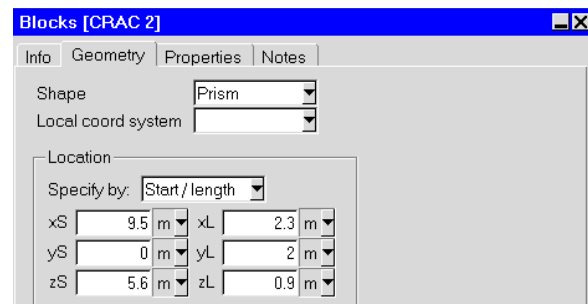


Figura 8

El modelo va quedando como se observa en la figura 9.

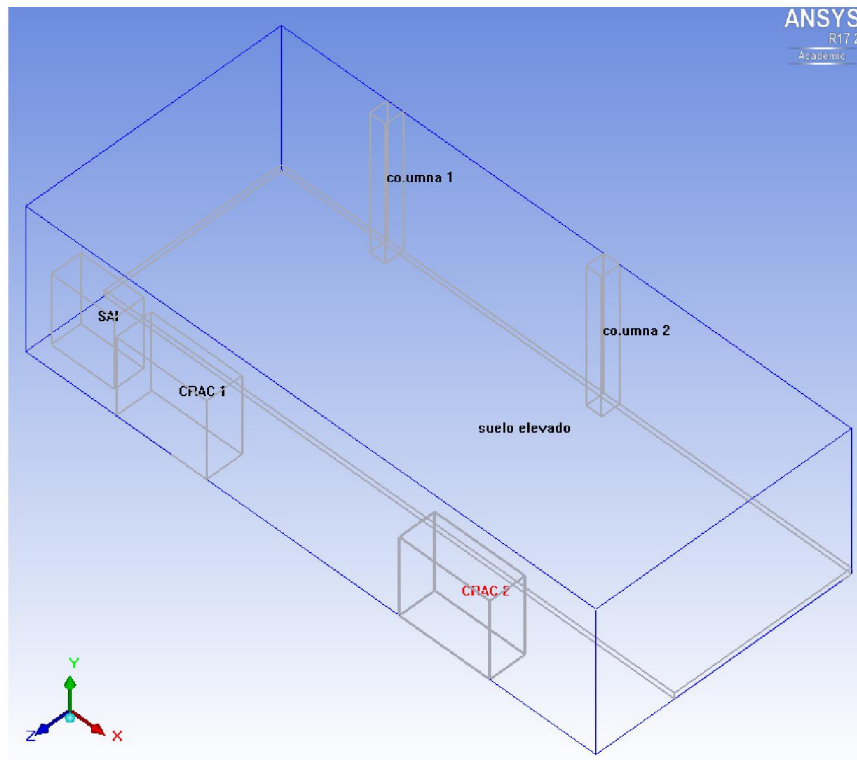


Figura 9

5. A continuación se crean cada uno de los 16 RACKs de la sala en los que irán albergados los ordenadores y servidores.
 - a. Crear el primer RACK: ir a **Macros** → **Datacenter components** → **Rack (front to rear)**; (el flujo de aire entra por la parte delantera y sale por la trasera del rack)
 - b. Introducir las dimensiones de la figura 10
 - c. Establecer la dirección del flujo de aire como $-Z$
 - d. Especificar una carga de calor de 4800 W
 - e. Especificar un flujo volumétrico de $0.5856 \text{ m}^3/\text{s}$

Figura 10

f. El resto de RACKs se crean de la misma manera que este, con los datos que se reflejan en la tabla 1

	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)	Flow direction	Heat load (W)	Volume flow (m ³ /s)
RACK 2	2,7	0,15	2,8	0,8	2,05	1	- Z	4800	0,328
RACK 3	4,4	0,15	2,75	1,4	2,2	1,05	- Z	4800	0,587
RACK 4	7,3	0,15	2,8	0,8	2,05	1	- Z	4800	0,423
RACK 5	8,1	0,15	2,8	0,8	2,05	1	- Z	4800	0,368
RACK 6	10,85	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,460
RACK 7	11,45	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,603
RACK 8	12,05	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,668
RACK 9	12,65	0,15	2,8	0,6	2	1	- Z	11000	0,731
RACK 10	1,7	0,15	1,15	0,6	2	0,95	+ Z	4800	0,164
RACK 11	3,1	0,15	1,15	0,6	2,1	1	+ Z	4800	0,232
RACK 12	5,1	0,15	1,15	1,15	1,8	1,1	+ Z	4800	0,274
RACK 13	7,2	0,15	1,15	0,6	2	0,95	+ Z	4800	0,245
RACK 14	9,1	0,15	1,15	0,6	2	0,95	+ Z	4800	0,208
RACK 15	10,25	0,15	1,15	0,6	2,05	1	+ Z	4800	0,296
RACK 16	10,85	0,15	1,15	0,8	2,05	1	+ Z	4800	0,228

Tabla 1

- g. Crear un grupo que englobe a todos los racks para poder después analizarlos de manera conjunta, de la siguiente manera:
 Seleccionar con **Shift + botón izquierdo** del ratón desde *rack 1* hasta *rack 16-ops* → **Botón derecho** → **Create** y clic en **Group** → Se introduce el nombre **RACKS** para este grupo → Clic en **Done**.

El modelo va quedando como se observa en la figura 11.

