



Proyecto Fin de Carrera

MODELADO DE UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE ANSYS ICEPAK

Autor

Víctor Peleato Otal

Director

José María Marín Herrero

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2015

MODELADO DE UN CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE ANSYS ICEPAK

Resumen

El primer paso hacia el desarrollo de Internet tuvo lugar en 1969 con la aparición de ARPANET en los Estados Unidos, la cual hizo posible la transmisión de datos entre ordenadores remotos. Después de eso, la aparición de la World Wide Web en 1992 proporcionó la oportunidad a Internet de expandirse a nivel mundial, convirtiéndose en la actualidad en una herramienta indispensable en el día a día de nuestras vidas.

Tras todo este escenario, Internet es soportado por instalaciones especializadas llamadas centros de procesamiento de datos (CPDs), donde varios sistemas como servidores, routers y otras tecnologías de la información son integradas juntas, para proporcionar un entorno sólido y estable en la instalación de sistemas.

Estos entornos requieren de un nivel de estabilidad extraordinario, y una parte muy importante de esto es asegurarse de que la temperatura dentro del centro de datos se encuentre dentro de un rango de operación adecuado para los dispositivos que lo integran.

En estos últimos años se ha observado cómo, a consecuencia de la evolución tecnológica de los componentes electrónicos, ha aumentado considerablemente la densidad de potencia instalada en los CPDs, obligando al sector del acondicionamiento a una readaptación tanto en los valores de diseño (temperatura/humedad) como en las tecnologías aplicadas.

Este proyecto va a consistir en el modelado de uno de estos centros de datos, en concreto el CPD del edificio BIFI del EINA, mediante el uso del programa de cálculo y simulación de fluidos computacional ANSYS Icepak, que permitirá verificar que los datos medidos en el centro de datos real y los obtenidos a partir del modelado virtual del centro en el ordenador son semejantes.

Tras obtener todo lo necesario para la simulación en el ordenador (dimensiones, medidas de flujo de aire y de potencias, temperatura, humedad...) y cotejar que ambos centros son similares, se establecerán una serie de recomendaciones y conclusiones tanto para mejorar si es necesario las condiciones de trabajo actuales como para posibles modificaciones o ampliaciones futuras que se puedan llevar a cabo dentro del centro de datos en cuestión.

Tabla de contenidos

Planificación	5
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1.¿Qué es un centro de datos?.....	8
1.2.Clases de CPD.....	8
1.3.Motivo del auge actual de la climatización de los CPDs.....	9
2. CENTRO DE DATOS DEL EDIFICIO BIFI	10
2.1.Localización de la instalación	10
2.2.Función del CPD	10
2.3. Estructura del centro de datos del BIFI.....	11
2.3.1. Componentes y maquinaria.....	11
2.3.2. Explicación del método de operación actual.....	13
3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO EN ANSYS ICEPAK	14
3.1.Programa de cálculo ANSYS Icepak.....	14
3.2.Construcción del modelo de refrigeración con aire del pasillo.....	14
3.2.1. Potencias.....	15
3.2.2. Flujos de aire.....	17
3.2.3. Temperaturas.....	18
3.2.4. Mallado.....	19
3.2.5. Configuración de los parámetros físicos y numéricos.....	21
3.3.Construcción del modelo de refrigeración con aire de la calle.....	23
3.3.1. Modificaciones respecto al modelo aire pasillo.....	23
3.4.Construcción del modelo de refrigeración con aire de las climatizadoras.....	24
3.4.1. Modificaciones respecto al modelo aire pasillo.....	25
4. DEPURACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ...26	
4.1.Depuración del modelo de cálculo.....	26
4.2.Resultados obtenidos en los tres modelos.....	27
4.3.Comparación de los resultados con los valores experimentales.....	31
5. VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS	33
5.1.Temperaturas críticas.....	33
5.2.Consumos de energía.....	34
5.2.1. Obtención de los principales consumos energéticos.....	34
5.2.2. Cálculo y valoración del PUE (Power Usage Effectiness).....	34
6. POSIBLES MEDIDAS DE MEJORA ENERGÉTICA	35
6.1.Instalación de aparatos de medida de la humedad.....	35
6.2.Cambio de la disposición de los racks.....	36
6.3.Mejora del aislamiento del pasillo caliente.....	37
7. CONCLUSIONES	37

8. ANEXOS	39
ANEXO 1: Construcción paso a paso.....	39
ANEXO 2: Medidas experimentales del flujo de aire a través de los racks con el anemómetro.....	63
ANEXO 3: Planos.....	77
ANEXO 4: Presupuesto control de humedad.....	84
ANEXO 5: Catálogos.....	88
ANEXO 6: Historial semanas CPD.....	97
ANEXO 7: Depuración del modelo de cálculo.....	106
9. BIBLIOGRAFÍA	115

Planificación

De un tiempo a esta parte, debido a la rápida evolución tecnológica hacia una mayor capacidad de los componentes electrónicos y unas dimensiones cada vez más reducidas de estos, ha sufrido un enorme auge todo lo relacionado con la refrigeración de componentes electrónicos y climatización de salas de ordenadores como son los Centros de Procesamiento de Datos (CPDs) debido al aumento de la densidad de potencia instalada, y de ahí el motivo de la puesta en marcha de este proyecto de la especialidad “Energía y Tecnología de Calor y Fluidos” de Ingeniería Superior Industrial, consistente en el modelado de un centro de procesamiento de datos, en concreto el del Edificio BIFI del EINA, mediante el uso del programa de cálculo y simulación de fluidos computacional ANSYS Icepak.

Dicho proyecto está tutorizado por los profesores José María Marín Herrero perteneciente al Área de Máquinas y Motores Térmicos del Departamento de Ingeniería Mecánica y Víctor Viñals Yúfera del Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas, de la Universidad de Zaragoza.

El proyecto también ha contado con la colaboración de varias personas, en concreto de los ingenieros informáticos de investigación en el BIFI que se encargan del funcionamiento del CPD, Guillermo Losilla Anadón y Arturo Giner Gracia. Además de la participación de dos empresas externas como son INCLIZA y la OFICINA VERDE, facilitadoras de algunos de los planos, datos y presupuestos que aparecen en el proyecto. Y por último de Fernando Lasala Peguero, responsable de mantenimiento del Campus, que junto con técnicos de mantenimiento facilitaron la toma de medidas.

Antes de nada es importante recalcar que el objetivo del proyecto no es el diseño desde cero del centro de datos del BIFI como tal, pues este ya está construido y en funcionamiento, sino la evaluación de su comportamiento térmico mediante una herramienta apropiada como ANSYS Icepak, específicamente diseñada para trabajar en la refrigeración de dispositivos electrónicos y climatización de salas como los CPD.

La existencia de medidas de consumo y climáticas tomadas por los responsables del centro permiten validar el modelo de cálculo empleado y, completadas con otras, ofrecer una serie de conclusiones sólidas que ayuden a mejorar el funcionamiento del CPD actual y dar una serie de recomendaciones en caso de posible ampliación.

Para todo ello, se han realizado las siguientes tareas:

- Modelización del CPD con las herramientas de dibujo del programa: consistente en introducir a partir de los planos que aparecen en el Anexo 3 *Planos*, las medidas del centro de datos real en el programa, siguiendo los pasos que aparecen en el Anexo 1 *Construcción paso a paso*. Previo a todo esto fue necesario un largo proceso de aprendizaje de manejo del programa y la toma de mediciones de ciertas partes del centro de datos que no aparecían en los planos proporcionados por la Oficina Verde.

- Introducción de las condiciones de contorno e iniciales medidas en la sala: es decir, conseguir ciertos datos requeridos por el programa como son flujos de aire, potencia de los racks, temperaturas de entrada del aire de refrigeración, etc. Parte de ellos fueron proporcionados por control remoto gracias al autómatas ya instalado anteriormente a este proyecto por INCLIZA, como se puede ver en el Anexo 6 *Historial semanas CPD*, y otra parte tuvieron que ser medidos experimentalmente en sala, como aparece reflejado en el Anexo 2 *Medidas experimentales del flujo de aire a través de los racks con el anemómetro*.
- Comparar los resultados obtenidos en el programa con algunos de los valores medidos por los aparatos ya instalados, para validar los cálculos: consistente en resolver el modelo a ordenador sin que haya fallos, y tras esto, comprobar que los resultados obtenidos por el programa se corresponden con los valores reales medidos en sala “in situ” mediante aparatos de medición (Anexo 2) y los proporcionados por control remoto por el autómatas (Anexo 6).
- Depurar el modelo de cálculo: es decir, “jugar” con los diferentes parámetros que ofrece el programa ANSYS Icepak hasta encontrar el modelo que converja en menos iteraciones, de la forma más precisa y se aproxime más a la realidad. Para ello se realizan diferentes cambios en los valores y parámetros del modelo como se puede ver en el Anexo 7 *Depuración del modelo de cálculo*.
- Cálculo y obtención de temperaturas críticas y consumos de energía, determinando el rendimiento de la instalación de climatización mediante el PUE (Power Usage Effectiveness): necesarios para hacerse a la idea mediante parámetros más concretos y visuales, como lo son un rendimiento o una temperatura crítica, de si el centro de datos trabaja en las condiciones óptimas establecidas en la normativa [1] de la bibliografía.
- Proponer medidas de mejora energética aconsejando la posible instalación de algún instrumento de medida adicional así como posibles cambios de operación: en este caso la principal medida de mejora desarrollada es el tema de la humedad, parámetro fundamental en todo ambiente eléctrico y no controlado hasta el momento en el CPD, por lo que se toman medidas de humedad de manera experimental (Anexo 2) y se solicita un presupuesto de instalación y control remoto de la humedad a la empresa INCLIZA (Anexo 4 *Presupuesto control de humedad*).

Como resultado final, en las conclusiones se resume cómo todos los objetivos del proyecto se han alcanzado de manera satisfactoria, y se establecen una serie de conclusiones y recomendaciones para la mejora actual del funcionamiento del CPD o en su caso, de una posible ampliación del centro.

Tras esto, aparecen reflejados todos los anexos necesarios para explicar de manera precisa todo lo desarrollado en el proyecto, desde planos, toma de medidas experimentales, cálculo de medidas, catálogos, presupuestos, etc.

Y por último, todas las referencias bibliográficas consultadas en busca de información e ideas para el desarrollo del proyecto.

Así pues, se pasa a desarrollar el documento principal de la memoria, dividido en las diferentes secciones que aparecen en la tabla de contenido, explicando de manera concisa y diáfana todo el proyecto.

1 Introducción

1.1. ¿Qué es un centro de datos?

Un centro de procesamiento de datos (CPD) es “un edificio o porción de un edificio cuya función principal es albergar un cuarto de ordenadores y sus áreas de soporte” [6].

Es un espacio exclusivo donde las empresas mantienen y operan las infraestructuras TIC (tecnologías de la información y comunicación) que utilizan para gestionar su actividad empresarial. Es el espacio donde alojar los servidores y sistemas de almacenamiento donde se ejecutan las aplicaciones y se procesan y almacenan los datos y el contenido.

El entorno cuenta con control de temperatura y humedad para garantizar el correcto funcionamiento y la integridad operativa de los sistemas alojados. Estas instalaciones cuentan con sistemas de alimentación eléctrica, alimentación de reserva, refrigeración, cableado, detección y extinción de incendios y controles de seguridad.

1.2. Clases de CPD

Un consorcio de fabricantes de servidores han establecido un conjunto de 4 condiciones térmicas estándar para los centros de datos que en 2011 ASHRAE recoge en 4 clases en su guía, *Guidelines for Data Processing Environments* [1].

- **Clase A1.-** Instalaciones con operaciones críticas y parámetros ambientales estrechamente controlados (temperatura, humedad relativa y punto de rocío).
- **Clase A2 a A4.-** Ambientes de oficina o laboratorio con equipamiento informático (pequeños servidores, estaciones de trabajo, PCs, unidades de almacenamiento,...) y parámetros ambientales moderadamente controlados.
- **Clase B.-** Ambientes de oficina o doméstico con equipamiento informático (pequeños servidores, estaciones de trabajo, PCs, unidades de almacenamiento,...) y poco control de la temperatura ambiente.
- **Clase C.-** Instalaciones comerciales o industrias ligeras, protegidas del ambiente exterior pero sin control térmico. El equipamiento informático típico engloba controladores industriales, PDAs, ordenadores para ventas, etc.

Como las clases B y C no entran dentro de la categoría de Centro de datos no son considerados. La tabla 1 muestra las condiciones recomendadas (fiabilidad) y permisibles (funcionabilidad) para el resto de clases, que más adelante serán utilizadas en el proyecto para analizar y juzgar las condiciones de operación actuales del CPD, en este caso las que aparecen encuadradas.

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
Recommended (Applies to all A classes; individual data centers can choose to expand this range based upon the analysis described in this document)								
A1 to A4	18 to 27	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP						
Allowable								
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Tabla 1 Clases de CPD según ASHRAE

1.3. Motivo del auge actual de la climatización de los CPDs

A lo largo de los últimos años, la tecnología ha ido evolucionando. El diseño de la electrónica tiende hacia una mayor capacidad y unas dimensiones mucho más reducidas. Esto está llevando a configuraciones de racks con alta densidad de componentes electrónicos y con una enorme capacidad de gestión de la información, como se puede ver en la siguiente figura (Figura 1) sacada también de la guía de ASHRAE, *Guidelines for Data Processing Environments* [1].

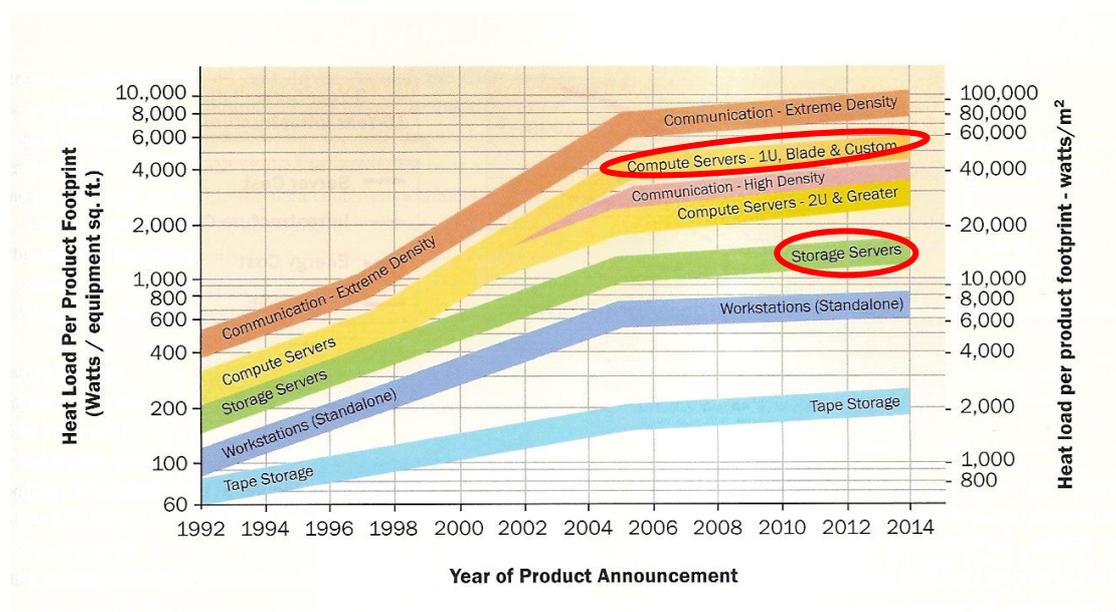


Figura 1 Tendencia de la densidad de calor en dispositivos IT

Sin embargo, estos avances en la tecnología suponen un gran reto para el acondicionamiento de los centros de datos que albergan estos dispositivos de altas prestaciones (aparecen señalados en la Figura 1 los que forman parte del centro de datos analizado), ocasionando en según qué casos graves problemas de refrigeración de toda la carga de calor generada en estas salas.

2 Centro de datos del edificio BIFI

2.1. Localización de la instalación

El Instituto de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BIFI), es un centro de investigación perteneciente a la Universidad de Zaragoza, en España, cuyo principal objetivo es la aplicación de la computación a la física de sistemas complejos y los modelos biológicos.

En el año 2008 el BIFI trasladó sus instalaciones al edificio I+D, situado en el Campus Universitario Río Ebro, en el Actur (como se puede ver en el plano nº1 del Anexo 3 *Planos*), diseñado para acoger a los institutos de investigación de la Universidad de Zaragoza.

En el plano nº2 del Anexo 3 *Planos* se puede ver la localización del centro de datos a analizar en el interior del edificio, situado en la primera planta.

2.2. Función del CPD

El objetivo fundamental del BIFI es desarrollar la cooperación interdisciplinar entre biólogos y físicos para aplicar la biocomputación al desarrollo de la investigación biológica mediante su convergencia en investigación experimental.

Las principales líneas de investigación desarrolladas por el BIFI son:

- Materiales Complejos y Física Fundamental
- Computación y Supercomputación
- Redes Complejas y Sociedad
- Física de los Sistemas Biológicos
- Interacción de Proteína-Ligando
- Interacción Proteína-Proteína y Transferencia de Electrones
- Plegamiento y Estabilidad de Proteínas
- Biología Molecular y Cristalografía

Así pues la función del centro de procesamiento de datos a analizar es la de alojar los servidores y sistemas de almacenamiento donde se ejecutan las aplicaciones y se procesan y almacenan los datos y el contenido de una de las partes de investigación anteriormente mencionadas, en concreto la de computación y supercomputación, centrada en el diseño del procesador, jerarquía de memoria caché, programación de alto rendimiento para arquitecturas paralelas y técnicas de ahorro energético para chips multiprocesador; técnicas necesarias para conseguir centros de datos con buena eficiencia energética, que es llevada a cabo por un grupo de investigación, dirigido por Víctor Viñals, en Arquitectura de Computadores de la Universidad de Zaragoza (gaZ), enmarcado en el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A).

2.3. Estructura del centro de datos del BIFI

2.3.1. Componentes y maquinaria

El centro de procesamiento de datos del BIFI está estructurado por las siguientes partes principales, listadas a continuación y señaladas en las ilustraciones 1 y 2:

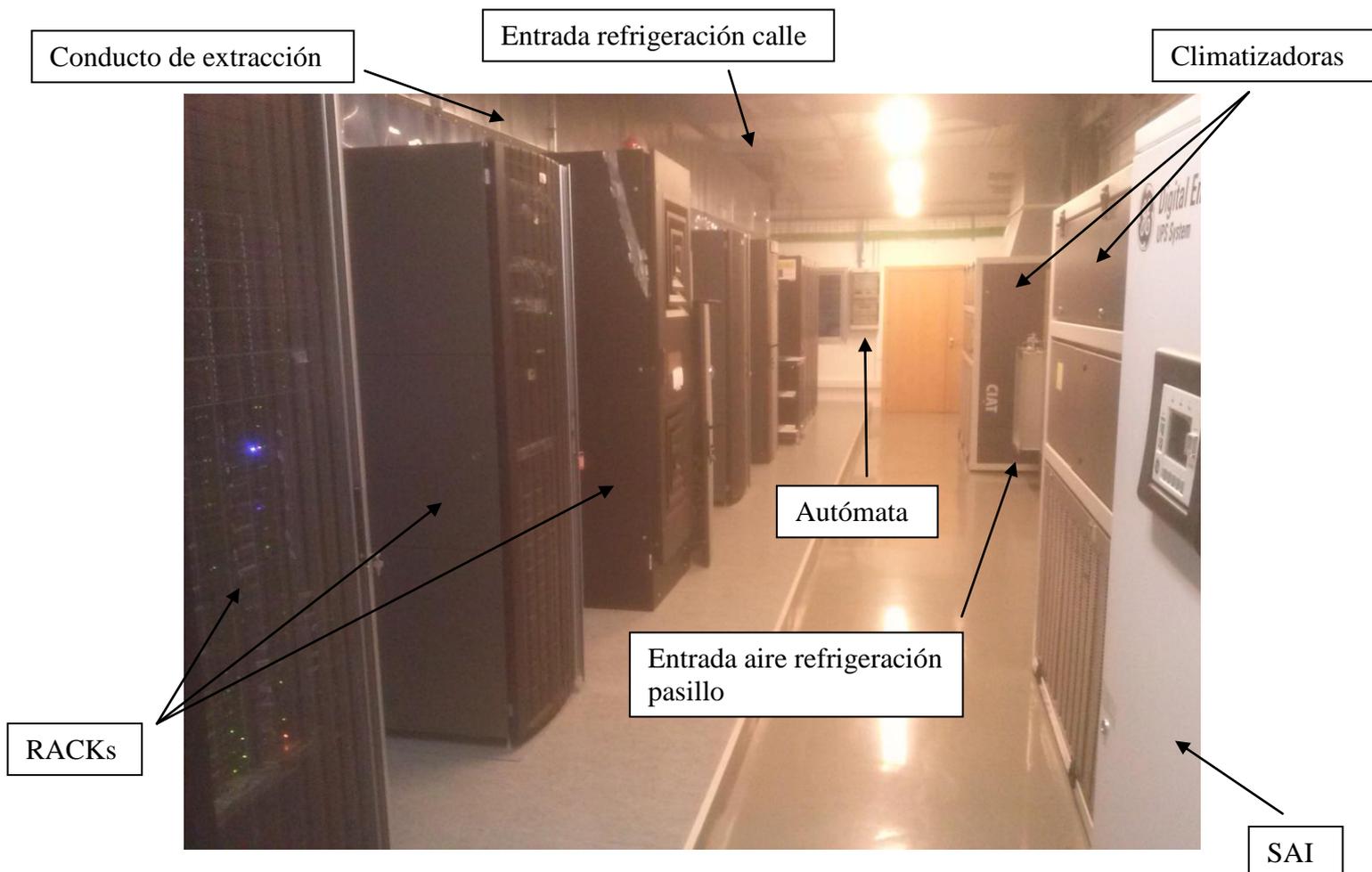


Ilustración 1. Foto del interior del CPD

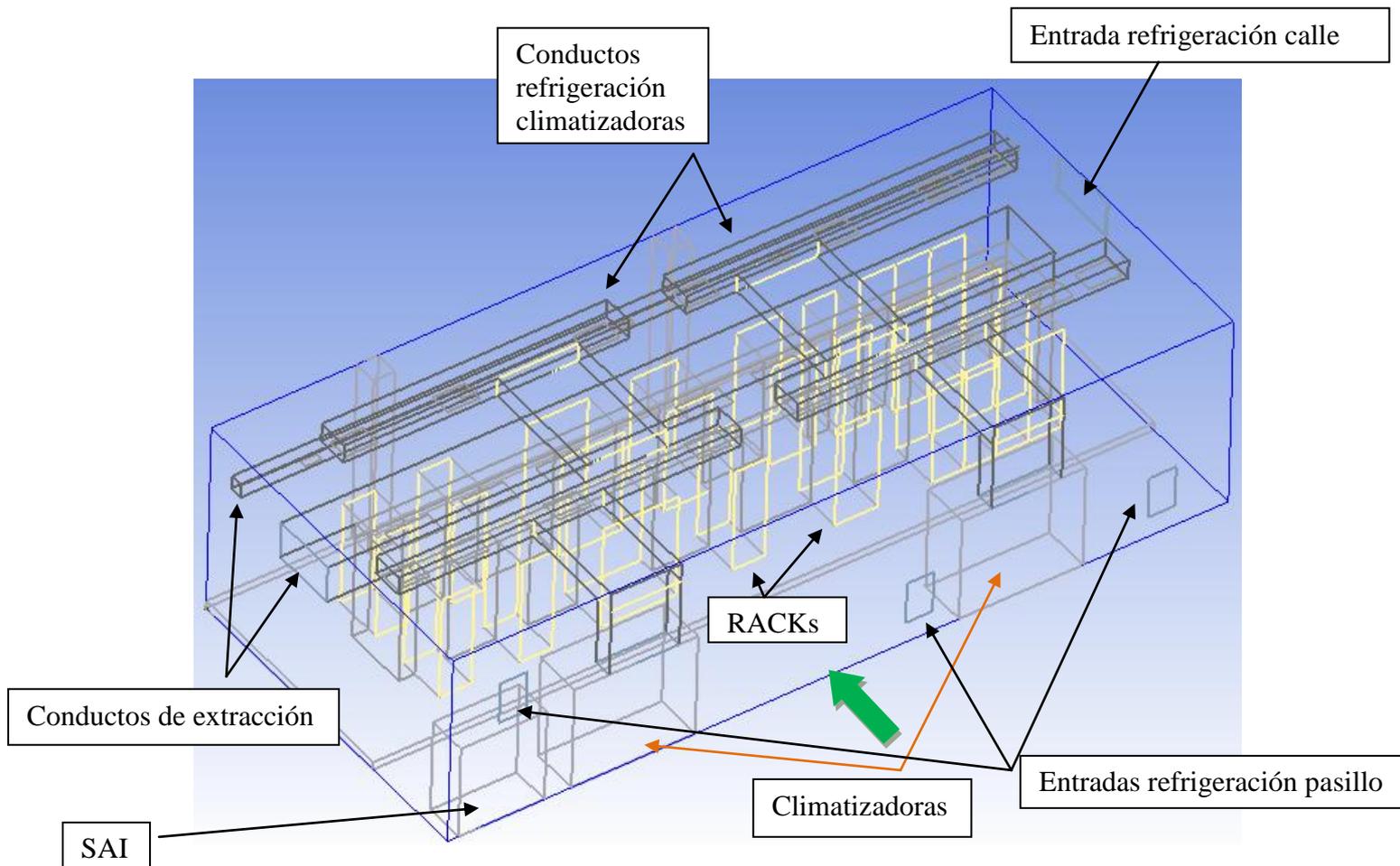


Ilustración 2. Modelo completo del CPD recreado en Icepak

- El conjunto de racks de ordenadores, dispuestos en dos filas, hasta hacer un total de 18 armarios.

Entre los que se encuentran: 13 racks que cuelgan de un SAI (sistema de alimentación ininterrumpida) de 120 kVA trifásico, entre los cuales hay varios armarios con servidores MEG y el proyecto de computación voluntaria Janus (un superordenador construido con FPGAs); los otros 5 racks restantes que consumen entorno a 50 kW, se encuentran alimentados por un cuadro eléctrico independiente, entre los cuales está el supercomputador de memoria compartida híbrida Memento, compuesto por 4 racks que solicitan hasta un total de 44 de los 50 kW.

Las dos filas de racks se encuentran enfrentadas, la parte posterior de una contra la parte posterior de la otra, formando un pasillo caliente cerrado por una cortina de láminas de PVC.

- El SAI de 120 kVA, anteriormente nombrado, al que se tiene acceso por control remoto como se explicará más adelante en el apartado 3.2.1 *Potencias*.

- 2 máquinas de climatización del aire CRAH (ver Anexo 5 *Catálogos*): consistentes en sendos armarios de climatización específicamente adaptados para responder a las necesidades de los locales con fuerte carga térmica o los locales sensibles como lo es un centro de datos, con regulación adaptativa que se ajusta a la carga para reducir el consumo de energía. El ventilador también cuenta con una tarjeta modBus que permite la transmisión de los fallos y configuraciones como la potencia, la intensidad, la velocidad de rotación... por control remoto.
- 3 entradas de refrigeración desde el pasillo con aire ya climatizado.
- 1 entrada de refrigeración desde la calle para funcionamiento en free-cooling.
- 2 extractoras (ver Anexo 5 *Catálogos*) alojadas en el tejado encargadas de la extracción del aire caliente de la sala.
- Un autómatas (Modelo: Facility Explorer, de Johnson Controls Inc.) encargado de controlar y variar el funcionamiento del centro de datos, como se explicará en el siguiente apartado.
- Varios sensores de temperatura.
- Sistema de detección y extinción de incendios, y de seguridad.

2.3.2. Explicación del método de operación actual

Actualmente, el centro de procesamiento de datos del BIFI es refrigerado mediante tres modos de operación en función de la época del año en la que se esté y la temperatura en el interior de la sala:

- El **modo “normal”** es aquel en el que la refrigeración del centro de datos se lleva a cabo a partir del aire ya acondicionado procedente del pasillo. Es lo que más adelante se denominará modelo “*aire pasillo*”. El aire de refrigeración es el aire ya climatizado del propio edificio y que circula por el pasillo anexo al centro de datos. Este aire, a una temperatura entre los 18-19°C, es impulsado desde el pasillo hacia el interior del CPD por tres orificios con ventiladores regulados. Es el modo preestablecido de refrigeración de manera continua salvo que se produzcan alguna de las dos situaciones siguientes.
- En el caso de que la temperatura en el interior de la sala ascienda de los 25°C, y el aire exterior de la calle se encuentre a mayor temperatura que la del pasillo, se activan las climatizadoras, programadas con la consigna de activación a los 25°C de temperatura en sala. Este es el llamado **modo verano**, que es aquel en el cual la refrigeración de la sala se hace a partir de las climatizadoras únicamente, pues los orificios del pasillo se cierran en cuanto las climatizadoras se encienden. Es lo que más adelante se llamará modelo “*aire climatizadoras*”. En el momento que la temperatura de la sala desciende de nuevo hasta la consigna preestablecida (normalmente 22-23°C), se apagan las climatizadoras, y se abren de nuevo los orificios del pasillo entrando de nuevo en modo “normal”, hasta que se alcancen nuevamente los 25°C en sala, repitiendo el proceso de manera cíclica, y de esta forma consiguiendo grandes ahorros de energía.

- El **modo invierno** es aquel que se activa exclusivamente en invierno, cuando la refrigeración de la sala se lleva a cabo por free-cooling, es decir, a través directamente del aire de la calle. Es lo que más adelante se llamará modelo “*aire calle*”. En el caso de que exista un delta de temperatura superior de 5°C entre la temperatura del pasillo y el aire del exterior, se cierran los orificios del pasillo, y se abre el orificio de refrigeración por el que entra el aire directamente desde la calle, pasando del modo normal al de invierno. Durante el invierno se va jugando en función del delta de temperatura con estos dos modos de operación que son extremadamente rentables.

3 Construcción del modelo en ANSYS Icepak

3.1. Programa de cálculo ANSYS Icepak

ANSYS Icepak es una poderosa herramienta de software que permite a los ingenieros de CAE (ingeniería asistida por ordenador) modelar diseños de sistemas electrónicos y realizar simulaciones de transferencia de calor y flujo de fluidos que pueden aumentar la calidad del producto y reducir significativamente su tiempo de salida al mercado. El programa ANSYS Icepak es un sistema de gestión térmica total que se puede utilizar para resolver a nivel de componentes, a nivel de placa, o problemas a nivel de sistema. Se proporciona a los ingenieros de diseño con la capacidad de probar diseños conceptuales en condiciones de funcionamiento que podrían ser poco prácticas para duplicar con un modelo físico, y obtener datos en lugares que de otro modo serían inaccesibles para la monitorización.

ANSYS Icepak utiliza el motor solucionador de dinámica de fluidos computacional FLUENT (CFD) para los cálculos térmicos y de flujo de fluidos. El motor solucionador ofrece flexibilidad de malla completa, y permite resolver geometrías complejas utilizando mallas no estructuradas. Los algoritmos solucionador multimalla basados en la presión proporcionan cálculos robustos y rápidos.

ANSYS Icepak ofrece muchas características que no están disponibles en otros paquetes de análisis térmicos y de flujo de fluidos comerciales, como el modelado preciso de dispositivos no rectangulares, conductividad anisotrópica, curvas no lineales de ventiladores, etc.

3.2. Construcción del modelo de refrigeración con aire del pasillo

En este apartado se va a llevar a cabo la explicación del modelo de refrigeración de la sala a partir del aire climatizado que circula por el pasillo anexo al CPD. No se va a describir paso a paso en este apartado como se ha ido construyendo la sala, pues todo eso es explicado en el Anexo 1 Construcción *paso a paso*, sino que aquí se van a explicar en detalle cómo se han calculado o de dónde se han obtenido los datos

numéricos introducidos a lo largo del anexo y que son necesarios para la resolución del modelo con el programa.

Una vez explicados todos los datos numéricos introducidos, se explicarán en otros apartados todas las decisiones tomadas para realizar tanto el mallado como las configuraciones previas a la ejecución del programa.

En primer lugar se va a hacer un listado con los elementos principales de la sala para este modelo (Ilustración 3), y hacer alguna aclaración sobre las decisiones previas tomadas antes de la construcción del modelo.

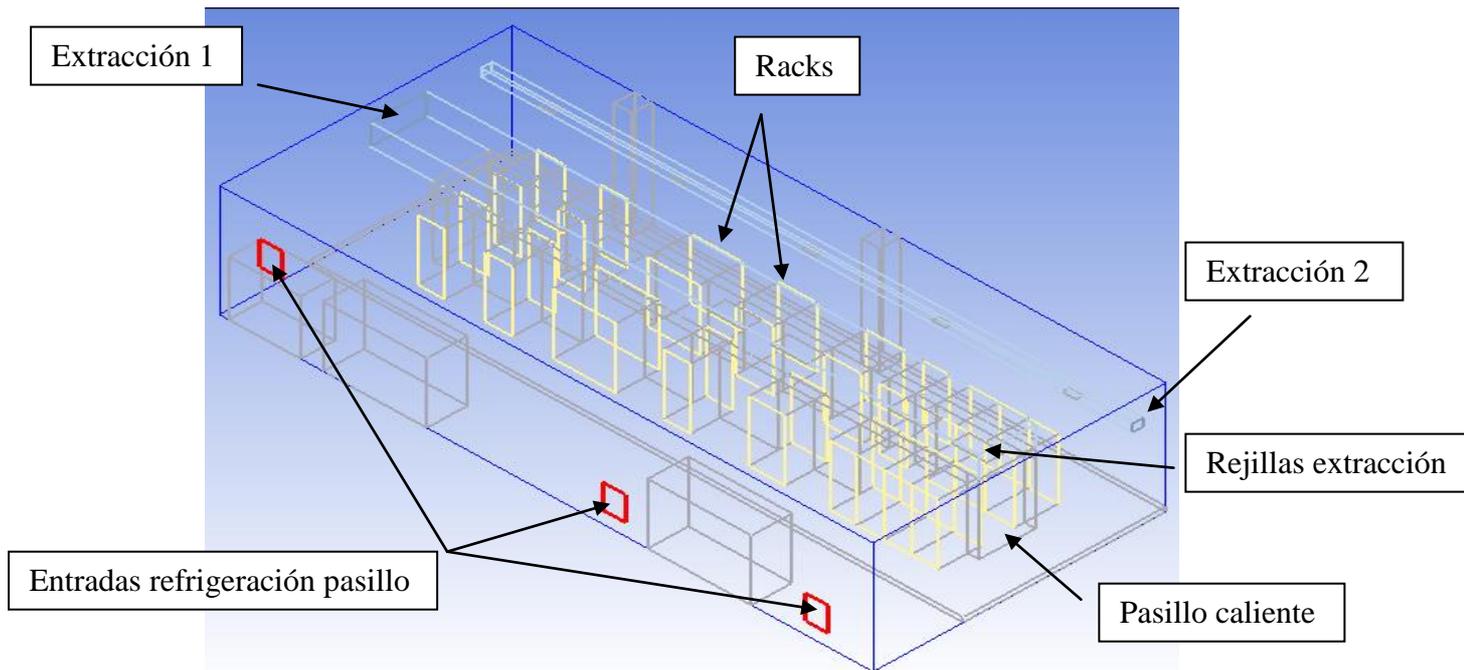


Ilustración 3. Modelo de refrigeración aire pasillo

La única aclaración necesaria en este modelo entre todos los elementos modelados es la relativa al empleado para simular la cortina que cierra el pasillo caliente. Debido a que este cerramiento no es perfecto, sino que existen fugas de aire a través de las diferentes láminas de plástico que conforman la cortina, se ha decidido simular el cerramiento del pasillo caliente como rejillas con una mínima área de paso de aire a través de estas, simulando así las pequeñas fugas de que puedan existir. En concreto se ha supuesto un área de paso de aire del 5%, valor que después ha sido admitido en vista de los resultados de temperatura del modelo, que son similares a los del caso real.

3.2.1. Potencias

Uno de los primeros datos requeridos por Icepak es la potencia de cada uno de los racks, que después será el calor disipado al ambiente de la sala por cada uno de ellos.

Se empieza en primer lugar por los 13 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 y mediante la referencia [2] de la bibliografía, que es el enlace de la aplicación en Internet, 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.

Como se puede ver en el Anexo 6 *Historial semanas CPD*, se tiene 9 días con datos de la aplicación del SAI, y aunque se ve como la carga está desequilibrada, se va a realizar la cuenta de la manera más sencilla y para el caso más desfavorable:

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

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

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

$$\rightarrow \text{Potencia de cada rack: } 230 \text{ V} \cdot (99.5 + 73.2 + 98.2) \text{ A} / 13 \text{ racks} \approx \mathbf{4800W}$$

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 5 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.
- Para el rack restante, al ser similar a los otros 13 racks que cuelgan del SAI, se le va a suponer una potencia de 4800W.

3.2.2. Flujos de aire

- Otro de los datos que necesita el programa es el flujo de aire que circula a través de cada rack y que entra de refrigeración a través de las rejillas desde el pasillo. En el modelo aire pasillo se ha creído conveniente medir experimentalmente cada uno de los flujos que circula a través de cada rack, pues las entradas de aire desde el pasillo están enfocadas hacia la primera línea de racks, por lo que a la línea de racks de detrás no llegará la misma cantidad de aire, y esto repercute notablemente en las temperaturas. Para el resto de modelos se supondrá que la cantidad de aire que atraviesa cada rack es la misma, pues el aire se distribuye uniformemente por la sala, sin embargo para la refrigeración desde el pasillo es muy llamativo que el flujo de aire será muy diferente para cada una de las filas de racks.

Así pues, gracias a la ayuda de un anemómetro proporcionado por el Departamento de Ingeniería Mecánica y siguiendo la normativa que aparece en el capítulo 4 de la referencia [1] de la bibliografía sobre toma de mediciones, se obtienen los diferentes flujos de aire que atraviesan cada rack y las rejillas de aire de refrigeración del pasillo, como se puede ver en el Anexo 2 *Medidas experimentales del flujo de aire a través de los racks con el anemómetro*. En este anexo además se comprueba experimentalmente que la suma de caudales que atraviesan los racks es igual al caudal de aire extraído por las extractoras del tejado, lo que da validez a las mediciones.

- También es necesario proporcionarle al programa el caudal de aire que extraen las extractoras que se encuentran en la cubierta del tejado (plano nº6 del Anexo 3 *Planos*). En el tejado hay dos extractoras que sacan el aire caliente de la sala al exterior a través del conducto de extracción del pasillo caliente.

La medida de este caudal se ha obtenido gracias a la monitorización que tienen los ingenieros informáticos del CPD y que les hizo INCLIZA a través de un autómata con protocolo BACnet/IP en el momento del montaje del centro de datos por esta empresa de Zaragoza. Al igual que para la aplicación del SAI, se necesitaba de permisos de acceso, y después de insistir mucho a INCLIZA para activar la lectura en remoto de variables y con la ayuda de Fernando Lasala, se consiguió que INCLIZA activase BACnet/IP gratis. Gracias a esto y a través de una máquina virtual se tiene acceso desde casa por control remoto al ordenador donde se encuentra el autómata desarrollado por INCLIZA y en el que se pueden ver diferentes variables de interés, en este caso el caudal que extraen las extractoras.

El único inconveniente es que este caudal no es fijo, sino que oscila con el tiempo, por lo que se comprobó cual era el máximo y mínimo valor de extracción de cada climatizadora y se hizo la media:

EXTRACTORA 1: Máx. 12597 m³/h; Mín. 10989 m³/h → 11793 m³/h

EXTRACTORA 2: Máx. 11534 m³/h; Mín. 10246 m³/h → 10890 m³/h

TOTAL: 22683 m³/h = **6.3 m³/seg** (*extraccion1* del programa)

Para el segundo orificio de extracción (*extraccion2* del programa) no se tienen medidas, por ser un caudal despreciable, por lo que se supuso de acuerdo con lo hablado con los informáticos que por ese orificio se extraía en torno a una décima parte del extraído por las dos extractoras que conforman la *extracción1* → **0.6 m³/seg** (*extracción 2*).

3.2.3. Temperaturas

La última de las variables solicitadas a lo largo de la creación del modelo es la temperatura, en este caso la de entrada del aire de refrigeración desde el pasillo al CPD.

