

**Universidad Santo Tomás**  
Facultad de Ingeniería Mecánica



# **METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA DATA CENTERS MEDIANTE EL USO DE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL**

**Joestin Javier Bent Alvarado**

**Asesor**

Jorge Rene Silva Larrotta

Bogotá – Colombia  
20 de noviembre de 2023

## **DEDICATORIA**

Con amor y fuerza de voluntad frente a varias adversidades presento este trabajo de grado dedicado principalmente a mi madre, Luz Dary, núcleo de mi fuerza y motivación, quien estuvo a mi lado durante mi vida académica apoyándome dentro de todas sus posibilidades y me brindó más de lo que yo necesitaba en todo momento. Así mismo, dedico mi trabajo a mi padre, Javier, quién a través de su ejemplo fue una figura de un profesional íntegro al cual yo aspiro ser dentro de mi área de interés. Finalmente, esta obra la dedico al Sr. Darío Davis, quién fue un gran apoyo emocional en un punto crítico que pudo definir otros rumbos en mi vida.

A través de la empatía se une a la humanidad.

## **RESUMEN**

A falta de guías concretas en el idioma español y con el creciente uso del sistema internacional de unidades de medida cada vez tomando más poder dentro del uso comercial, este trabajo se enfoca en crear una metodología de diseño para el modelado de data centers dentro de la herramienta ANSYS Icepak. En el presente trabajo se podrá ver un paso a paso de cómo modelar un Data Center categoría Tier I y cómo obtener distintos resultados utilizando simulaciones para seleccionar un equipo o realizar incluso un chequeo de calidad de un data center verificando si los equipos se encuentran bajo temperaturas seguras de operación basadas en las normativas vigentes como lo son la ASHRAE TC9.9. El programa fue explicado realizando un ejercicio de modelado y simulado en el cual se explican a su vez las interpretaciones de las opciones más comunes a utilizar dentro del mismo por lo cual le será posible tener un entendimiento general de este módulo de simulación de ANSYS orientado a los centros de procesamiento de datos. Se recomienda después de entender este trabajo, contrastar con los manuales originales de ANSYS y ensayar tanto el ejercicio expuesto en el presente trabajo como en estos manuales en los que se ha basado este escrito.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                                          | 6  |
| 2. Planteamiento del Problema .....                                            | 7  |
| 3. Justificación .....                                                         | 9  |
| 4. Objetivos .....                                                             | 10 |
| 4.1 Objetivo General .....                                                     | 10 |
| 4.2 Objetivos Específicos .....                                                | 10 |
| 5. Marco Referencial .....                                                     | 11 |
| 5.1 Marco Conceptual .....                                                     | 11 |
| 5.2 Marco Teórico .....                                                        | 11 |
| 5.2.1 Data Centers .....                                                       | 11 |
| 5.2.2 Servidores .....                                                         | 11 |
| 5.2.3 Técnicas Containment .....                                               | 12 |
| 5.2.4 Simulación .....                                                         | 12 |
| 5.2.5 CFD .....                                                                | 12 |
| 5.2.6 Dominio y Enmallado Computacional .....                                  | 13 |
| 5.2.7 Modelado de Equipos en Data Centers.....                                 | 13 |
| 5.2.8 Malla .....                                                              | 14 |
| 5.2.9 Post Procesado y Presentación de Resultados .....                        | 14 |
| 5.2.10 Convergencia del Sistema.....                                           | 14 |
| 5.2.11 Independencia de Malla.....                                             | 15 |
| 6. Caracterización de las Condiciones de Funcionamiento de un data center..... | 16 |
| 6.1 Condiciones de Funcionamiento .....                                        | 16 |
| 6.2 Componentes Principales de un Data Center.....                             | 17 |
| 6.2.1 CRACs .....                                                              | 17 |
| 6.2.2 Racks .....                                                              | 17 |
| 6.2.3 PDUs y UPSs .....                                                        | 18 |
| 6.2.4 Baldosas Perforadas y Cielo Raso con Rejillas .....                      | 18 |
| 7. Modelo Computacional .....                                                  | 19 |
| 7.1 Modelo Matemático de un Data Center.....                                   | 19 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2 Proceso de Modelado.....                                                   | 21 |
| 8. Diseño Básico de Sistema de Aire Acondicionado para el Estudio de Caso..... | 24 |
| 8.1 Parametrización de la Selección .....                                      | 24 |
| 8.2 Cálculo Psicrométrico de la Carga del Aire .....                           | 26 |
| 8.3 Cálculo de la Carga Total.....                                             | 28 |
| 8.4 Selección de Equipo.....                                                   | 28 |
| 9. Reposición Espacial de Equipos.....                                         | 31 |
| 10. Metodología de Diseño de Aire Acondicionado.....                           | 34 |
| 11. Conclusión .....                                                           | 35 |
| 12. Bibliografía.....                                                          | 36 |
| 13. Anexo: creación de modelo computacional de un data center .....            | 39 |
| 13.1 Parámetros de Diseño .....                                                | 39 |
| 13.2 Creación del Proyecto .....                                               | 41 |
| 13.2.1 Ajustes y Preferencias .....                                            | 42 |
| 13.2.2 Creación de la Recámara con Suelo Elevado .....                         | 44 |
| 13.2.3 Creación de los CRACs .....                                             | 46 |
| 13.2.4 Creación de los RACKs .....                                             | 50 |
| 13.2.5 Creación de los RACKs de Alta Densidad .....                            | 53 |
| 13.2.6 Creación de las Baldosas Perforadas .....                               | 54 |
| 13.2.7 Creación del Cielo Raso Perforado .....                                 | 56 |
| 13.2.8 Creación de las PDUs .....                                              | 60 |
| 13.2.9 Creación de Detalles .....                                              | 63 |
| 13.3 Configuración de la Simulación .....                                      | 64 |
| 13.3.1 Configuración de la Malla .....                                         | 64 |
| 13.3.2 Creación de los Puntos de Monitoreo .....                               | 65 |
| 13.4 Correr la Simulación .....                                                | 71 |
| 13.5 Presentación de Datos y Post-Procesado .....                              | 71 |
| 13.6 Convergencia del Sistema .....                                            | 77 |
| 13.7 Independencia de Malla .....                                              | 79 |