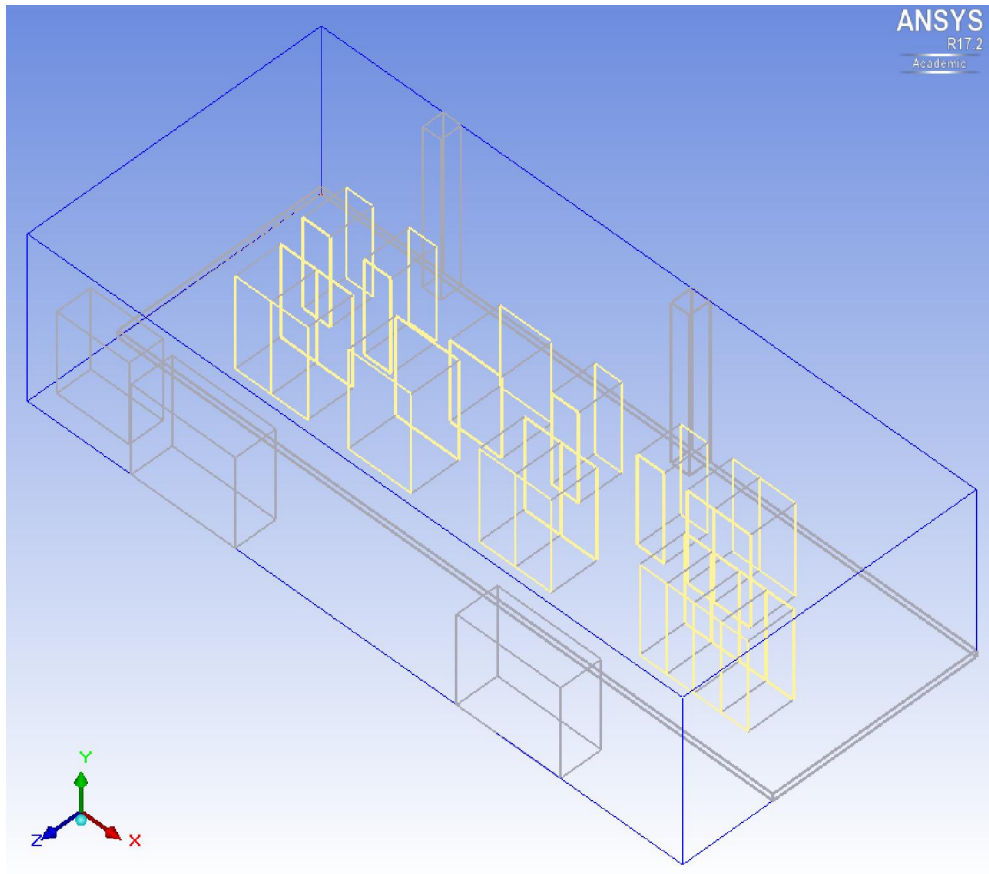


Figura 11

6. Crear el conducto de extracción del aire caliente a través del cual se conduce el aire caliente de la sala al exterior del edificio:



- a. Clic en el icono **Create enclosures**
- b. En la pestaña **Info** se introduce en **Name** el nombre *conductoextraccion*
- c. En la pestaña **Geometry** se introducen las dimensiones que se ven en la figura 12

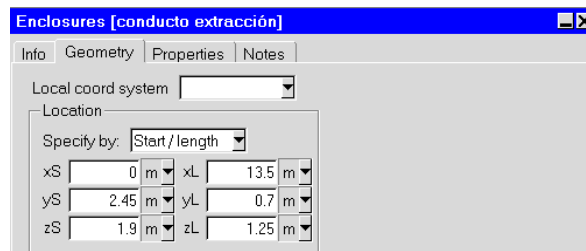


Figura 12

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar **Boundary type** de **Min X** a **Open**, consiguiéndose un conducto abierto por el plano de la cara de menor distancia en el eje X.

El modelo va quedando como se observa en la figura 13.