Este valor de temperatura se obtiene del mismo sitio que el caudal de extracción de las extractoras, es decir, del autómata de INCLIZA al que se tiene acceso de manera remota. La imagen que tiene el autómata se puede ver en la figura 2:

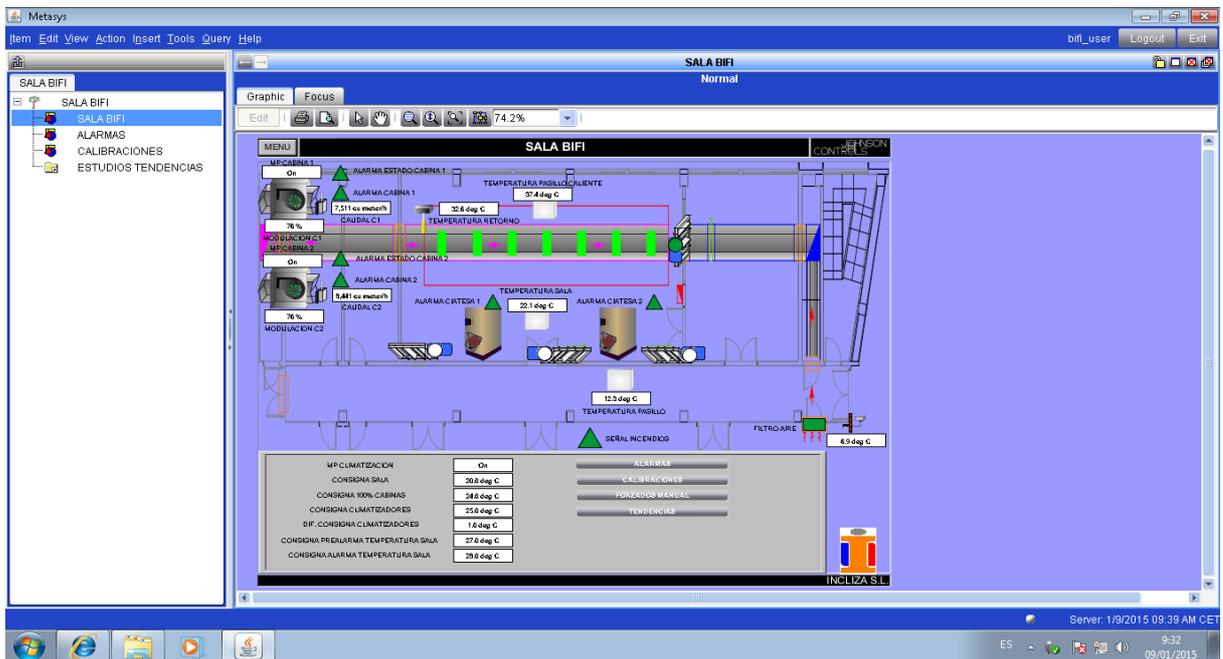


Figura 2. Autómata de INCLIZA

En ella se pueden ver tanto los caudales de extracción de las dos extractoras del tejado, así como las temperaturas de la sala, temperatura del pasillo, temperatura de retorno del aire caliente, la temperatura dentro del pasillo caliente y la temperatura de la calle.

A través de esta herramienta, se elaboró el historial del Anexo 6 *Historial semanas CPD*, y haciendo la media de las tres semanas evaluadas para la temperatura de entrada de aire del pasillo se obtiene:

TEMPERATURA MEDIA PASILLO:

$$(19.3+19.8+19+19.1+18.9+18.5+19.1+19.2+18.6+18.7+19.1+18.8+18.9+18.5) / 14 \text{ días}$$
$$= 18.96^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{Se elige } 19^{\circ}\text{C}$$

3.2.4. Mallado

Una vez que se ha terminado el diseño del modelo, es necesario generar la malla de cálculo que se utiliza como la base del procedimiento de solución, siendo este uno de los pasos más delicados. La malla se compone de elementos discretos situados a través del dominio computacional. Dentro de cada elemento, ANSYS Icepak resuelve las ecuaciones que gobiernan el flujo y la transferencia de calor. Una buena malla computacional es un ingrediente esencial para una solución exitosa y precisa. Si la malla global es demasiado gruesa, la solución resultante puede ser imprecisa. Si la malla global es demasiado fina, el coste computacional puede llegar a ser prohibitivo. En resumen, el coste y la precisión de la solución dependen directamente de la calidad de la malla.

Los elementos de la malla cercanos a objetos son más pequeños para tener en cuenta los gradientes térmicos y de velocidad que a menudo están presentes cerca de los límites de un objeto. Por el contrario, los espacios abiertos entre los objetos están mallados como elementos grandes, para minimizar los costes computacionales.

Hay dos tipos de malladores disponibles en ANSYS Icepak: “hex-dominant” y “hexahedral”. El mallador hex-dominant es el mallador por defecto, ya que es un generador de malla no estructurada robusto y altamente automatizado que puede manejar las redes de tamaño y complejidad prácticamente ilimitada, que consta principalmente de elementos hexaédricos pero incluyendo células triangulares o piramidales. Este mallador, según la ayuda de Icepak, es capaz de hacer todo lo que el otro puede, y por eso es el utilizado.

El modelo aire pasillo se resolvió con los valores por defecto de malla que sugiere el programa, estableciendo eso sí una malla fina y precisa en lugar de gruesa, obteniendo la malla que se puede ver en la Ilustración 4.

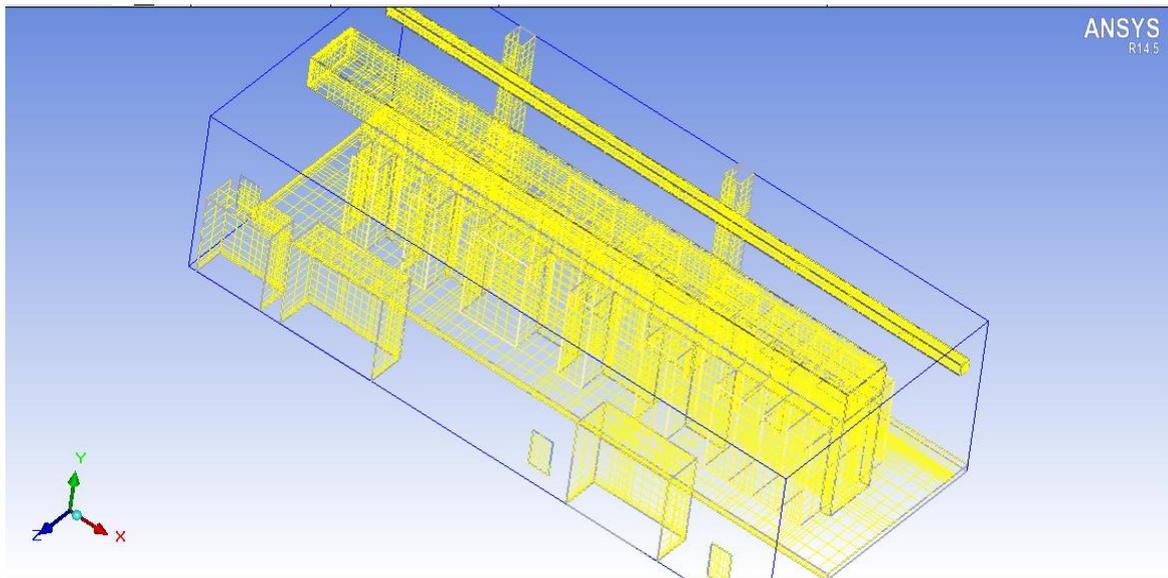


Ilustración 4. Malla del modelo de refrigeración aire pasillo

Además, ANSYS permite comprobar a través de alguna de sus herramientas si el mallado es el adecuado para cada caso:

- Face alignment (alineación de las caras): caras de malla adyacentes que no están alineadas pueden resultar a la larga, elementos estrechos. Un valor de 1 indica una alineación perfecta. Los valores inferiores a 0,15 indican una malla severamente distorsionada. Como se ve en la siguiente imagen, el modelo cumple.

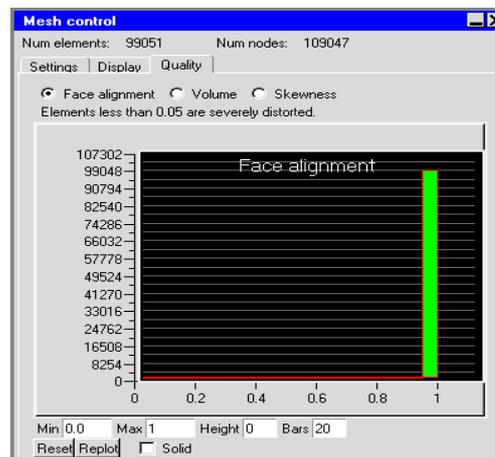


Ilustración 5. Alineación de las caras

- Volumen: Elementos de volumen extremadamente pequeños (del orden de 10^{-12} o inferior) pueden llevar a problemas en el solucionador. El modelo cumple como se ve en la siguiente imagen.

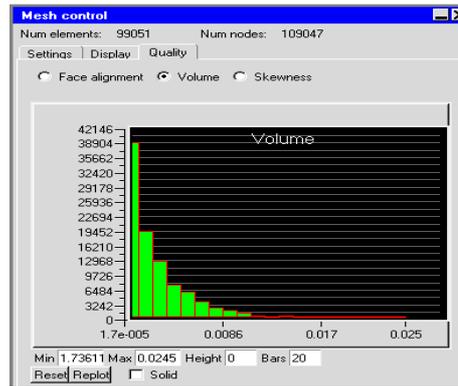


Ilustración 6. Volumen

- Skewness (asimetría): según la definición de la asimetría, un valor de 1 indica una celda equilátera (el mejor) y un valor de 0 indica una celda completamente degenerada (peor). El modelo de malla es perfecto como se ve en la siguiente imagen.

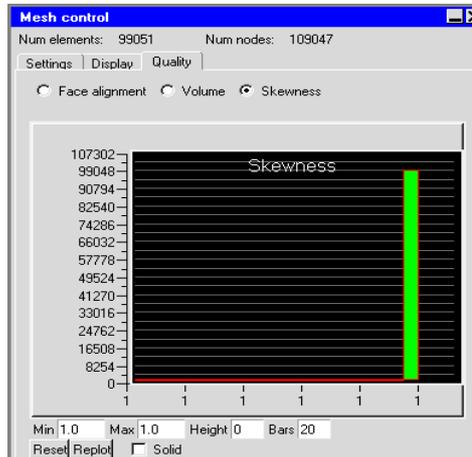


Ilustración 7. Asimetría

3.2.5. Configuración de los parámetros físicos y numéricos

Antes de empezar a resolver el modelo, hay que pasarle al programa una serie de consignas y pautas, numéricas y físicas, para que pueda resolver el modelo satisfactoriamente. Las decisiones tomadas han sido las siguientes:

- Este es un problema de régimen turbulento (con un valor de Reynolds calculado por ANSYS elevado). Se elige para la resolución el modelo de turbulencia zero-equation: los modelos más sencillos (y menos costoso computacionalmente) son los modelos algebraicos. Éstos también se llaman modelos "cero ecuación", porque no resuelven una ecuación de transporte adicional a fin de predecir los aportes de la turbulencia. Estos modelos no son muy generales, por lo que no se utilizan mucho, pero cuando pueden ser aplicados, a menudo dan muy buenos resultados.

- Se establece un valor inicial para los cálculos en el eje vertical de 0.5 ft/seg, pues se recomienda un valor de velocidad inicial distinto de cero en problemas de participación de la convección natural.
- Para el esquema de discretización se elige la aproximación de Boussinesq en lugar de la de gas ideal.

En principio, las ecuaciones que gobiernan el movimiento del fluido dentro de la cavidad son las ecuaciones de Navier-Stokes completas correspondientes a un fluido viscoso, conductor de calor y compresible. No obstante, y debido a la complejidad de dichas ecuaciones, ha sido tradicional en los estudios de la convección natural de Rayleigh-Bénard [4] buscar simplificaciones que faciliten el análisis del problema. Una simplificación drástica de las ecuaciones que gobiernan el fenómeno de convección natural se obtiene mediante la denominada *aproximación de Boussinesq*, justificada siempre que las variaciones relativas de densidad en el proceso sean pequeñas.

Obsérvese primero que para que las variaciones relativas de densidad sean pequeñas es necesario que las variaciones de la presión y temperatura sean también pequeñas frente a unos valores de referencia p_0 y T_0 característicos del problema. En efecto, el desarrollo en serie de Taylor de la ecuación de estado del fluido, $\rho = \rho(p, T)$, proporciona entonces la primera aproximación:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = -\beta (T - T_0) + k (p - p_0) .$$

Cuando en el movimiento del fluido juegan un papel importante las variaciones de temperatura, como es el caso de la convección de Rayleigh-Bénard, puede demostrarse que es despreciable la influencia de las variaciones de presión en las variaciones de densidad.

Para el caso de aire, considerado como un gas perfecto, se tiene que, a temperatura ambiente $\beta = 1/T_0 \sim 1/300 \text{ K}^{-1}$, luego se puede utilizar la siguiente aproximación:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = -\beta (T - T_0)$$

- Otro de los parámetros fundamentales a configurar son los coeficientes de relajación, ya que debido a la no linealidad del conjunto de ecuaciones, es necesario reducir el cambio de una variable de una iteración a la siguiente. Esto se conoce como coeficientes de relajación. Por ejemplo, si el factor de relajación que afecta a la presión es 0.3, el cambio en el valor de la presión de una iteración a la siguiente se limitará al 30% de la diferencia entre el valor inicial y el valor recién calculado. Estos valores se discutirán más adelante en el apartado 4.1. *Depuración del modelo de cálculo.*

3.3. Construcción del modelo de refrigeración con aire de la calle

En este apartado se va a llevar a cabo la explicación del modelo de refrigeración de la sala a partir del aire de la calle, es decir, mediante el funcionamiento por free-cooling. Como se ha comentado anteriormente, este modo de funcionamiento se pone en marcha cuando el delta de temperatura entre el pasillo y la calle es superior a 5°C.

Aquí no se va a describir paso por paso la construcción del modelo, pues aparece en el Anexo 1 *Construcción paso a paso*, ni tampoco se va a entrar en tanta explicación como para el caso anterior. Simplemente se va a explicar en un único apartado las cosas que cambian del anterior modelo y como se han calculado los nuevos valores, que aparecen en el Anexo 1 *Construcción Paso a paso* en la parte *Construcción del modelo "aire calle"*.

Se puede ver en la siguiente imagen como el único elemento principal que ha cambiado respecto al modelo anterior es que se han sustituido las tres entradas de refrigeración del pasillo por una única entrada de refrigeración, esta vez con aire de la calle.

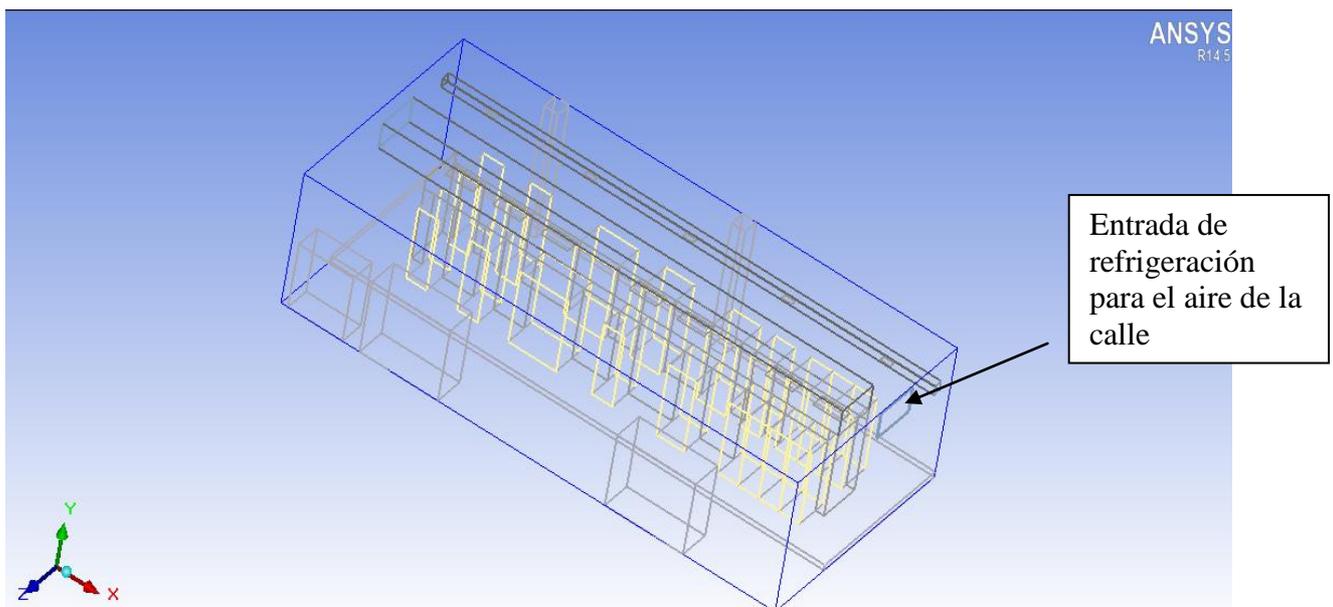


Ilustración 8. Modelo de refrigeración aire calle

3.3.1. Modificaciones respecto al modelo aire pasillo

Los aspectos que cambian en este nuevo modelo son:

- Potencias: similares al caso anterior.

- Flujos de aire:

- En este caso varía el flujo de aire de extracción, que de acuerdo con lo hablado con los informáticos y lo visto en el automático de INCLIZA tiene un valor de 9000 m³/h, cada extractora, pues en este caso se necesita de menor cantidad de aire para refrigerar la sala al entrar a menor temperatura:

$$\text{Extracción1} = (9000+9000)/3600 = \mathbf{5 \text{ m}^3/\text{seg}}.$$

$$\text{Extracción2} = 5/10 = \mathbf{0.5 \text{ m}^3/\text{seg}}$$
 (la decima parte, como se hizo antes)

$$\text{Para la entrada, por conservación de masa} \rightarrow 5 + 0.5 = \mathbf{5.5 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

Además, en este caso, se considera que el flujo de aire que circula a través de cada rack va a ser el mismo, debido a la forma en que entra el aire y se reparte de manera casi uniforme como después se comprobó:

$$\text{Flujo por cada rack: } 5.5 \text{ m}^3/\text{seg} / 18 \text{ racks} = \mathbf{0.3055 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

- Temperaturas: la temperatura del aire de refrigeración en este caso cambia, ya que ahora es la de la calle. Como se pone en funcionamiento el modo invierno cuando el delta de temperatura entre calle y pasillo es de 5°C y en el pasillo de media se está a 19°C $\rightarrow 19 - 5 = \mathbf{14^\circ\text{C}}$ (caso más desfavorable).
- Mallado y parámetros físicos y numéricos: el mallado es el mismo por defecto (su imagen es similar al de la ilustración 4 del caso anterior) y de los parámetros solo cambian los coeficientes de relajación (explicados en el Anexo 7).

3.4. Construcción del modelo de refrigeración con aire de las climatizadoras

En este apartado se va a llevar a cabo la explicación del modelo de refrigeración de la sala a partir del aire de las dos climatizadoras del CPD. Como se ha comentado anteriormente, este modo de funcionamiento se pone en marcha cuando, normalmente en verano, se alcanza una temperatura en la sala superior a los 25°C. En ese momento se encienden las climatizadoras y se cierran las entradas de aire del pasillo.

Aquí no se va a describir paso por paso la construcción del modelo, pues aparece en el Anexo 1 *Construcción paso a paso*, ni tampoco se va a entrar en tanta explicación como para el modelo del pasillo. Simplemente se va a explicar en un único apartado las cosas que cambian del anterior modelo y como se han calculado los nuevos valores, que aparecen en el Anexo 1 en la parte *Construcción del modelo de refrigeración "aire climatizadoras"*.

En la ilustración 9 del CPD en modo verano se puede ver que los principales cambios introducidos en el modelo son dos: los conductos de refrigeración por los que circula el aire frío procedente de las climatizadoras y que es distribuido de manera uniforme por la sala, y por otro lado las dos climatizadoras, simuladas como bloques sólidos con un ventilador encima de estas por los que se introduce e impulsa el aire frío al interior del modelo.

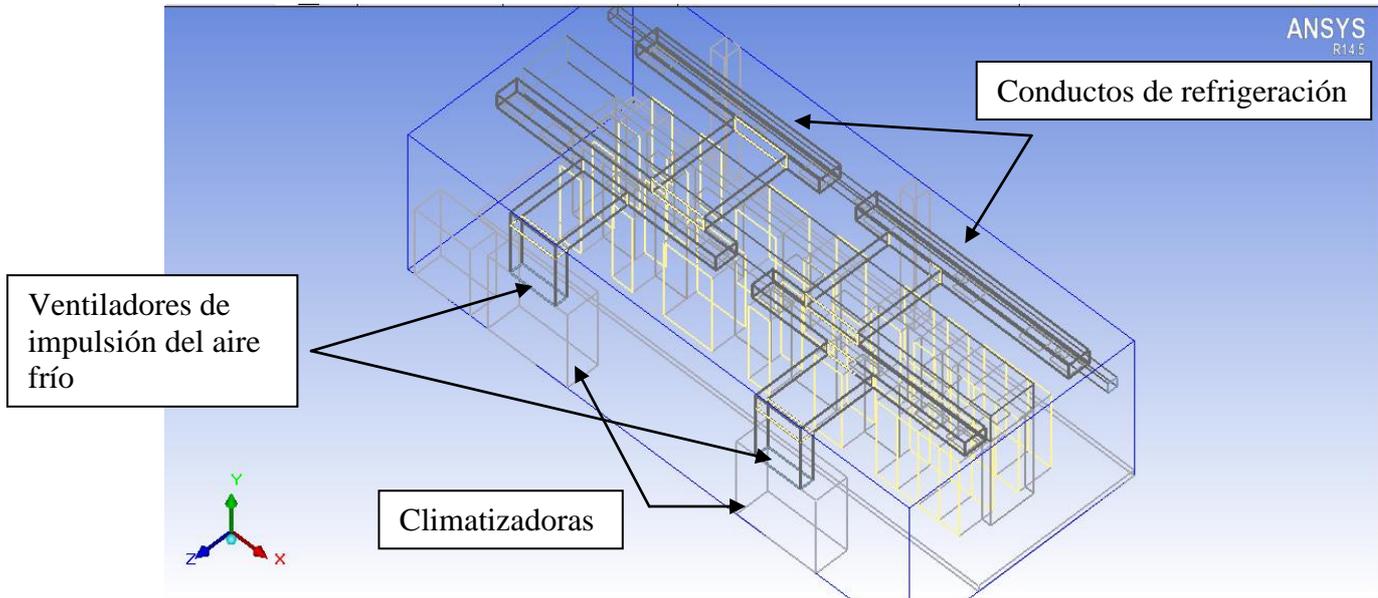


Ilustración 9. Modelo de refrigeración aire climatizadoras

3.4.1. Modificaciones respecto al modelo aire pasillo

Lo primero que cambia es añadir los conductos de refrigeración por los que circula el aire frío de las climatizadoras, como aparece en el Anexo 1 *Construcción paso a paso*.

- Potencias: similares al caso anterior.
- Flujos de aire:
 - o En este caso, el caudal suministrado por cada una de las climatizadoras es variable, pero según lo visto en el autómata ronda los 12000 m³/h. Así pues cada climatizadora aporta **3.3 m³/seg**.

De los 6.6 m³/seg totales de refrigeración, se ha supuesto que el flujo que atraviesa cada rack es el mismo, debido a que las climatizadoras suministran el aire frío a través de las rejillas de manera simétrica en la sala → $6.6 / 18 \text{ racks} = \mathbf{0.3666 \text{ m}^3/\text{seg}}$

Por la *extracción2* sale la décima parte que por la *extracción1* del caudal total en sala, luego **6 m³/seg** la *extracción1* y **0.6 m³/seg** la *extracción2*.

- Temperaturas: la temperatura del aire frío de las climatizadoras dependerá de la temperatura del aire caliente que cojan de la recirculación. Estas tienen una consigna de llegar a los 18°C, valor que no alcanzan, por lo que se supone el caso más desfavorable de que suministran el aire frío a la sala a **17°C**.
- Mallado y parámetros físicos y numéricos: el mallado es el mismo por defecto (ver ilustración 10) y los parámetros físicos y numéricos son similares al caso aire pasillo.

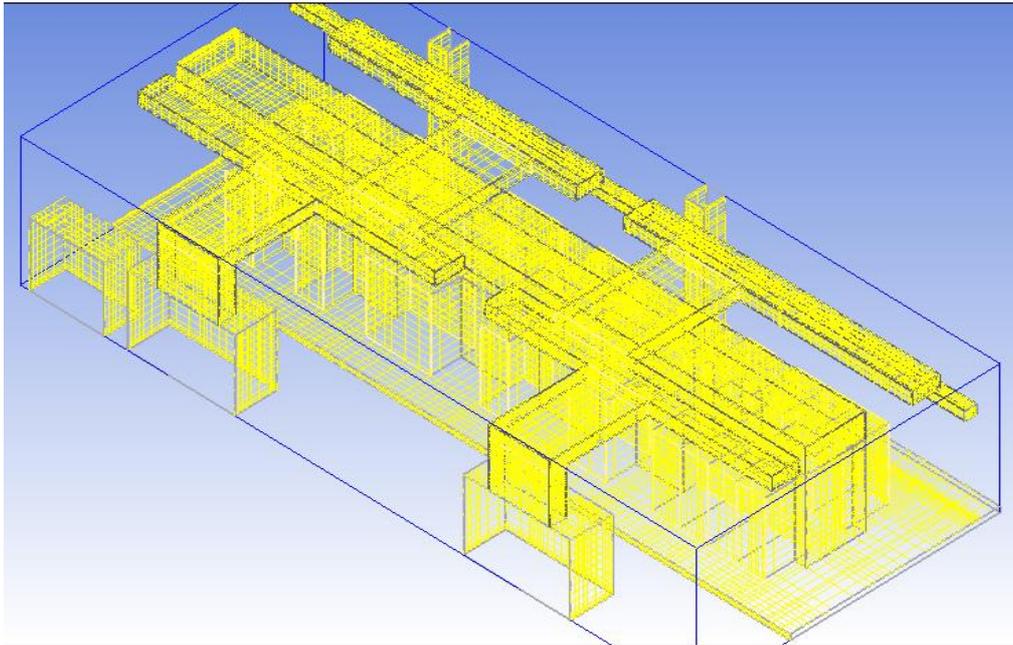


Ilustración 10. Malla del modelo de refrigeración aire climatizadoras

4 Depuración y validación de los resultados obtenidos

4.1. Depuración del modelo de cálculo

En el Anexo 7 *Depuración del modelo de cálculo* se han plasmado las diferentes pruebas realizadas sobre los parámetros del modelo de cálculo hasta dar con la solución más precisa y rápida para cada uno de los tres casos.

4.2. Resultados obtenidos en los tres modelos

A continuación se muestra la solución obtenida para cada uno de los tres modelos, prestando especial atención a las temperaturas de contorno alcanzadas en los racks ya que son las zonas más críticas a evaluar para que estos operen en las condiciones óptimas.

Se aporta también para cada modelo una imagen con el diagrama vectorial $\bar{v} + T$ que permite visualizar la trayectoria que recorre el aire desde la entrada de refrigeración concreta para cada caso hasta su extracción, así como su variación de temperatura por el camino.

- MODELO AIRE PASILLO:

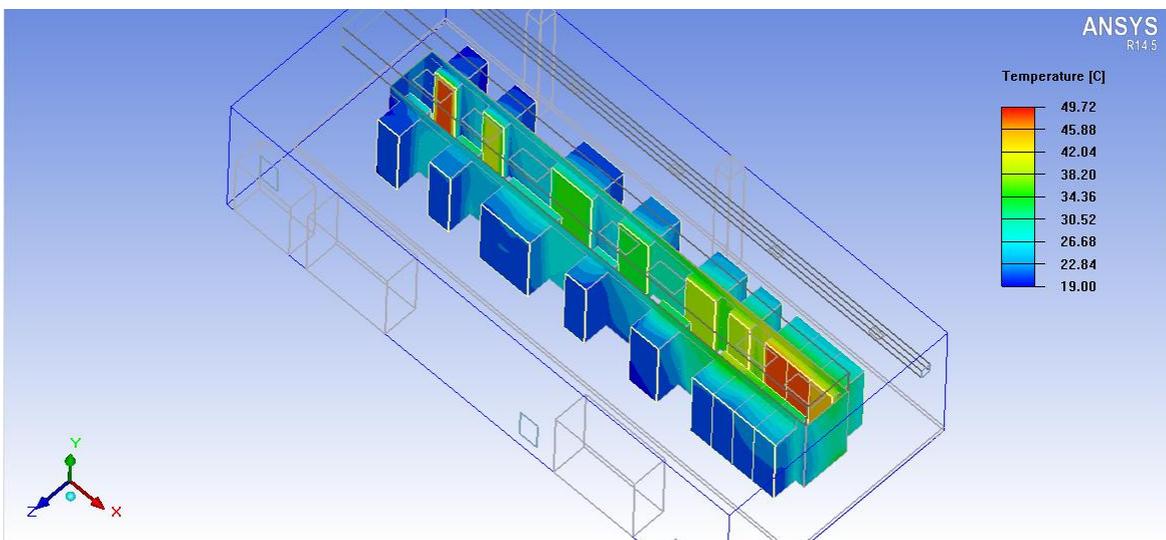


Ilustración 11. Temperatura de contorno en racks modelo pasillo

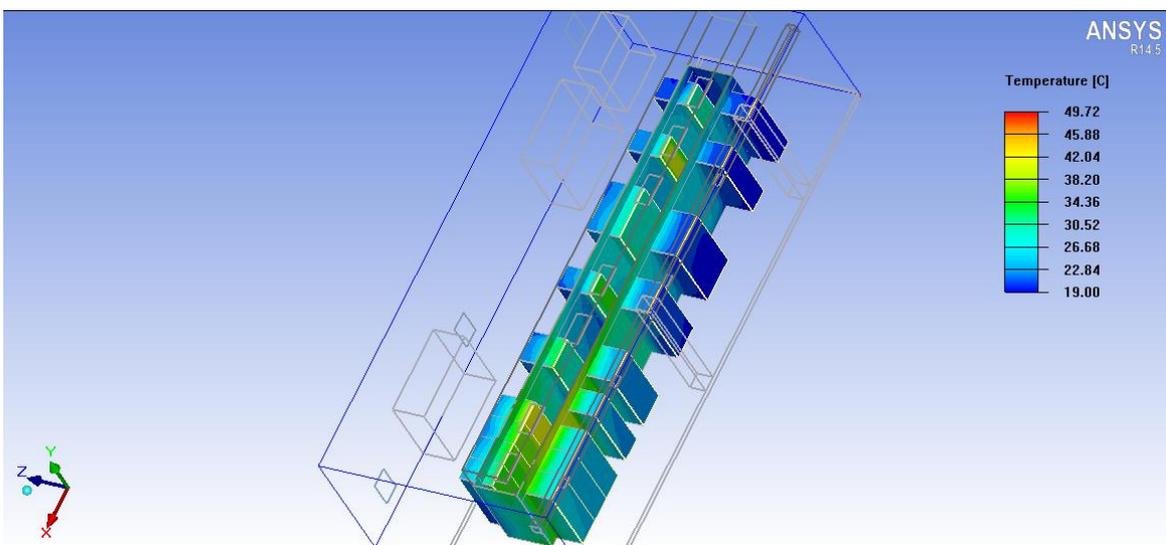


Ilustración 12. Temperatura contorno en racks modelo pasillo

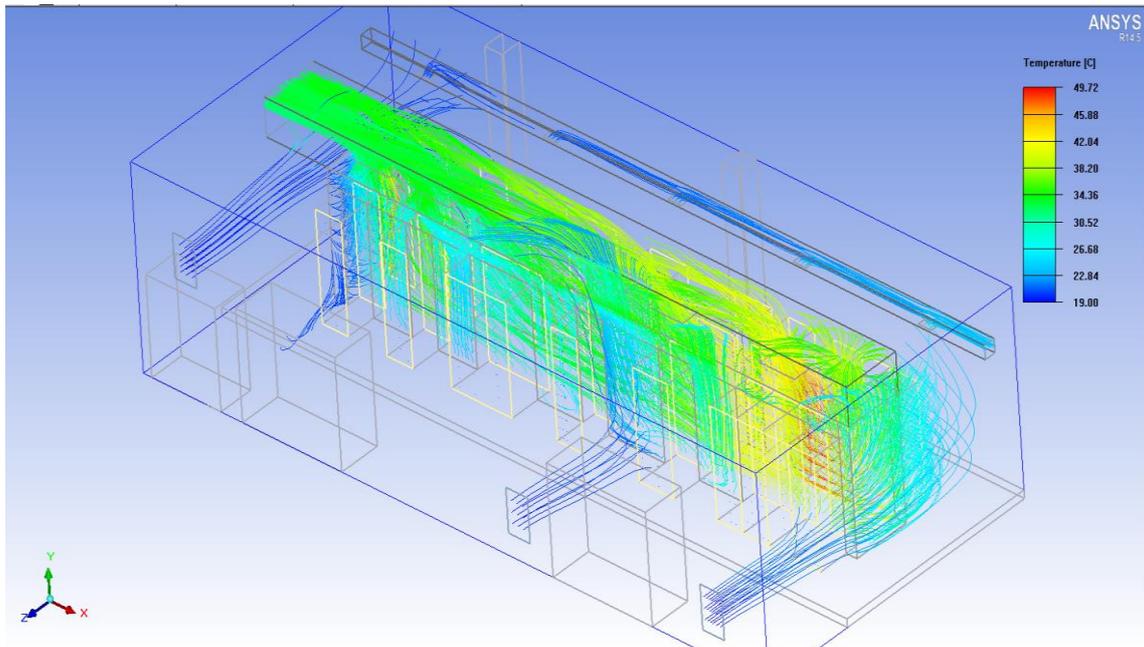


Ilustración 13. Diagrama vectorial $\vec{v} + T$ aire pasillo

Como se puede ver en la ilustración 13, el aire introducido por los tres orificios de refrigeración pasa a través de los racks hacia el pasillo caliente, de donde el aire es succionado por la extracción haciéndolo pasar por las rejillas del pasillo y conduciéndolo por el conducto de extracción hacia el exterior.

- MODELO AIRE CALLE:

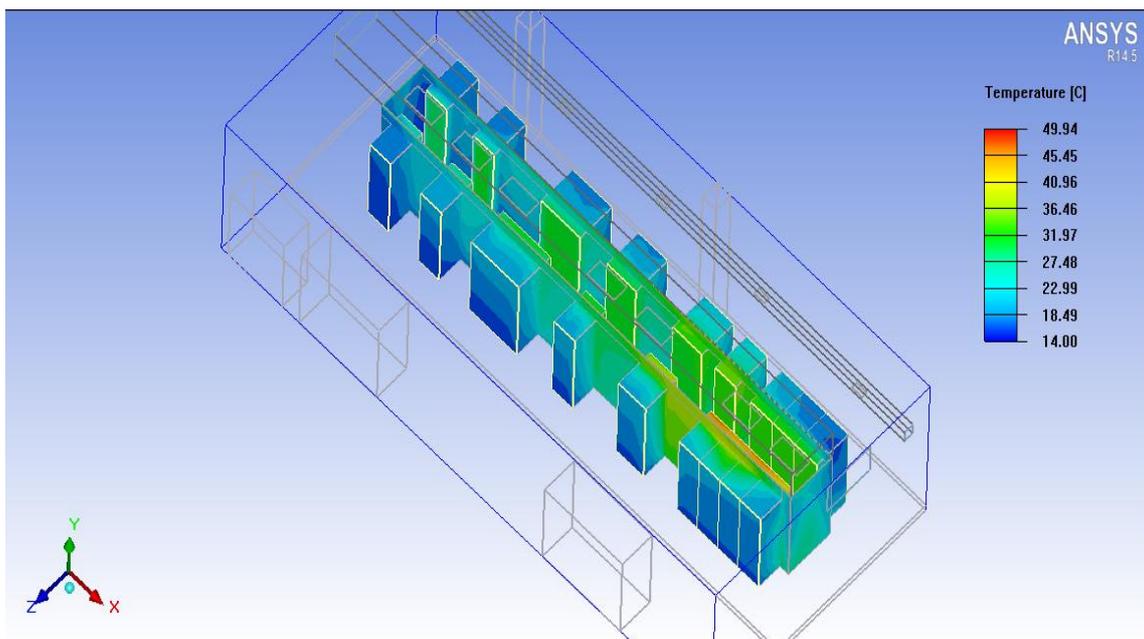


Ilustración 14. Temperatura contorno en racks aire calle

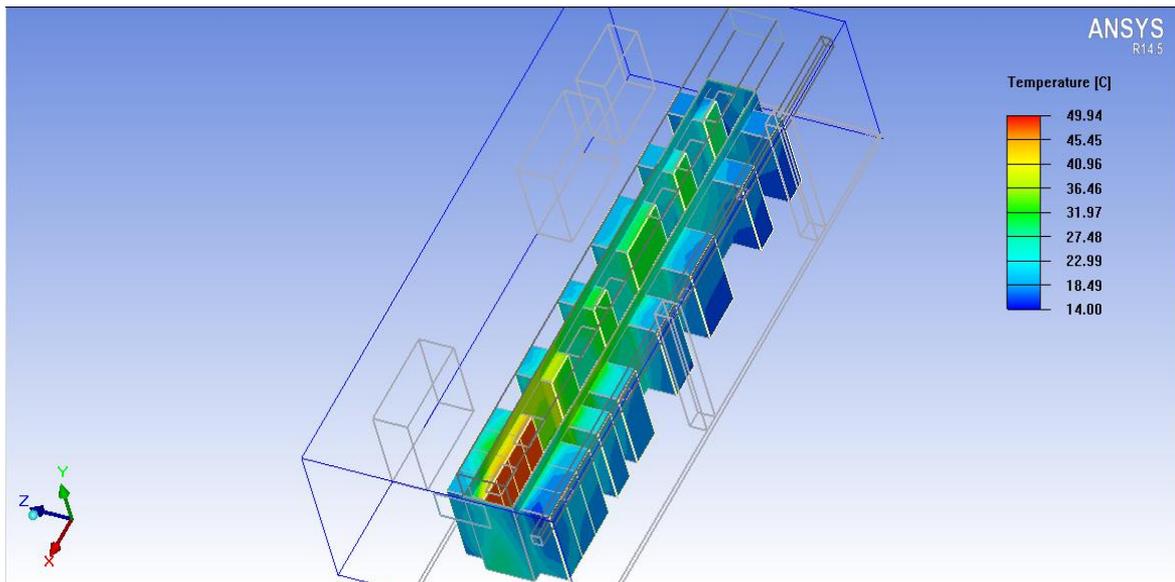


Ilustración 15. Temperatura contorno en racks aire calle

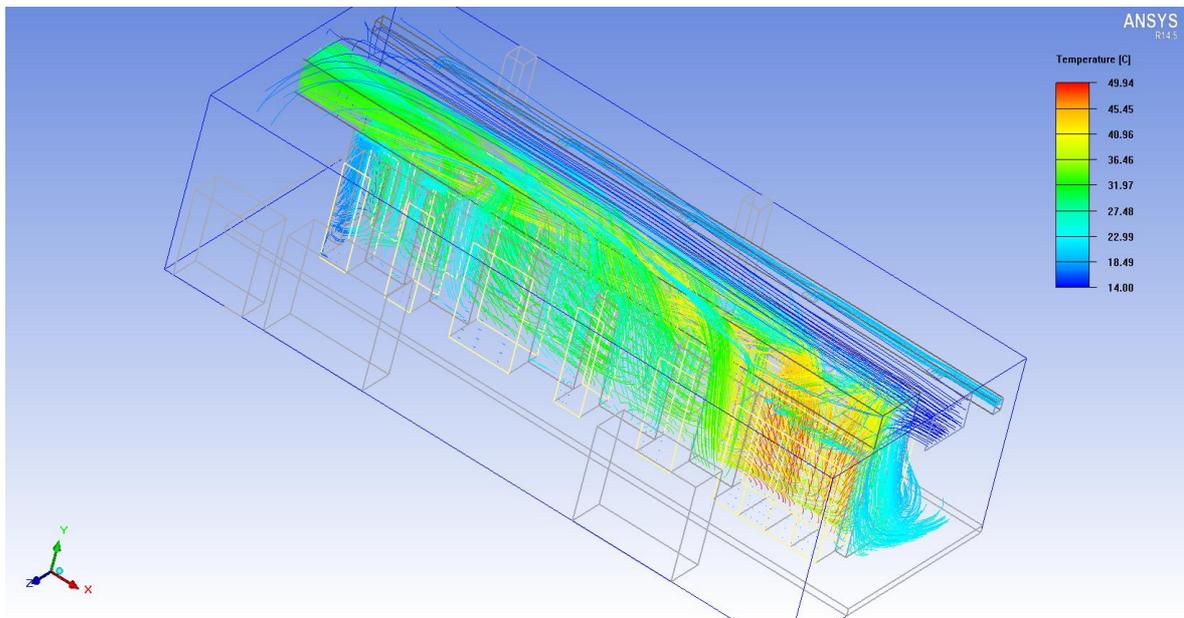


Ilustración 16. Diagrama vectorial $\vec{v} + T$ aire calle

Para este caso se puede ver cómo el aire entra en la sala a través de la única entrada de refrigeración, la de la calle, y se distribuye de manera uniforme por toda la habitación, para seguir a continuación el mismo camino de extracción que para el modelo anterior.