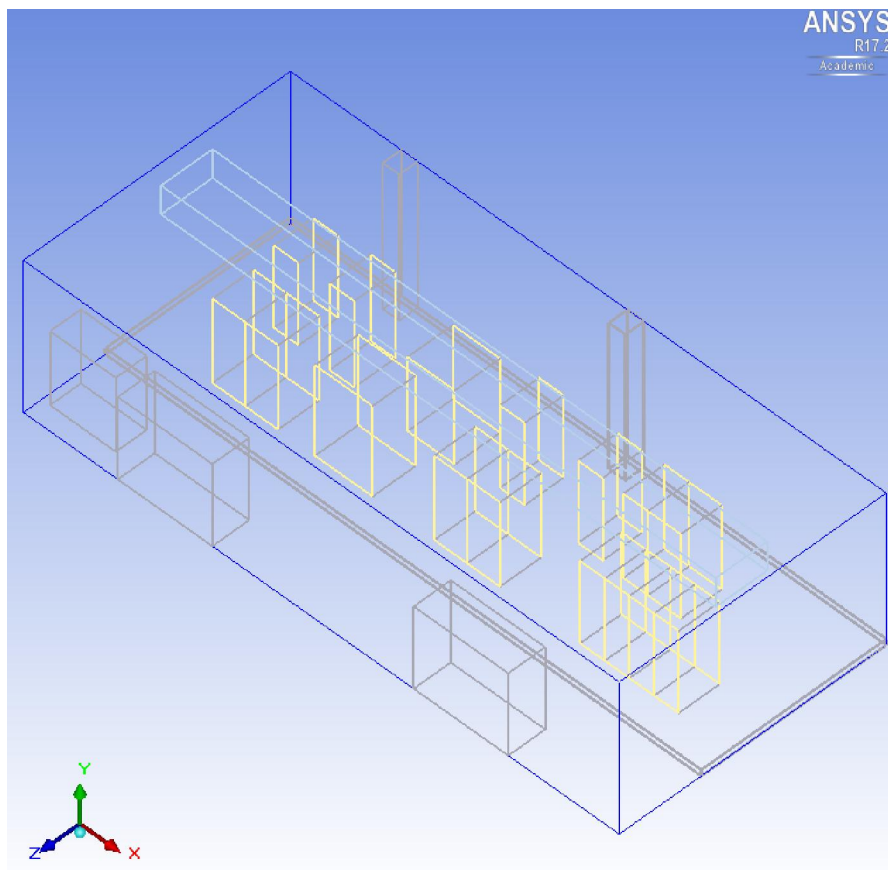



Figura 13

7. Crear los orificios de extracción, simulados como dos ventiladores (que en este caso son los de las extractoras del tejado) de forma rectangular por los que el aire es succionado del interior de la sala hacia el exterior:

- a. Clic en el icono **Create fans** 
- b. En la pestaña **Info**, introducir *ventilador1* en **Name**

- c. En la pestaña **Geometry** introducir **Rectangular** en **Shape**, **Y-Z** en **Plane** y las dimensiones de la figura 14

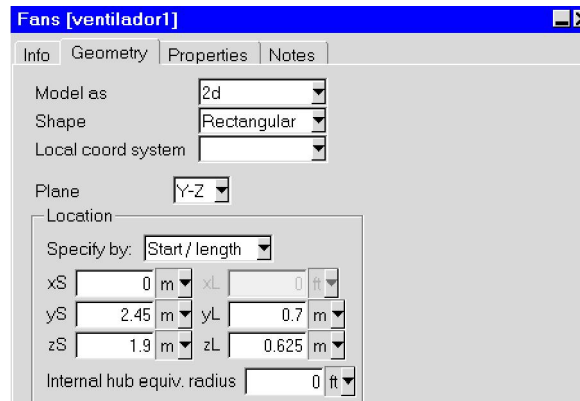


Figura 14

- d. En la pestaña **Properties** establecer **Exhaust** para **Fan type**, **Fixed** para **Flow type** y $3.1449 \text{ m}^3/\text{seg}$ en la casilla **Volumetric**, como se observa en la figura III.15

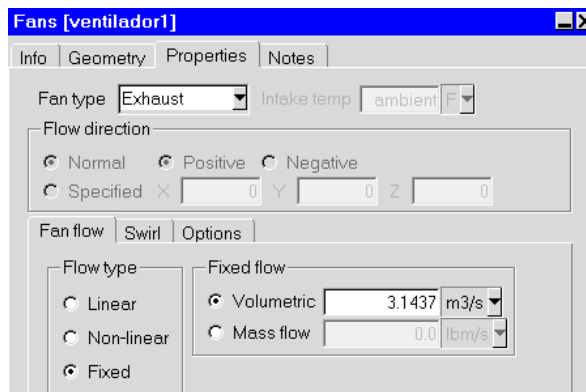


Figura 15

- e. Se repiten los pasos anteriores para el segundo ventilador (*ventilador2*), con las dimensiones de la figura 16

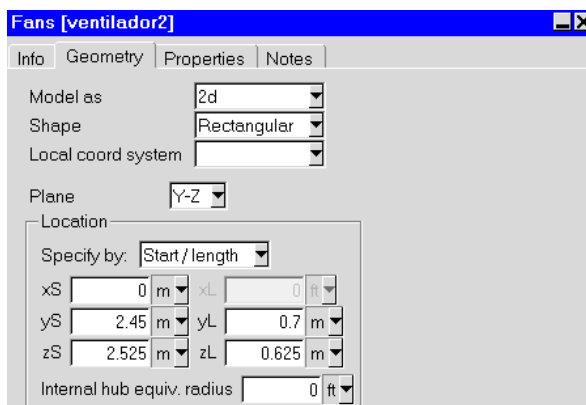


Figura 16

- f. Se crea un grupo llamado EXTRACCION que englobe estos dos ventiladores, de la misma manera que se ha realizado anteriormente.
- g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares para estos dos ventiladores:



- Clic en el icono **Generate Mesh** (icono de Generate Mesh).
- En la pestaña **Local**, marcar **Object params** y pulsar **Edit**
- Seleccionar *ventilador1* y *ventilador2*, marcar **Use per-object parameters**
- Marcar **Ycount** y **Zcount**, e introducir en el campo **Request** un **4**
- Hacer clic en **Done** y **Close**.

8. Crear las rejillas por las que se succiona el aire caliente hacia los conductos de extracción:



- a. Clic en el icono **Create grille** (icono de Create grille).
- b. En la pestaña **Info** introducir *rejilla1* en **Name**
- c. En la pestaña **Geometry**, establecer **X-Z** en **Plane** e introducir las dimensiones de la figura 17

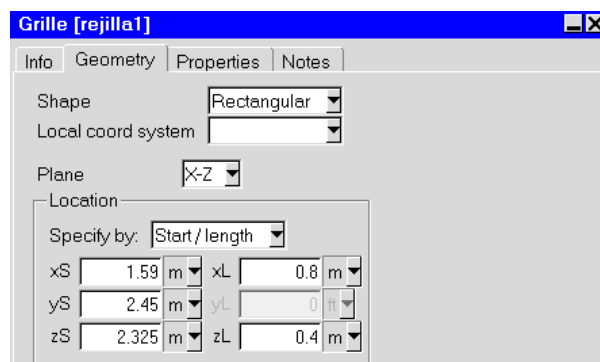


Figura 17

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar únicamente el valor de **Free area ratio** a 0.7 (valor estimado típico para apertura de rejillas en CPDs).
- e. Crear el resto de rejillas siguiendo los pasos anteriores, modificando únicamente las dimensiones a introducir del *paso c*, que en este caso serán para cada una de las rejillas las dimensiones que se recogen en la tabla 2 y con la misma **Free área ratio** de 0.7 para todas

	Plane	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)
Rejilla 2	X-Z	2,94	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 3	X-Z	4,29	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 4	X-Z	5,64	2,45	2,375	0,8	-	0,3
Rejilla 5	X-Z	7,02	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 6	X-Z	8,37	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 7	X-Z	9,75	2,45	2,375	0,8	-	0,3
Rejilla 8	X-Z	11,1	2,45	2,325	0,8	-	0,4
Rejilla 9	X-Z	12,45	2,45	2,325	0,8	-	0,4

Tabla 2

- f. Se seleccionan todas las rejillas y se agrupan bajo el nombre REJILLAS
- g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares, siguiendo estrictamente los mismos pasos que en el *apartado anterior 7g*, seleccionando en esta ocasión las nuevas rejillas creadas.

El modelo va quedando como se observa en la figura 18.

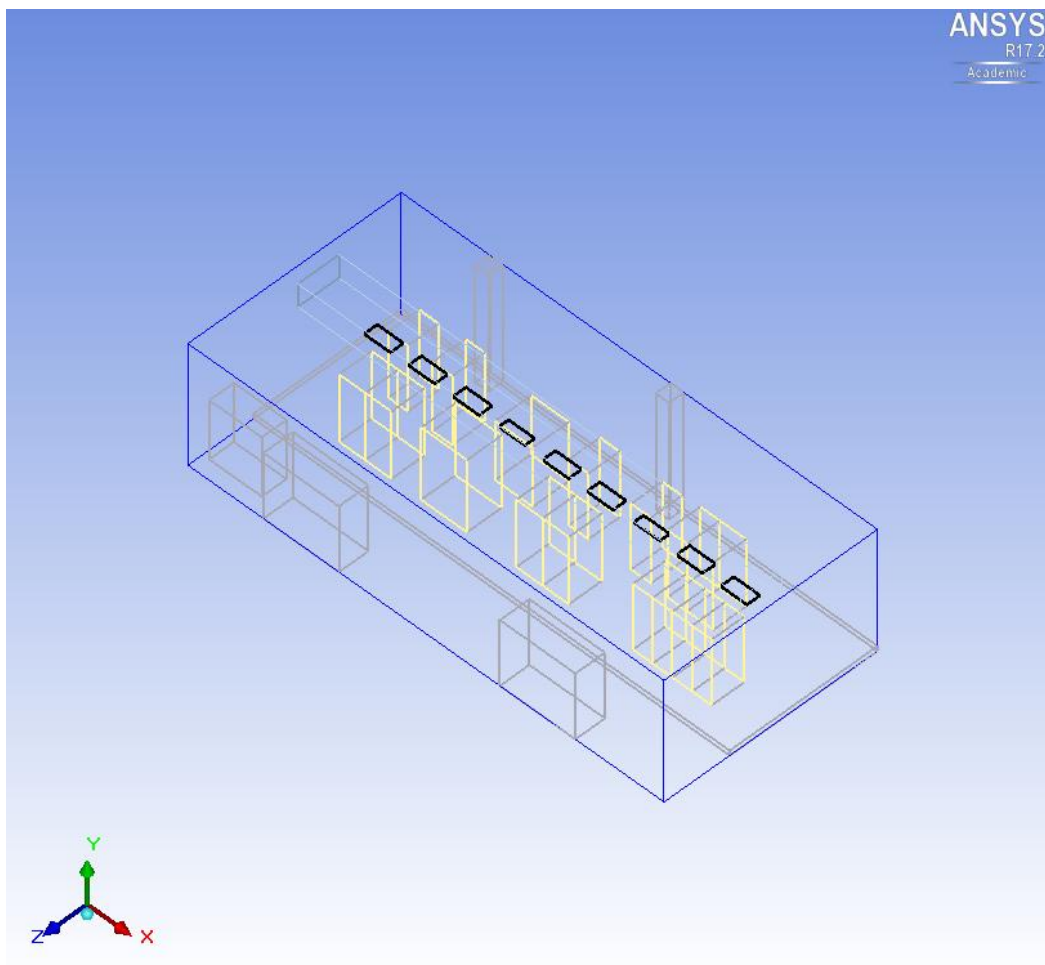


Figura 18

9. Crear las “paredes” del pasillo caliente, que en este caso al haber una pequeña cantidad de fugas se simularán como si fueran rejillas con una mínima área de paso de aire (se suponen unas pérdidas del 5%):
- Se procede a construir las rejillas del mismo modo que en el apartado 8, introduciendo en este caso los valores que se recogen en la tabla 3
 - Se seleccionan todos los plásticos y se agrupan con el nombre LAMINAS