En vistas de que el aire se distribuye de manera uniforme por toda la sala, se acepta la hipótesis establecida anteriormente de que el flujo de aire que atraviesa cada uno de los racks es aproximadamente el mismo, como se estableció en el cálculo de flujos de aire en este modelo

- MODELO AIRE CLIMATIZADORAS:

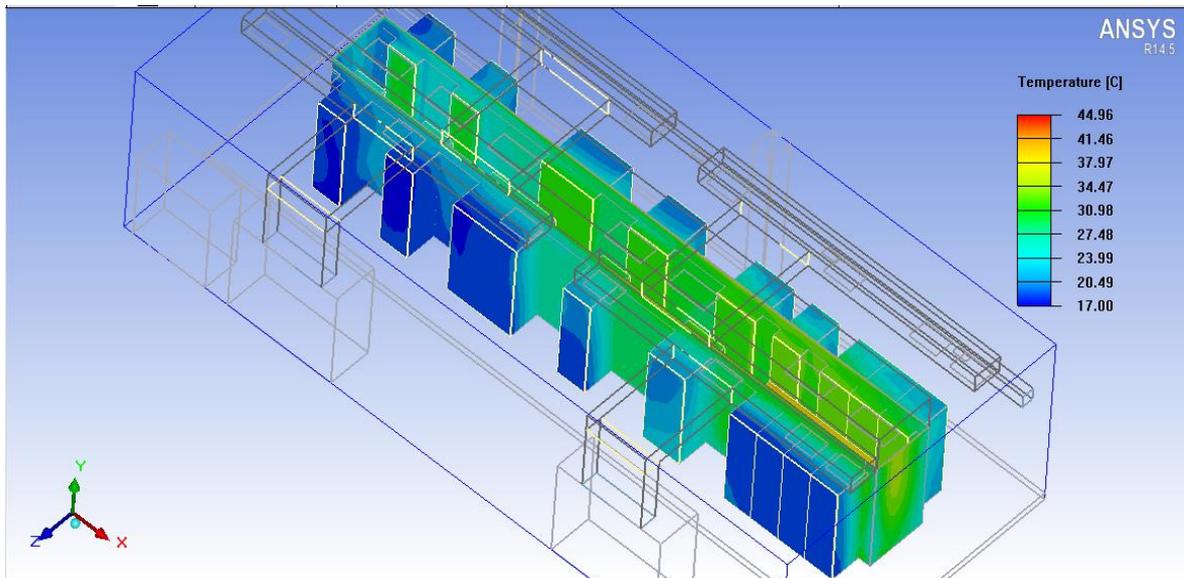


Ilustración 17. Temperatura contorno en racks aire climatizadoras

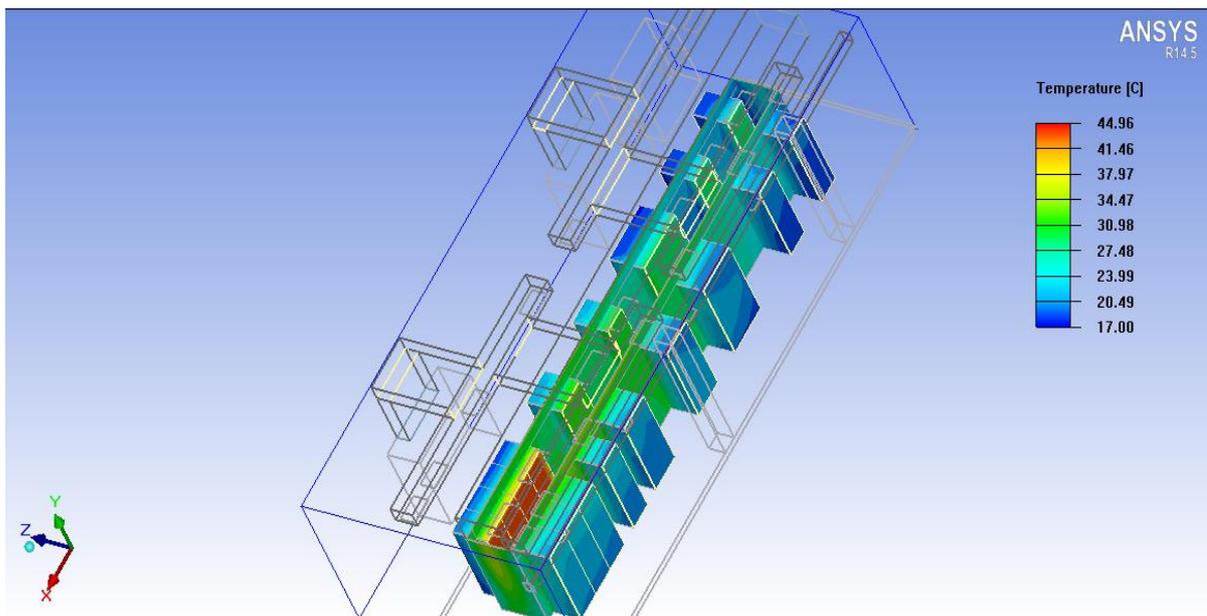


Ilustración 18. Temperatura contorno en racks aire climatizadoras

En la ilustración 19 se muestra cómo el aire de refrigeración es generado a partir de las climatizadoras, y conducido a través de los conductos de refrigeración hasta las diferentes rejillas por las que el aire frío entra al interior de la sala.

A continuación, el camino que sigue el aire hasta su extracción es el mismo que para los demás modelos.

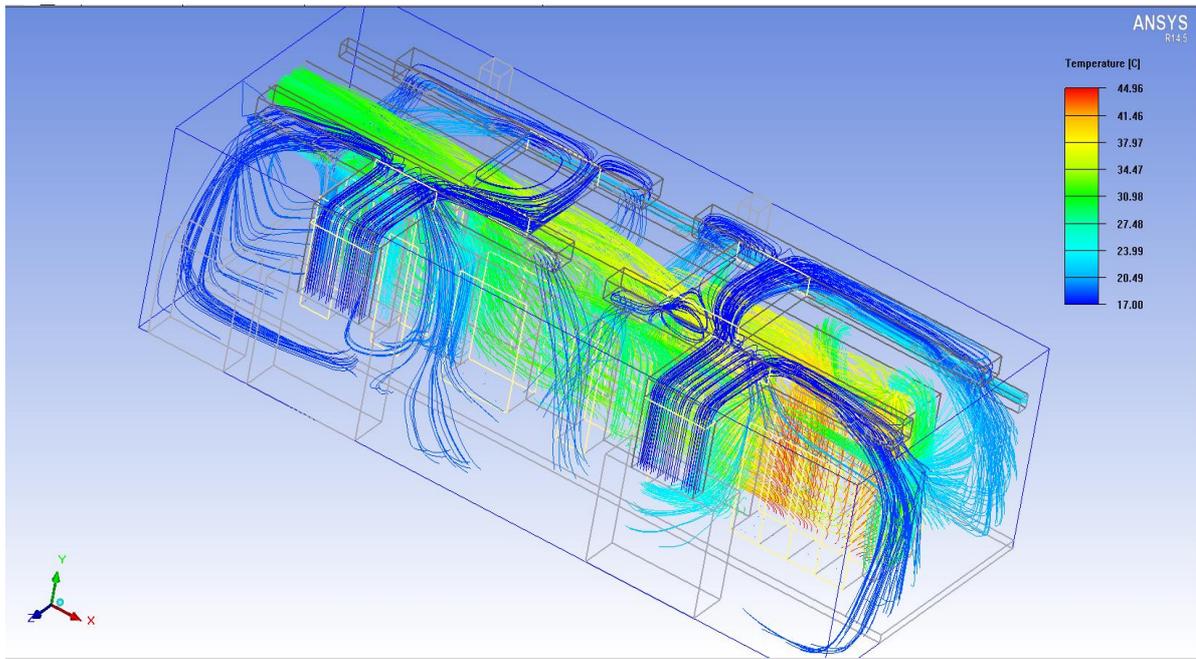


Ilustración 19. Diagrama vectorial $\vec{v} + T$ aire climatizadoras

En la imagen se puede ver cómo la disposición de las rejillas por las que el aire frío entra al interior de la sala es prácticamente simétrica, por lo que el aire se distribuye de manera uniforme por toda la sala. Así pues, se acepta la hipótesis establecida anteriormente de que el flujo de aire que atraviesa cada uno de los racks es aproximadamente el mismo, como se estableció en el cálculo de flujos de aire en este modelo

4.3. Comparación de los resultados con los valores experimentales

En este apartado se va a proceder a validar el modelo creado en ordenador a partir de los valores experimentales medidos dentro del centro de procesamiento de datos. Únicamente se va a comparar con los datos experimentales que se obtuvieron en situación de funcionamiento normal, es decir, con la refrigeración con aire del pasillo, ya que el proyecto se realizó en invierno y las climatizadoras no se encienden entonces y cuando se dispuso del anemómetro el modo invierno (refrigeración con aire de la calle) tampoco se encendió.

Los datos de temperatura de la siguiente imagen (plano de corte por el pasillo caliente) van a ser comparados (tabla 2) con los datos proporcionados por el autómata en el Anexo 6 *Historial semanas CPD* (la media de las 3 semanas) y los del Anexo 2 *Medidas experimentales del flujo de aire a través de los racks con el anemómetro* (tabla 9).

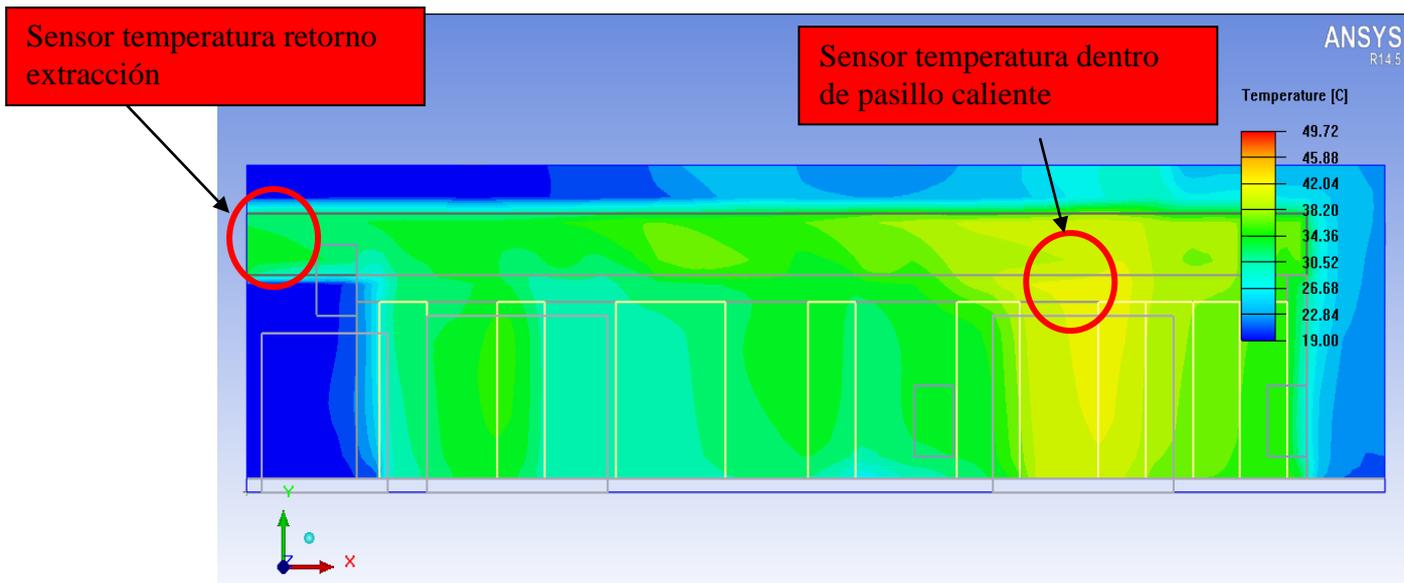


Ilustración 20. Plano de corte de temperaturas por pasillo caliente del modelo aire pasillo

	Temperatura (°C)	
	Icepak	Experimental
Retorno extractoras	34	34.3
Pasillo caliente	43.96	44.45
Pto 1 de la sala	20.92	21.65
Pto 2 de la sala	22.4	22.7
Pto 3 de la sala	23.2	23.45
Pto 4 de la sala	22.8	22.6
Pto 5 de la sala	22.8	22.6
Pto 6 de la sala	19.8	20.2
Pto 7 de la sala	21	21.8
Pto 8 de la sala	24.76	24.95
Pto 9 de la sala	26.68	26.75
Pto 10 de la sala	26.5	26.7

Tabla 2. Comparación resultados Icepak vs Medidas experimentales

*La temperatura experimental de retorno y pasillo caliente es una media de temperatura de las 3 semanas, facilitadas por el autómata (Anexo 6)

*La temperatura experimental de los diferentes puntos de la sala es una media de los dos días, facilitadas por el anemómetro (Anexo 2, tabla 9)

A esto cabe añadir que, comparando los valores de temperatura a la entrada de los racks obtenidos con el programa (Tabla 3) y los valores medidos de manera experimental con el anemómetro en el Anexo 2 para cada rack, se obtienen también resultados muy similares.

En vista de todo esto, se puede decir que el modelo queda validado, al tratarse de diferencias de pocas décimas achacables a que es muy difícil modelar la sala de manera exacta y además de posibles fallos de medidas experimentales al ser un ambiente bastante turbulento dentro del CPD.

5 Valoración de los resultados obtenidos

5.1. Temperaturas críticas

A continuación se van a analizar las temperaturas críticas a la entrada de cada rack para cada uno de los modelos gracias a Icepak, que como se ha visto anteriormente es capaz de facilitar las temperaturas de contorno para cualquier superficie, en este caso la cara frontal de cada rack, necesarias para saber si los racks del centro de datos trabajan en las condiciones óptimas recomendadas por la guía *Thermal Guidelines for Data Processing Environments* de la bibliografía [1]. Es decir, entre los 18-27°C como se vio en la Tabla 1 del apartado 1.2 *Clases de CPD*.

A partir de los informes que proporciona al final de cada ejecución ANSYS Icepak, para cada uno de los modelos, se elabora la siguiente tabla 3 de temperaturas exactas para la superficie de entrada de aire:

	Temperatura (°C)		
	Aire pasillo	Aire calle	Aire climatizadoras
Rack 1	21.12	17.31	18.51
Rack 2	21.94	18.37	18.36
Rack 3	22.14	18.81	18.85
Rack 4	21.21	19.17	19.97
Rack 5	21.24	19.37	22.04
Rack 6	21.65	19.23	19.3
Rack 7	21.9	19.1	18.96
Rack 8	22.14	18.94	18.88
Rack 9	22.25	18.78	18.99
Rack 10	20.08	17.09	19.64
Rack 11	20.24	17.8	20.11
Rack 12	20.59	18.1	21.24
Rack 13	21.17	18.27	21.7
Rack 14	23.26	19.15	21.28
Rack 15	23.9	19.87	22.07
Rack 16	24.47	19.88	22.54
Rack 17	24.78	19.81	22.41
Rack 18	25.82	19.46	22.39

Tabla 3. Temperatura del aire de entrada a cada uno de los racks

Como se puede ver, prácticamente todas las temperaturas, excepto las indicadas en color rojo, se encuentran dentro del rango (18-27°C) recomendado por la normativa. Las tres que se encuentran fuera tampoco suponen un grave problema, ya que están dentro del rango establecido por la normativa como “permitida” (15-32°C) de la Tabla 1 de la memoria.

El aire utilizado para refrigerar cumple los criterios establecidos en la Normativa

5.2. Consumos de energía

Otro de los indicadores que mide la buena instalación y uso que se le da a un CPD es el PUE (Power Usage Effectiness), indicador que mide la eficiencia con la que opera un centro de datos. El PUE compara el total de energía consumida por un centro de datos con la cantidad de energía que realmente llega al equipamiento IT. Para ello se necesita conocer los principales consumos de la instalación.

5.2.1. Obtención de los principales consumos energéticos

Los principales consumos a tener en cuenta en la instalación son: el consumo de los ordenadores, el de las extractoras y el de las climatizadoras (se desprecian consumos como el de iluminación).

- El consumo de los ordenadores es el calculado en apartados anteriores:

$$(4800W \times 14 \text{ racks}) + (11000W \times 4 \text{ racks}) = \mathbf{111.2 \text{ kW}}$$

- El consumo de las extractoras se obtuvo subiendo a la cubierta del edificio, donde pone la potencia y marca de la extractoras, cuyas características técnicas aparecen en el Anexo 5 *Catálogos*:

$$\text{Extractora Casals BOX HB 71 T4 2 trifásica de } 1.5 \text{ kW} \times 2 \text{ extractoras} = \mathbf{3 \text{ kW}}$$

- El consumo de las climatizadoras se va a dividir en 2 partes, el de los ventiladores y el propio consumo de enfriar el agua que se envía a las climatizadoras:

Potencia de los ventiladores (facilitada por miembro de mantenimiento del edificio BIFI): motor de arranque directo de 5 CV x 2 climatizadoras = **7.34 kW**

Consumo de agua fría: este dato no es conocido hasta la fecha de elaboración de este proyecto, pero se está a la espera de que la Oficina Verde pueda facilitar el consumo desagregado de enfriar el agua que se envía a las climatizadoras del CPD desde de la central de frío del edificio.

A la espera de ese dato se opta por realizar una estimación de un $COP_F \sim 3$, de acuerdo con la referencia [10] de la bibliografía.

5.2.2. Cálculo y valoración del PUE

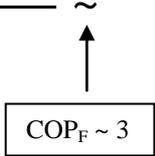
Con los consumos calculados en el apartado anterior, ya se puede obtener el PUE en invierno y en verano (climatizadoras activas):

$$\text{PUE (invierno)} = \frac{\text{Total facility power}}{\text{IT equipment power}} = \frac{111200+3000}{111200} = 1.027 \text{ (+ parte consumo climatización edificio)}$$

*Nota: este PUE no es del todo real, pues como se indica entre paréntesis, se tendría que tener en cuenta la parte de todo el consumo del edificio en climatizar la zona del pasillo de dónde se extrae el aire ya climatizado para la refrigeración del CPD. Aún así, el PUE seguiría teniendo un valor muy bueno.

$$\text{PUE (verano)} = \frac{\text{Total facility power}}{\text{IT equipment power}} = \frac{111200+3000+7340+\text{consumo de agua fría?}}{111200} \sim$$

$$\sim 1 + \frac{10340}{111200} + \frac{1}{3} \sim 1.42$$



Según lo expuesto en la pág.13 de la referencia [3] de la bibliografía, para The Green Grid el PUE obtenido muestra una buena eficiencia, especialmente en invierno gracias al free-cooling.

Normal	Bueno	Mejor
2.0	1.4	1.1

Ilustración 21. Clasificación de un CPD en función del PUE

6 Posibles medidas de mejora energética

6.1. Instalación de aparatos de medida de la humedad

Una de las medidas de mejora desarrollada es el tema de la humedad, parámetro fundamental en todo ambiente eléctrico y no controlado hasta el momento en el CPD.

Si la humedad sube mucho se pueden dar problemas de condensación, y por el contrario si el ambiente se vuelve muy seco se puede dar el fallo de componentes electrónicos por electricidad estática.

Por lo que se toman medidas de humedad de manera experimental con el anemómetro para ver qué grado de humedad se tiene dentro del CPD (Anexo 2 *Medidas experimentales del flujo de aire a través de los racks con el anemómetro*) y se solicita un presupuesto de instalación y control remoto de humedad a la empresa INCLIZA (Anexo 4 *Presupuesto control de humedad*).

Según la normativa de la Tabla 1 de la memoria principal se permiten valores de humedad relativa desde un 20% a un 80% RH. Según se ve en la Tabla 1 del Anexo 2, en ningún punto de la sala se está fuera del rango.

En verano no hay problemas de humedad pues aunque se pueda estar por debajo del límite de %RH las climatizadoras llevan un humidificador. En invierno, que es cuando están tomadas las medidas, solo podría haber algún tipo de problemas en un día con mucha niebla, aunque de momento el centro no ha tenido ningún tipo de contratiempo.

6.2. Cambio de la disposición de los racks

Otra de las posibles mejoras, o en este caso recomendación, sería la del cambio si es posible de la disposición de los racks. En los tres modelos se ve como el CPD funciona dentro de parámetros psicrométricos adecuados y las temperaturas alcanzadas se encuentran dentro del rango de la Normativa, sin embargo algunos aspectos se pueden mejorar mínimamente.

La disposición de los racks actual debe girar entorno a los 4 racks de Memento, al ser los que más calor desprenden, y eso está bien solucionado, ya que con el modo de verano las climatizadoras los mantienen a temperatura adecuada y en el modo normal con aire desde el pasillo, estos tienen una toma de aire justo enfocada hacia ellos.

Pero sí se observa, cómo en el modo normal (el que más tiempo está en funcionamiento), la sala se calienta más por la parte de detrás (como se puede ver en la ilustración 19) al no tener ninguna toma de aire en esa zona, por lo que sería recomendable situar en la fila de atrás los racks con menor consumo del CPD y que menos necesidades de refrigeración tienen, si no se quiere variar la disposición física de la parte de extracción y de refrigeración.

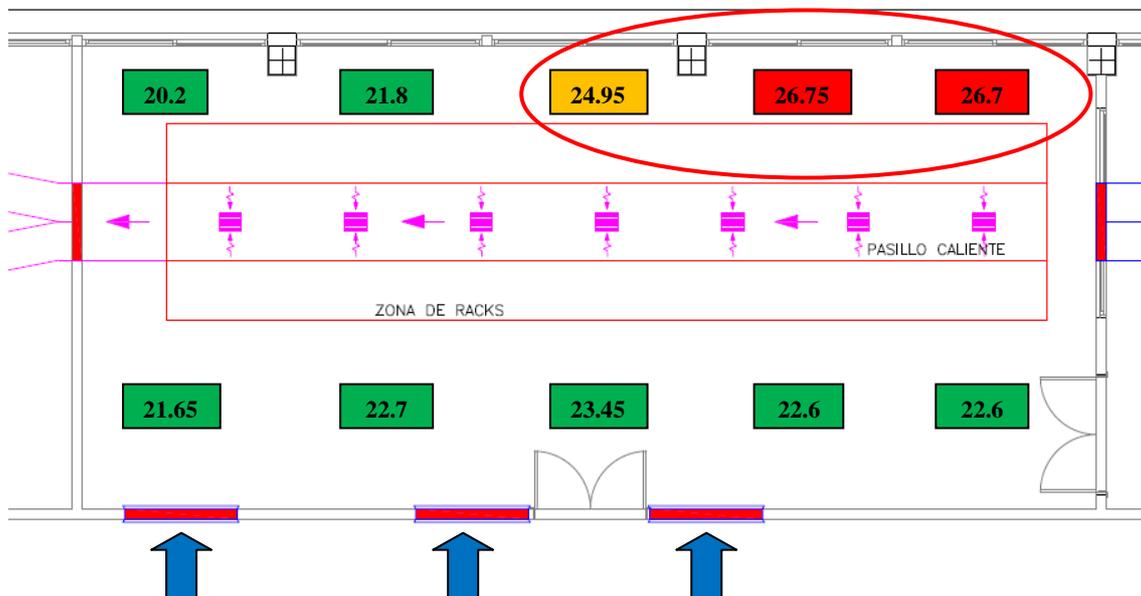


Ilustración 22. Temperaturas medias tomadas del Anexo 2 en el interior del CPD

Con las temperaturas de refrigeración tan apenas se puede jugar, pues la de la calle y del pasillo son las que son, y la de las climatizadoras no tendría sentido ya que según el modelo ya operan correctamente.

6.3. Mejora del aislamiento del pasillo caliente

Una última mejora que sí sería importante llevar a cabo es aislar totalmente el pasillo caliente. Actualmente la separación entre el pasillo caliente y el resto de la sala se hace a partir de cortinas de láminas de PVC gruesas y transparentes. Estas láminas de un palmo de anchura cuelgan desde el conducto de extracción hasta el suelo, dejando entre ellas un espacio por el que fuga tanto el aire caliente como el frío (simulado en Icepak como rejillas con un 5% de apertura que representan las fugas).

La solución sería cambiar estas láminas “caseras” por el montaje de algún fabricante de paneles de cielo raso y puertas en los extremos del pasillo [5], consiguiendo eliminar las fugas. Aunque según los cálculos realizados en el modelo de ANSYS la mejora conseguida no es muy grande, de acuerdo con lo hablado con los ingenieros informáticos sería una mejora conveniente a realizar en el centro de datos.

7 Conclusiones

Como conclusión del proyecto cabe destacar que se han alcanzado todos los objetivos importantes marcados en la hoja de ruta.

Por una parte, como se recalcó en la planificación de la memoria, el primer propósito del proyecto era trabajar con esta nueva herramienta de ANSYS especializada entre otras cosas en la refrigeración de instalaciones muy particulares como lo son los centros de datos , y de paso que se cuenta con uno de estos en el edificio BIFI, probar que es una herramienta útil y perfectamente válida para modelar casos como el de este proyecto sin necesidad de recurrir a otros programas de fluidodinámica computacional más sofisticados y de más complicado manejo, como pueden ser Fluent, CFX, etc.

Por otra parte, la consecución del correcto modelado mediante ANSYS Icepak del centro de datos en un ordenador y su posterior validación con datos reales tomados en el propio centro.

Además, comprobar que el centro de procesamiento de datos del BIFI opera de manera muy eficiente, en cada uno de sus modos de operación, e incluso llevando a cabo las pequeñas modificaciones sugeridas en la memoria podría mejorarse algo más.

Destacar que para la elaboración del proyecto se ha realizado una revisión bibliográfica profunda, recopilando y extrayendo información relevante acerca del mundo de la

climatización de CPDs, así como una importante cantidad de horas de trabajo previo invertidas en el aprendizaje desde cero del manejo del programa Icepak y en ejecuciones de prueba y error hasta dar con la solución adecuada.

Existen posibilidades de mejora y ampliación de este proyecto sin duda, como podría ser conseguir el consumo de agua fría que fue en un principio denegado por la empresa INCLIZA al tratarse de “datos privados” (y actualmente se está en espera de estos datos al tratarse de una colaboración mutua de intercambio de información de interés), y poder trabajar así en el apartado de ahorros energéticos en verano, o llevar a cabo una investigación más minuciosa y en detalle de los datos obtenidos experimentalmente (consumos de cada rack en particular, mayor toma de medidas de temperaturas, etc.).

En el futuro, está prevista sacar a subasta una posible ampliación del CPD al estar quedándose los informáticos faltos de recursos, por lo que todo lo expuesto en este proyecto puede ser tenido en cuenta como la primera piedra en el caso de posible ampliación; para esta posible ampliación que se piensa llevar a cabo, las principales conclusiones que se extraen después de todo lo estudiado es que no sería necesaria una nueva línea trifásica para lo que es la parte de la climatización (bombas, compresores, climatizadoras, etc.) pues esa línea de la instalación tiene capacidad suficiente (se vio que se consumían entorno a 60A de los 112A disponibles) y que por tanto tampoco habría problema en introducir una nueva climatizadora dentro del centro de datos. Sí sería necesaria una nueva línea trifásica para los nuevos ordenadores y servidores de la ampliación, así como la mejora de la contención del pasillo caliente que ayudaría a que no se produjesen fugas ni posibles problemas de recirculación del aire o bypass.

Por último, destacar la gran ayuda proporcionada por todas las personas involucradas en el proyecto, especialmente a mi tutor José María Marín y a los dos ingenieros informáticos Arturo Giner y Guillermo Losilla, sin los cuales habría sido muy difícil la consecución de los objetivos marcados.

8 Anexos

Anexo 1: Construcción paso a paso

Este anexo demuestra como modelar el Centro de Procesamiento de Datos del BIFI, paso a paso, con el programa de fluidodinámica computacional ANSYS Icepak.

En esta guía se enseñará cómo:

- Usar macros para crear los racks del CPD (centro de procesamiento de datos).
- Organizar el modelo utilizando grupos.
- Incluir efectos de gravedad y turbulencia en la simulación.
- Definir el mallado adecuado para cada situación.
- Crear planos de contorno, trazas de partículas...para entender mejor el comportamiento del aire y la estratificación de temperaturas en el interior del CPD.

Se enseñara como modelar los tres casos de climatización dentro del CPD, *aire pasillo* (refrigeración a partir del aire ya climatizado del pasillo anexo al CPD), *aire calle* (refrigeración a partir del aire exterior de la calle) y *aire climatizadoras* (refrigeración mediante climatizadoras instaladas dentro del CPD).

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO “AIRE PASILLO”:

Paso 1: Crear un proyecto nuevo

1. Iniciar ANSYS Icepak.
2. Clic **New** en la ventana **Welcome to Icepak** para iniciar un nuevo proyecto.
3. Especificar un nombre para el proyecto, en este caso *aire pasillo*, y clic **Create**.

ANSYS Icepak crea por defecto un cubo como entorno de trabajo de 1 metro de lado, y lo muestra en la ventana gráfica.

Con los siguientes botones que aparecen en la figura Anexo1.1 se puede interactuar con la orientación de la cabina, el zoom, las vistas, etc.

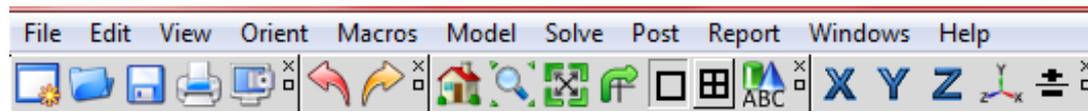
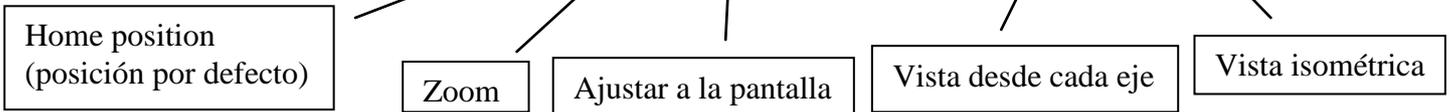


Figura Anexo1.1



Paso 2: Configurar las preferencias

En este apartado se configuran parámetros como el sistema de unidades, los decimales a trabajar, el aspecto visual de lo que se construye, etc.

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 precisión** (el número de decimales a trabajar).
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 Anexo 1.2

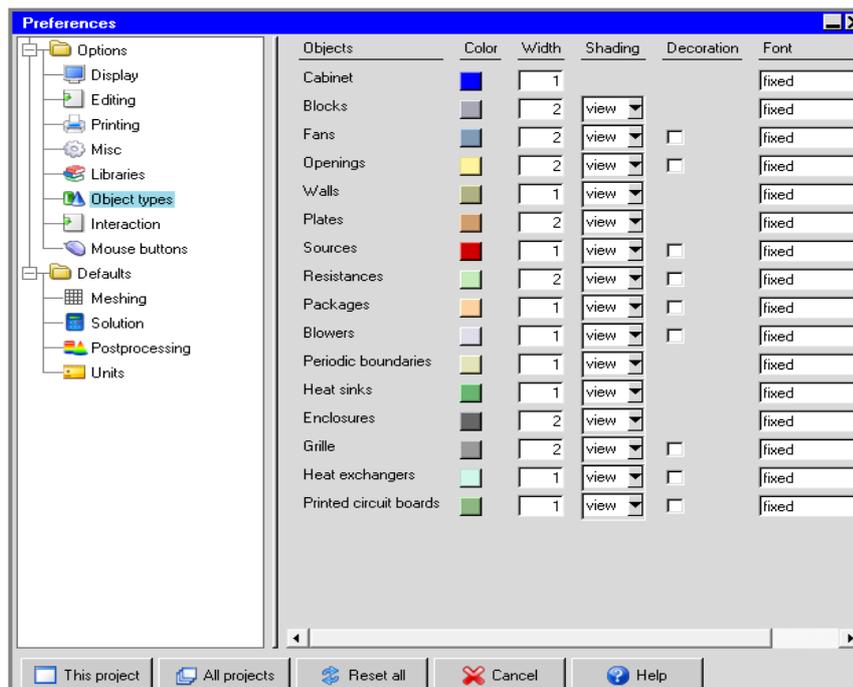


Figura Anexo1.2

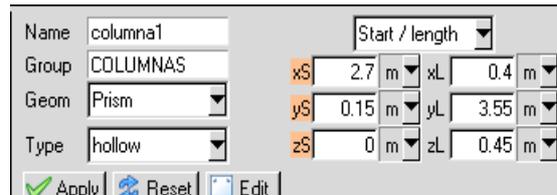


Figura Anexo1.5

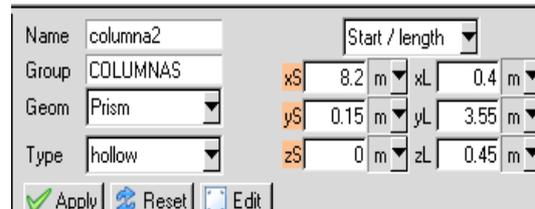


Figura Anexo1.6

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 siguientes figuras:

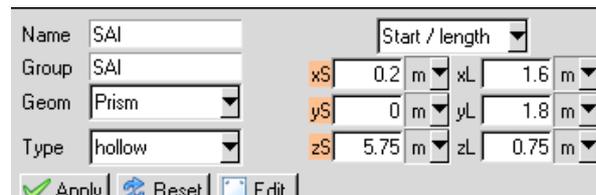


Figura Anexo1.7

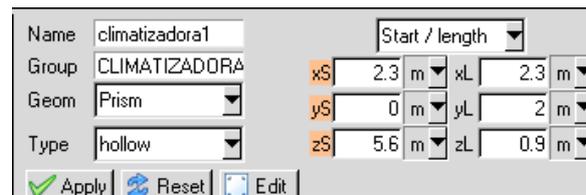


Figura Anexo1.8

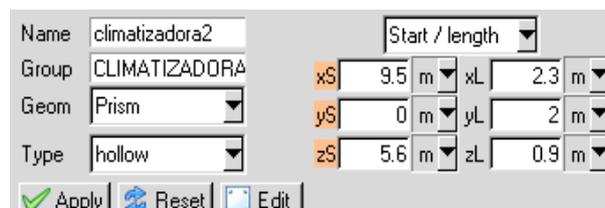


Figura Anexo1.9

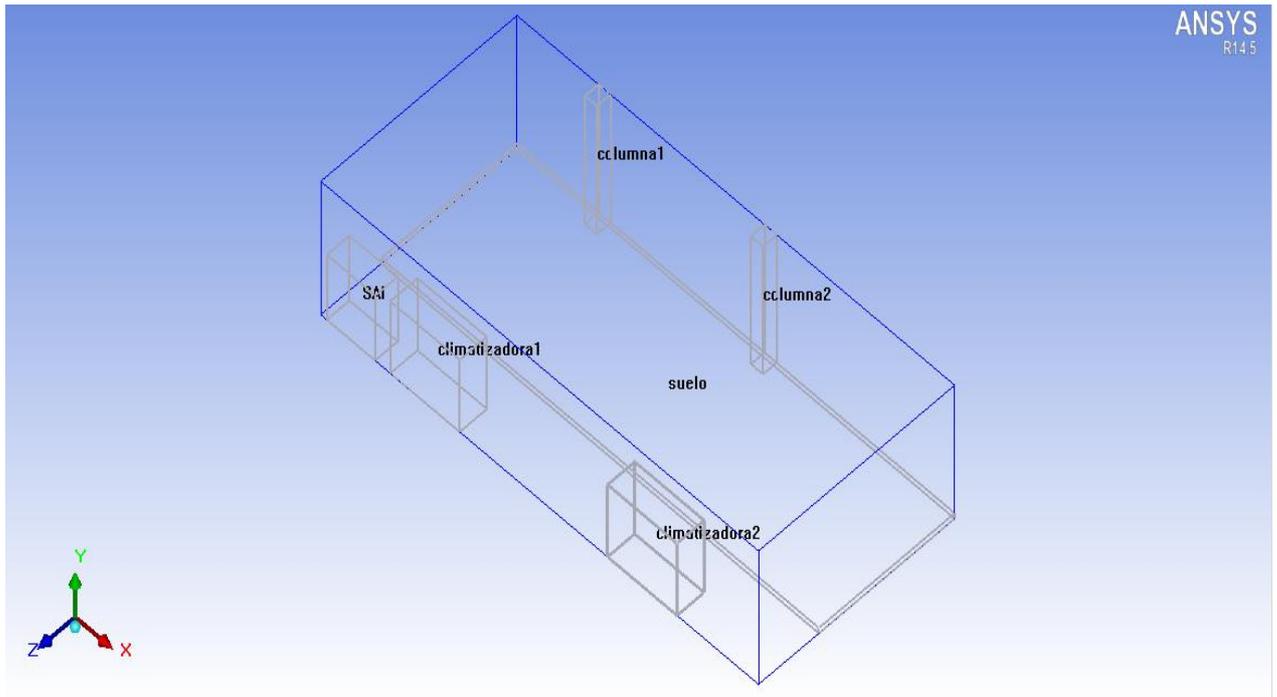


Figura Anexo1.10. Modelo construido hasta el momento

5. A continuación se introduce cada uno de los racks de la sala en los que irán albergados los ordenadores y servidores, de acorde con los planos n° 3 y 4 del Anexo 3 *Planos*:
 - a. Crear la primera unidad de 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 Anexo 1.11 acorde con los planos n°3 y 4 del Anexo 3 *Planos*
 - c. Establecer la dirección del flujo de aire como $-Z$
 - d. Especificar una carga de calor de 4800 W (calculada en el apartado 3.2.1 *Potencias de la memoria principal*)
 - e. Especificar un flujo volumétrico de $0.4116 \text{ m}^3/\text{seg}$ (explicado en el apartado 3.2.2 *Flujos de aire de la memoria principal* y calculado en el Anexo 2 *Medidas experimentales del flujo de aire a través de los racks con el anemómetro*).

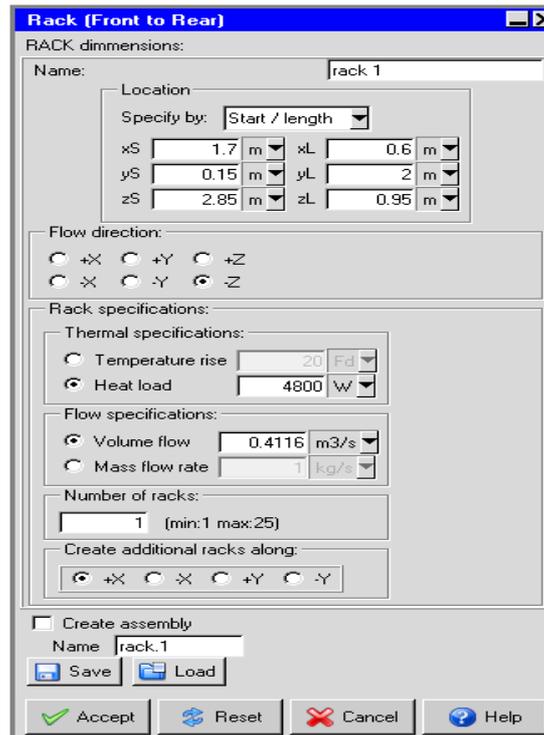


Figura Anexol.11

- f. El resto de racks se introducen de la misma manera que este, a partir de la tabla 4, donde aparecen indicadas las modificaciones y dimensiones a introducir de los diferentes racks:

	Name	xS (m)	xL (m)	yS (m)	yL (m)	zS (m)	zL (m)	Flow direction	Head load (W)	Volume flow (m ³ /seg)
2	rack 2	3.2	0.6	0.15	2	2.85	0.95	- Z	4800	0.2232
3	rack 3	4.7	1.4	0.15	2	2.85	0.95	- Z	4800	0.5124
4	rack 4	7.15	0.6	0.15	2	2.85	0.95	- Z	4800	0.2928
5	rack 5	9.05	0.8	0.15	2	2.85	0.95	- Z	4800	0.4592
6	rack 6	10.85	0.6	0.15	2	2.85	0.95	- Z	11000	0.4368
7	rack 7	11.45	0.6	0.15	2	2.85	0.95	- Z	11000	0.5796
8	rack 8	12.05	0.6	0.15	2	2.85	0.95	- Z	11000	0.6444
9	rack 9	12.65	0.6	0.15	2	2.85	0.95	- Z	11000	0.708
10	rack 10	1.7	0.6	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.1404
11	rack 11	3.1	0.6	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.1992
12	rack 12	5.1	1.15	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.2783
13	rack 13	7.05	0.85	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.3145
14	rack 14	9	0.85	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.2618
15	rack 15	10.25	0.6	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.2664
16	rack 16	11.3	0.65	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.1625
17	rack 17	11.95	0.65	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.1664
18	rack 18	12.6	0.65	0.15	2	1.15	0.95	+ Z	4800	0.2041

Tabla 4. Configuración de los racks

- 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 18-opns* → **Botón derecho** → **Create** y clic en **Group** → Se introduce el nombre **RACKS** para este grupo → Clic en **Done**.

Hasta el momento el proyecto quedaría como se puede ver en la siguiente figura.