	Plane	xS (m)	yS (m)	zS (m)	xL (m)	yL (m)	zL (m)
Lámina 1	X-Y	1,4	0,15	3,15	0,5	2,3	-
Lámina 2	X-Y	3,5	0,15	3,15	0,9	2,3	-
Lámina 3	X-Y	5,8	0,15	3,15	1,5	2,3	-
Lámina 4	X-Y	8,9	0,15	3,15	1,95	2,3	-
Lámina 5	X-Y	13,25	0,15	3,15	0,25	2,3	-
Lámina 6	Y-Z	13,5	0,15	3,15	-	2,3	-1,25
Lámina 7	Y-Z	1,4	0,15	1,9	-	2,3	1,25
Lámina 8	X-Y	1,4	0,15	1,9	0,3	2,3	-
Lámina 9	X-Y	2,3	0,15	1,9	0,8	2,3	-
Lámina 10	X-Y	3,7	0,15	1,9	1,4	2,3	-
Lámina 11	X-Y	6,25	0,15	1,9	0,95	2,3	-
Lámina 12	X-Y	7,8	0,15	1,9	1,3	2	-
Lámina 13	X-Y	9,7	0,15	1,9	0,55	2,3	-
Lámina 14	X-Y	11,65	0,15	1,9	1,85	2,3	-
Lámina 15	X-Y	1,9	2,2	3,15	1,6	0,25	-
Lámina 16	X-Y	4,4	2,35	3,15	1,4	0,1	-
Lámina 17	X-Y	7,3	2,2	3,15	1,6	0,25	-
Lámina 18	X-Y	10,85	2,15	3,15	2,4	0,3	-
Lámina 19	X-Y	1,7	2,15	1,9	0,6	0,3	-
Lámina 20	X-Y	3,1	2,25	1,9	0,6	0,2	-
Lámina 21	X-Y	5,1	1,95	1,9	1,15	0,5	-
Lámina 22	X-Y	7,2	2,15	1,9	2,5	0,3	-
Lámina 23	X-Y	10,25	2,2	1,9	1,4	0,25	-

Tabla 3

El modelo va quedando como se observa en la figura 19.

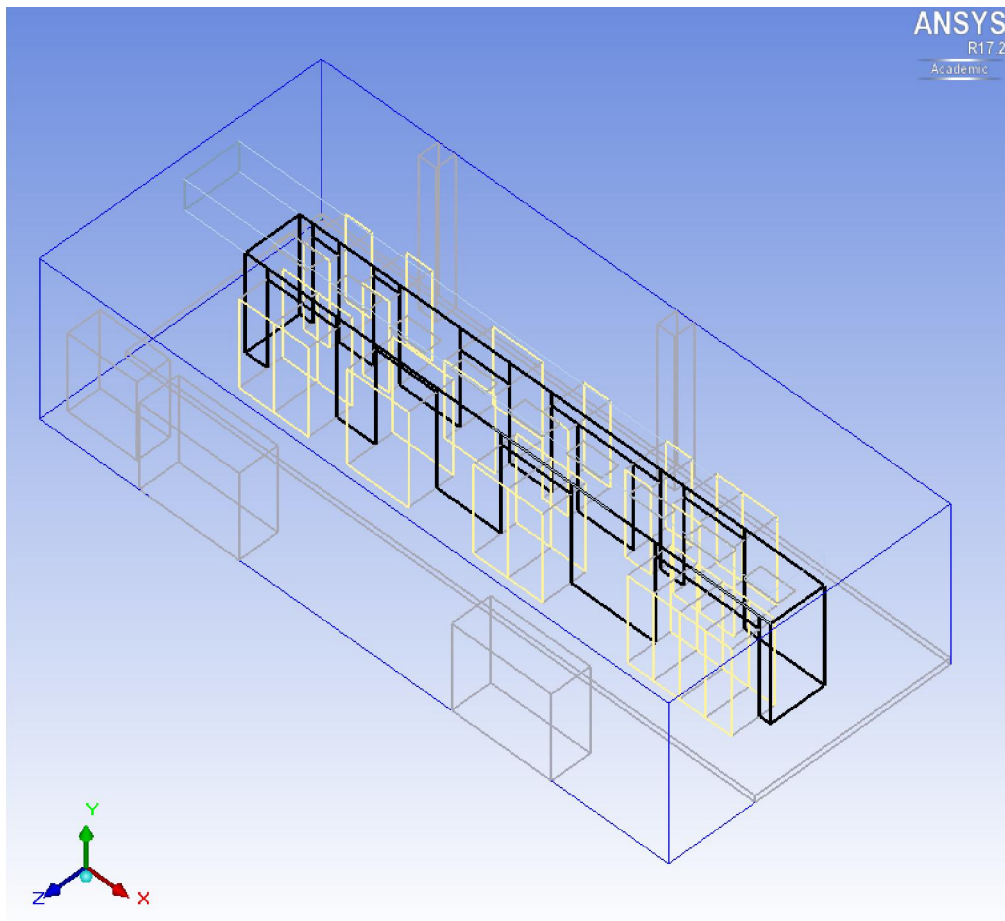



Figura 19

10. Crear las entradas del aire de refrigeración del pasillo:

- Clic en el icono **Create fans** 
- En la pestaña **Info**, introducir en **Name** *refrigeracion1*
- En la pestaña **Geometry**, cambiar **Shape** a **Rectangular** e introducir las dimensiones que aparecen en la figura 20