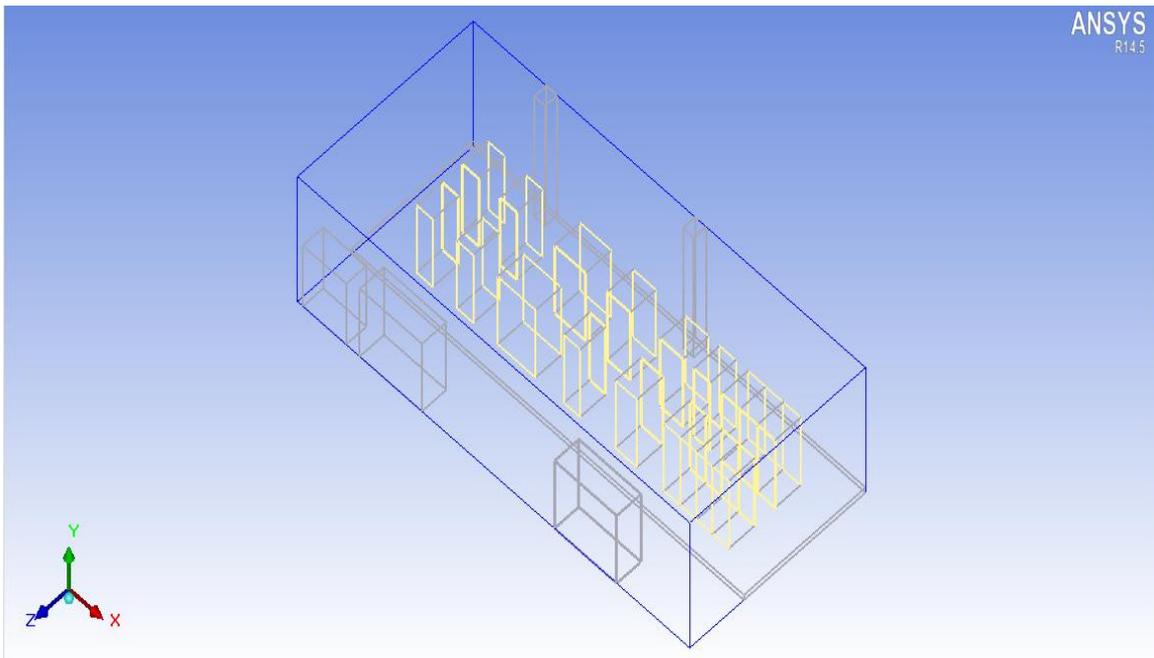


Figura Anexo1.12

6. Crear los conductos de extracción del aire caliente a través de los cuáles 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 *conductoextraccion1*
c. En la pestaña **Geometry** se introducen las siguientes dimensiones, como se ve en la figura Anexo 1.13.

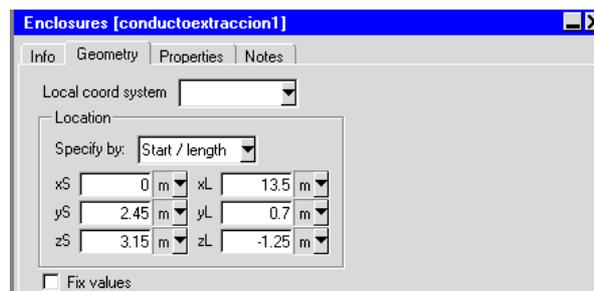


Figura Anexo1.13

- 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.
- e. Se crea a continuación el segundo conducto de extracción siguiendo los pasos anteriores, cambiando el nombre por *conductoextraccion2*, introduciendo las dimensiones de la figura Anexo 1.14 y seleccionando **Open** para **Boundary type** en **Max X**.

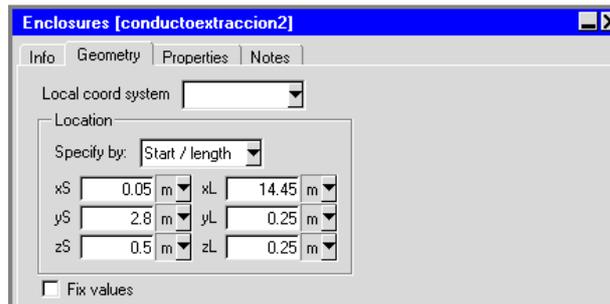


Figura Anexo1.14

- f. Crear un grupo que englobe los dos conductos anteriores, seleccionando ambos conductos, y con el botón derecho **Create** → **Groups** con el nombre CONDUCTOS.

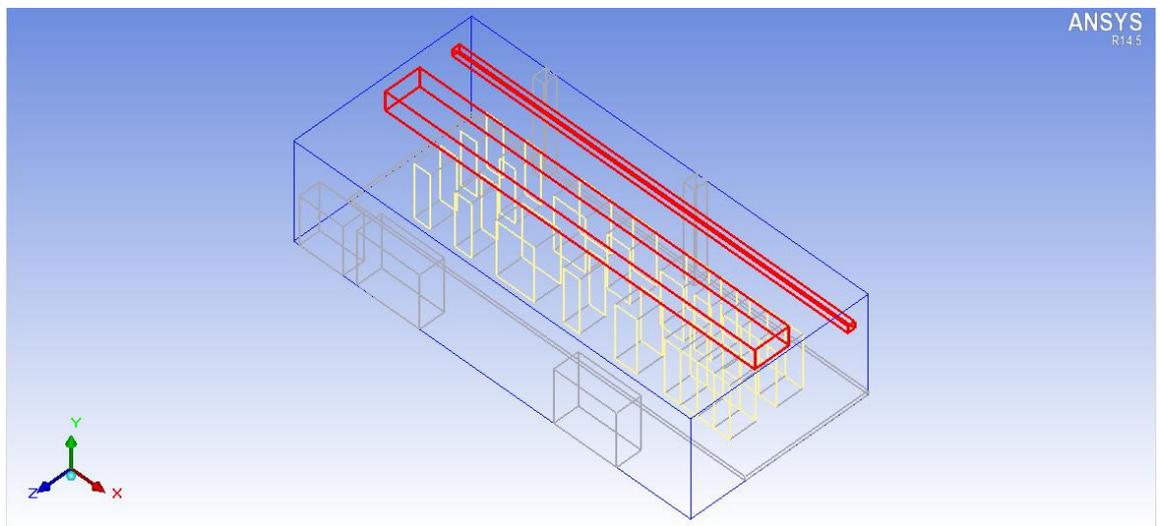


Figura Anexo1.15. Conductos de extracción

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 *extracción1* en **Name**
- c. En la pestaña **Geometry** introducir **Rectangular** en **Shape**, **Y-Z** en **Plane** y las dimensiones de la figura Anexo 1.16.

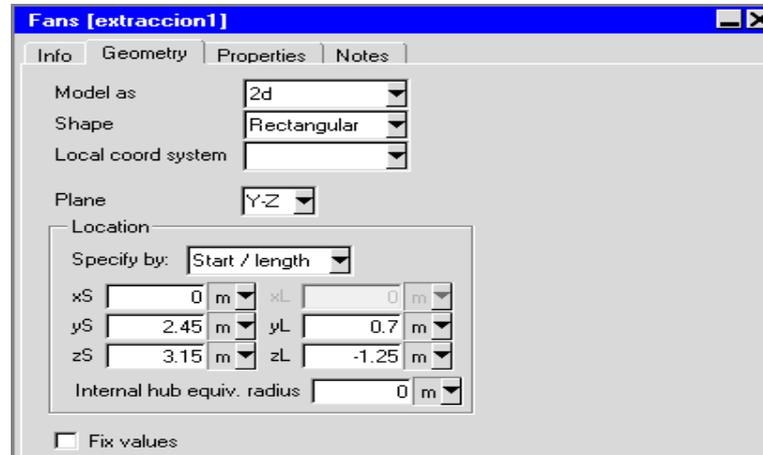


Figura Anexo1.16

- d. En la pestaña **Properties** establecer **Exhaust** para **Fan type**, **Fixed** para **Flow type** y $6.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ (valor calculado en el apartado 3.2.2 *Flujos de aire* de la memoria principal) en la casilla **Volumetric**.
- e. Se repiten los pasos anteriores para el segundo orificio de extracción (*extraccion2*), con las siguientes características:

*Caudal de $0.6 \text{ m}^3/\text{seg}$ calculado en el apartado 3.2.2 *Flujos de aire* de la memoria principal.

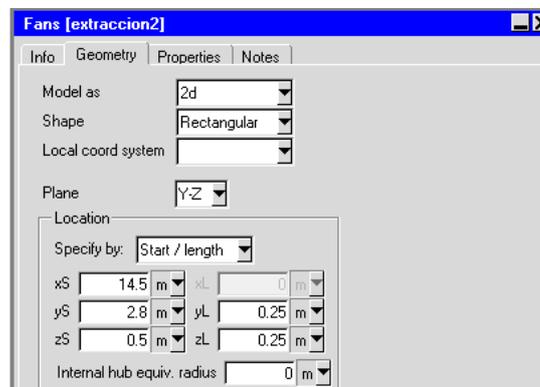


Figura Anexo1.17

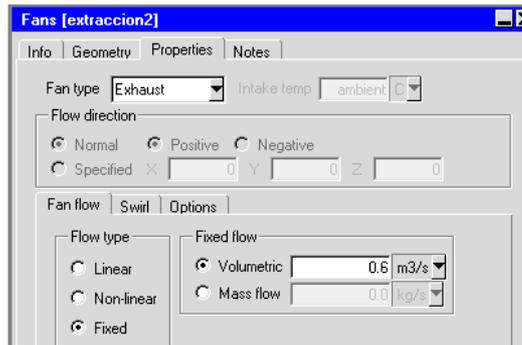


Figura Anexo1.18

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

- Clic en el icono **Generate Mesh** .
- En la pestaña **Local**, marcar **Object params** y pulsar **Edit**
- Seleccionar *extraccion1* y *extraccion2*, marcar **Use per-object parameters**
- Marcar **Ycount** y **Zcount**, e introducir en el campo **Request** un **4**, como se ve en la siguiente figura Anexo 1.19.
- Clic **Done** y **Close**.

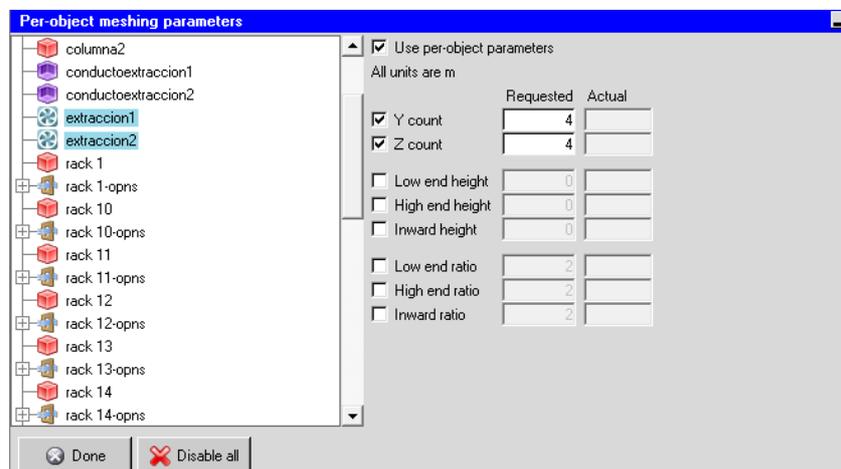


Figura Anexo1.19

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 siguiente:

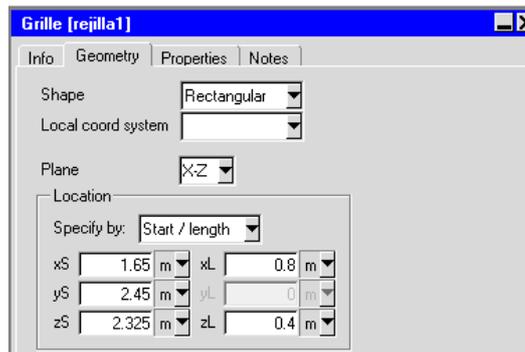


Figura Anexo1.20

- 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 aparecen en la siguiente tabla 5:

Name	Plane	xS (m)	xL (m)	yS (m)	zS (m)	zL (m)	Free area ratio
Rejilla2	X-Z	3.05	0.8	2.45	2.325	0.4	0.7
Rejilla3	X-Z	4.45	0.8	2.45	2.325	0.4	0.7
Rejilla4	X-Z	7.05	0.8	2.45	2.325	0.4	0.7
Rejilla5	X-Z	8.45	0.8	2.45	2.325	0.4	0.7
Rejilla6	X-Z	11.05	0.8	2.45	2.325	0.4	0.7
Rejilla7	X-Z	12.45	0.8	2.45	2.325	0.4	0.7
Rejilla8	X-Z	1.3	0.3	2.8	0.55	0.15	0.7
Rejilla9	X-Z	4.2	0.3	2.8	0.55	0.15	0.7
Rejilla10	X-Z	7.1	0.3	2.8	0.55	0.15	0.7
Rejilla11	X-Z	10	0.3	2.8	0.55	0.15	0.7
Rejilla12	X-Z	12.9	0.3	2.8	0.55	0.15	0.7

Tabla 5. Configuración de las rejillas

- 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.

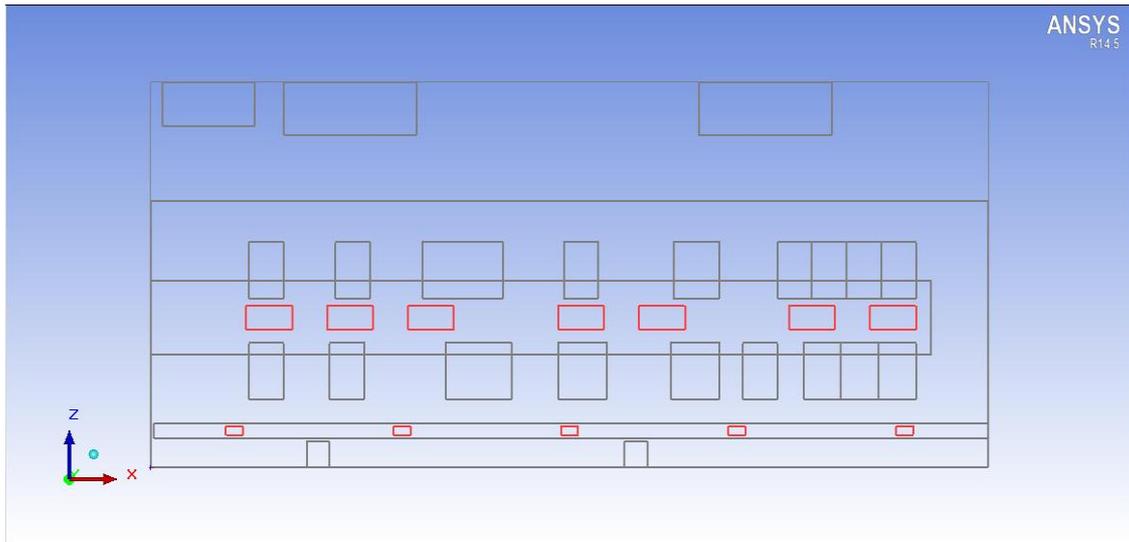


Figura Anexo1.21. Planta de las rejillas del CPD

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%):
 - a. Se procede a construir las rejillas del mismo modo que en el apartado anterior (*punto 8*), introduciendo en este caso los valores que aparecen en la tabla 6.
 - b. Se seleccionan todos los plásticos y se agrupan con el nombre PLASTICO

Name	Plane	xS (m)	xL (m)	yS (m)	yL (m)	zS (m)	zL (m)	Free area ratio
plastico1	Y-Z	13.5		0.15	2.3	1.9	1.25	0.05
plastico2	X-Y	13.25	0.25	0.15	2.3	3.15		0.05
plastico3	X-Y	1.4	11.85	2.15	0.3	3.15		0.05
plastico4	X-Y	1.4	0.3	0.15	2	3.15		0.05
plastico5	X-Y	2.3	0.9	0.15	2	3.15		0.05
plastico6	X-Y	3.8	0.9	0.15	2	3.15		0.05
plastico7	X-Y	6.1	1.05	0.15	2	3.15		0.05
plastico8	X-Y	7.75	1.3	0.15	2	3.15		0.05
plastico9	X-Y	9.85	1	0.15	2	3.15		0.05
plastico10	Y-Z	1.4		0.15	2.3	1.9	1.25	0.05
plastico11	X-Y	1.4	12.1	2.15	0.3	1.9		0.05
plastico12	X-Y	1.4	0.3	0.15	2	1.9		0.05
plastico13	X-Y	2.3	0.8	0.15	2	1.9		0.05
plastico14	X-Y	3.7	1.4	0.15	2	1.9		0.05
plastico15	X-Y	6.25	0.8	0.15	2	1.9		0.05
plastico16	X-Y	7.9	1.1	0.15	2	1.9		0.05
plastico17	X-Y	9.85	0.4	0.15	2	1.9		0.05
plastico18	X-Y	10.85	0.45	0.15	2	1.9		0.05
plastico19	X-Y	13.25	0.25	0.15	2	1.9		0.05

Tabla 6. Configuración del cerramiento del pasillo caliente

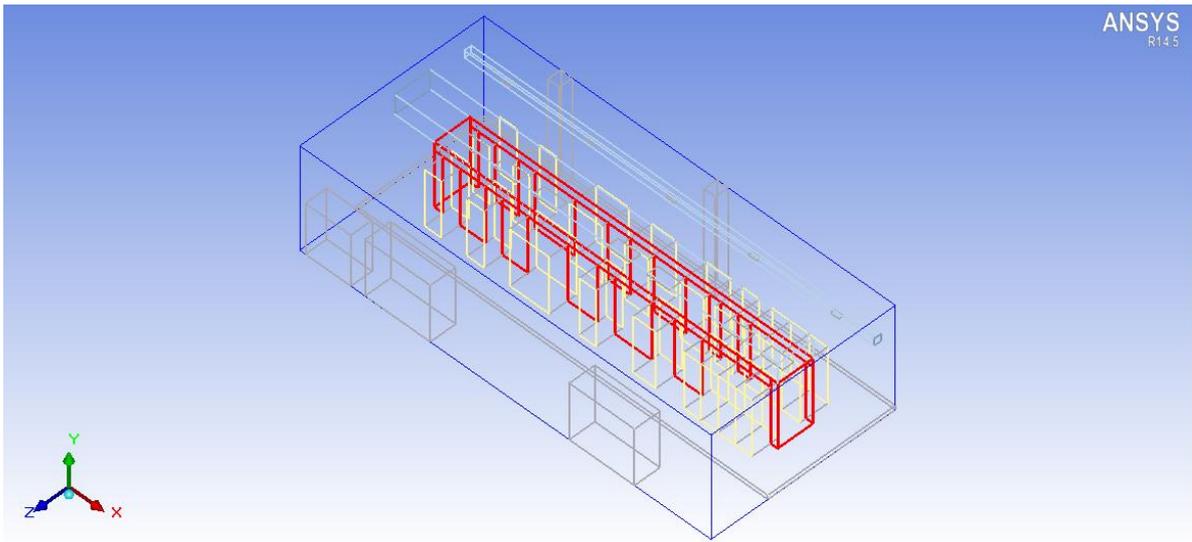


Figura Anexo1.22. Vista del cerramiento del pasillo caliente

Hasta aquí, la sala es igual para los tres modelos. A partir de aquí se van a incluir en cada modelo los elementos particulares de cada uno. 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 Anexo 1.23
- d. En la pestaña **Properties**, cambiar **Intake temp** a **19°C** (calculada en el apartado 3.2.3 *Temperaturas* de la memoria principal), establecer **Flow type** en **Fixed**, e introducir el valor de caudal de la figura Anexo 1.24 (un tercio del caudal total de salida $\rightarrow 6.9 / 3$ entradas de aire = $2.3 \text{ m}^3/\text{seg}$).

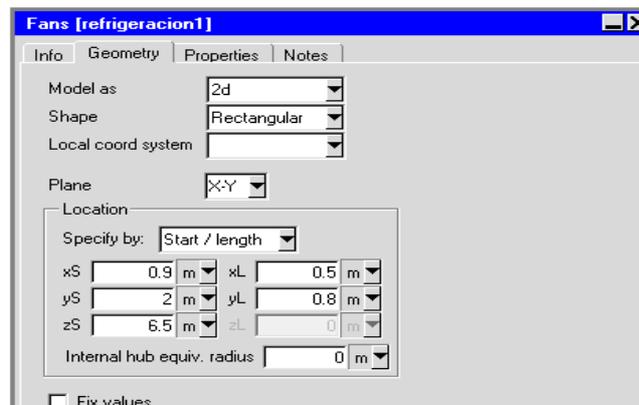


Figura Anexo1.23

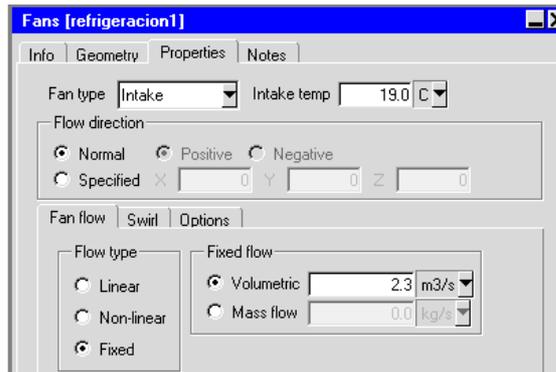


Figura Anexo1.24

- 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 Anexo 1.25 y 1.26, respectivamente (con los mismos valores de temperatura y caudal de la figura Anexo 1.24):

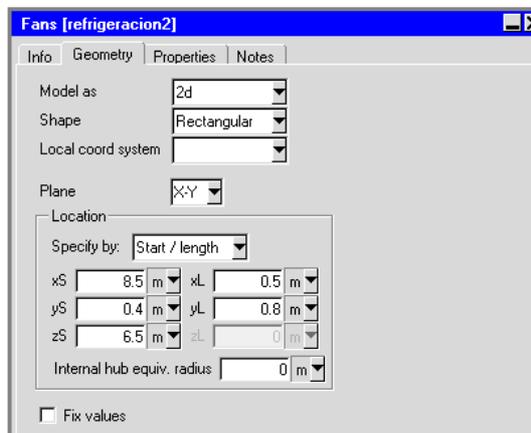


Figura Anexo1.25

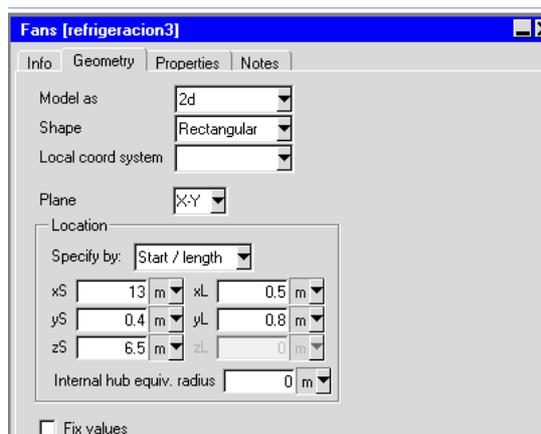


Figura Anexo1.26

- f. Agrupar las tres entradas de aire con el nombre REFRIGERACION

- g. Se establecen unas condiciones de mallado particulares, siguiendo estrictamente los mismos pasos que en el apartado 7g, seleccionando en esta ocasión las nuevas entradas de aire creadas.

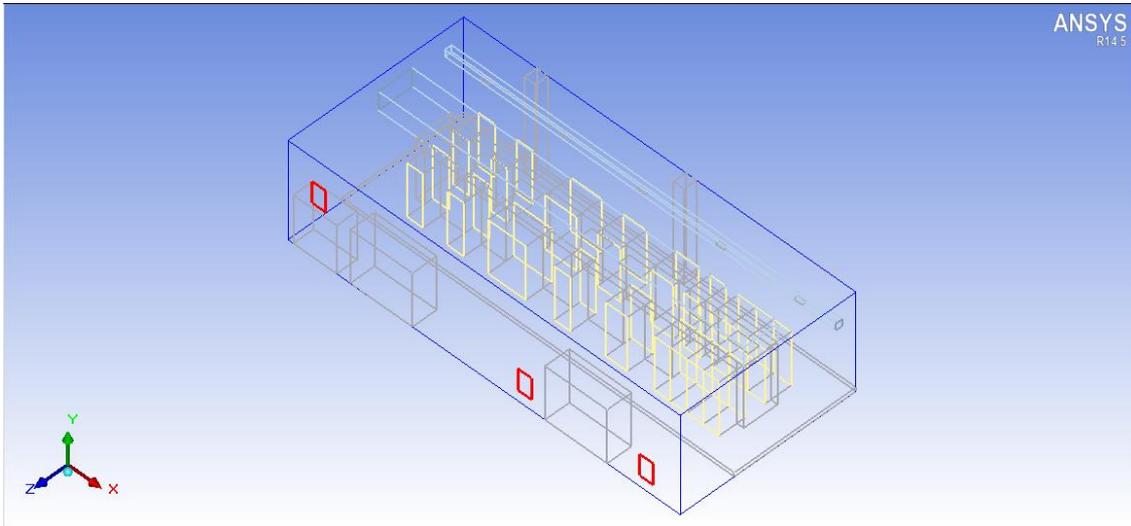


Figura Anexo1. 27. Vista de las entradas del aire de refrigeración

Paso 4: Generar el mallado

En este apartado se va a proceder a la generación del mallado, previa a todo proceso de resolución en cualquier programa de fluidodinámica computacional. Simplemente se informará de los pasos a seguir, siendo en el apartado 3.2.4 *Mallado* de la memoria principal del proyecto donde se analizará la malla elegida en profundidad y si es adecuada.

1. Generar la malla:

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

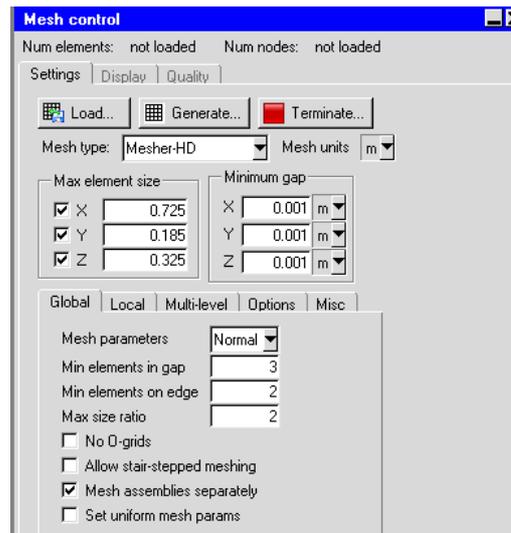


Figura Anexol.28

c. Clic **Generate and Close.**

Paso 5: Crear Monitor Points

Los Monitor points son puntos que permite monitorizar el programa, en los cuales se puede saber con un mayor grado de detalle diferentes variables de gran interés (temperatura, velocidad, presión...). En este caso se elegirá un punto a la salida de los ventiladores de cada una de las extracciones. Para ello se arrastrará del árbol de modelado los dos ventiladores de extracción, *extraccion1* y *extraccion2*, a la carpeta Points, como se ve en la siguiente figura.

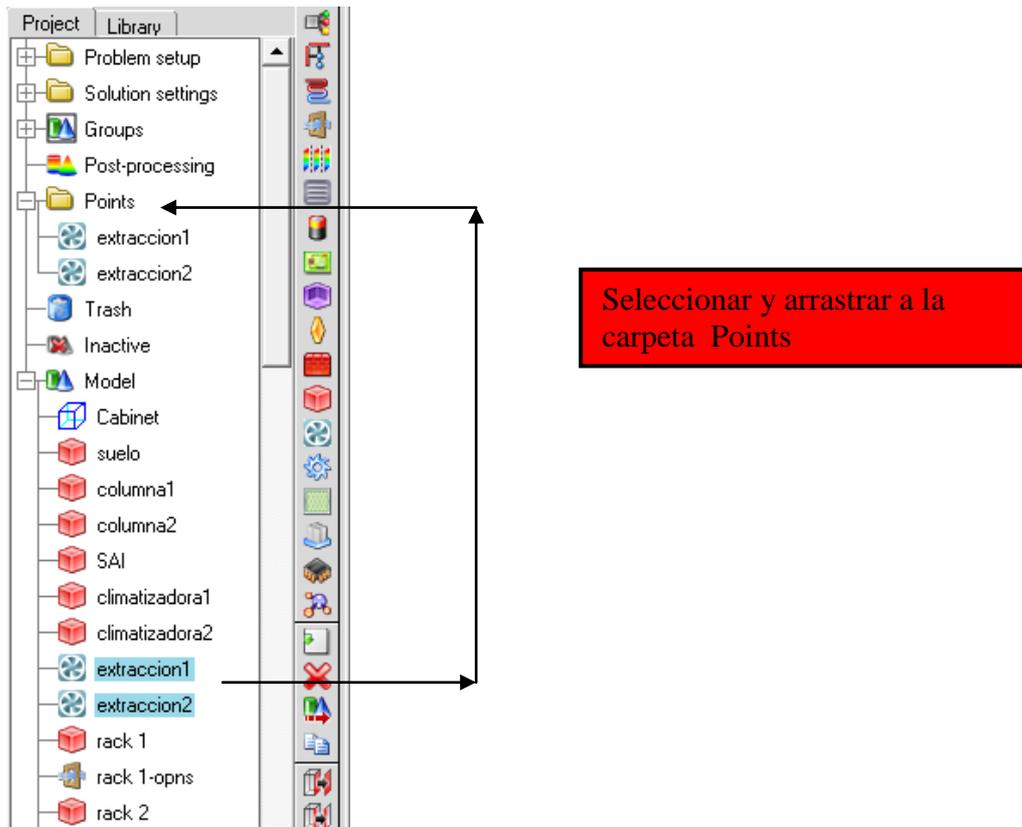


Figura Anexo1.29

Paso 6: Configuración de los parámetros físicos y numéricos

Antes de empezar a resolver el modelo, hay que pasarle al programa una serie de consignas y pautas, numéricas y físicas, para que pueda resolver el modelo satisfactoriamente. Será en el apartado 3.2.5 *Configuración de los parámetros físicos y numéricos* de la memoria principal donde se razone sobre los parámetros de cálculo elegidos, aquí simplemente se dirá cómo introducirlos.

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 ft/s** para **Y velocity**
- e. En la pestaña **Advanced**
 - Seleccionar **Boussinesq approx**
 - Marcar **Operating density**
- f. Clic **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. Clic **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 *temp-contorno*
 - c. En la lista de objetos, seleccionar en el apartado grupos, **RACKS** y **PLASTICO**. **Aceptar**
 - d. Marcar **Show contours** y clic en **Create**

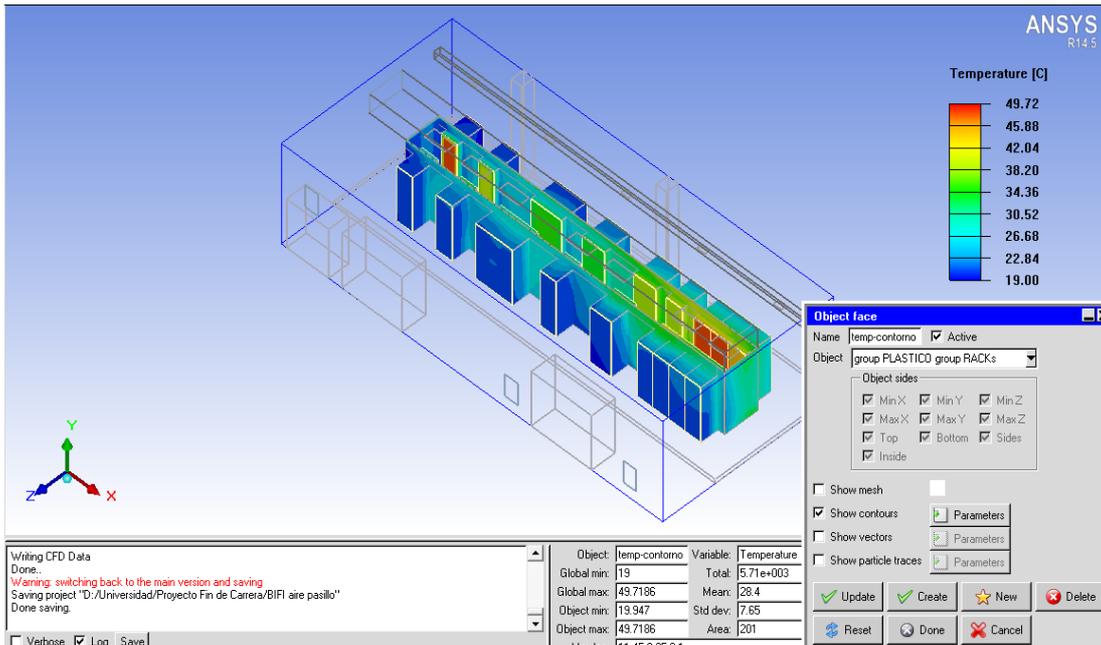


Figura Anexo1.30. Temperatura de contorno en racks

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

- a. Clic en el icono **Plane Cut** .
- b. Introducir un nombre, por ejemplo *temp-plano*
- c. Marcar **Show contours** y clic en **Create**

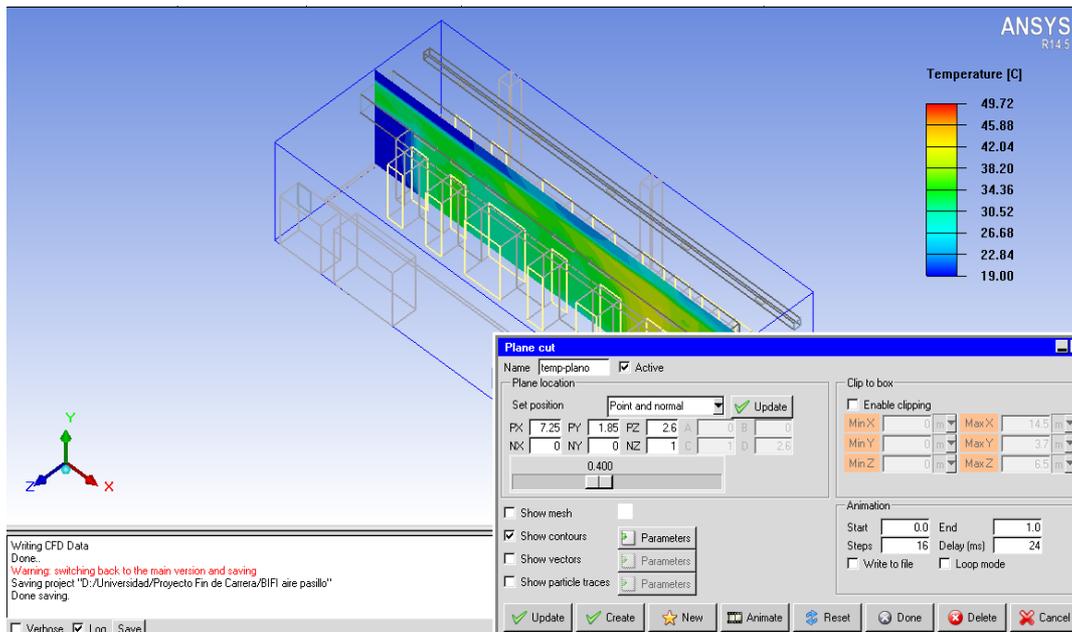


Figura Anexo1.31. Plano de temperaturas en pasillo caliente y extracción

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO “AIRE CALLE”:

Este segundo modelo es aquel en el que la refrigeración del CPD se hace a partir del aire de la calle, del ambiente exterior.

Para su construcción basta con seguir punto a punto cada uno de los pasos seguidos en la parte anterior del anexo CONSTRUCCION DEL MODELO “AIRE PASILLO”.

Las únicas modificaciones a llevar a cabo son (explicadas en el apartado 3.3.1 *Modificaciones respecto al aire pasillo* de la memoria principal):

1. Cambiar del *apartado 5.e* y *5.f* el caudal de aire que pasa por cada uno de los racks, que en este caso será **0.3055 m³/seg**, el mismo para todos.
2. Cambiar el caudal del ventilador de *extraccion1* del *apartado 7d*, por su nuevo valor de **5 m³/seg**, y el caudal de *extraccion2* por **0.5 m³/seg**.
3. Sustituir el *apartado 10* (donde se llevaba a cabo la elaboración de las tres entradas de refrigeración), por una única entrada de refrigeración llamada *refrigeracion1*, con las características que aparecen en las siguientes figuras:

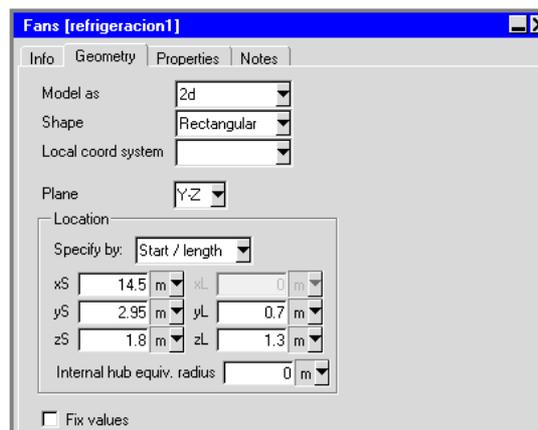


Figura Anex1.32

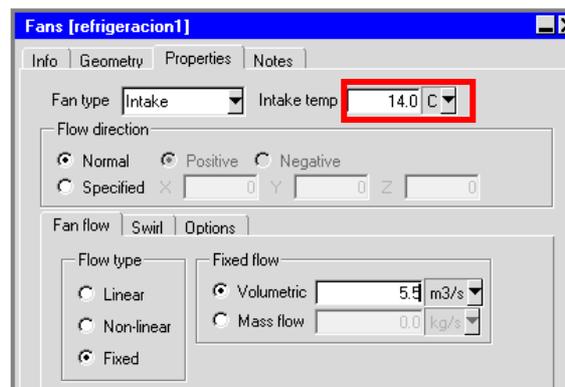


Figura Anex1.33

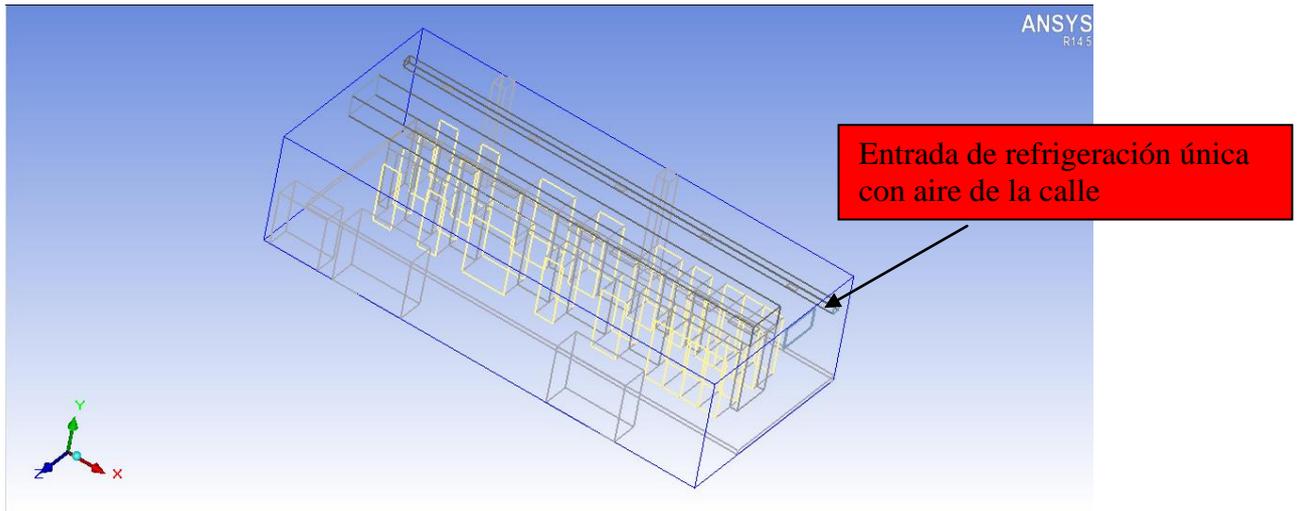


Figura Anexo1.34. Modelo aire calle

4. Cambiar la velocidad inicial (*paso 6, apartado 1.d*) a **0.5 m/seg**
5. Cambiar los coeficientes de **Under-relaxation** (*paso 6, apartado 1.i*)
 - **Momentum: 0.2**
 - **Temperature y Viscosity: 1**
 - **Body forces: 0.1**
 - **Joule heating potencial: 1**

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO REFRIGERACIÓN “AIRE CLIMATIZADORAS”:

Este tercer modelo es aquel en el que la refrigeración del CPD se hace a partir del aire suministrado por las dos climatizadoras que se encuentran dentro de la sala.

Para su construcción basta con seguir punto a punto cada uno de los pasos seguidos en el primer modelo del anexo CONSTRUCCION DEL MODELO “AIRE PASILLO”.

Las únicas modificaciones a llevar a cabo son (explicadas en el apartado 3.4.1 *Modificaciones respecto al aire pasillo* de la memoria principal):

1. Cambiar del *apartado 5.e* y *5.f* el caudal de aire que pasa por cada uno de los racks, que en este caso será **0.3666 m³/seg**, el mismo para todos.
2. Cambiar el caudal del ventilador de *extraccion1* del *apartado 7d*, por su nuevo valor de **6 m³/seg**, y el caudal de *extraccion2* por **0.6 m³/seg**.
3. Crear los conductos por los que circula el aire frio de las climatizadoras:
 - a. Clic en el icono **Create enclosures**
 - b. Crear los 10 conductos a partir de los datos de la tabla 7, que se corresponden con las medidas realizadas en la sala y que aparecen en el plano n°5 del Anexo *Planos*:

Nº	xS	xL	yS	yL	zS	zL	MinX	MinY	MaxY	MinZ	MaxZ
1	1.5	5.3	3.3	0.35	0.8	0.6	-	-	-	-	-
2	7.85	6.15	3.3	0.35	0.8	0.6	-	-	-	-	-
3	0.45	6.35	3.3	0.35	3.8	0.6	-	-	-	-	-
4	7.85	6.15	3.3	0.35	3.8	0.6	-	-	-	-	-
5	4.35	1.5	3.3	0.35	1.4	2.4	-	-	-	Open	Open
6	8.8	1.5	3.3	0.35	1.4	2.4	-	-	-	Open	Open
7	2.95	1.3	2	1.3	6.15	0.35	-	Open	Open	-	-
8	2.95	1.3	3.3	0.35	4.4	2.1	-	-	-	Open	-
9	10.05	1.3	2	1.3	6.15	0.35	-	Open	Open	-	-
10	10.05	1.3	3.3	0.35	4.4	2.1	-	-	-	Open	-

Tabla 7. Configuración de los conductos de refrigeración del techo

- c. Crear las 8 aperturas necesarias para que circule el aire por los conductos
- Clic **Create openings**
 - Introducir para cada una los datos de la tabla 8

Name	Plane	xS	xL	yS	yL	zS	zL
opening1	X-Y	4.35	1.5	3.3	0.35	1.4	
opening2	X-Y	4.35	1.5	3.3	0.35	3.8	
opening3	X-Y	8.8	1.5	3.3	0.35	1.4	
opening4	X-Y	8.8	1.5	3.3	0.35	3.8	
opening5	X-Y	2.95	1.3	3.3	0.35	4.4	
opening6	X-Z	2.95	1.3	3.3		6.15	0.35
opening7	X-Y	10.05	1.3	3.3	0.35	4.4	
opening8	X-Z	10.05	1.3	3.3		6.15	0.35

Tabla 8. Modificaciones de los conductos de refrigeración

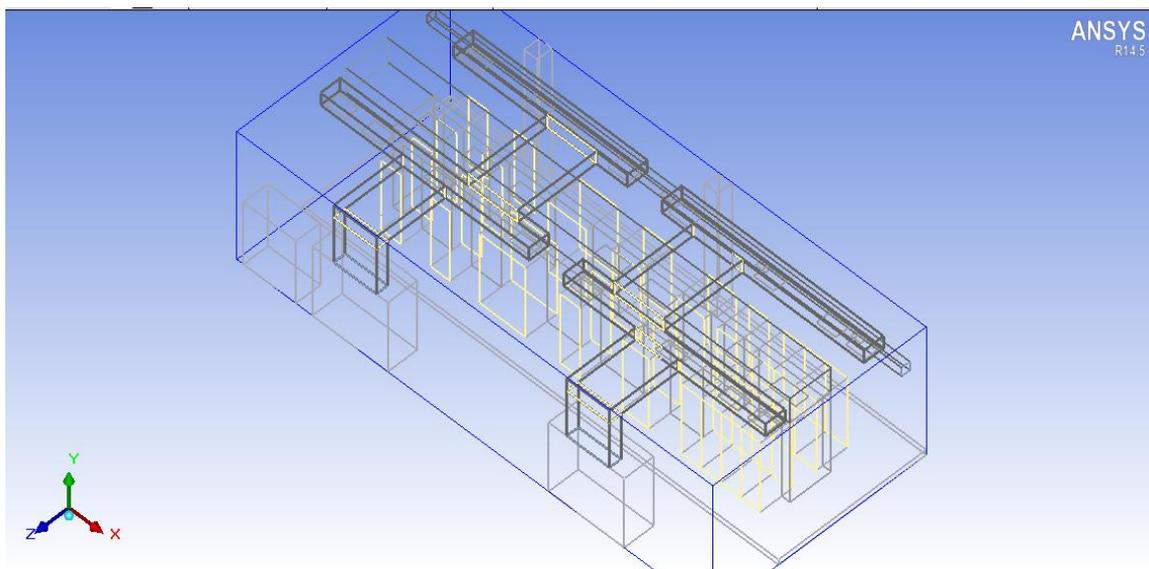


Figura Anexo1.35. Vista de los conductos de refrigeración

4. Sustituir el apartado 10 (donde se llevaba a cabo la elaboración de las tres entradas de refrigeración), por dos entradas de refrigeración llamadas *refrigeracion1* y *refrigeracion2*, con las características que aparecen en las siguientes figuras 36-37 y 38-39 respectivamente (dimensiones, caudal, temperatura):

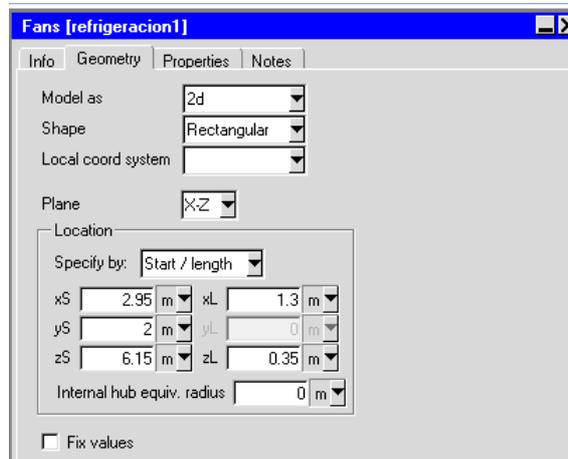


Figura Anexol.36

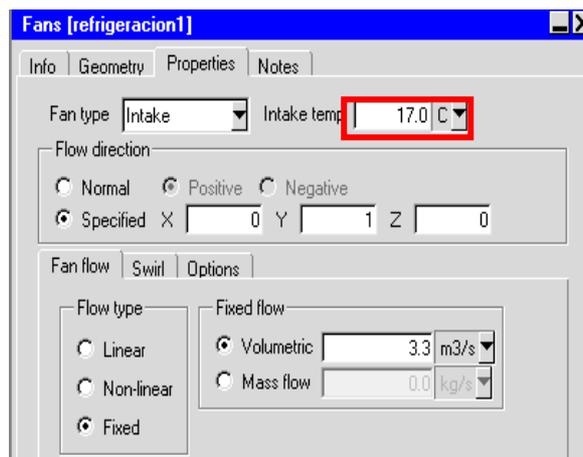


Figura Anexol.37

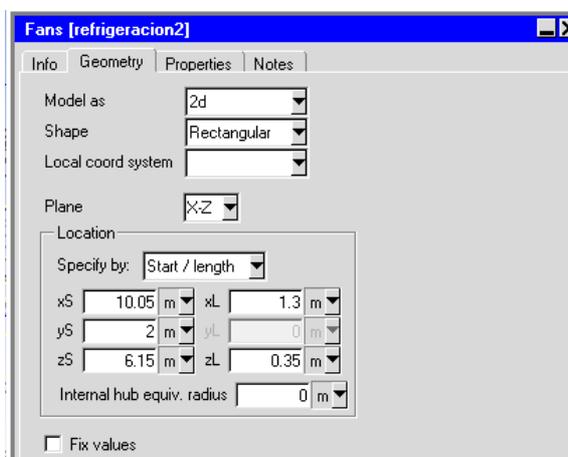


Figura Anexol.38

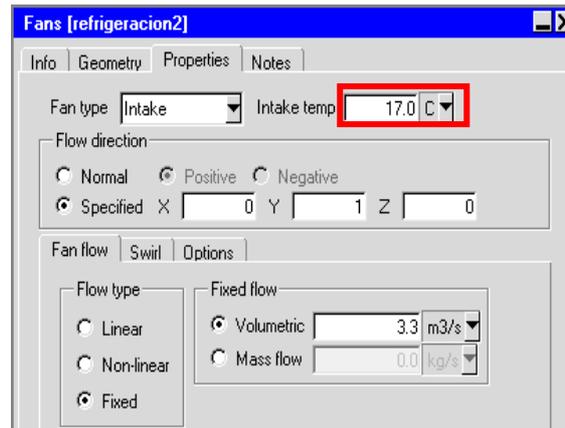


Figura Anexo1.39

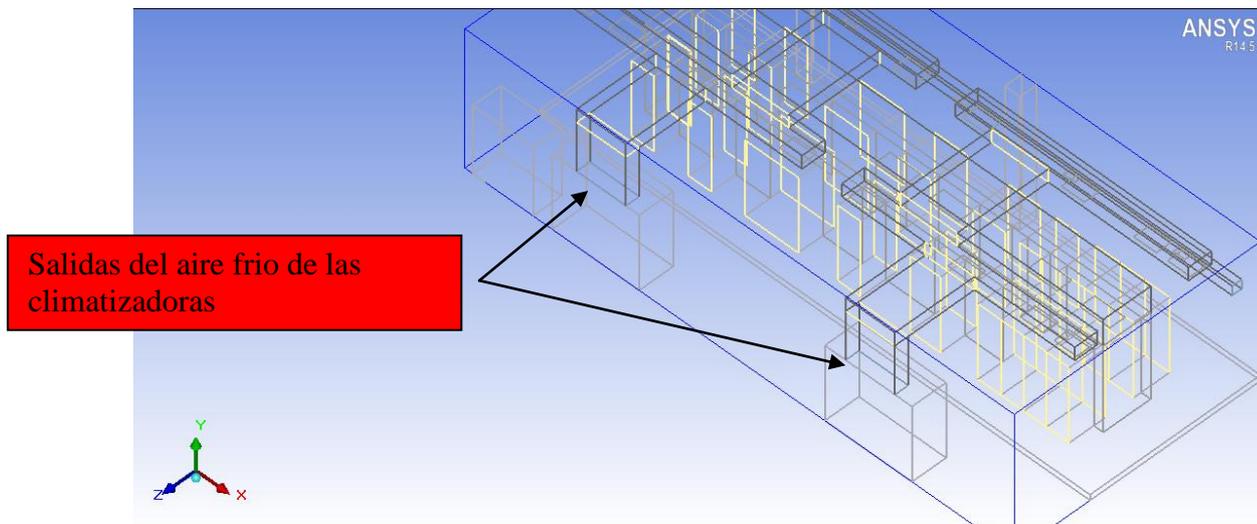


Figura Anexo1.40. Modelo aire climatizadoras

5. Cambiar la velocidad inicial (paso 6, apartado 1.d) a **0.5 m/seg.**

Anexo 2: Medidas experimentales del flujo de aire a través de los racks con el anemómetro

En este anexo se va a llevar a cabo la comprobación, **para el caso de refrigeración del CPD a través del aire del pasillo**, de que la suma de los flujos de aire que atraviesan cada uno de los racks es aproximadamente igual (considerando posibles fugas, fluctuaciones, etc.) al caudal extraído por la *extractora*, tal y como se explica en el apartado 3.2.2 *Flujos de aire* de la memoria principal. Además se medirán también valores de temperatura y humedad en diferentes puntos de la sala, con el fin de utilizarlos para diferentes análisis expuestos en la memoria del proyecto.

Para llevar a cabo las mediciones de caudal, humedad y temperatura, se utilizará el **Anemómetro AMI300 Multifunction**, proporcionado por el Departamento de Ingeniería Mecánica (Área de Máquinas y Motores Térmicos) del EINA.

Al final del *Anexo 2* se adjunta el catálogo de dicho instrumento, donde se pueden ver sus características y las diferentes sondas de medición que le acompañan.

Procedimiento de medición

Las mediciones se llevaron a cabo a partir de tres sondas diferentes:

- La primera de ellas es un higrómetro para medir la humedad en diferentes puntos de la sala, y también proporcionar valores de temperatura.
- La segunda es una sonda de molinete de 10 cm de diámetro, que hace la función de anemómetro, proporcionando valores de velocidad de aire.
- La tercera es una sonda de hilo caliente. Los anemómetros térmicos por hilo caliente miden la velocidad de los fluidos mediante la detección de los cambios en la transferencia de calor de un pequeño sensor calentado eléctricamente (hilo caliente) al colocarlo en el flujo. Esta servirá para medir la velocidad del aire a la entrada de los racks, así como dar valores de temperatura.

Las siguientes tablas de mediciones fueron realizadas siguiendo la Normativa de ASHRAE en el *capítulo 4 de la referencia bibliográfica [1]*.

Mediciones experimentales

Consideraciones:

- Cada una de las siguientes tablas se corresponde a cada uno de los racks.
- Cada uno de los valores de velocidad de cada tabla se ha tomado en los puntos de medida establecidos por la normativa anteriormente nombrada, como aparece en la siguiente figura 2 de un rack.

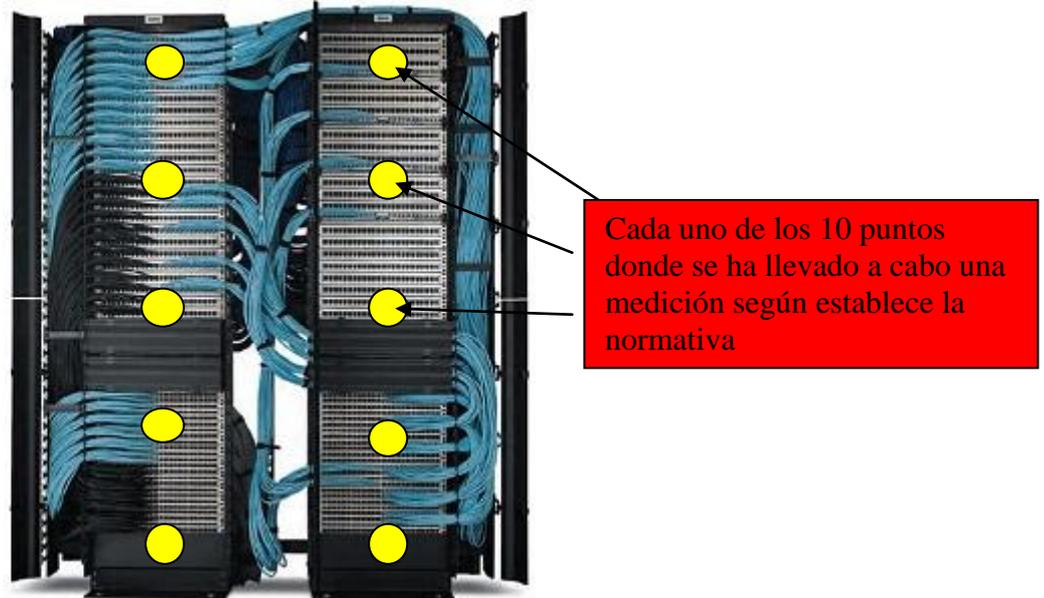


Figura 2 Puntos de medida en un rack

- La media de velocidad, temperatura y su desviación típica la proporciona el propio aparato de medida, seleccionando la opción de barrido que permite almacenar varios puntos de medida para después hacer la media.
- Con la dimensión del rack (su área) y la velocidad media, se calcula el caudal de las tablas.

RACK 1

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,343
0,09	Desv. Típica	0,17192052
0,11	Dimensiones (m ²)	1,2
0,27	Caudal (m³/seg)	0,4116
0,26	Temperatura (°C)	21,12
0,58	Desv. Típica	0,27
0,49		
0,53		
0,48		
0,34		
0,28		

RACK 2

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,186
0,09	Desv. Típica	0,12185602
0,08	Dimensiones (m ²)	1,2
0,05	Caudal (m³/seg)	0,2232
0,06	Temperatura (°C)	21,99
0,18	Desv. Típica	0,73
0,19		
0,18		
0,29		
0,38		
0,36		

RACK 3

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,183
0,29	Desv. Típica	0,1758819
0	Dimensiones (m ²)	2,8
0,48	Caudal (m³/seg)	0,5124
0	Temperatura (°C)	22,35
0,39	Desv. Típica	0,17
0		
0,31		
0,19		
0,08		
0,09		

*Los valores nulos de velocidad que aparecen en las tablas significan zonas de rack cerradas por las que no pasa aire

RACK 4

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,244
0,08	Desv. Típica	0,11097547
0,09	Dimensiones (m ²)	1,2
0,18	Caudal (m³/seg)	0,2928
0,26	Temperatura (°C)	21,3
0,38	Desv. Típica	0,18
0,36		
0,25		
0,38		
0,18		
0,28		

RACK 5

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,287
0,07	Desv. Típica	0,17845323
0,08	Dimensiones (m ²)	1,6
0,19	Caudal (m³/seg)	0,4592
0,18	Temperatura (°C)	21,5
0,38	Desv. Típica	0,92
0,68		
0,38		
0,28		
0,35		
0,28		

RACK 6

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,364
0,29	Desv. Típica	0,21277009
0,58	Dimensiones (m ²)	1,2
0,38	Caudal (m³/seg)	0,4368
0,75	Temperatura (°C)	21,81
0,38	Desv. Típica	0,21
0,48		
0,28		
0,38		
0,05		
0,07		

RACK 7

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,483
0,42	Desv. Típica	0,24092645
0,65	Dimensiones (m ²)	1,2
0,42	Caudal (m³/seg)	0,5796
0,96	Temperatura (°C)	21,73
0,47	Desv. Típica	0,27
0,72		
0,26		
0,51		
0,17		
0,25		

RACK 8		
Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,537
0,48	Desv. Típica	0,32228524
0,89	Dimensiones (m ²)	1,2
0,58	Caudal (m³/seg)	0,6444
0,86	Temperatura (°C)	22,41
0,43	Desv. Típica	0,78
0,98		
0,29		
0,69		
0,09		
0,08		

RACK 9		
Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,59
0,37	Desv. Típica	0,30228757
0,78	Dimensiones (m ²)	1,2
0,45	Caudal (m³/seg)	0,708
0,65	Temperatura (°C)	22,38
0,57	Desv. Típica	0,88
0,86		
0,74		
1,12		
0,15		
0,21		

RACK 10		
Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,117
0	Desv. Típica	0,10360716
0	Dimensiones (m ²)	1,2
0	Caudal (m³/seg)	0,1404
0	Temperatura (°C)	20,11
0,2	Desv. Típica	0,13
0,22		
0,21		
0,21		
0,13		
0,2		

RACK 11

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,166
0	Desv. Típica	0,16399187
0	Dimensiones (m ²)	1,2
0	Caudal (m³/seg)	0,1992
0	Temperatura (°C)	20,88
0,39	Desv. Típica	0,3
0,42		
0,24		
0,27		
0,15		
0,19		

RACK 12

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,121
0,11	Desv. Típica	0,07723701
0,15	Dimensiones (m ²)	2,3
0,18	Caudal (m³/seg)	0,2783
0,22	Temperatura (°C)	20,85
0	Desv. Típica	0,19
0		
0,15		
0,21		
0,09		
0,1		

RACK 13

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,185
0,1	Desv. Típica	0,08579692
0,07	Dimensiones (m ²)	1,7
0,18	Caudal (m³/seg)	0,3145
0,19	Temperatura (°C)	22,47
0,26	Desv. Típica	0,4
0,31		
0,15		
0,32		
0,13		
0,14		

RACK 14

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,154
0,11	Desv. Típica	0,09991107
0,1	Dimensiones (m ²)	1,7
0,25	Caudal (m³/seg)	0,2618
0,26	Temperatura (°C)	24,1
0,23	Desv. Típica	0,23
0,32		
0,08		
0,09		
0,05		
0,05		

RACK 15

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,222
0,18	Desv. Típica	0,20644074
0,19	Dimensiones (m ²)	1,2
0,12	Caudal (m³/seg)	0,2664
0,2	Temperatura (°C)	24,64
0,8	Desv. Típica	1,16
0,21		
0,15		
0,15		
0,12		
0,1		

RACK 16

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,125
0,15	Desv. Típica	0,06450667
0,16	Dimensiones (m ²)	1,3
0,06	Caudal (m³/seg)	0,1625
0,19	Temperatura (°C)	24,54
0,08	Desv. Típica	1,04
0,22		
0,1		
0,19		
0,05		
0,05		

RACK 17		
Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,128
0,09	Desv. Típica	0,05977736
0,12	Dimensiones (m ²)	1,3
0,04	Caudal (m³/seg)	0,1664
0,1	Temperatura (°C)	25,01
0,16	Desv. Típica	0,94
0,19		
0,22		
0,11		
0,06		
0,19		

RACK 18		
Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	0,157
0,15	Desv. Típica	0,07803845
0,17	Dimensiones (m ²)	1,3
0,07	Caudal (m³/seg)	0,2041
0,11	Temperatura (°C)	26,08
0,23	Desv. Típica	0,74
0,13		
0,09		
0,13		
0,15		
0,34		

Si se suma el caudal que atraviesa cada uno de los racks:

→ **CAUDAL TOTAL = 6.26 m³/seg.**

Que admitiendo errores de medida experimentales es aproximadamente igual al caudal que se extrae por la *extractora1* (6.3 m³/seg), calculada en el apartado 3.2.2 *Flujos de aire* de la memoria principal.

- A continuación con la sonda de molinete se procedió a medir el caudal de aire que entra por cada una de las 3 tomas de refrigeración del pasillo, para comprobar que su suma es igual a la cantidad de aire extraída entre las dos extractoras (6.9 m³/seg), calculada en el apartado 3.2.2 *Flujos de aire* de la memoria principal.

REFRIG 1

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	5,68
5,4	Desv. Típica	0,18348479
5,6	Dimensiones (m ²)	0,4
5,9	Caudal (m³/seg)	2,27
5,8	Temperatura (°C)	18,93
5,6	Desv. Típica	0,29
5,8		

REFRIG 2

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	5,56
5,5	Desv. Típica	0,13662601
5,5	Dimensiones (m ²)	0,4
5,6	Caudal (m³/seg)	2,22
5,8	Temperatura (°C)	19,05
5,6	Desv. Típica	0,31
5,4		

REFRIG 3

Velocidades (m/seg)	Media (m/seg)	5,51
5,4	Desv. Típica	0,14719601
5,6	Dimensiones (m ²)	0,4
5,6	Caudal (m³/seg)	2,206
5,7	Temperatura (°C)	19,2
5,3	Desv. Típica	0,21
5,5		

Si se suma el caudal de aire que entra por cada una de las tomas desde el pasillo:

→ **CAUDAL TOTAL = 6.696 m³/seg**

Que admitiendo errores de medida experimentales es aproximadamente igual al caudal total que se extrae por las extractoras (6.9 m³/seg)

- Por último, con el higrómetro se procedió a la toma de medidas de humedad y temperatura en diferentes puntos de la sala (como se ve en la figura 3) en dos días diferentes (tabla 9), para después poder analizar dichas medidas en la memoria (apartado 6.1 *Instalación de aparatos de medida de la humedad y* apartado 4.3 *Comparación de los resultados con los valores experimentales, tabla2*).

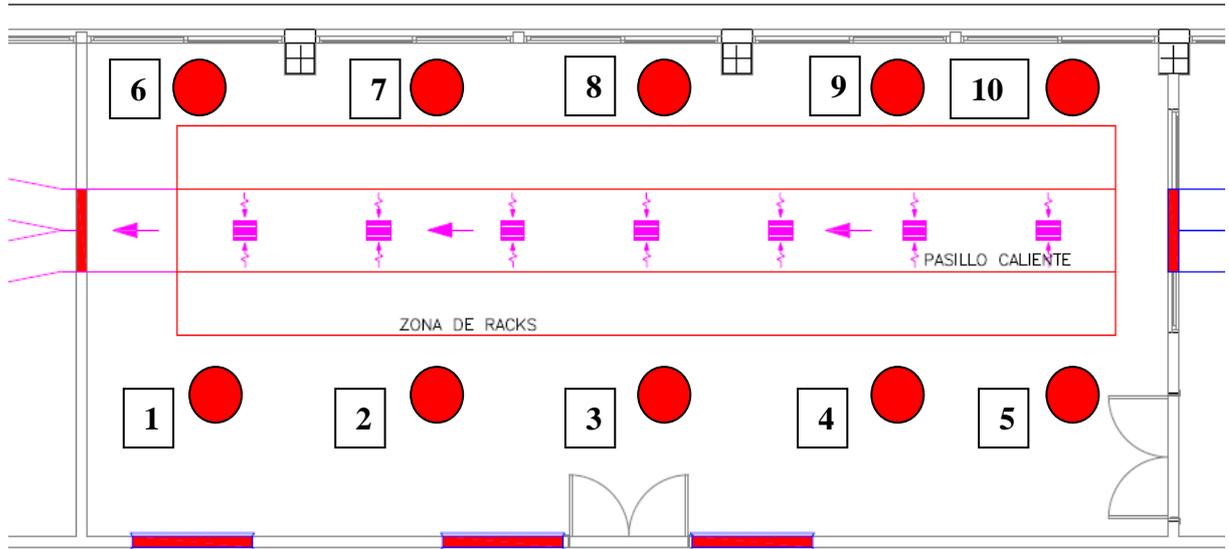


Figura 3. Puntos de medida de temperatura y humedad dentro de la sala

	DIA 1		DIA 2	
	Humedad (%RH)	Temperatura (°C)	Humedad (%RH)	Temperatura (°C)
Punto 1	33.6	21.9	32.9	21.4
Punto 2	33.2	22.6	30.5	22.8
Punto 3	33.8	23.3	31	23.6
Punto 4	33.2	22.5	30.8	22.7
Punto 5	32	23	33.7	22.2
Punto 6	33.6	20	32	20.4
Punto 7	31.5	21.4	29.3	22.2
Punto 8	30.4	24.2	28.5	25.7
Punto 9	27.6	27	27.8	26.5
Punto 10	32	26.6	29.5	26.8

Tabla 9. Valores de temperatura y humedad en dos días diferentes

Catálogo del anemómetro



Technical Data Sheet

Pressure / Temperature / Humidity / Air Velocity / Airflow / Sound level



AMI 300 Multifunction

New
CE



Connection



Interchangeable measurement modules
1 instrument = more than 1 range and 1 parameter available.

Wireless connection
Instrument / PC
Instrument / Probe

Smart-plus system
Probes automatically recognized when connected to the instrument.

The multifunctions

AMI 300



AMI 300 CLA and AMI 300 CRF



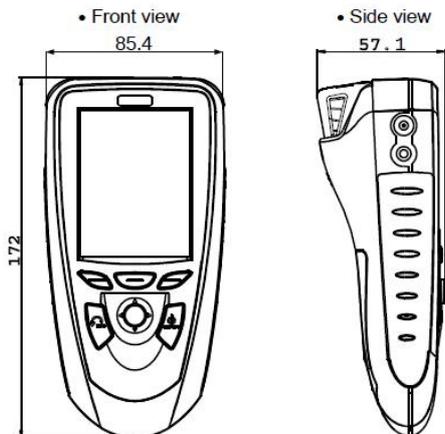
AMI 300 STD and AMI 300 SRF



AMI 300 PRO and AMI 300 PRF



Dimensions



Functions



Manometer

PRESSURE

- Automatic or manual self-calibration
- Selection of units
- Pressure integration (0 to 9)
- Point/point, automatic point/point, automatic average
- Minimum / maximum values, hold, standard deviation
- Storage



AIR VELOCITY AND AIRFLOW

- Selection of Pitot tube, Debimo blades, hotwire or factor for other sensing elements
- Selection of duct type
- Selection of units
- Point/point, automatic point/point, automatic average
- Manual or automatic temperature balancing
- Manual air pressure balancing
- K2 factor
- Minimum / maximum values, hold, standard deviation
- Storage



Thermo-hygrometer

HYGROMETER

- Selection of units
- Minimum / maximum values and hold function
- Storage

PSYCHROMETER

- Dew point, wet temperature, enthalpy, absolute temperature
- Minimum / maximum values and hold function
- Storage

WBGT index

- For hygrometry probe with black ball.
- Calculation of comfort index inside / outside
- Storage



Air Quality

CLIMATIC CONDITIONS MODULE

- Selection of units
- Minimum / maximum values and hold function
- Storage

AIR QUALITY PROBES

- Audible Alarm (2 setpoints)
- CO maximum
- Selection of units
- Minimum / maximum values and hold function
- Storage

OMNIDIRECTIONAL PROBE

- Air velocity
- Temperature
- Hygrometry

Current / voltage module

- Adjustable ranges
- Minimum / maximum values and hold function
- Storage



Thermometer

Thermocouple module, Pt100 and thermocouple temperature probes

- Dynamic delta T
- Selection of units
- Minimum / maximum values and hold function
- Alarme (upper and lower setpoints)
- Storage
- Calculation of U-value

Datalogger-10



- Multi-parameters recording
- Manual and automatic storage
- Memory : up to 12,000 measurement points or 50 datasets
- User-friendly with printing of customized report
- Management of instruments pool, follow-up of calibration periods
- Intervention planning
- Wired or wireless interface

Technical features

Sensing elements

- Pressure module** Piezoresistive sensor
- Overpressure allowed ± 500 Pa : 250 mbar
 - Overpressure allowed ± 2500 Pa : 500 mbar
 - Overpressure allowed $\pm 10,000$ Pa : 1,200 mbar
 - Overpressure allowed ± 500 mbar : 2 bar
 - Overpressure allowed $\pm 2,000$ mbar : 6 bar

Hotwire : Thermistance with a negative temperature coefficient.

Ambient temperature : Pt100 1/3 Din.

Ø 70 and 100 mm vane probes : Hall effect sensor

Ambient temperature : Pt100 class A.

Ø 14 mm vane probe : Proximity sensor

Ambient temperature : Pt100 class A.

Hygrometry/Temp. Probe : capacitive sensor, Pt100 1/3 DIN

Thermocouple probes : type K, J and T class 1

Pt100 probes Smart-plus : Pt100 class 1/3 Din

Climatic conditions module

Hygrometry : capacitive sensor

Temperature : semiconductor sensor

Air pressure : piezoresistive sensor

Air quality probes

CO₂ : NDIR sensor

CO : electrochemical sensor

Temperature : Pt100 class A

Hygrometry : capacitive sensor

Climatic conditions module

Hygrometry : capacitive sensor

Temperature : semiconductive sensor

Air pressure : piezoresistive sensor

Multifunction probe

Air velocity : Thermistance with a negative temperature coefficient.

Hygrometry/Temp. : capacitive sensor, Pt100 1/3 DIN

Omnidirectional probe

Air velocity : Thermistance with a negative temperature coefficient

Hygrometry/Temps. : capacitive sensor, Pt100 1/3 DIN

Tachometry probe

Optical : optical sensor

Contact : optical probe with ETC adaptor

Gas leak detection probe

Ch₄ hydrocarbon and LPG : electrochemical sensor

Instrument connections..... On the top :

2 secured mini-DIN connectors for SMART-Plus probes

Left side :

1 USB port for KIMO cable only

1 power supply plug

Module connections..... Thermocouple

4 inputs for compensated miniature

plug of thermocouple type K, J or T Class 1

(as per IEC 584-3norm)

Pressure

2 pressure connectors Ø 6,2 mm made of nickelled brass.

2 threaded pressure connectors Ø 4,6 mm made of nickelled brass

+ 1 thermocouple temperature input for miniature

connectors

Current / voltage module

2 stereo jacks

Display..... Graphic display 320x240 pixels

Dim. 70 x 52 mm, color display

Display of 6 measurements (including 4 simultaneously)

Housing

IP54, ABS shock-proof

Keypad.....

Metal-coated, 5 keys, 1 joystick

Conformity.....

Electromagnetical compatibility

(NF EN 61326-1 norm)

Power supply.....

4 alcaline batteries 1,5V LR6

Operating environment.....

Neutral gas

Operating temperature.....

from 0 to 50°C

Storage temperature.....

from -20 to +80°C

Auto shut-off.....

adjustable from 0 to 120 min

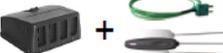
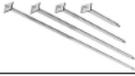
Weight.....

380g

Languages.....

French, English, Dutch, German, Italian, Spanish,

Portuguese, Swedish, Norwegian, Finn, Danish

Specifications	Measuring units	Measuring range	Accuracy*	Resolutions
PRESSURE				
	Pa, mmH ₂ O, In WG, mbar, hPa, mmHg, DaPa, kPa	from 0 to ±500 Pa from 0 to ±2500 Pa from 0 to ±10,000 Pa	±100 Pa : ±0.2% reading ±0.8Pa, beyond ±0.2% reading ±1.5Pa, ±0.2% of reading ±2Pa	0.1 Pa from -100 to +100 Pa, 1 Pa beyond
	mmH ₂ O, In WG, mbar, hPa, mmHg, DaPa, kPa, PSI bar, In WG, mbar, hPa, mmHg, kPa, PSI	from 0 to ±500 mBar from 0 to ±2000 mBar	±0.2% of reading ±10Pa ±0.2% of reading ±0.5mBar ±0.2% of reading ±2mBar	1Pa 0.1mBar 1mBar
CURRENT/VOLTAGE				
	V, mA	from 0 to 2.5 V from 0 to 10 V from 0 to 4/20 mA	±2mV ±10mV ±0.01mA	0.001 V 0.01 V 0.01 mA
THERMOCOUPLE				
	°C, °F	K : from -200 to +1,300°C J : from -100 to +750°C T : from -200 to +400°C	±1.1°C or ±0.4% of reading** ±0.8°C or ±0.4% of reading** ±0.5°C or ±0.4% of reading**	0.1 °C 0.1 °C 0.1 °C
CLIMATIC CONDITIONS				
	Hygro. %RH Temp. °C, °F Air pressure hPa	from 5 to 95%RH from -20 to +80°C from 800 to 1100 hPa	See datasheet interchangeable measurement modules	0.1 %RH 0.1 °C 1 hPa
HOTWIRE - Standard and telescopic -				
	Air velocity m/s, fpm, Km/h Temperature °C, °F Airflow m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	from 0.15 to 1 m/s from 0.15 to 3 m/s from 3.1 to 30 m/s from -20 to +80°C from 0 to 99,999 m ³ /h	±3% of reading ±0.03 m/s*** ±3% of reading ±0.03 m/s ±3% of reading ±0.1 m/s ±0.3% of reading ±0.25°C ±3% of reading ±0.03*area(cm ²)	0.01 m/s 0.01 m/s 0.1 m/s 0.1 °C 1 m ³ /h
Ø 100 mm VANE PROBE				
	Air velocity m/s, fpm, Km/h Temperature °C, °F Airflow m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	From 0.3 to 3 m/s From 3.1 to 35 m/s from -20 to +80°C from 0 to 99,999 m ³ /h	±3% of reading ±0.1m/s ±1% of reading ±0.3m/s ±0.4% of reading ±0.3°C ±3% of reading ±0.03*area (cm ²)	0.01 m/s 0.1 m/s 0.1 °C 1 m ³ /h
Ø 70 mm VANE PROBE				
	Air velocity m/s, fpm, Km/h Temperature °C, °F Airflow m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	From 0.3 to 3 m/s From 3.1 to 35 m/s from -20 to +80°C from 0 to 99,999 m ³ /h	±3% of reading ±0.1m/s ±1% of reading ±0.3m/s ±0.4% of reading ±0.3°C ±3% of reading ±0.03*area (cm ²)	0.1 m/s 0.1 °C 1 m ³ /h
Ø 14 mm VANE PROBE				
	Air velocity m/s, fpm, Km/h Airflow m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s Temperature °C, °F	From 0.8 to 3 m/s From 3.1 to 25 m/s from 0 to 99,999 m ³ /h from -20 to +80°C	±3% of reading ±0.1m/s ±1% of reading ±0.3m/s ±3% of reading ±0.03*area (cm ²) ±0.4% of reading ±0.3°C	0.1 m/s 1 m ³ /h 0.1 °C
PITOT TUBE				
	Air velocity m/s, fpm, Km/h, mph Airflow m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	from 2 to 5 m/s from 5.1 to 100 m/s from 0 to 99,999m ³ /h	±0.3 m/s ±0.5% of reading ±0.2m/s ±0.2% of reading ±1% PE	0.1 m/s 1 m ³ /h
DEBIMO blades				
	Air velocity m/s, fpm, Km/h, mph Airflow m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	from 4 to 20 m/s from 21 to 100 m/s from 0 to 99,999m ³ /h	±0.3 m/s ±1% of reading ±0.1m/s ±0.2% of reading ±1% PE	0.1 m/s 0.1 m/s 1 m ³ /h
Air quality probes : CO / CO₂ / temperature / Hygrometry				
	Temperature °C, °F CO ₂ ppm CO ppm Relative humidity %RH	from -20 to +80°C from 0 to 5000 ppm from 0 to 500 ppm from 5 to 95%RH	See related datasheet "Portable probes"	0.1 °C 1 ppm 0.1 ppm 0.1 %RH
STANDARD HYGROMETRY probe				
	Relative humidity %RH Absolute humidity / enthalpy g/Kg / Kj/Kg Dew point °C _{td} , °F _{td} Ambient temperature °C, °F	from 3 to 98 %RH According to temperature and hygrometry measuring ranges from -50 to +80°C _{td} from -20 to	See related datasheet "Portable probes" ±0.6% of reading ±0.5°C _{td} ±0.3% of reading ±0.25°C	0.1 %RH 0.1 g/Kg 0.1 °C _{td} 0.1 °C
HIGH TEMPERATURE HYGROMETRY probe				
	Relative humidity %RH Absolute humidity / enthalpy g/Kg / Kj/Kg Dew point °C _{td} , °F _{td} Ambient temperature °C, °F	from 3 to 98 %RH According to temperature and hygrometry measuring ranges from -50 to +80°C _{td} from -40 to +180°C	See related datasheet "Portable probes" ±0.6% of reading ±0.5°C _{td} ±0.3% of reading ±0.25°C	0.1 %RH 0.1 g/Kg 0.1 °C _{td} 0.1 °C
TACHOMETRY probe (See datasheet "Portable probes")		OMNIDIRECTIONAL PROBE See datasheet "Portable probes"		
MULTIFUNCTION probes (See datasheet "Portable probes")		GAS LEAK DETECTION PROBE See datasheet "Portable probes"		
Pt100 Smart-Plus probes (See related datasheet)				

*All accuracies indicated in this document were stated in laboratory conditions and can be guaranteed for measurements carried out in the same conditions, or carried out with required compensation.
**The accuracy is expressed either by a deviation in °C, or by a percentage of the value concerned. Only the bigger value is considered.
***Optional specific adjustment and calibration

Supplied with ...

● Supplied with ○ Option

DESCRIPTION	AMI 300	AMI 300 CLA	AMI 300 STD	AMI 300 PRO	AMI 300 CRF	AMI 300 SRF	AMI 300 PRF
Pressure module from 0 to ±500 Pa	○	○	○	●	○	○	●
Pressure module from 0 to ±2500 Pa	○	○	○	○	○	○	○
Pressure module from 0 to ±10000 Pa	○	○	○	○	○	○	○
Pressure module from 0 to ±500 mBar	○	○	○	○	○	○	○
Pressure module from 0 to ±2000 mBar	○	○	○	○	○	○	○
Current / voltage module	●	●	●	●	●	●	●
Thermocouple module	○	○	○	○	○	○	○
Climatic conditions module	○	○	○	○	○	○	○
2x1 m silicone tube Ø 4 x 7 mm	○	○	○	○	○	○	○
Stainless steel tips Ø 6 x 100 mm	○	○	○	○	○	○	○
Pitot tube Ø 6mm, lg. 300 mm	○	○	○	○	○	○	○
Pitot tube Ø 6mm, lg. 300 mm T	○	○	○	○	○	○	○
Pitot tube Ø 6mm, lg. 300 mm S	○	○	○	○	○	○	○
Optical tachometry probe	○	○	○	○	○	○	○
ETC adaptor	○	○	○	○	○	○	○
Reflective tape	○	○	○	○	○	○	○
Hot wire with specific adjustment and calibration	○	○	○	○	○	○	○
Standard hotwire	○	○	○	○	○	○	○
Straight extension for hotwire	○	○	○	○	○	○	○
Telescopic gooseneck-shaped hotwire	○	○	○	○	○	○	○
SMART-Plus Ø 14 mm vane probe	○	○	○	○	○	○	○
Telescopic SMART-Plus Ø 14 mm vane probe	○	○	○	○	○	○	○
SMART-Plus Ø 70 mm vane probe	○	○	○	○	○	○	○
Wireless Ø 70 mm vane probe	○	○	○	○	○	○	○
SMART-Plus Ø 100 mm vane probe	○	○	○	○	○	○	○
Wireless Ø 100 mm vane probe	○	○	○	○	○	○	○
SMART-Plus standard hygrometry probe	○	○	○	○	○	○	○
Wireless standard hygrometry probe	○	○	○	○	○	○	○
SMART-Plus high temperature hygrometry probe	○	○	○	○	○	○	○
Wireless high temperature hygrometry probe	○	○	○	○	○	○	○
SMART-Plus Pt100 temperature probe	○	○	○	○	○	○	○
Wireless Pt100 temperature probe	○	○	○	○	○	○	○
Thermocouple K, J and T probe	○	○	○	○	○	○	○
CO ₂ / temperature probe	○	○	○	○	○	○	○
CO / temperature probe	○	○	○	○	○	○	○
CO ₂ / temperature / Hygrometry probe	○	○	○	○	○	○	○
Gas leak detection probe	○	○	○	○	○	○	○
Omnidirectional probe (air velocity/temperature/hyrometry)	○	○	○	○	○	○	○
Air velocity/ Temperature / Hygrometry probe	○	○	○	○	○	○	○
8 rechargeable batteries with charger	●	●	●	●	●	●	●
Calibration certificate	●	●	●	●	●	●	●
Transport case	●	●	●	●	●	●	●

Accessories (See related datasheet)

Datalogger-10 Datalogger-10 PC software for data recording and processing. Wired (LPCR) or wireless (LPCR) interface.	KPUJ 20 - 50 - 100 - 200 - 600 Ammeter clamp with PVC cable lg. 2m and jack connector.	RTS Telescopic extension, length 1 m, bent at 90° for measuring probe.	BNF Hotwire cleaning spray	K 25 - 35 - 75 - 85 - 120 - 150 Airflow cones (See related datasheet)
CE 300 Hands-free protective cover	GST Silicone heat conductive grease for temperature probes	ADS Adaptor for power supply 230 Vac	See related datasheet Silicone tube and crystal flexible tube	See related datasheet Debimo airflow blades of different sizes
BN Black ball Ø 150mm with junction for temperature probe Ø 4,5mm. Further dimensions available.	RD 300 Straight extension for hotwire Ø 10 mm, lg. 300 mm	JAC Set of 4 LR6 batteries	CHA 4 batteries charger	

Warranty period

Instruments have 1-year guarantee for any manufacturing defect (return to our After-Sales Service required for appraisal).

www.kimo.fr

Distributed by :



EXPORT DEPARTMENT
Tel : + 33. 1. 60. 06. 69. 25 - Fax : + 33. 1. 60. 06. 69. 29
e-mail : export@kimo.fr

F.Tiang - AMI300 - 25/07/13 - RCS (24) Périgueux 349 282 095 Non-contractual document - We reserve the right to modify the characteristics of our products without prior notice.