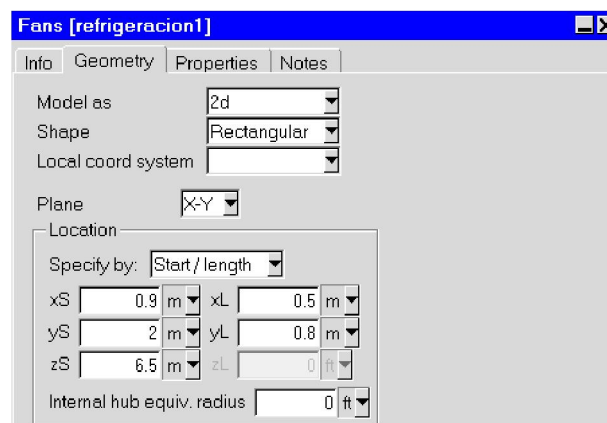


Figura 20

- d. En la pestaña **Properties**, cambiar **Intake temp** a **19°C**, establecer **Flow type** en **Fixed**, e introducir el valor de caudal para este caso que es $2.097 \text{ m}^3/\text{s}$ como se observa en la figura 21

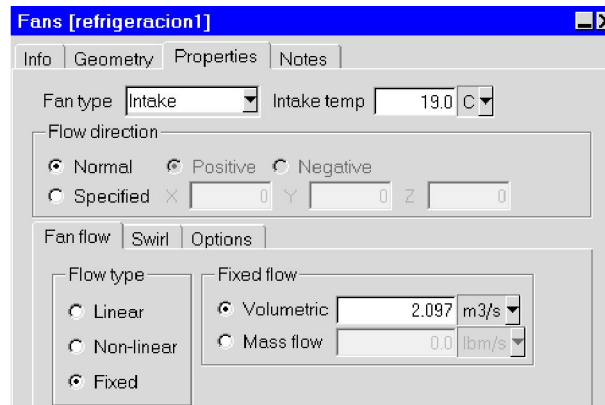


Figura 21

- e. Para la segunda y tercera entrada de aire, *refrigeracion2* y *refrigeracion3*, seguir los mismos pasos anteriores, introduciendo para cada una las dimensiones que aparecen en las figuras 22 y 23, con los mismos valores de temperatura y caudal de la *refrigeracion1*.



Figura 22

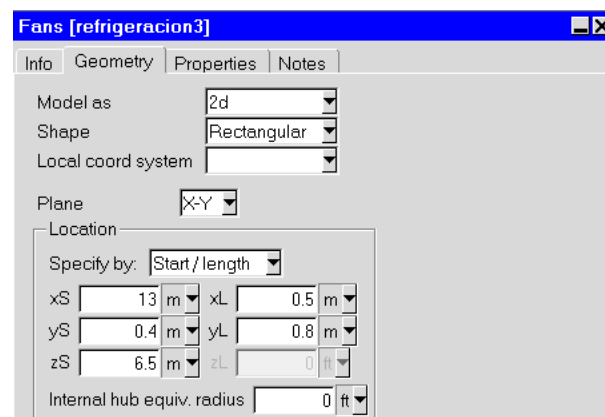


Figura 23

- f. Agrupar las tres entradas de aire con el nombre REFRIGERACION
- g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares, siguiendo idénticamente los pasos del apartado 7g, para estas tres entradas (*refrigeracion1*, *refrigeracion2* y *refrigeracion3*)

El modelo va quedando como se observa en la figura 24.