Anexo 3: Planos

INDICE DE PLANOS

PLANO N° 1. – SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL EDIFICIO

PLANO N° 2. – SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL CPD

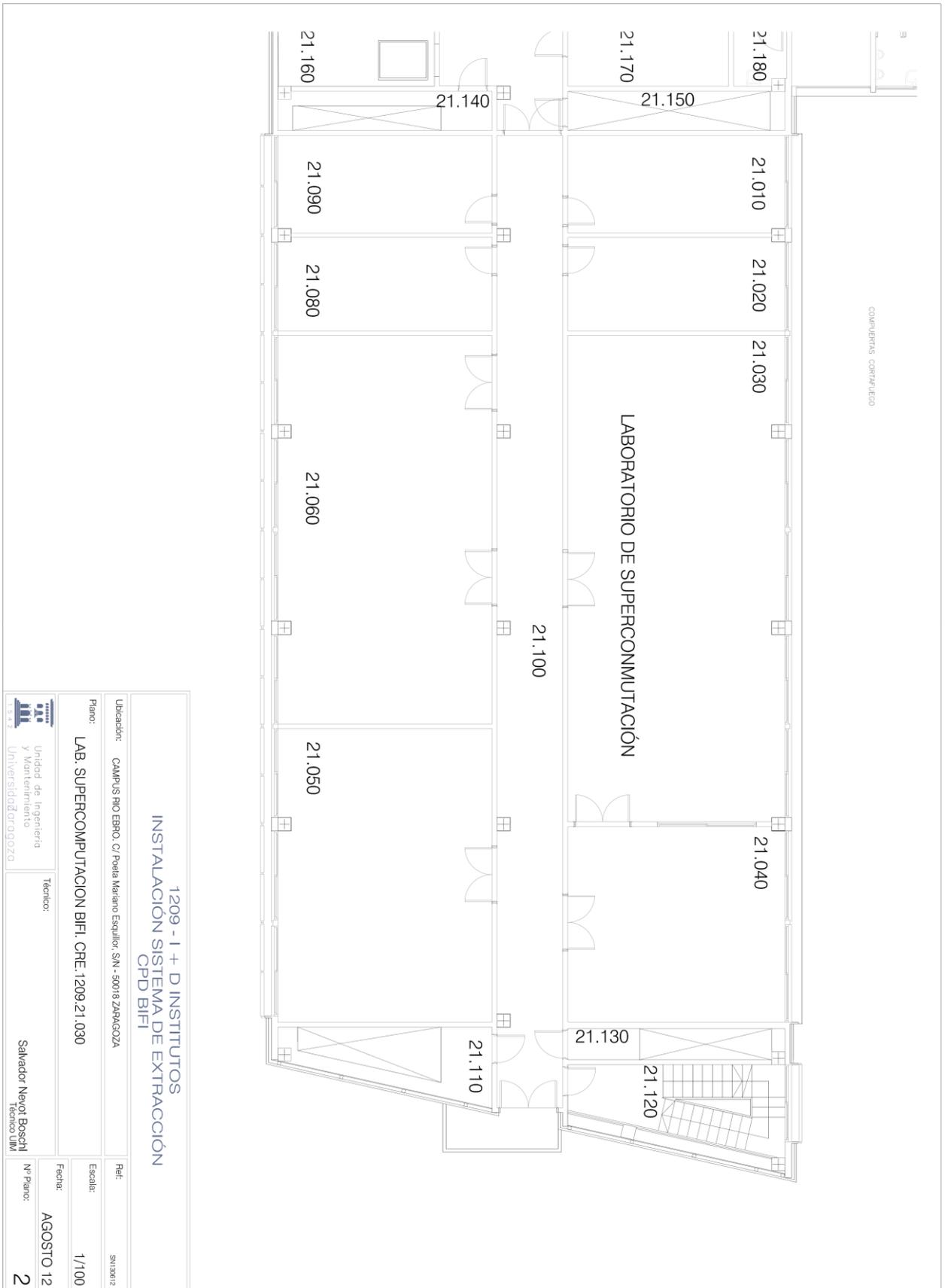
PLANO N° 3. – PLANTA ESTADO ACTUAL CPD

PLANO N° 4. – ALZADOS ESTADO ACTUAL CPD

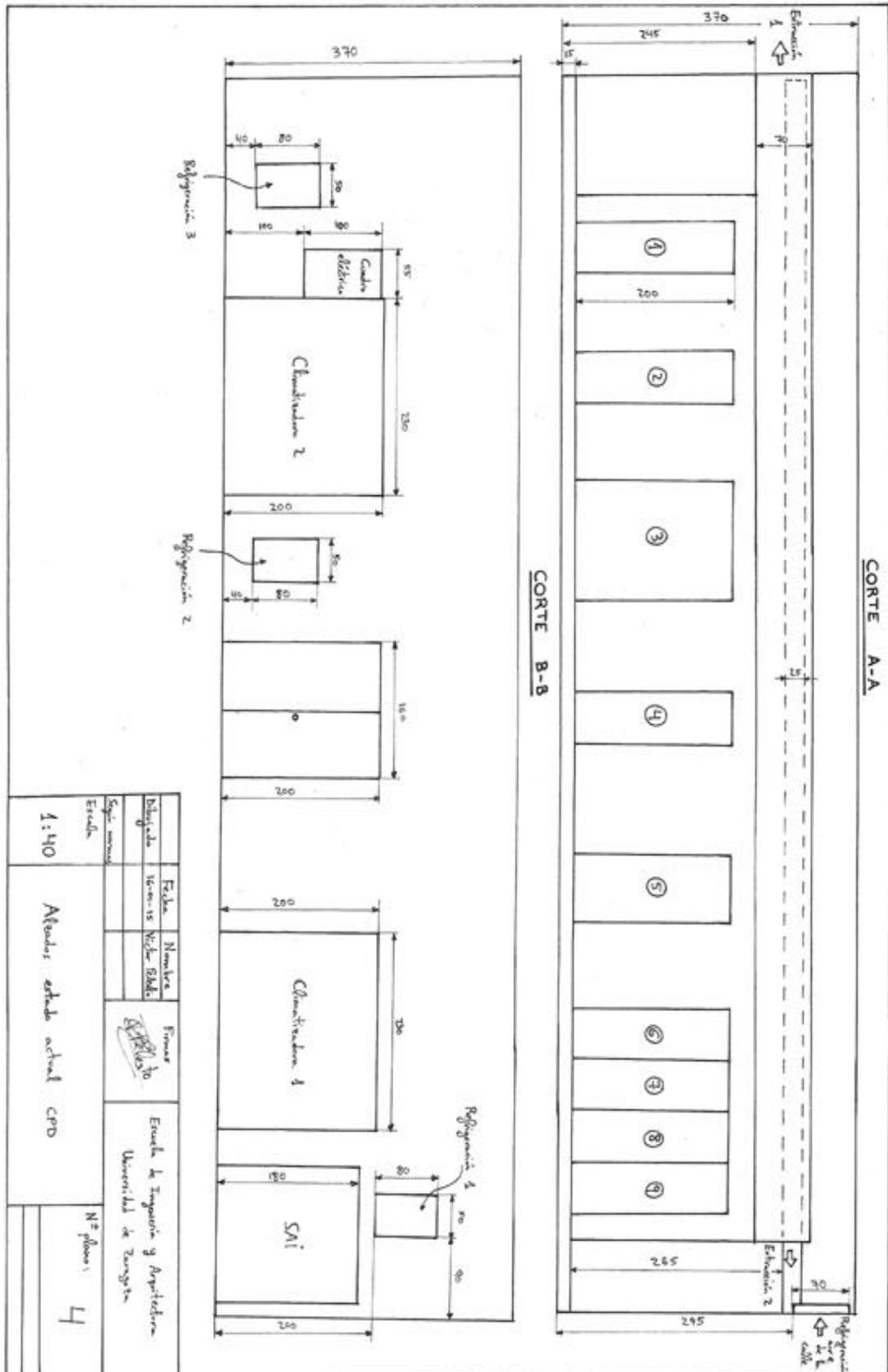
PLANO N° 5. – PLANTA CONDUCTOS DE REFRIGERACIÓN

PLANO N° 6. – PLANTA DE CUBIERTAS

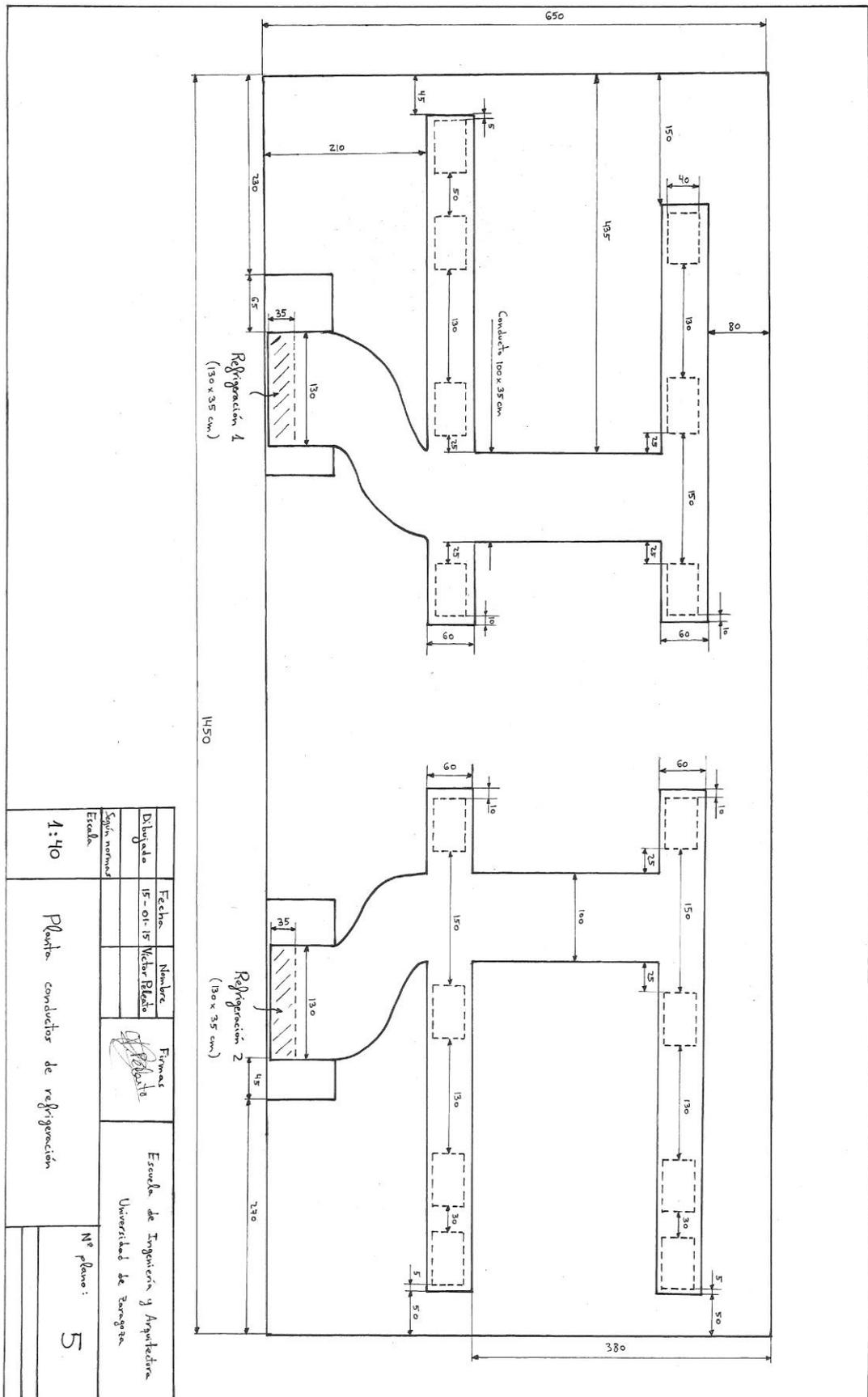
PLANO N° 2. – SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL CPD



PLANO N° 4. – ALZADOS ESTADO ACTUAL CPD

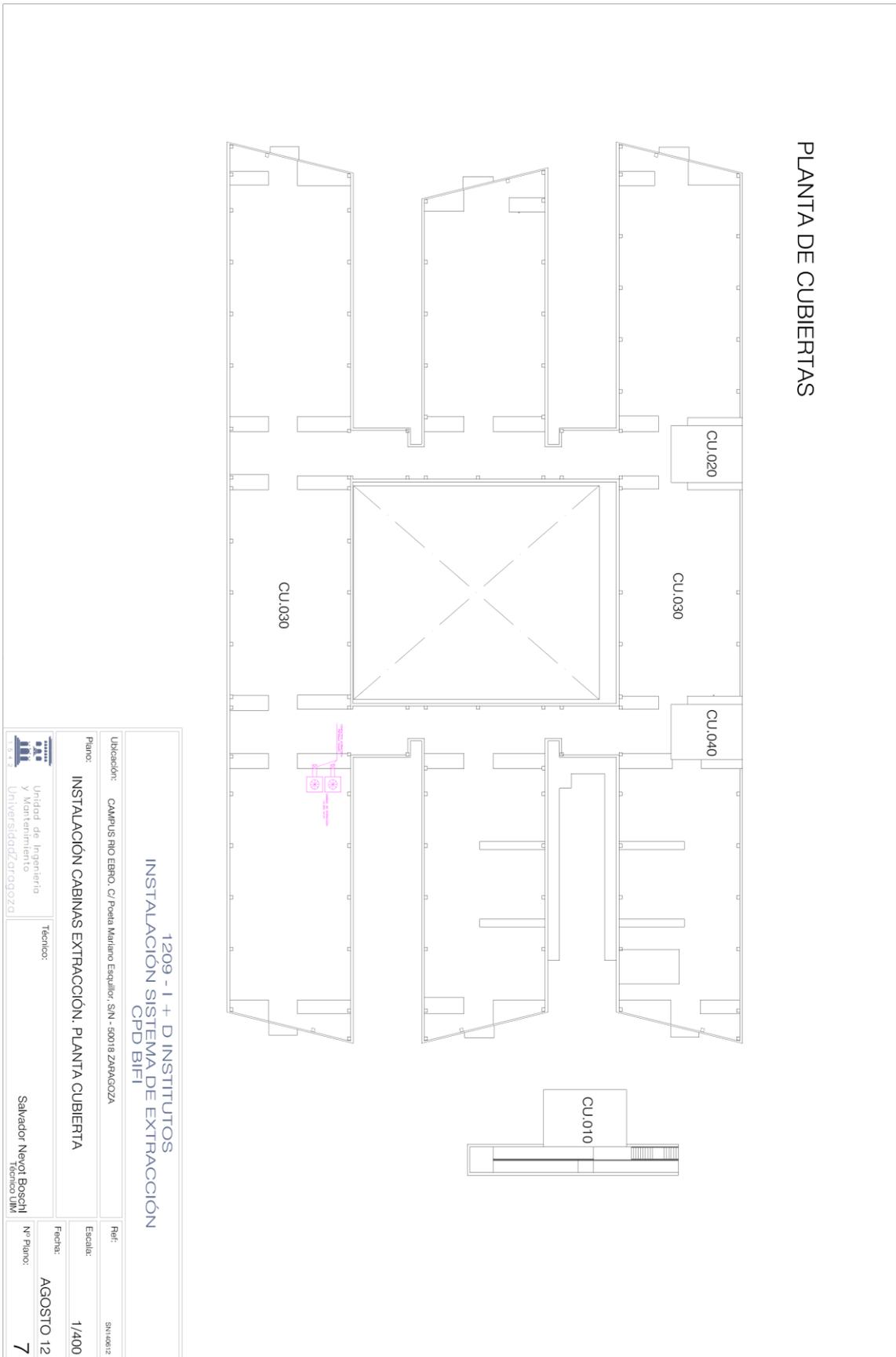


PLANO Nº 5. – PLANTA CONDUCTOS DE REFRIGERACIÓN



Escuela	Escuela de Ingeniería y Arquitectura		Universidad de Zaragoza
Fecha	15-01-15	Nombre	
Dibujado	Vector Plano		
Según normas			
Escala	1:40		Nº plano: 5
Planta conductos de refrigeración			

PLANO N° 6. – PLANTA DE CUBIERTAS



Anexo 4: Presupuesto control de humedad

Como se ha comentado en la memoria principal (6.1. Instalación de aparatos de medida de la humedad), la humedad es uno de los parámetros más abandonado en el entorno de medida y control actual, y por ello es una de las medidas de mejora energética que se cree conveniente poder aplicar al CPD.

Para tal propósito se solicitó un presupuesto a la empresa de climatización “INCLIZA” de Zaragoza (empresa que ofrece servicios desde el ámbito de la gestión y dirección de la ejecución, hasta el del diseño, la rehabilitación funcional y el mantenimiento energético, ejecutando instalaciones en un entorno marcado por el diseño, la innovación, la seguridad y la sostenibilidad), que anteriormente ya había colaborado en la instalación de toda la plataforma BACnet/IP actual para el control en remoto de toda la instalación.

Así pues, el presupuesto solicitado a INCLIZA incluye:

- Integrar el control de humedad en el software de gestión (el autómeta) y
- activar BACnet/IP para poder realizar la lectura en remoto de las nuevas variables.

A continuación se muestra el presupuesto enviado por INCLIZA:



INGENIERIA Y CLIMATIZACIÓN ZARAGOZA, S.L.
Pol. Cogullada Calle Jaime Ferrán nº 9 Nave 8
50014 ZARAGOZA
Tfno.: 976473535 Fax: 976473552
<http://www.incliza.com> incliza@incliza.com



Presupuesto N°	PR14120 / 0
Fecha	31 de marzo de 2014
Realizado por	MIGUEL OLIE TE ASENSIO

Título

INTEGRACIÓN EQUIPOS CIATESA EN SISTEMA METASYS
--

Descripción del Presupuesto

INTEGRACIÓN DE DOS EQUIPOS CIATESAS EN SISTEMA DE GESTIÓN METASYS PARA EL CONTROL DE LA HUMECTACIÓN.
--

Solicitante

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA



Poligono Cogullada
 Calle Jaime Ferrán nº 9 Nave 8
 50014 ZARAGOZA
 Tel: 976473535 Fax: 976473552
 http://www.incliza.com incliza@incliza.com



Presupuesto N° PR14120 / 0	Solicitante UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Fecha 31/03/2014	

Título INTEGRACIÓN EQUIPOS CIATESA EN SISTEMA METASYS

POS.	U.M.	DENOMINACIÓN PARTIDA	UD. PREV.	PRECIO UD. €	PRECIO TOTAL. €
01		INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN PASARELA BACNET IP A MODBUS RTU			
01	UD	INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN PASARELA BACNET IP A MODBUS RTU INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN PASARELA BACNET IP A MODBUS RTU. Instalación y configuración de pasarela para la integración de dispositivos BACnet IP en sistemas Modbus (RTU y TCP), máximo 100 puntos y 254 dispositivos. Activación de Bacnet IP en sistema Metasys y actualización de firmware a última versión si fuese necesario.	1,00	1.983,88	1.983,88



Polígono Cogullada
 Calle Jaime Ferrán nº 9 Nave 8
 50014 ZARAGOZA
 Tel: 976473535 Fax: 976473552
 http://www.incliza.com incliza@incliza.com



Presupuesto N° PR14120 / 0	Solicitante	UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Fecha 31/03/2014		

Título **INTEGRACIÓN EQUIPOS CIATESA EN SISTEMA METASYS**

Capítulo	Descripción del Capítulo	Importe
01	INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN PASARELA BACNET IP A MODBUS	1.983,88
Total Presupuesto		1.983,88 €
21,00 % I.V.A.		416,61 €
Importe Total		2.400,49 €

Valido hasta	
Forma de Pago	TRANSFERENCIA Sin definir
Conceptos Excluidos	
Garantía	Un año contra todo defecto de montaje, siempre y cuando la instalación haya sido mantenida y utilizada en condiciones normales y de acuerdo a la normativa en vigor. Quedan fuera de garantía todos los defectos ocasionados por un uso indebido de la instalación por parte de personal ajeno a INCLIZA, S.L.
Reserva de Dominio	Todos los equipos y materiales instalados por la empresa INCLIZA, S.L. son propiedad de la misma hasta que no haya sido satisfecho el importe total de las facturas correspondientes a los mismos, incluyendo los trabajos directos e indirectos de su instalación. Mientras tanto permanecerán en calidad de depósito en el lugar pactado con el cliente, incrementando su valor anualmente en función del tipo de interés legal de demora (5,5 % para el Año 2014)
Nota	Este presupuesto, una vez firmado, hará las veces de orden de trabajo. En caso de aceptación, rogamos nos remitan el presupuesto firmado, documento indispensable para comenzar la ejecución de la obra. El titular de la instalación tiene la obligación de su legalización y de realizar el mantenimiento según normativa vigente.
L.O.P.D.	En cumplimiento de la I.O. 15/1999 de 13 de Diciembre de Protección de Datos de carácter personal, se le informa que los datos personales que ha aportado son obligatorios y que los mismos serán de tratamiento informatizado. Asimismo, se le informa de la posibilidad de ejercitar su derecho de acceso, rectificación y cancelación de los datos personales aportados.

Conforme,
 UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Conforme, p.p.
 INCLIZA, S.L.

Fdo. _____

Fdo. _____

Anexo 5: Catálogos

Catálogo climatizadoras



SOLUCIONES PARA CENTROS DE DATOS



NE 10.114 C

PRODUCCIÓN

CIATRONIC System

TRATAMIENTO DE AIRE

OPTIMIZACIÓN Y PROFESIONALIDAD

OPTIMIZACIÓN DEL P.U.E. las claves de una instalación energéticamente eficaz

AQUACIATPOWER

→ Tecnología multicompresores perfectamente adaptada que favorece las cargas parciales y, por tanto, contribuye significativamente al P.U.E. (Power Usage Effectiveness)

OPERA

→ Excelente compromiso entre la superficie ocupada en el suelo y la potencia evacuada.

→ Motor EC para un bajo consumo (PUE)

60% FREE COOLING SUPLEMENTARIO

MEJORA EN LAS CONDICIONES DE AGUA 5 °C

MEJORA EN LAS CONDICIONES DE AIRE 5 °C

MAGISTER

→ Excelente compromiso entre la potencia tratada y el espacio ocupado en el suelo.

→ Superficie de intercambio aumentada para incrementar el free-cooling.

→ Sin local técnico específico.

ALMACENAMIENTO CRISTOPIA

→ Los nódulos Cristopia aseguran la producción y proporcionan 12 horas de autonomía de enfriamiento.

ITEX

→ Amplia gama de intercambiadores de placas para el desacople entre la producción de energía y la red secundaria (tratamiento de aire).

→ Uno de los componentes de la solución free chilling.

CLIMACIAT AIR ACCESS

→ Solución para free cooling directo con caja de mezcla de aire nuevo/aire reciclado.

→ Activación de sobrepresión en las salas.

CIATRONIC System

La gama eficiente

Magister

Potencia: 10 a 130 kW

- Control de temperatura e higrometría
- Agua fría o expansión directa por aire
- Múltiples adaptaciones/selección de opcionales y flujos de aire
- Alto rendimiento energético
- Bajo nivel sonoro
- Filtrado de alta eficacia
- Máxima protección de sus locales

Expair

Potencia: de 5 a 50 kW

- Control de temperatura e higrometría
- Agua fría o expansión directa por aire
- Variedad de opcionales
- Competitividad
- Disponibilidad

Climrack

Potencia: de 5 a 18 kW

- Rack de refrigeración por agua
- Refrigeración en origen
- Compacto
- Rack 47U ó 52U
- Solución sin condensación

Magister

Prestaciones y exigencia



1

AHORRO DE ENERGÍA

- Ventilador "Plug fan" para una mayor eficiencia en el circuito de aire, asociado a un motor EC para un rendimiento eléctrico óptimo
- Regulación autoadaptativa: en función de la carga del local o de la pérdida de carga en el falso suelo, el automatismo de control actúa variando la velocidad del ventilador de tratamiento de aire.
- Módulo free cooling entálpico (opcional): dependiendo de las condiciones de temperatura e higrometría, el enfriamiento de la sala informática está garantizado por la introducción de aire nuevo del exterior.



PLUG FAN (Moteur EC)

- Módulo Motbus * de serie para la comunicación entre el ventilador y la regulación, de forma que se puedan recuperar los datos de los errores de los ventiladores, potencia e intensidades absorbidas.
- * Únicamente para Magister CW.

Modelos de agua fría (CW)
Modelos de expansión directa (DXA)



3

PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES

- Funciones Rotación/Emergencia/Complemento entre armarios (hasta 10 unidades)
- Comunicación por protocolo MODBUS/JBUS/LON para disponer de información en tiempo real
- Aislamiento de doble pared de 25 mm comprimida: resistencia al fuego M0
- Opciones: - LON-pasarela
- Gestión de la presión falso suelo
- Sonda change-over



Regulación

4

ADAPTACIÓN

- Armario con sistema de Agua fría o Expansión directa
- Control de temperatura e higrometría
- Nivel acústico reducido mediante:
 - Aislamiento de doble pared
 - Adaptación del caudal de aire a la demanda frigorífica
 - Sistema de aire optimizado: efecto de sistema reducido, velocidad de aire inferior a 2,5 m/s
- Diseño y compacidad: integración perfecta con el entorno
- Filtración continua del aire
- Estabilidad del punto de consigna gracias a la tecnología elegida para las regulaciones (PI o PID) y la válvula de regulación (progresiva)
- Grupos de condensación CD asociados
- Compresor SCROLL R410A



Condenciat CD

2

FACILIDAD DE MANIPULACIÓN Y MANTENIMIENTO

- Rigidez del armario, armario rígido, acceso general desde el frontal
- Acoplamiento directo ventilador/motor
- Filtros montados sobre soporte para facilitar la manipulación
- Regulaciones con comunicación BMS para el envío de datos al sistema de supervisión

5

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

Magister: La solución para centros de datos

- Magister se integra perfectamente en la oferta global "CENTRO DE DATOS by CIAT" para centros de datos al combinar la producción de agua fría con el free Cooling y la difusión de aire.
- La variación de velocidad de los motores EC, asociada a la flexibilidad del agua, vector natural, es una respuesta:
 - A las variaciones de carga en el tiempo de los centros de datos
 - A las exigencias de las clasificaciones "TIERS IV"
 - A las evoluciones de las salas y a sus necesidades de modularidad.

Expair

Prestaciones y eficiencia

1

FACILIDAD DE INTEGRACIÓN IN SITU

- Ventilador centrífugo de acoplamiento directo y variación de frecuencia para una adaptación caudal/ presión a la red de ventilación
- Compacidad optimizada
- Regulación comunicante entre armarios y posibilidad de conexión con un BMS (MODBUS/JBUS/LON)

Modelos de agua fría (CW)
Expansión directa de aire (DXA)



4

COMPETITIVIDAD Y EFICIENCIA

- Control de temperatura e higrometría
- Panel de doble pared para una mejor atenuación acústica [resistencia al fuego M0]
- Amplia gama de opcionales
- Modelo de agua fría o expansión directa, condensación por aire
- Módulo free cooling (opcional) que permite introducir aire nuevo del exterior.



2

RÁPIDA DISPONIBILIDAD

- Componentes básicos disponibles en stock:
- paneles
 - baterías
 - grupos de condensación
 - humidificadores
 - filtros
 - baterías eléctricas

3

FACILIDAD DE INSTALACIÓN / MANTENIMIENTO

- Kit de manguera para la conexión hidráulica
- Acceso desde el frontal
- Unidades exteriores precargadas (modelo de expansión directa)
- Accesibilidad de las conexiones
- Manipulación: chasis de aluminio y peso reducido (los compresores se encuentran en la unidad exterior)
- Extracción cómoda de los filtros
- Bomba de evacuación de condensados opcional.

5

SIMPLICIDAD Y EFICACIA

- Grupos de condensación "CONDENCIAT CL" asociados
- Acabado y diseño cuidados
- Alto rendimiento energético
- Compresor SCROLL y refrigerante R410A
- Variación de velocidad para adaptar el ventilador a las necesidades de intercambio del condensador
- Instalación: unidad exterior que puede situarse a una distancia de hasta 50 metros de la unidad interior

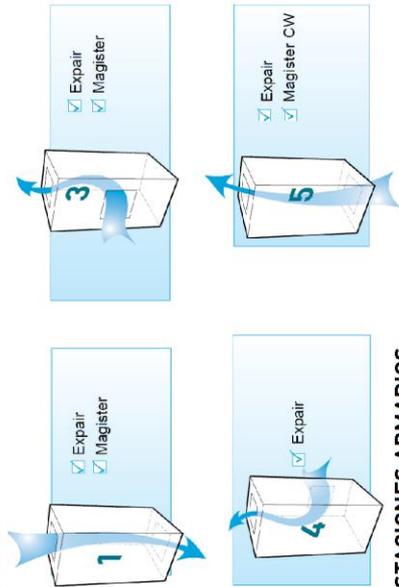


Condenciat CL



CENTRO DE DATOS

> MONTAJES



> PRESTACIONES ARMARIOS

Gama Agua fría CW		EXP AIR CW		EXP AIR CW		EXP AIR CW	
Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)
1300	2000	2800	3000	4000	5000	6000	7000
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34

Gama Agua fría CW		MAGISTER CW		MAGISTER CW		MAGISTER CW	
Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)
1300	2000	2800	3000	4000	5000	6000	7000
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34
5	8	10,5	14,7	18	23	27	34

Gama Expansión directa		EXP AIR DXA		EXP AIR DXA		EXP AIR DXA	
Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)
1300	2000	2800	3000	4000	5000	6000	7000
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1

Gama Expansión directa		MAGISTER DXA		MAGISTER DXA		MAGISTER DXA	
Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)	Potencia frigorífica (kW)	Modelo	Caudal aire (m³/h)
1300	2000	2800	3000	4000	5000	6000	7000
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1
5	8	10,6	11	15	19	23,2	30,1

CLIMRACK		CLIMRACK		CLIMRACK		CLIMRACK	
Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de agua (°C)	Potencia (kW)	Caudal de agua (m³/h)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de agua (°C)	Potencia (kW)	Caudal de agua (m³/h)
33°C/10	21/5	14	2,4	33°C/10	21/5	14	2,4
33°C/10	21/5	13	2,4	33°C/10	21/5	13	2,4
33°C/10	21/5	18	3,09	33°C/10	21/5	18	3,09
33°C/10	21/5	17	2,93	33°C/10	21/5	17	2,93

RENDIMIENTO	APLICACIÓN	EXP AIR	MAGISTER
Rango de potencia (kW)	CW / DXA	5 a 55	10 a 130
Número de modelos ofrecidos		5 a 47	50 a 86
* agua fría		7	5
* expansión directa		11	4
Nivel de filtración	DXA	04 / F7 / 04 + F7	04 / F7
Marco batería		Acero galvanizado	Acero galvanizado o inox
Bandeja de condensados		Aluminio	Aluminio/ Inox
Ventilador con adaptación caudal/presión		Moto-ventilador centrífugo de accionamiento directo acoplado a ECI con señal 0-10 V para variación de un ventilador de frecuencia	Moto-ventilador Plug Fan (motor velocidad)
Humidificador		Electrodo	Electrodo
Regulación humidificador		Progresivo	Progresivo
Control dehumidificación (opcional)		Opcional	Opcional
Batería de agua caliente		Opcional	Opcional
Batería eléctrica		Elemento blindado inox	Elemento blindado inox
Regulación batería eléctrica		2 etapas o TRIAC	2 etapas o TRIAC
Montajes disponibles		1 / 3 / 4 / 5	1 / 3 / 6 / 5*
Modelo agua fría (CW)		Batería de agua con control por válvula de 2 ó 3 vías progresivas	Batería de agua con control por válvula de 2 ó 3 vías progresivas
Modelo de expansión directa por aire (DXA)		Armario asociado a uno ó 2 tipos de condensación CIAT tipo CO (compresor en el exterior)	Armario asociado a 2 tipos de condensación CIAT tipo CO (compresor en el exterior)
Regulación		CIAT (air connect 2)	CIAT (air connect 2)
Protector		MOBUS7 / BUS / LON	MOBUS7 / BUS / LON
Rotación/emergencia/complemento		SI	SI
Visualización		texto	texto
Control de ensuciamiento del filtro		estándar	estándar
Control del caudal de aire		estándar	estándar
Control de fugas de agua		estándar	estándar
Control de límite inferior en impulsión		Opcional	Opcional
Gestión de presión en el falso suelo**		Opcional	Opcional
Sonda de change over		Opcional	Opcional
Sonda de temperatura del ambiente		Opcional	Opcional
Sonda de temperatura e higrometría del ambiente		Opcional	Opcional
Chasis		Chasis de aluminio	Chasis de aluminio
Paneles		Doble pared con lana de vidrio prensada (resistencia al fuego M0)	Doble pared con lana de vidrio prensada (resistencia al fuego M0)
CIRCUITO FRIGORÍFICO (DXA)		R410A	R410A
Fluido compresor		SCROLL	SCROLL
Chasis soporte regulable		SI	SI
Plenum de impulsión		SI	SI
Compuerta de motorización aspiración		SI	SI
Plenum free cooling		térmico	entálpico

* CW115. Sólo montaje 1
 ** Opcional para Magister CW.



**GRUPO CIAT,
LÍDER EUROPEO
EN TRATAMIENTO
DE AIRE**



El Grupo CIAT posee unas competencias únicas fruto de 75 años de experiencia, más de 35 de los cuales en el ámbito de las salas informáticas.

Con 9 plantas de producción repartidas por todo el mundo y presencia en más de 70 países, el Grupo CIAT es su socio comercial de referencia.

Fruto de ello y de nuestro potencial en I+D, ofrecemos soluciones adaptadas para las exigencias de los centros de datos.

REFERENCIAS

TELECOMUNICACIONES

- MTN
- SFR
- France Telecom
- Belgacom
- Postes et Télécommunications
- Mobilcom
- T-System
- Algérie Télécom
- Free Cooling suplementario

- Sudáfrica/Camerún
- Francia
- Francia
- Bélgica
- Luxemburgo
- Alemania
- Suiza
- Argelia
- Francia

SALAS INFORMÁTICAS

- OTAN
- CERN
- Météo France
- Michelin
- Société Générale
- Total
- EADS
- Metro de El Cairo

- Bélgica
- Suiza
- Francia
- Francia
- Rumanía
- Francia
- Francia
- Egipto

Documento no contractual. En su caso constará de copia de su material, el Grupo CIAT se reserva el derecho de realizar modificaciones técnicas sin previo aviso.

CIAT
Polígono Industrial Llanos de Jarata
14550-Montilla (Córdoba)
Tel: +34 957 65 23 11
Fax: +34 957 65 22 12



Catalogo del SAI

<http://www.geindustrial.com/products/uninterruptible-power-supplies-ups-three-phase/lp33-series-ups-50-hz-10-120kva>

LP33 Series UPS - 50 Hz, 10-120kVA



The GE LP 33 Series is a highly reliable and cost effective three phase UPS system providing critical power protection for a wide range of applications. The LP 33 system operates in VFI mode (Voltage Frequency Independent) yielding the maximum levels of power reliability for all mission-critical processes. The GE LP 33 was developed using GE's Design for Six Sigma methodology to ensure that the product fully meets customer requirements and expectations.

The unit is equipped with a redundant power supply ensuring the load being transferred in an instant to the static bypass in the event of a breakdown of the power electronics. To further increase system reliability, 2 or more units can be connected in parallel using GE's unique redundant parallel architecture(RPA). In this way a redundant fault tolerant system is created with maximum availability and reliability. The decentralized bypass offers maximum flexibility to the end-user for future expansion of the system.

Through their complete life cycle, all GE UPS systems are fully supported by service teams which provide world-class, 24x7 preventive and corrective services, training and application expertise.

Features and Benefits

- GE's unique booster-technology provides a high input power factor (0.98) and low input current harmonic distortion. The low input current harmonic distortion is constant for all load situations from 20% to 100% load.
- Big savings can be achieved on energy costs due to the very high efficiency of this UPS system: 93%, on ECO Mode up to 98.6%.
- Input/Output terminals are easily accessible from the front, as well as all other serviceable parts. Full front access provides the possibility to place the unit against a wall or in a "back to back" configuration, saving floor space.
- EMC filters are standard installed in the UPS making sure that the system complies also with the future standards on emission of radio frequencies. The LP 33 Series complies with EN 62040 Class A ensuring compatibility in any environment.
- The footprint of the LP 33 Series is compact. Combined with low weight it can be placed on any floor. The small footprint provides you with more space for other equipment.

Specifications

- on-line double conversion topology
- true sine wave output
- > 3:1 Crest Factor
- up to 93.3% efficiency in double conversion mode
- up to 98.6% efficiency in ECO mode
- parallel up to 4 units in RPA
- CE listed

Product Scope

- 3-phase in/out, 10-20-30-40-60-80-100-120 kVA
- IGBT rectifier and inverter
- 380/400/415V input voltage
- 45-66Hz input frequency range
- 380/400/415V input voltage
- 50/60Hz output frequency (user selectable)

Catálogo extractoras

VENTILADORES IN-LINE Y EN CAJA INSONORIZADA



BOX HB

VENTILADORES HELICOIDALES en caja insonorizada



CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Serie compuesta por 10 tipos de caja desde Ø450 hasta Ø1250, provista de motores monofásicos y trifásicos de 4 y 6 polos. Caudales desde 5.200 m³/h hasta 109.000 m³/h. Temperatura máxima de trabajo 45°C en monofásicos y 50°C en trifásicos.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:

• **BOX** : Caja construida en chapa de acero galvanizado y aislada acústicamente con paneles forrados de Flexiroll Pol Na 30 gris antracita de resistencia al fuego M1. Paneles laterales desmontables para facilitar el acceso al motor y el mantenimiento.

• Ventilador interior:
• **HB**: ventilador helicoidal de marco redondo reforzado con nervio intermedio.

Montaje modular del conjunto motor hélice que permite una total versatilidad en caso de cualquier cambio. Hélice de poliamida reforzada con fibra de vidrio de ángulo variable en origen. Protegidos contra la corrosión mediante recubrimiento en polvo de resina epoxy.

• **HBA**: ventilador helicoidal con mismas características constructivas que HB pero con hélice de aluminio.

• Motor asincrónico normalizado de jaula de ardilla con protección IP55 y aislamiento clase F. Voltajes estándar 230V 50Hz para motores monofásicos, 230/400V 50Hz para motores trifásicos hasta 5,5CV y 400/690V 50Hz para potencias superiores.

APLICACIONES:

Diseñados para montaje en pared o en tubería están indicados básicamente para:

- Ventilación en general.
- Renovación de ambientes viciados en edificios e industrias.
- Extracción de humo
- Inyección de aire fresco en todo tipo de locales, edificios y naves industriales

BAJO DEMANDA:

- Hélice impelente (sentido de aire hélice-motor), hélice reversible 100%.
- Ventiladores para trabajar a 60Hz, voltajes especiales...