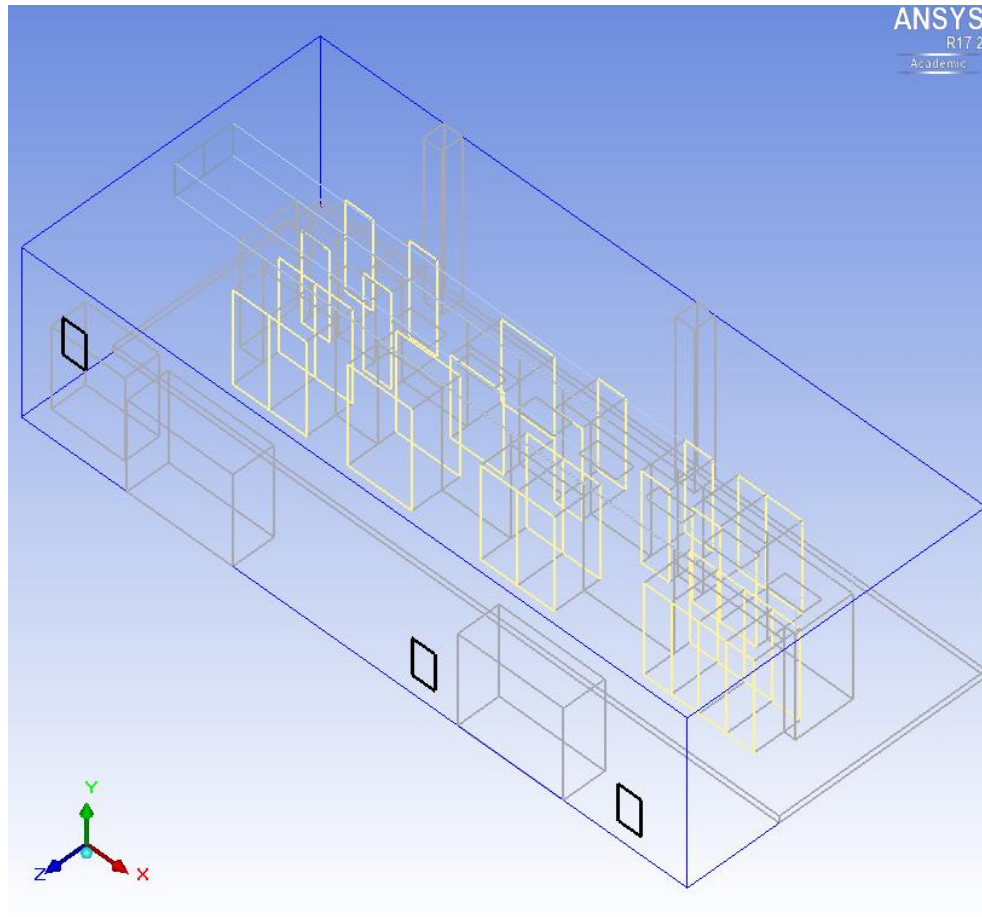



Figura 24

Paso 4: Generar el mallado

En este apartado se va a proceder a generar el mallado global del modelo.

1. Generar la malla:

- a. Hacer clic en el icono **Generate Mesh** .
- b. Dejar los valores que aparecen por defecto recomendados por el programa, como se puede ver en la figura 25

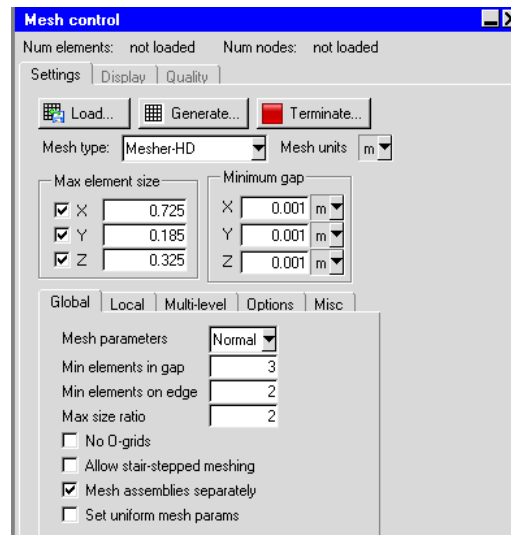


Figura 25

- c. Hacer clic en **Generate and Close**.

Paso 5: Crear Monitor Points





Los Monitor points son puntos que permite monitorizar el programa, en los cuales se puede saber específicamente algunas variables de gran interés como son la temperatura, velocidad, presión, etc.

En este caso interesa únicamente la temperatura, así que se eligen dos puntos para monitorizar dicha variable, los cuales son *ventilador1* y *ventilador2*, que son parte de la extracción, para lo cual se arrastran del árbol de modelado los dos ventiladores de extracción, *ventilador1* y *ventilador2*, a la carpeta Points.

Paso 6: Configuración de los parámetros físicos y numéricos

Antes de simular el modelo, hay que introducir en el programa una serie de consignas y pautas, numéricas y físicas, para que pueda resolver el modelo satisfactoriamente.

1. Configuración de parámetros físicos y numéricos:
 - a. Ir a **Problem setup** → **Basic parameters**.
 - b. En la pestaña **General setup**:
 - Desactivar **Radiation**
 - Seleccionar **Turbulent** y **Zero equation** para **Flow regime**
 - Marcar **Gravity vector**
 - c. En la pestaña **Defaults**:
 - Seleccionar **Myca-Typical** para **Insulators** en la sección **Default solid**
 - Seleccionar **Paint-non-metallic** para **Paint** en la sección **Default surface**


- d. En la pestaña **Transient setup**, introducir un valor inicial de **0.5 m/s** para **Y velocity**
- e. En la pestaña **Advanced**
 - Seleccionar **Boussinesq approx**
 - Marcar **Operating density**
- f. Hacer clic en **Accept**
- g. Ir a  **Solution settings** →  **Basic settings**.
- h. Cambiar el **número de iteraciones a 1000** y el **criterio de convergencia de la energía a 1e-6**. **Aceptar**.
- i. Ir a  **Solution settings** →  **Advanced settings**.
 - Seleccionar para **Pressure** en **Discretization scheme** → **Body Force Weighted**
 - Para los valores de **Under-relaxation** introducir, **0.3** para **Momentum**, **0.8** para **Temperature**, **0.8** para **Viscosity**, **0.2** para **Body Forces** y **0.8** para **Joule heating potencial**.
 - **Aceptar**.