SERIE MONOFÁSICA

Código	Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A)		P. Nom. Kw	Q máx. m ³ /h	Sonido dB (A)*	Peso Kg.	P.V.P. €	
			230	400					Poliamida	Aluminio
260410x43	BOX HB 40 T4 1/3	1.450	1,4	-	0,25	4.700	61	49	729,10	826,10
260470x43	BOX HB 45 M4 1/2	1.330	2,77	-	0,37	7.500	68	45	739,10	836,10
260480x43	BOX HB 45 M6 1/3	880	3	-	0,25	5.500	51	44	698,70	790,40
260500x43	BOX HB 50 M4 3/4	1.370	4,38	-	0,55	8.500	67	49	768,00	868,80
260510x43	BOX HB 50 M6 1/3	900	3,2	-	0,25	6.000	55	50	845,80	956,70
260560x43	BOX HB 56 M4 3/4	1.370	4,38	-	0,55	11.330	70	52	944,30	1.068,20
260600x43	BOX HB 56 M6 1/3	880	3	-	0,25	8.680	58	49	908,40	1.027,50
260680x43	BOX HB 63 M6 1/2	900	3,2	-	0,37	11.440	63	52	1.021,20	1.155,10
260760x43	BOX HB 71 M6 3/4	910	4,2	-	0,55	15.400	68	59	1.211,20	1.370,10

x=1 Poliamida
x=2 Aluminio

* Nivel de presión sonora (SPL) media en dB(A) en la aspiración, medido en campo libre a una distancia de 3 veces el diámetro con un mínimo de 1,5m.

ACCESORIOS





VENTILADORES IN-LINE Y EN CAJA INSONORIZADA

SERIE TRIFÁSICA

Código	Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A)			P. Nom. Kw	Q máx. m³/h	Sonido dB (A)*	Peso Kg.	P.V.P. € Poliamida	P.V.P. € Aluminio
			230	400	690						
260410x46	BOX HB 40 T4 1/3	1.450	1,4	0,81	-	0,25	4.700	61	59	674,40	764,20
260450x46	BOX HB 45 T2 2	2.860	6,25	3,61	-	1,5	12.100	85	67	748,50	846,50
261460x46	BOX HB 45 T2 3	2.860	8,28	4,78	-	2,2	13.500	87	68	811,39	917,79
260470x46	BOX HB 45 T4 1/2	1.360	1,82	1,05	-	0,37	7.500	67	44	684,40	774,20
260480x46	BOX HB 45 T6 1/6	880	1,89	1,09	-	0,12	5.200	54	50	647,00	731,90
260500x46	BOX HB 50 T4 3/4	1.410	2,46	1,42	-	0,55	8.500	67	49	711,10	804,40
260510x46	BOX HB 50 T6 1/3	940	2,23	1,29	-	0,25	6.000	55	50	783,20	885,90
260560x46	BOX HB 56 T4 3/4	1.410	2,46	1,42	-	0,55	11.330	70	52	874,40	989,00
260570x46	BOX HB 56 T4 1	1.400	3,67	2,12	-	0,75	12.650	71	53	882,00	997,60
260580x46	BOX HB 56 T4 1,5	1.400	4,66	2,69	-	1,1	13.970	72	57	890,60	1.007,50
260590x46	BOX HB 56 T4 2	1.420	6,46	3,73	-	1,5	15.600	73	59	917,10	1.037,30
260600x46	BOX HB 56 T6 1/3	880	1,89	1,09	-	0,25	8.680	59	49	841,10	951,40
260610x46	BOX HB 56 T6 1/2	940	2,23	1,29	-	0,37	9.500	59	52	899,60	1.017,70
260620x46	BOX HB 56 T6 3/4	900	3,46	2	-	0,55	10.170	60	53	945,50	1.069,40
260630x46	BOX HB 63 T4 1	1.400	3,67	2,12	-	0,75	14.080	60	57	916,20	1.036,50
260640x46	BOX HB 63 T4 1,5	1.400	4,66	2,69	-	1,1	16.500	70	61	958,20	1.083,80
260650x46	BOX HB 63 T4 2	1.420	6,46	3,73	-	1,5	18.620	71	63	1.007,80	1.139,90
260660x46	BOX HB 63 T4 3	1.390	8,83	5,1	-	2,2	21.010	72	72	1.099,90	1.244,20
260670x46	BOX HB 63 T4 4	1.400	11,78	6,8	-	3	23.430	73	74	1.126,40	1.274,10
260680x46	BOX HB 63 T6 1/2	900	2,23	1,29	-	0,37	11.440	60	56	945,60	1.069,50
260690x46	BOX HB 63 T6 3/4	900	3,46	2	-	0,55	12.430	61	57	960,10	1.086,00
260700x46	BOX HB 63 T6 1	910	4,21	2,43	-	0,75	13.860	62	61	1.034,20	1.169,90
260710x46	BOX HB 71 T4 1,5	1.400	4,66	2,69	-	1,1	20.570	75	77	1.070,80	1.211,90
260720x46	BOX HB 71 T4 2	1.420	6,46	3,73	-	1,5	22.000	76	79	1.177,00	1.331,30
260730x46	BOX HB 71 T4 3	1.390	8,83	5,1	-	2,2	24.430	77	87	1.252,20	1.431,40
260740x46	BOX HB 71 T4 4	1.400	11,78	6,8	-	3	27.060	78	91	1.323,60	1.497,20
260760x46	BOX HB 71 T6 3/4	900	3,46	2	-	0,55	15.400	63	73	1.121,60	1.268,60
260770x46	BOX HB 71 T6 1	910	4,21	2,43	-	0,75	17.480	64	77	1.161,10	1.313,40
260780x46	BOX HB 71 T6 1,5	920	5,07	2,93	-	1,1	19.640	65	79	1.197,10	1.354,00
260800x46	BOX HB 80 T4 3	1.390	8,83	5,1	-	2,2	29.700	80	97	1.416,30	1.602,10
260810x46	BOX HB 80 T4 4	1.400	11,78	6,8	-	3	34.980	81	99	1.444,10	1.633,40
260820x46	BOX HB 80 T4 5,5	1.440	15,42	8,9	-	4	38.700	82	104	1.552,40	1.755,90
260830x46	BOX HB 80 T6 1	910	4,21	2,43	-	0,75	23.100	67	85	1.313,50	1.485,80
260840x46	BOX HB 80 T6 1,5	920	5,07	2,93	-	1,1	25.840	70	87	1.361,50	1.540,20
260850x46	BOX HB 80 T6 2	940	7,31	4,22	-	1,5	28.600	71	97	1.384,20	1.565,70
260860x46	BOX HB 80 T6 3	950	9,53	5,5	-	2,2	30.620	72	100	1.464,60	1.656,70
260900x46	BOX HB 90 T4 4	1.400	11,78	6,8	-	3	37.540	84	122	1.676,20	1.896,00
260910x46	BOX HB 90 T4 5,5	1.440	15,42	8,9	-	4	44.320	85	127	1.860,60	2.104,50
260920x46	BOX HB 90 T4 7,5	1.440	-	11,8	6,81	5,5	49.370	87	143	2.016,30	2.280,60
260930x46	BOX HB 90 T4 10	1.450	-	17	9,81	7,5	55.040	88	154	2.114,90	2.392,20
260940x46	BOX HB 90 T6 2	940	7,31	4,22	-	1,5	30.580	75	120	1.745,90	1.974,90
260950x46	BOX HB 90 T6 3	950	9,53	5,5	-	2,2	35.390	76	123	1.821,00	2.059,80
260960x46	BOX HB 90 T6 4	950	12,33	7,12	-	3	39.910	77	139	1.972,40	2.231,10
260100x46	BOX HB 100 T4 7,5	1.440	-	11,8	6,81	5,5	53.080	89	151	2.183,00	2.469,30
260110x46	BOX HB 100 T4 10	1.450	-	17	9,81	7,5	61.590	89	162	2.321,30	2.625,70
260120x46	BOX HB 100 T4 15	1.450	-	24	13,9	11	66.450	90	186	2.891,00	3.270,20
260130x46	BOX HB 100 T4 20	1.455	-	33	19,1	15	71.510	91	203	2.993,60	3.386,20
260140x46	BOX HB 100 T6 3	950	9,53	5,5	-	2,2	37.740	79	131	2.131,00	2.410,40
260150x46	BOX HB 100 T6 4	950	12,33	7,12	-	3	45.690	80	147	2.280,20	2.579,20
260160x46	BOX HB 100 T6 5,5	950	16,11	9,3	-	4	51.450	81	152	2.494,70	2.821,90
260220x46	BOX HB 125 T4 15	1.450	-	22,34	12,9	11	82.000	91	302	4.765,40	5.390,40
260230x46	BOX HB 125 T4 20	1.450	-	30,59	17,68	15	92.000	91	312	4.879,20	5.519,10
260240x46	BOX HB 125 T4 25	1.462	-	37,5	21,67	18,2	96.000	92	340	5.170,10	5.848,10
260250x46	BOX HB 125 T4 30	1.467	-	44,4	25,66	22	109.000	92	352	5.338,60	6.038,80
260260x46	BOX HB 125 T6 4	960	11,9	6,9	-	3	54.000	77	245	4.242,70	4.799,20
260270x46	BOX HB 125 T6 5,5	960	15,05	8,7	-	4	60.000	78	259	4.432,40	5.013,70
260280x46	BOX HB 125 T6 10	970	-	15,4	8,9	7,5	70.000	80	253	4.765,40	5.390,40
260290x46	BOX HB 125 T6 15	970	-	23,3	13,46	11	82.000	82	259	4.896,10	5.538,20

x=1 Poliamida
x=2 Aluminio

* Nivel de presión sonora (SPL) media en dB(A) en la aspiración, medido en campo libre a una distancia de 3 veces el diámetro con un mínimo de 1,5m.

VENTILADORES IN-LINE Y EN CAJA INSONORIZADA



SERIE TRIFÁSICA 2 VELOCIDADES

Modelo	R.P.M. máx.	I máx. (A) (400V) 1500 750	P. Nom. Kw	Q máx. m ³ /h	Sonido dB (A)*	Peso Kg.	P.V.P. € Poliamida	P.V.P. € Aluminio
BOX HB 56 T4/T8 0,95-0,20	1.380/685	1,76 0,77	0,7/0,15	11.165/5.540	70/46	49	979,40	1.147,70
BOX HB 56 T4/T8 1,36-0,29	1.370/695	2,4 1,25	1,0/0,22	12.850/6.520	71/47	56	1.005,90	1.178,90
BOX HB 56 T4/T8 2,45-0,55	1.375/700	3,3 1,8	1,8/0,4	14.630/7.450	72/48	59	1.059,80	1.241,90
BOX HB 63 T4/T8 0,95-0,20	1.380/685	1,76 0,77	0,7/0,15	14.600/7.250	72/48	57	1.165,30	1.365,60
BOX HB 63 T4/T8 1,36-0,29	1.370/695	2,4 1,25	1,0/0,22	16.445/8.340	74/49	60	1.183,90	1.387,40
BOX HB 63 T4/T8 2,45-0,55	1.375/700	3,3 1,8	1,8/0,4	18.700/9.520	75/50	63	1.225,80	1.436,50
BOX HB 63 T4/T8 3-0,8	1.415/710	4,3 2,5	2,2/0,6	20.720/10.395	76/51	71	1.318,70	1.545,40
BOX HB 63 T4/T8 3,8-0,95	1.400/700	5,3 2,8	2,8/0,7	22.300/11.150	77/52	72	1.374,50	1.610,80
BOX HB 71 T4/T8 1,36-0,29	1.370/695	2,4 1,25	1,0/0,22	18.400/9.330	76/50	75	1.316,20	1.542,40
BOX HB 71 T4/T8 2,45-0,55	1.375/700	3,3 1,8	1,8/0,4	21.000/10.690	77/51	79	1.348,80	1.580,70
BOX HB 71 T4/T8 3-0,8	1.415/710	4,3 2,5	2,2/0,6	23.250/11.650	78/52	88	1.437,10	1.684,10
BOX HB 71 T4/T8 3,8-0,95	1.400/700	5,3 2,8	2,8/0,7	25.050/12.400	79/53	90	1.506,90	1.765,90
BOX HB 80 T4/T8 3-0,8	1.415/710	4,3 2,5	2,2/0,6	27.100/13.600	80/54	96	1.646,30	1.929,30
BOX HB 80 T4/T8 3,8-0,95	1.400/700	5,3 2,8	2,8/0,7	29.200/14.600	81/55	97	1.730,00	2.027,40
BOX HB 80 T4/T8 4,9-1,22	1.440/720	8 4,7	3,6/0,9	32.950/16.475	82/56	102	1.809,00	2.120,00
BOX HB 90 T4/T8 3,8-0,95	1.400/700	5,3 2,8	2,5/0,65	37.850/18.925	83/57	120	2.143,30	2.511,80
BOX HB 90 T4/T8 4,9-1,22	1.440/720	8 4,7	3,6/0,9	42.800/21.400	84/58	125	2.189,80	2.566,20
BOX HB 90T4/T8 8,7-1,9	1.455/720	13,3 4,4	6,4/1,4	51.800/25.600	85/59	150	2.659,40	3.116,50
BOX HB 100 T4/T8 8,7-1,9	1.455/720	13,3 4,4	6,4/1,4	52.500/26.000	86/59	159	2.929,00	3.432,50
BOX HB 100 T4/T8 12,9-3	1.465/725	19,7 6,5	9,5/2,2	59.900/29.650	87/60	184	3.282,40	3.846,60
BOX HB 100 T4/T8 19-6,12	1.470/730	28,6 9,3	14/3,3	68.150/33.850	89/62	200	3.994,50	4.681,30

* Nivel de presión sonora (SPL) media en dB(A) en la aspiración, medido en campo libre a una distancia de 3 veces el diámetro con un mínimo de 1,5m.

BOX HBX(ATEX)

VENTILADORES HELICOIDALES en caja insonorizada



CARACTERÍSTICAS GENERALES:

Serie compuesta por 8 tipos de caja desde Ø450 hasta Ø1000, provista de motores de 4 y 6 polos trifásicos. Caudales desde 5.200 m³/h hasta 67.500 m³/h. Temperatura máxima de trabajo 50°C.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:

· **BOX:** Caja construida en chapa de acero galvanizado y aislada acústicamente con paneles forrados de Flexiroll Pol Na 30 gris antracita de resistencia al fuego M1. Paneles laterales desmontables para facilitar el acceso al motor y el mantenimiento.
· Ventilador interior:
· **HBX:** ventilador helicoidal de marco redondo reforzado con nervio intermedio. Montaje modular del conjunto motor hélice. Hélice de aluminio de ángulo variable en origen. Envoltorio con aro de aluminio antichispas. Protegidos contra la corrosión mediante recubrimiento en polvo de resina epoxy.
Motor asíncrono normalizado ATEX. Voltajes estándar 230/400V 50Hz para motores trifásicos hasta 5,5CV y 400/690V 50Hz para potencias superiores.

APLICACIONES:

Diseñados para montaje en pared o en tubería están indicados básicamente para:
· Extracción de aire o ventilación en locales cuya atmósfera pueda contener componentes explosivos.

BAJO DEMANDA:

· Hélice impelente (sentido de aire hélice-motor), hélice reversible 100%.
· Motor 2 velocidades.
· Ventiladores para trabajar a 60 Hz.
· Tamaños de ventiladores superiores a 100.

En cumplimiento de la directiva 94/9/CE. Con marcado y certificado ATEX II 2G, II 3G o II 3D.

Para zonas 1(gas), 2(gas) o 22(polvo). Nivel de protección según necesidades. Organismo notificador: IMQ.

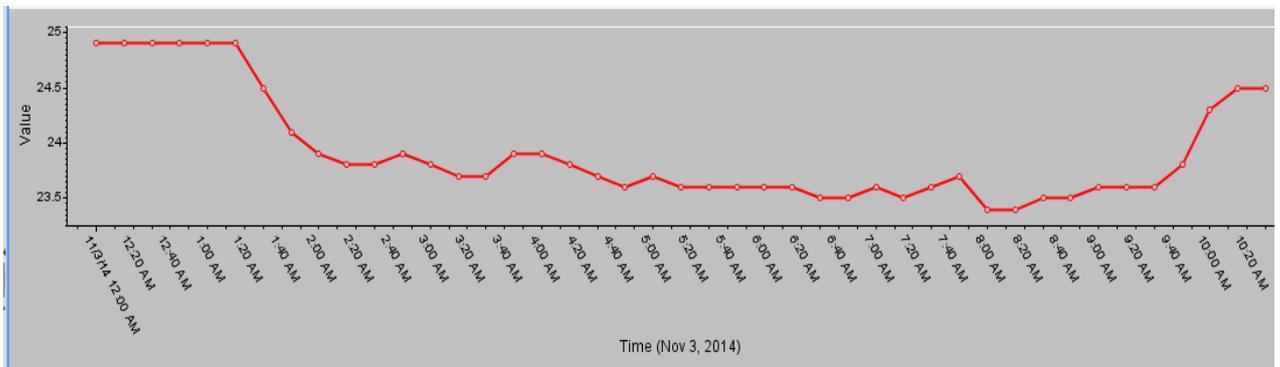


Anexo 6: Historial semanas CPD

En este anexo se ha hecho una recopilación de diferentes datos de temperatura en puntos de interés durante tres semanas y de valores de consumo de intensidad en el SAI a partir del autómatas de INCLIZA, que se utilizarán en la memoria principal del proyecto para obtener ciertos valores numéricos pedidos por el programa y posteriormente para comparar los resultados obtenidos en el programa con los valores reales medidos en sala.

Lunes 03/11, 10:30h

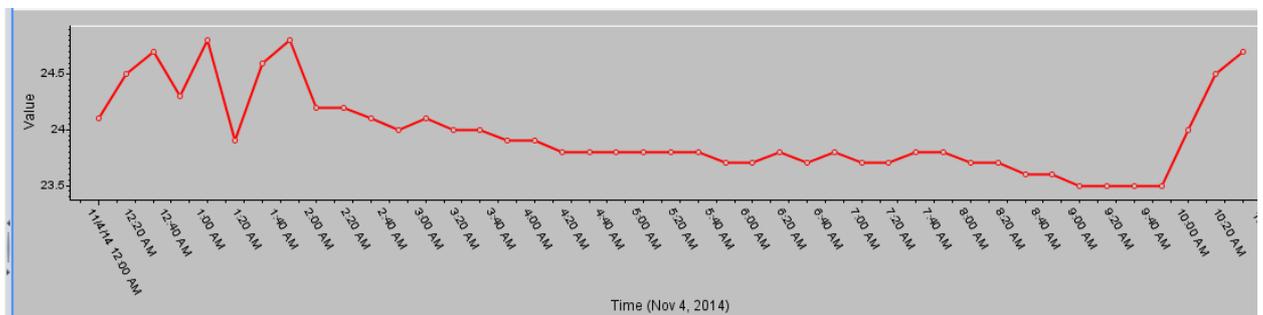
- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 19.3°C
- Temperatura retorno: 33.8 °C
- Temperatura pasillo caliente: 43.2°C

Martes 04/11, 10:30h

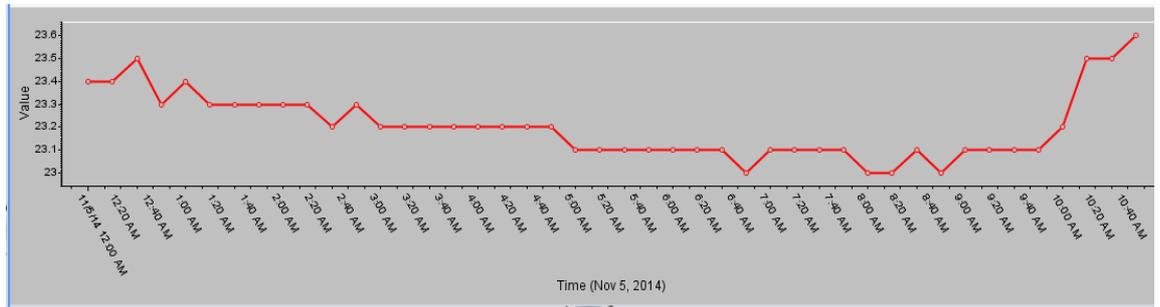
- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 19.8 °C
- Temperatura retorno: 33.6 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44 °C

Miércoles 05/11, 10:30h

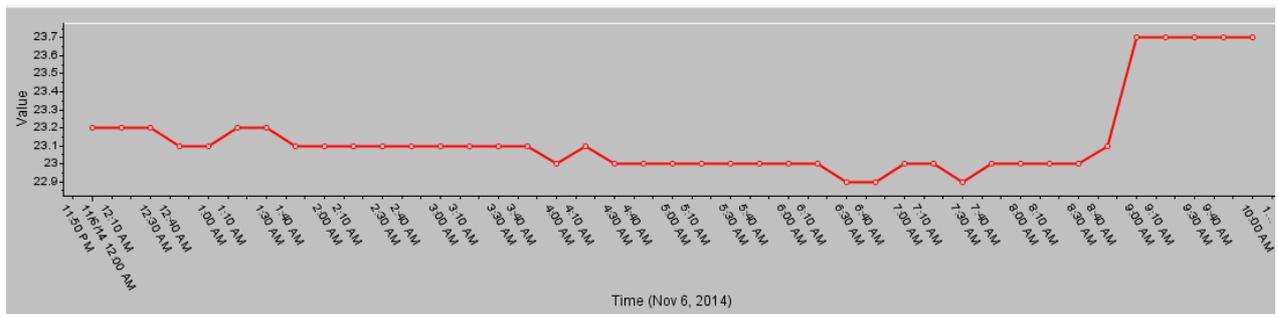
- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 19 °C
- Temperatura retorno: 34.1 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44 °C

Jueves 06/11, 10:10h

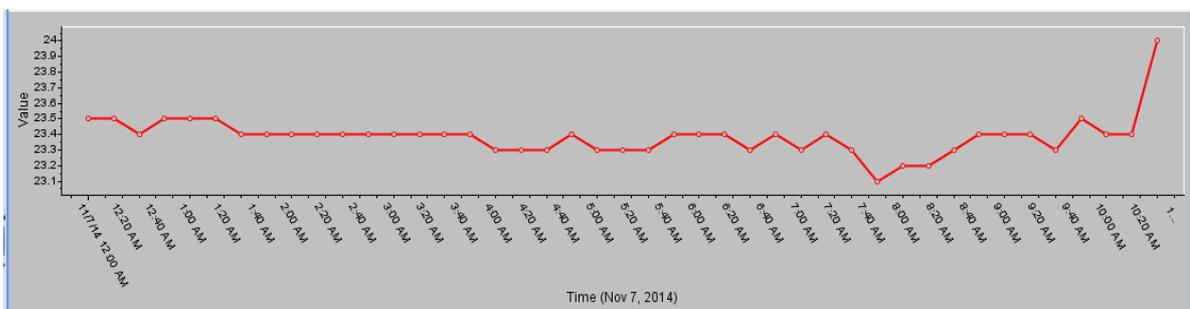
- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 19.1 °C
- Temperatura retorno: 33.5 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.5 °C

Viernes 07/11, 10:30h

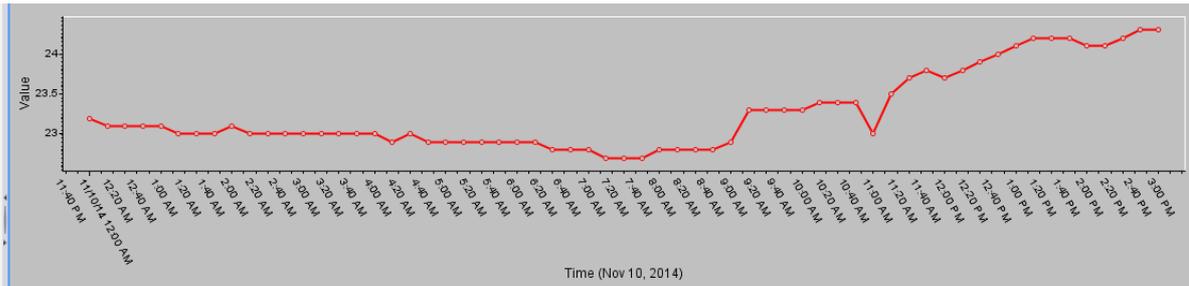
- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 18.9 °C
- Temperatura retorno: 35.5 °C
- Temperatura pasillo caliente: 45 °C

Lunes 10/11, 15:00h

- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 18.5 °C
- Temperatura retorno: 34.4 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.6 °C

 imagination at work 

› HOME ▼ UPS › SYSTEM › SNMP › SMTP › LOG › UTILITY › SAVE › USER

UPS status group

Identification

- [Battery](#)
- [Status](#)
- [Alarms](#)
- [PMAD](#)
- [TestUPS](#)
- [Config](#)

Input

Phase	Freq(Hz)	Volt(V)	Curr(A)	TruePower(W)	VoltMin(V)	VoltMax(V)
1	N/A	230	N/A	N/A	230	239
2	50.0	230	N/A	N/A	230	239
3	N/A	231	N/A	N/A	231	240

LineBads 4

Output

Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)	Load(%)	Pwr Factor	Peak Curr(A)	Share Curr(A)
1	230	100.0	N/A	57	N/A	N/A	N/A
2	229	72.0	N/A	41	N/A	N/A	N/A
3	229	101.0	N/A	58	N/A	N/A	N/A

Source normal(3)
Freq 49.9Hz

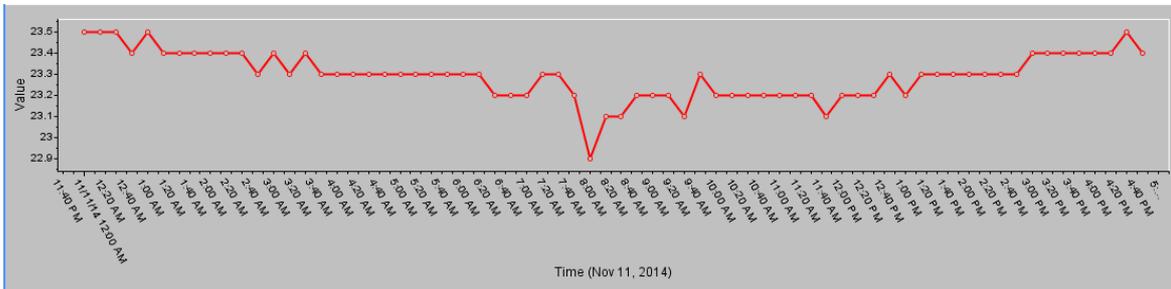
Bypass

Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)
1	230	N/A	N/A
2	230	N/A	N/A
3	231	N/A	N/A

Freq 49.9 Hz

Martes 11/11, 16:30h

- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 19.1 °C
- Temperatura retorno: 36.8 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.8 °C

GE imagination at work

WEBSERVER

HOME > UPS > SYSTEM > SNMP > SMTP > LOG > UTILITY > SAVE > USER

UPS status group

Identification

Battery

Status

Alarms

PMAD

TestUPS

Config

Input						
Phase	Freq(Hz)	Volt(V)	Curr(A)	TruePower(W)	VoltMin(V)	VoltMax(V)
1	N/A	233	N/A	N/A	232	239
2	49.9	232	N/A	N/A	232	239
3	N/A	233	N/A	N/A	233	240

LineBads 4

Output							
Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)	Load(%)	Pwr Factor	Peak Curr(A)	Share Curr(A)
1	230	101.0	N/A	58	N/A	N/A	N/A
2	229	73.0	N/A	41	N/A	N/A	N/A
3	229	102.0	N/A	58	N/A	N/A	N/A

Source normal(3)
Freq 49.9Hz

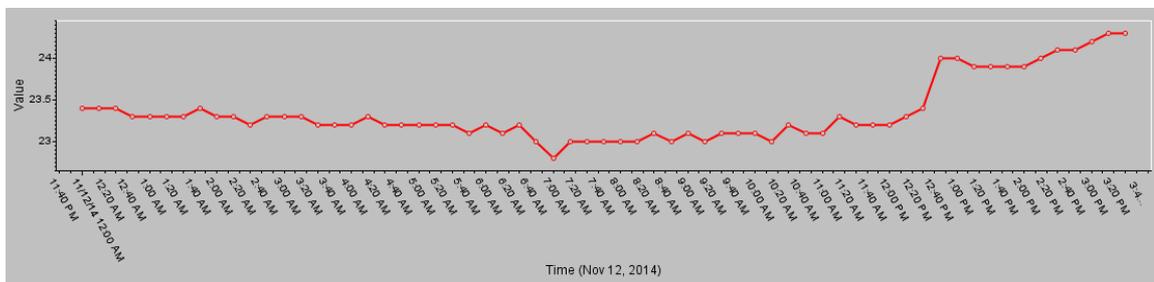
Bypass			
Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)
1	232	N/A	N/A
2	232	N/A	N/A
3	233	N/A	N/A

Freq 49.9 Hz

Copyright General Electric Company 2007-2008

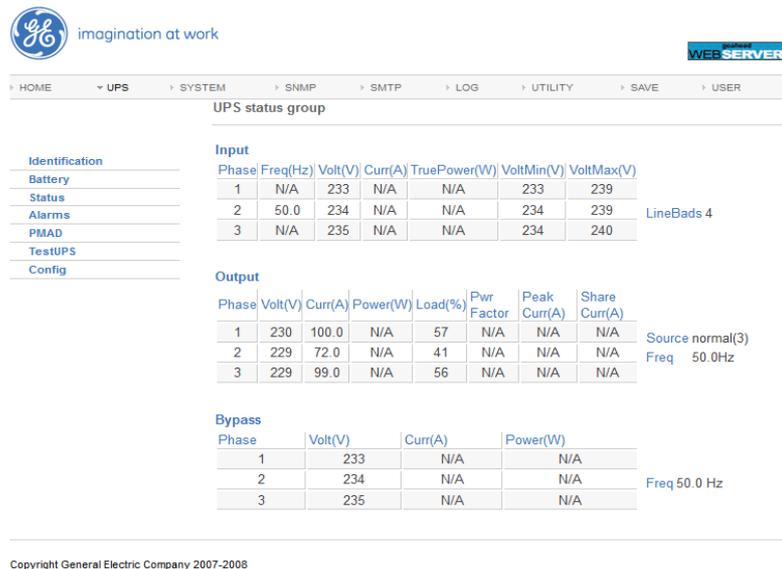
Miércoles 12/11, 15:30h

- Temperatura Sala:



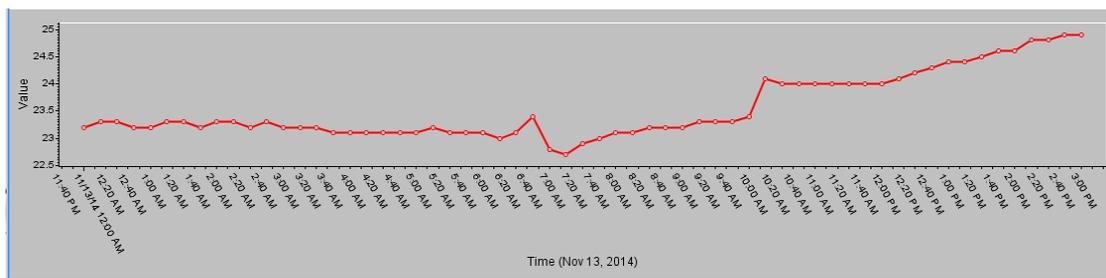
- Temperatura pasillo: 19.2 °C
- Temperatura retorno: 34.2 °C
- Temperatura pasillo caliente: 45 °C

Modelado de un centro de procesamiento de datos mediante ANSYS Icepak

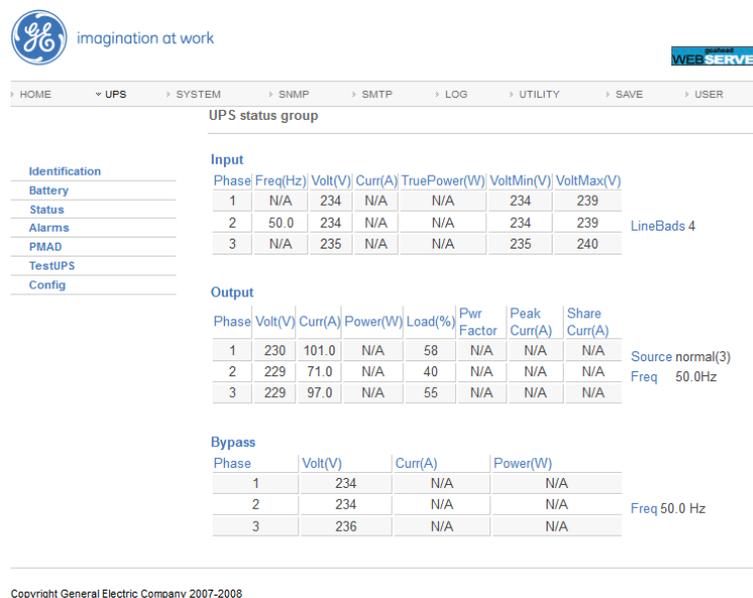


Jueves 13/11, 15:00h

- Temperatura Sala:

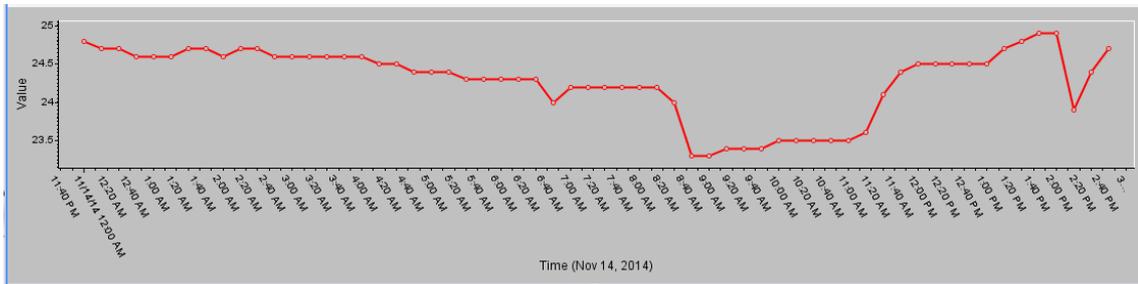


- Temperatura pasillo: 18.6 °C
- Temperatura retorno: 34.5 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.1 °C



Viernes 14/11, 15:00h

- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 18.7 °C
- Temperatura retorno: 34.3 °C
- Temperatura pasillo caliente: 45.4 °C

GE imagination at work

UPS status group

Identification

Battery

Status

Alarms

PMAD

TestUPS

Config

Phase	Freq(Hz)	Volt(V)	Curr(A)	TruePower(W)	VoltMin(V)	VoltMax(V)
1	N/A	233	N/A	N/A	233	239
2	50.0	234	N/A	N/A	234	239
3	N/A	235	N/A	N/A	234	240

LineBads 4

Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)	Load(%)	Pwr Factor	Peak Curr(A)	Share Curr(A)
1	230	100.0	N/A	57	N/A	N/A	N/A
2	229	72.0	N/A	41	N/A	N/A	N/A
3	229	99.0	N/A	56	N/A	N/A	N/A

Source normal(3)
Freq 50.0Hz

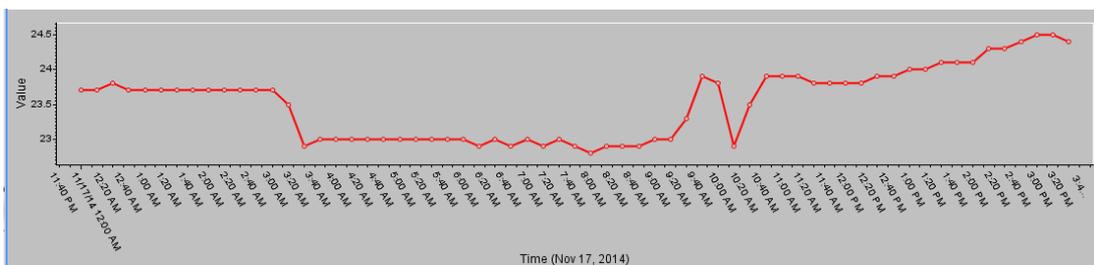
Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)
1	233	N/A	N/A
2	234	N/A	N/A
3	235	N/A	N/A

Freq 50.0 Hz

Copyright General Electric Company 2007-2008

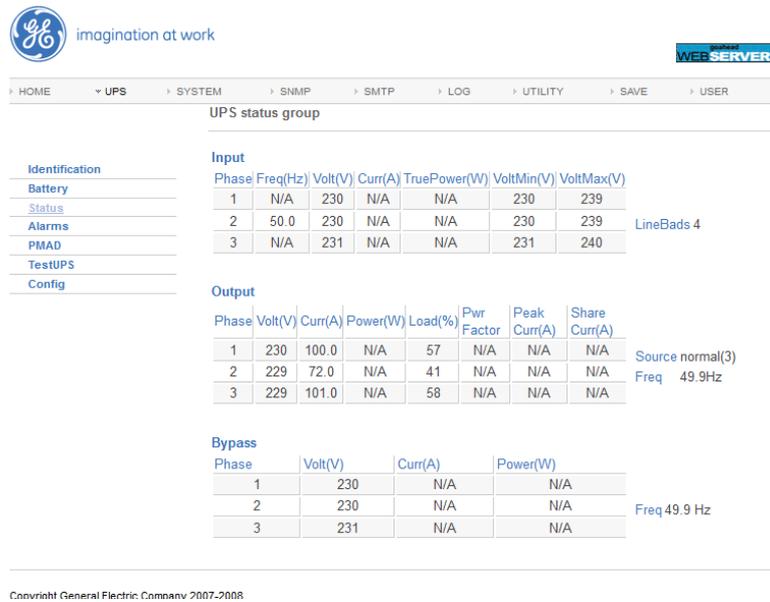
Lunes 17/11, 15:30h

- Temperatura Sala:



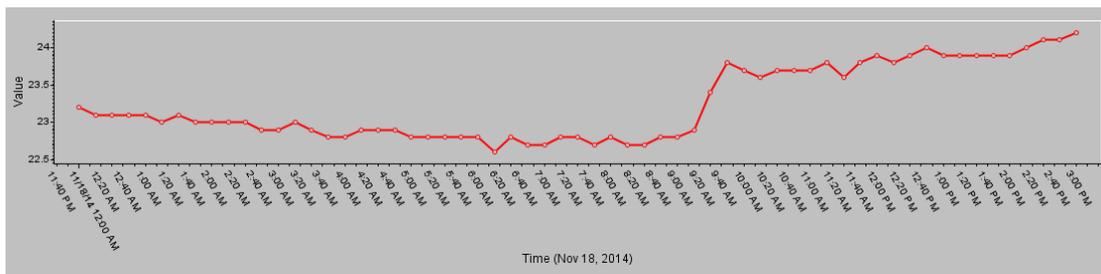
- Temperatura pasillo: 19.1 °C
- Temperatura retorno: 33.7 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.8 °C

Modelado de un centro de procesamiento de datos mediante ANSYS Icepak

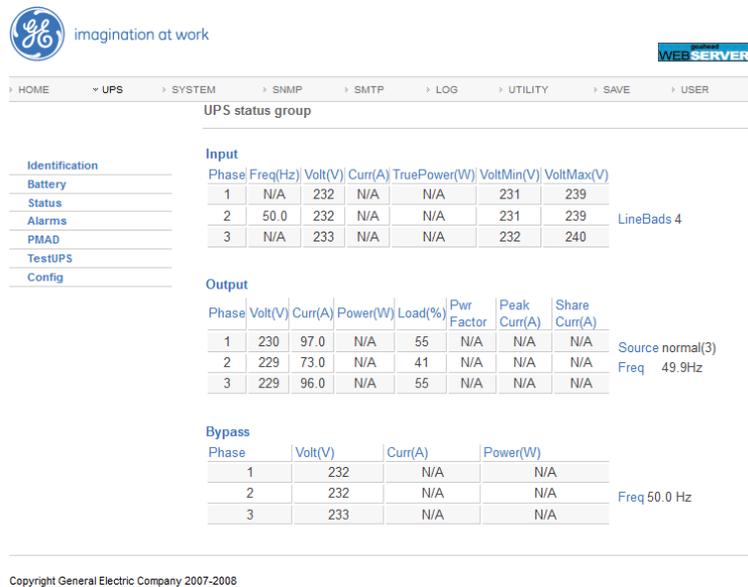


Martes 18/11, 15:00h

- Temperatura Sala:

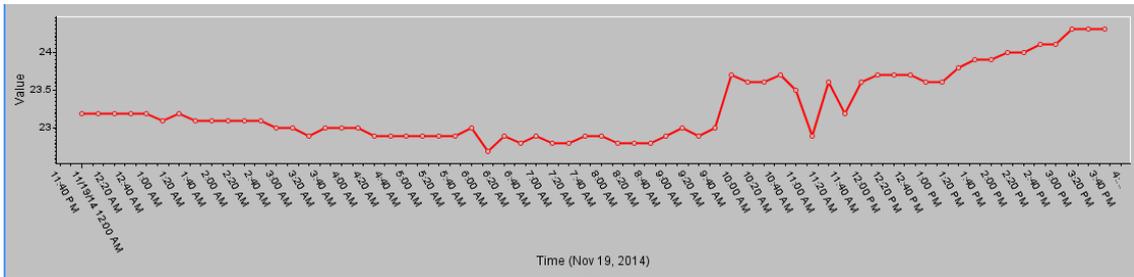


- Temperatura pasillo: 18.8 °C
- Temperatura retorno: 33.8 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.3 °C



Miércoles 19/11, 15:30h

- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 18.9 °C
- Temperatura retorno: 33.9 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.1 °C

GE *imagination at work* powered **WEB SERVER**

HOME UPS SYSTEM SNMP SMTP LOG UTILITY SAVE USER

UPS status group

Identification

- Battery
- Status
- Alarms
- PMAD
- TestUPS
- Config

Input

Phase	Freq(Hz)	Volt(V)	Curr(A)	TruePower(W)	VoltMin(V)	VoltMax(V)
1	N/A	231	N/A	N/A	230	239
2	50.0	232	N/A	N/A	231	239
3	N/A	232	N/A	N/A	232	240

LineBads 4

Output

Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)	Load(%)	Pwr Factor	Peak Curr(A)	Share Curr(A)
1	230	98.0	N/A	56	N/A	N/A	N/A
2	229	77.0	N/A	44	N/A	N/A	N/A
3	229	94.0	N/A	54	N/A	N/A	N/A

Source normal(3)
Freq 50.0Hz

Bypass

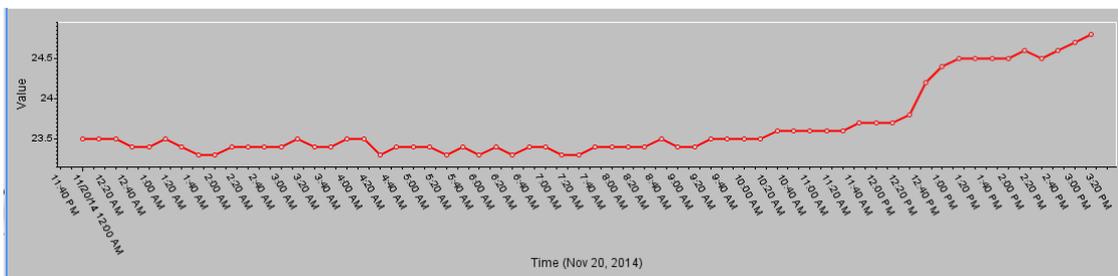
Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)
1	231	N/A	N/A
2	231	N/A	N/A
3	232	N/A	N/A

Freq 50.0 Hz

Copyright General Electric Company 2007-2008

Jueves 20/11, 15:00h

- Temperatura Sala:



- Temperatura pasillo: 18.5 °C
- Temperatura retorno: 34.6 °C
- Temperatura pasillo caliente: 44.5 °C



imagination at work

powered by **WEB SERVER**

HOME > UPS > SYSTEM > SNMP > SMTP > LOG > UTILITY > SAVE > USER

UPS status group

[Identification](#)
[Battery](#)
[Status](#)
[Alarms](#)
[PMAD](#)
[TestUPS](#)
[Config](#)

Input

Phase	Freq(Hz)	Volt(V)	Curr(A)	TruePower(W)	VoltMin(V)	VoltMax(V)
1	N/A	233	N/A	N/A	233	239
2	50.0	233	N/A	N/A	233	239
3	N/A	234	N/A	N/A	234	240

LineBads 4

Output

Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)	Load(%)	Pwr Factor	Peak Curr(A)	Share Curr(A)
1	229	98.0	N/A	56	N/A	N/A	N/A
2	229	77.0	N/A	44	N/A	N/A	N/A
3	229	95.0	N/A	54	N/A	N/A	N/A

Source normal(3)
Freq 50.0Hz

Bypass

Phase	Volt(V)	Curr(A)	Power(W)
1	233	N/A	N/A
2	233	N/A	N/A
3	234	N/A	N/A

Freq 50.0 Hz

Copyright General Electric Company 2007-2008

Anexo 7: Depuración del modelo de cálculo

En este anexo aparecen plasmadas algunas de las pruebas realizadas en un primer momento sobre el programa hasta que se obtuvo la mejor solución.