Paso 7: Guardar y calcular la solución

1. **File** → **Save Project**
2. **Solve** → **Run solution**
3. Hacer clic en **Start Solution**

Paso 8: Examinar los resultados

En este apartado se explicará rápidamente algunas maneras de poder examinar los resultados obtenidos:

1. Mostrar contornos de temperatura de racks y plásticos:
 - a. Clic en el icono **Object Face** .
 - b. Introducir un nombre, por ejemplo *temperatura-racks*
 - c. En la lista de objetos, seleccionar en el apartado grupos, **RACKS** y **LAMINAS**. **Aceptar**
 - d. Marcar **Show contours** y hacer clic en **Create**. Se obtiene lo que se observa en la figura 26

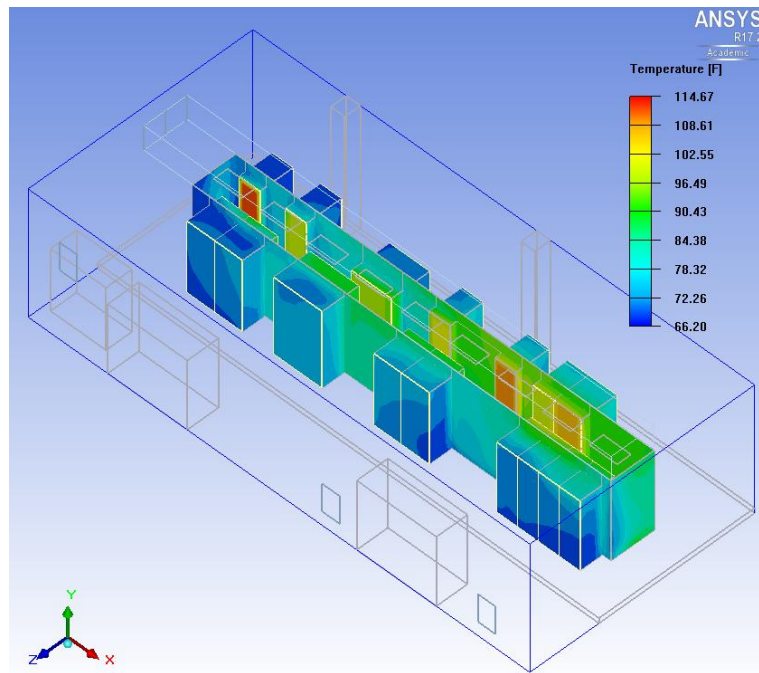


Figura 26

2. Mostrar un plano de temperatura cualquiera de la sala:



- a. Hacer clic en el icono **Plane Cut**
- b. Introducir un nombre, por ejemplo *temperatura-pasillocaliente*
- c. Marcar **Show contours** y clic en **Create**, se obtiene lo que se observa en la figura 27

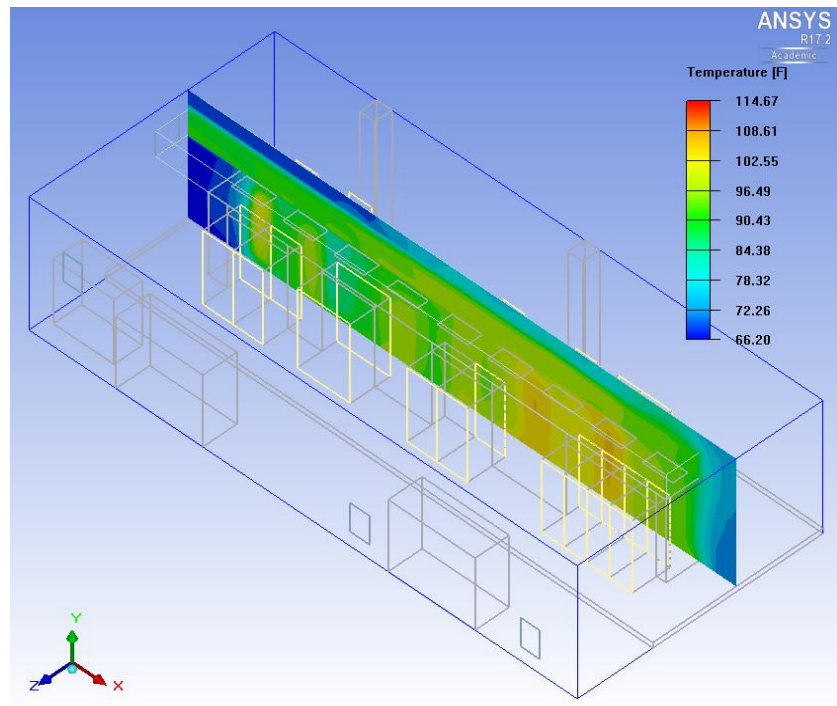


Figura 27

BIBLIOGRAFÍA

- [1] José Damián Ferrer Quintana. Centro de Proceso de Datos: El cerebro de nuestra sociedad. 2009
- [2] Álvaro Sánchez Rodríguez. Climatización de un Centro de proceso de Datos. 2013
- [3] Patricia Santos Marco. Buenas prácticas de eficiencia energética en el centro de supercomputación de Aragón (CESAR). 2016
- [4] ANSYS Icepak Tutorials. Release 14.5. October 2012
- [5] Victor Peleato Ota. Proyecto Fin de Carrera. Modelado de un Centro de Procesamiento de Datos. 2015
- [6] ASHRAE TC 9.9 2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance
- [7] cliAtec (Climatización de Ambientes Técnicos, S.L. Soluciones de climatización CPD
- [8] P.Nuno, J. L. Rivas, J.E. Ares. Climatización en los Centros de Proceso de Datos