Aclarar que el criterio de convergencia establecido al programa para que se diese una solución como buena era que el residuo de la energía alcanzase un valor inferior a 10^{-6} .

Se comenzó con el modelo aire pasillo, al creer que sería el más fácil de resolver.

AIRE PASILLO

- Primera prueba: (NO CONVERGE)

Valores por defecto de ANSYS, es decir:

- Ecuación de gas ideal
- Coeficientes de relajación: 0.3 Presión, 0.2 Momento, 1 Viscosidad y Temperatura, 0.1 Body Forces, 1 Joule Heating Potencial (energía).

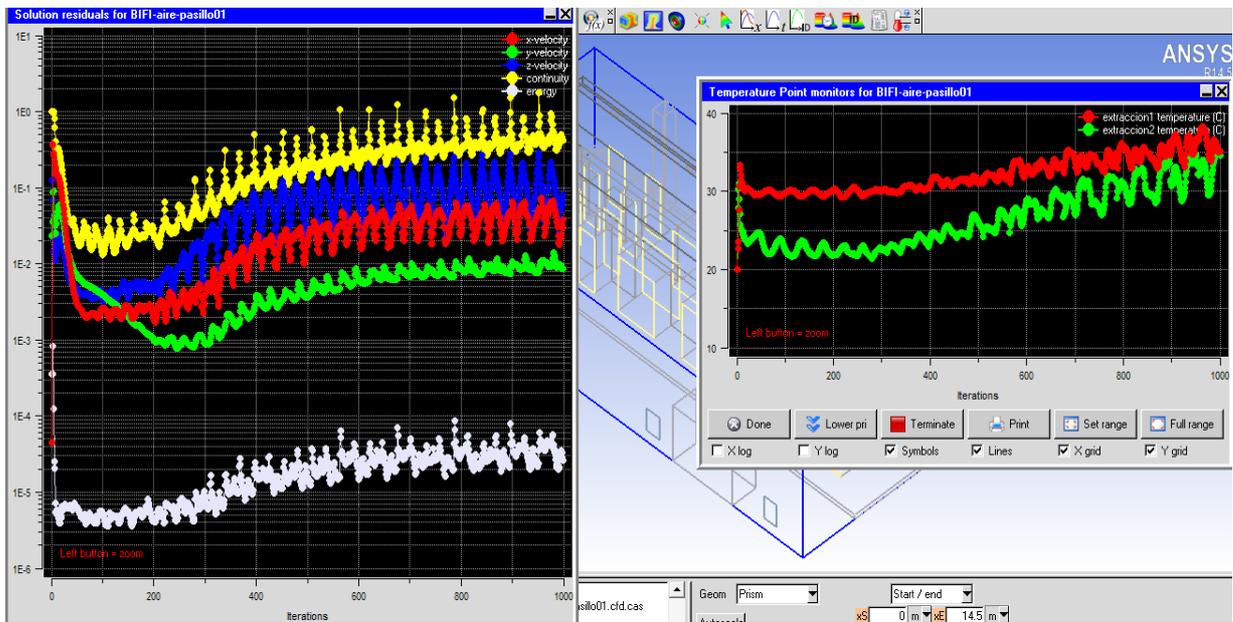


Ilustración 23. Residuos prueba 1

- Segunda prueba: cambio ecuación de gas ideal por aproximación de Boussinesq

NO CONVERGE

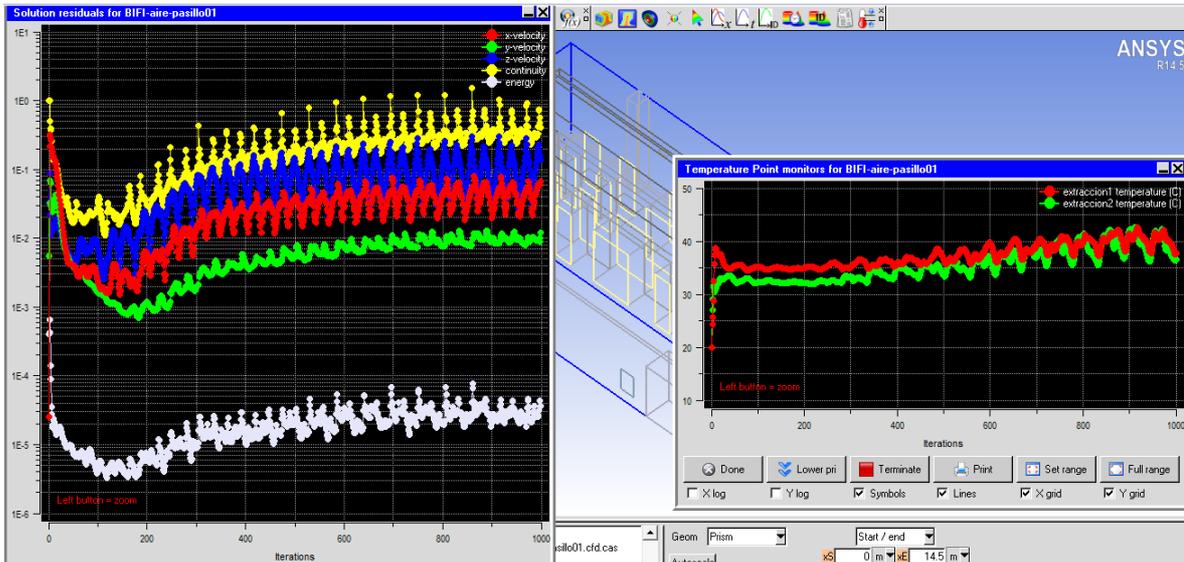


Ilustración 24. Residuos prueba 2

- Tercera prueba: cambio también el coeficiente de relajación de la temperatura a 0.9.

NO CONVERGE (se reduce la oscilación)

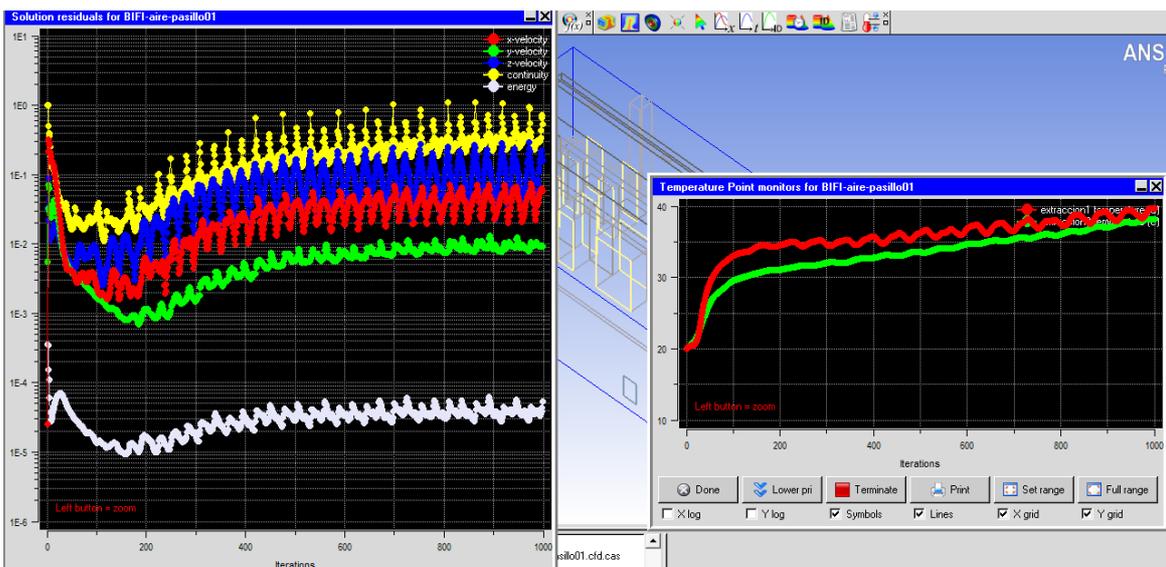


Ilustración 25. Residuos prueba 3

- Cuarta prueba: cambio coeficiente de relajación de temperatura a 0.8 y viscosidad a 0.8.

NO CONVERGE (cada vez oscila menos)

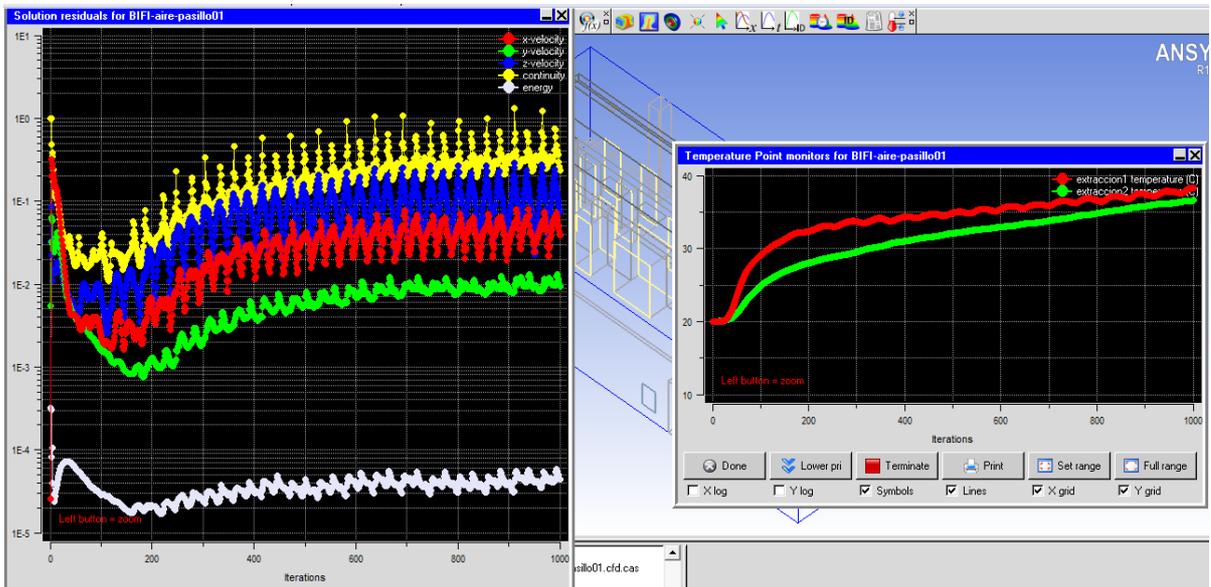


Ilustración 26. Residuos prueba 4

- Quinta prueba: cambio el coeficiente de relajación de la energía a 0.8.

NO CONVERGE

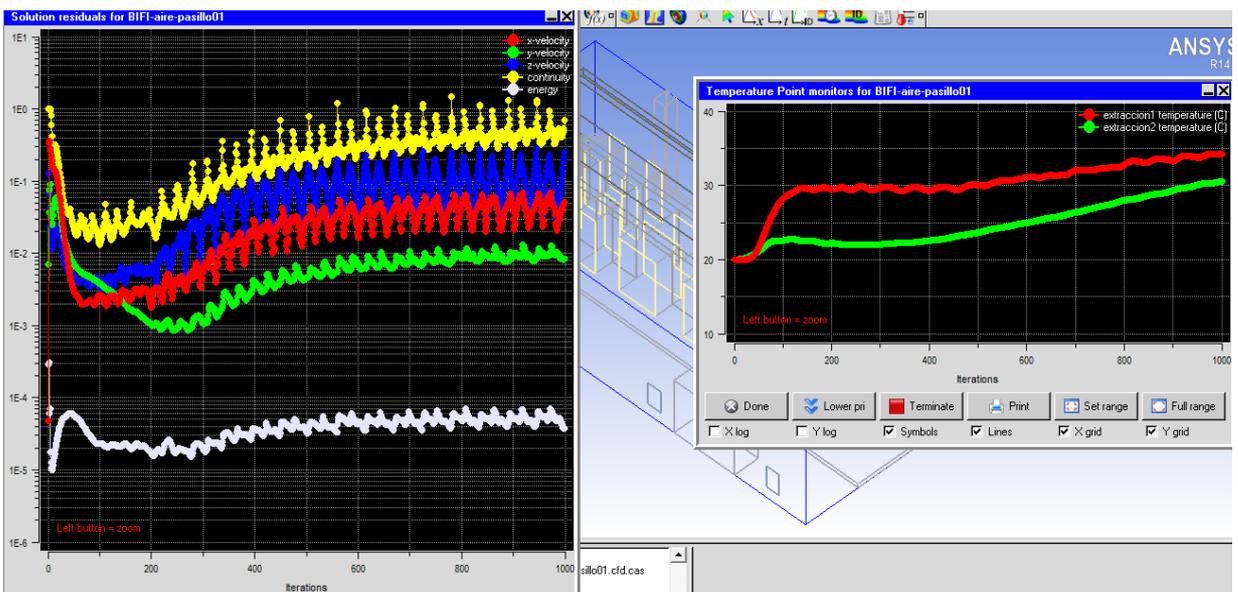


Ilustración 27. Residuos prueba 5

- Sexta prueba: temperatura 0.7, viscosidad 0.7 y joule 0.8.

NO CONVERGE (sin oscilación en la gráfica de temperaturas pero no deja de aumentar)

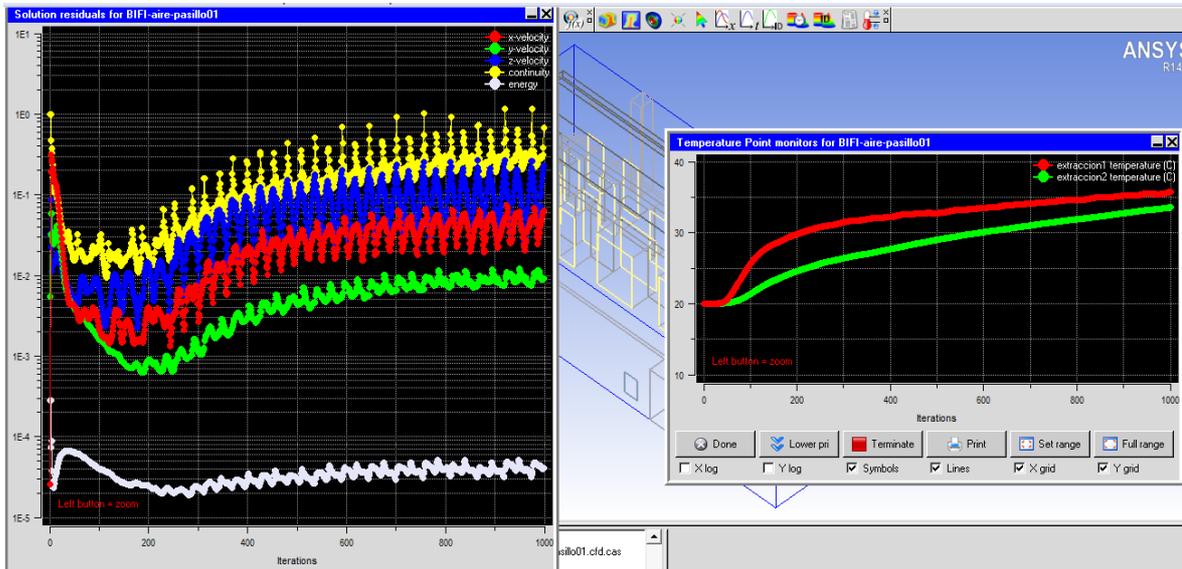


Ilustración 28. Residuos prueba 6

- Séptima prueba: temperatura 0.5, viscosidad 0.5, joule 0.6.

NO CONVERGE

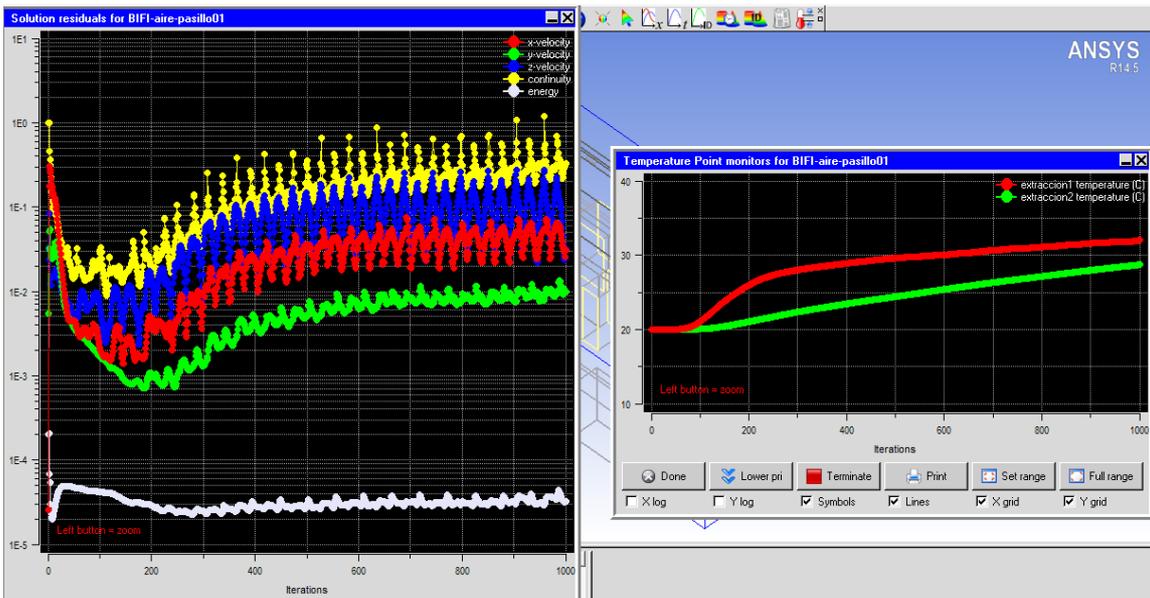


Ilustración 29. Residuos prueba 7

- Octava prueba: se prueba a añadir más iteraciones para ver si se estabiliza la temperatura, 2500 iteraciones.

NO CONVERGE (y la temperatura aumenta linealmente...)

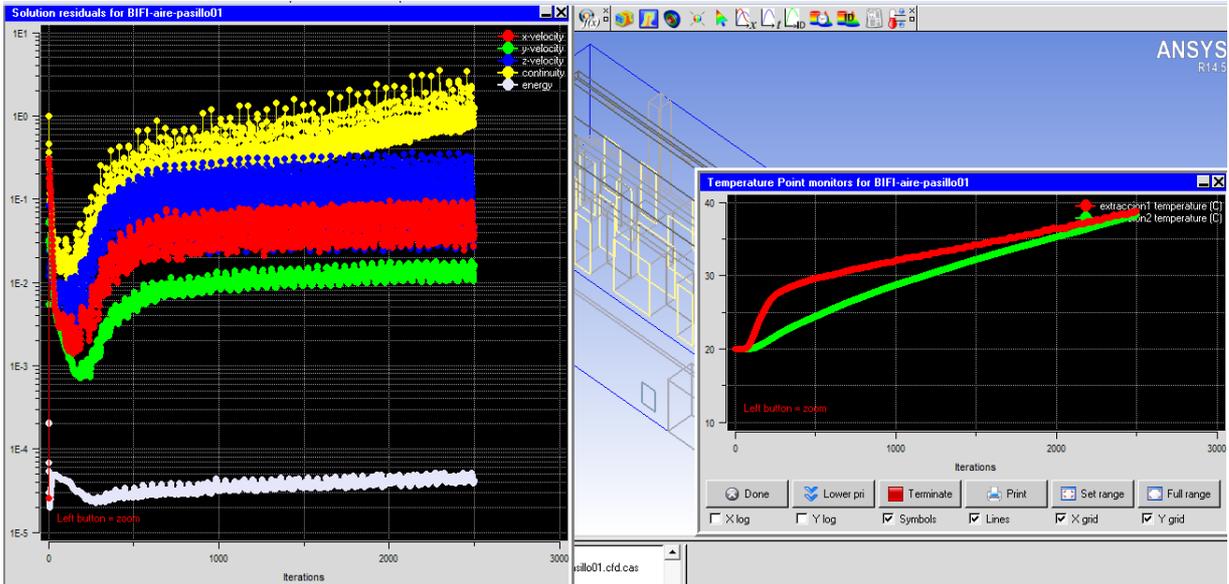


Ilustración 30. Residuos prueba 8

- Novena prueba: se aumenta a 10000 iteraciones.

NO CONVERGE (las iteraciones no son el problema)

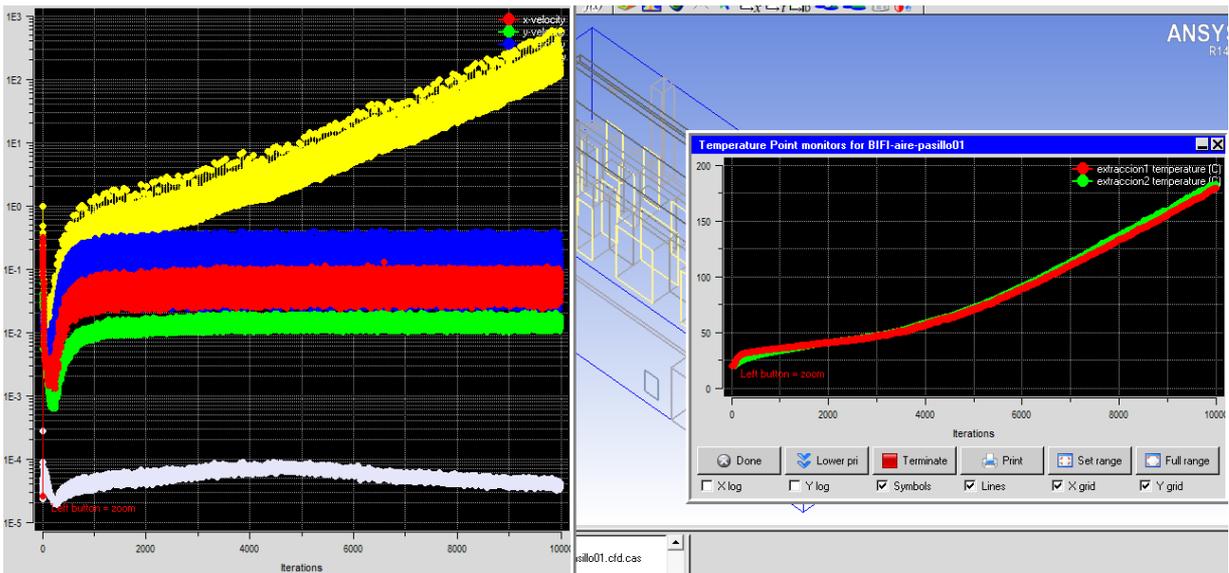


Ilustración 31. Residuos prueba 9

- Décima prueba: se vuelve a jugar con los coeficientes de relajación cambiando el momento a 0.5, temperatura y viscosidad 0.8, Body Forces 0.4 y joule 0.8.

¡CONVERGE!

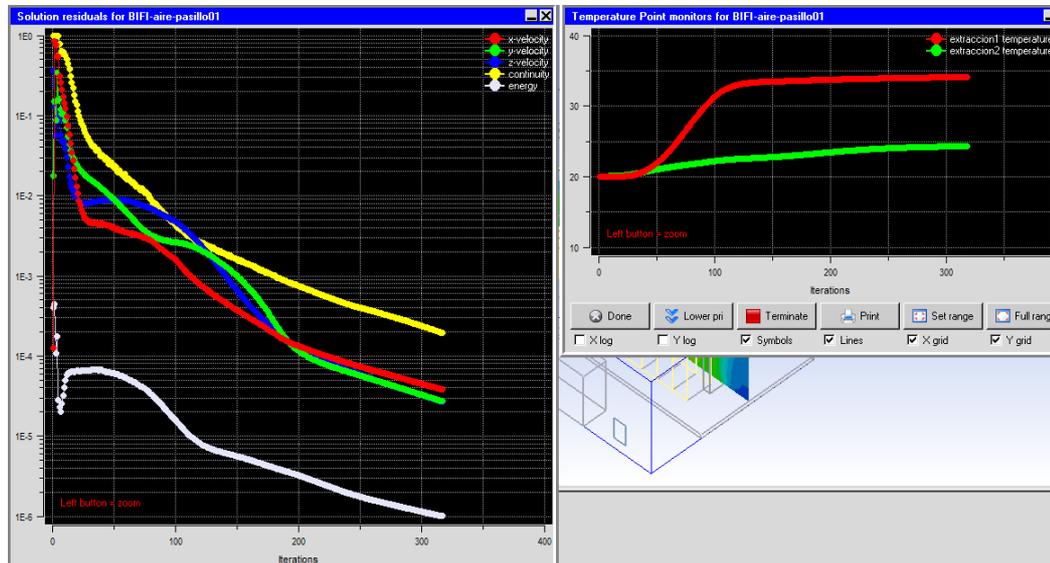


Ilustración 32. Residuos prueba 10

- Undécima prueba: se establecen los siguientes coeficientes, momento 0.3, temperatura y viscosidad 0.8, Body Forces 0.2 y joule 0.8, buscando una mayor precisión al reducir el coeficiente de las fuerzas de gravedad.

CONVERGE (nos quedamos con esta solución)

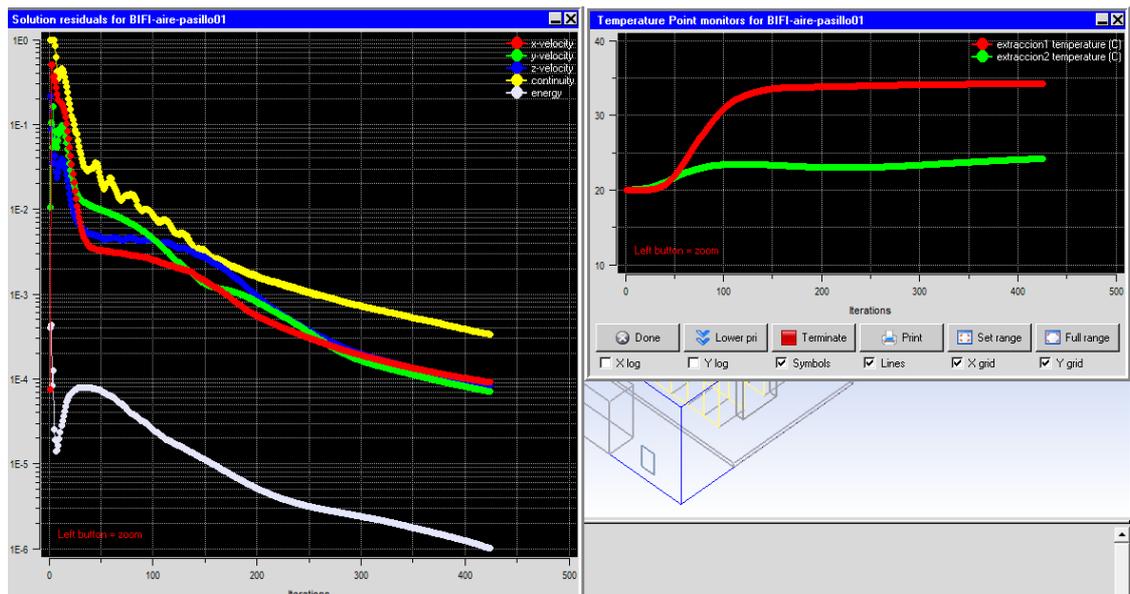


Ilustración 33. Residuos prueba 11

- Duodécima prueba: como la anterior pero momento y temperatura en segundo orden para el método de discretización.

CONVERGE (pero en más iteraciones dando el mismo resultado, mejor la anterior)

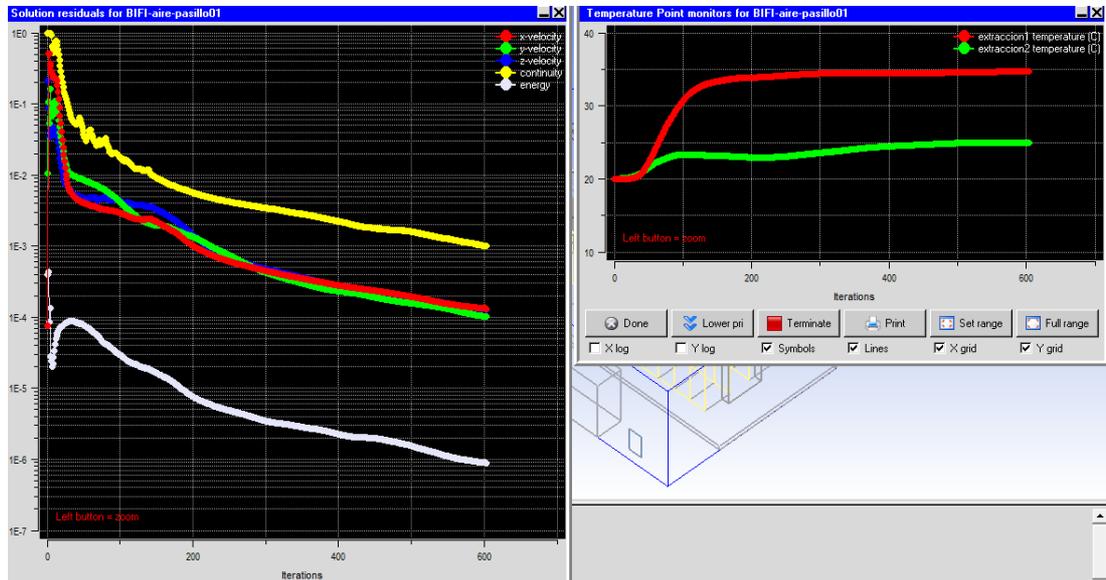


Ilustración 34. Residuos prueba 12

Una vez encontrada la configuración de parámetros óptima para el modelo, para el resto de casos sirvió prácticamente la misma.

AIRE CALLE

- Primera prueba: en el modelo de aire de refrigeración de la calle bastó con resolver a partir de los valores establecidos por defecto por el programa, es decir, los mismos que los utilizados para la prueba 1 del caso anterior.

CONVERGE

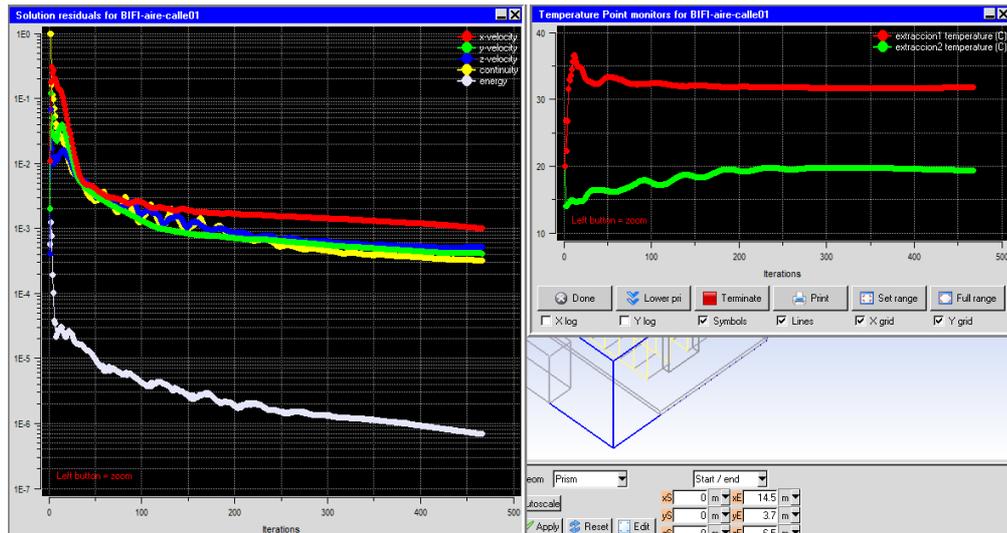


Ilustración 35. Residuos prueba 1 calle

AIRE CLIMATIZADORAS

- Primera prueba: se prueba con los valores por defecto de ANSYS

CONVERGE (los residuos oscilan demasiado)

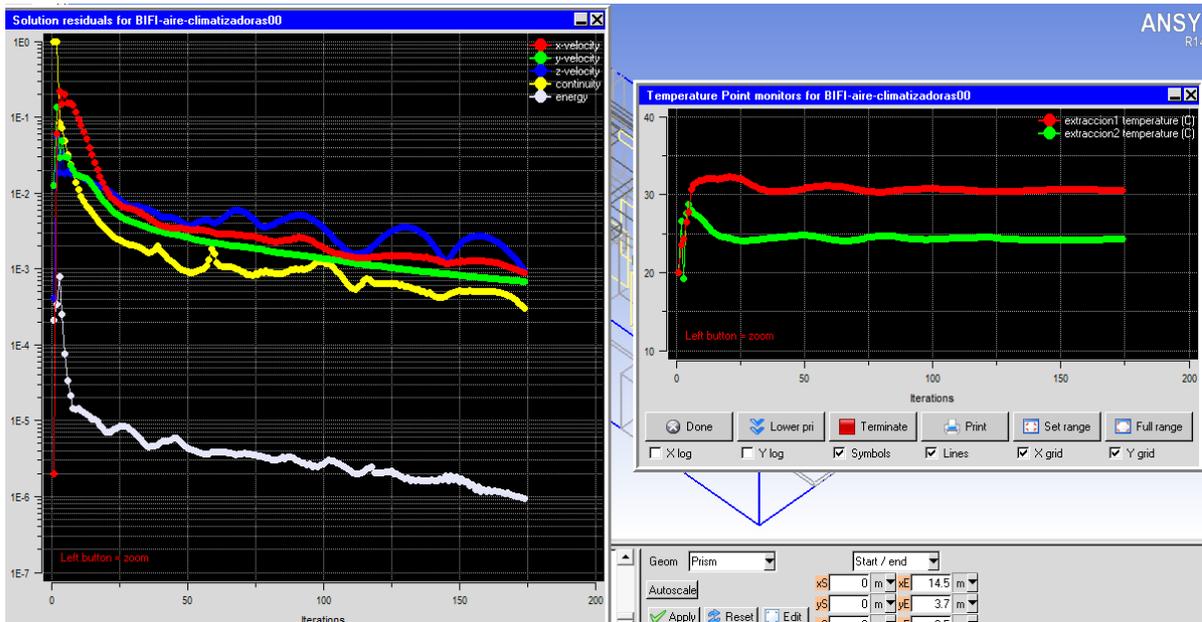


Ilustración 36. Residuos prueba 1 climatizadoras

- Segunda prueba: se establece la misma configuración que para la prueba 11 del caso primero, que dio buenos resultados.

CONVERGE (nos quedamos con esta solución)

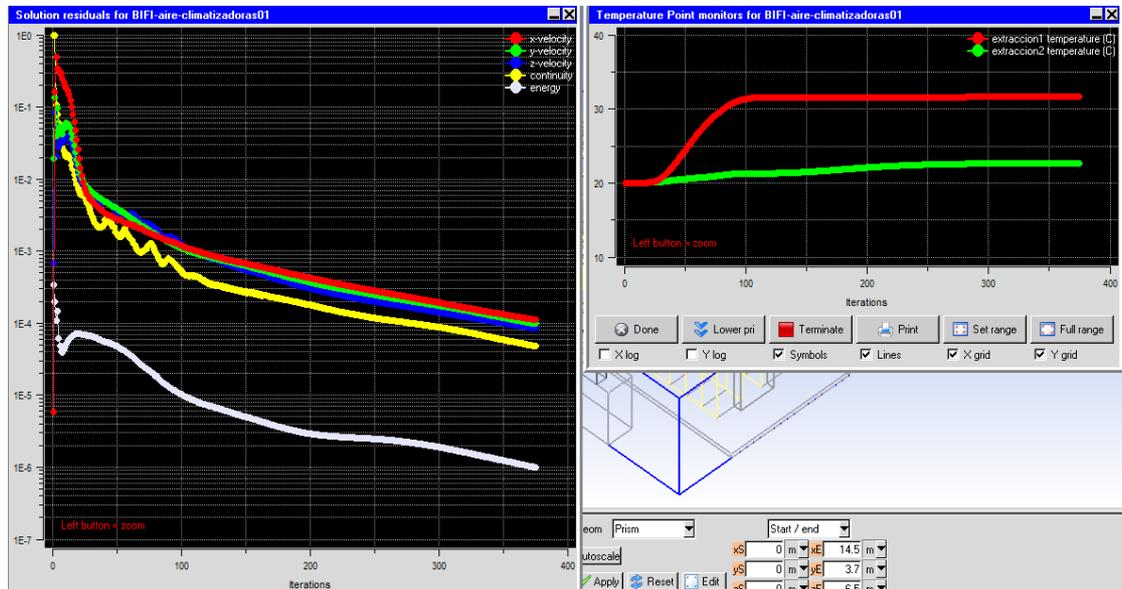


Ilustración 37. Residuos prueba 2 climatizadoras

9 Bibliografía

- [1] ASHRAE. 2012. *Thermal Guidelines for Data Processing Environments*, Third Edition. Atlanta: ASHRAE.
- [2] <http://lxbifi14.bifi.unizar.es:50123>
- [3] http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/WP49-PUE%20A%20Comprehensive%20Examination%20of%20the%20Metric_v6.pdf
- [4] Escuela Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla. 2013. *El Método de colocación para el problema de convección de Rayleigh-Bénard*. Proyecto fin de Carrera.
- [5] John Niemann. 2013. *Impacto de la contención de pasillos calientes y fríos en la temperatura y la eficiencia de los centros de datos*. Schneider Electric.
- [6] Luciano González. 2013. *Apuntes de Sistemas de climatización e instalaciones mecánicas*. Conferencia en Santander Técnicas y Proyectos S.A.
- [7] Miyuki Norota. 2003. *Research on Efficiency of Air Conditioning System for Data-center*. IEICE.
- [8] Michael K Patterson. 2008. *The Effect of Data Center Temperature on Energy Efficiency*. Intel Corporation.
- [9] ASHRAE. 2008. *Thermal Guidelines for Data Processing Environments* (capítulo 25 Air-to-Air energy recovery). ASHRAE.
- [10] Ana Lázaro. *Comparativa enfriadoras agua*. Doc. Interno. GITSE 2012