# 1. INTRODUCCIÓN

Empresas de distintos sectores de la industria cada vez más necesitan regular de forma eficiente el manejo de su información a nivel interno. Con el paso de los años y la evolución de la tecnología, distintos equipos computacionales se han diseñado para distintas tareas, incluyendo, manejo y comunicación de la información, a estos equipos se les conoce como **servidores**. Los servidores son computadores que se almacenan uno tras otro después de ser configurados y al encontrarse tan acoplados y normalmente al ser utilizados todo el día, todos los días, se sobrecalientan y requieren de cuartos o salas especializadas para mantenerlos a temperaturas de operación seguras para preservar su vida útil. La ASHRAE, es la entidad que se encargó de crear la normativa TC9.9 que estipula las condiciones climáticas internas ideales para las mencionadas salas que se conocen como **Data Centers** (Centro de Procesamiento de Datos). Con el objetivo de aprovechar al máximo el uso de estas salas, programas de simulación como ANSYS han desarrollado módulos que permiten al usuario crear un modelo tridimensional y simular las condiciones de flujo de aire, temperaturas, calculando con métodos de malla por elementos finitos distintos tipos de variables dentro del campo de estudio de la dinámica de fluidos computacional.

Debido a la falta de prácticas en Colombia, un punto altamente estratégico para interconectar Latinoamérica a través de centros de procesamiento de datos, la implementación de programas como ANSYS es insignificante en comparación a otros países a pesar de encontrar lugares con condiciones de humedad y clima favorables en ubicaciones como Bogotá. Esto crea la oportunidad de adentrarse en el campo y promover la utilización de estos programas para el diseño y rectificado de **Data Centers**. El objetivo de este trabajo es actuar como una guía de uso para el módulo de ANSYS Icepak describiendo paso a paso el modelado y simulación de data center Tier I. Esto se logrará describiendo una metodología de trabajo acompañada de un caso de estudio diseñado para dar un ejemplo implementado bajo el software ANSYS y más específicamente utilizando el módulo Icepak para **Data Centers**.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Importantes empresas tecnológicas, tales como Google, Facebook, Apple, entre otras han mostrado un crecimiento acelerado en el uso de sus plataformas desde su creación [1]. Estas empresas manejan una cantidad considerable de información digital; por tal motivo, se han visto forzadas a implementar servicios de **Data Center** que les permita procesar y almacenar su esta información.

Un **Data Center** es un centro de procesamiento de datos, formados por salas especializadas en el proceso, comunicación y almacenamiento de datos. Estas salas se encuentran equipadas con mecanismos de control eléctrico, ambiental y de incendios para asegurar su funcionamiento todos los días del año [3]. Se categorizan por *Tiers* del I a IV, los cuales se encuentran estandarizados por la norma TIA 942. Esta norma explica el funcionamiento y configuración de los distintos tipos de **Data Center**.

Un aspecto importante en el funcionamiento de los **Data Center** es el control de la temperatura interna de este. Esta temperatura depende tanto del calor emitido por los equipos dentro de él, así como las condiciones ambientales de la ubicación considerada para su construcción [17].

Al respecto, la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE por sus siglas en inglés) recomienda temperaturas de 18 a 27°C y humedades entre 20% y 80%, siendo 50% una humedad óptima [6]. Estas condiciones se deben garantizar mediante el uso de técnicas tales como, *Hot Aisle Containment/Cold Aisle Containment*, así como con el uso de estructuras de servidores en plataforma elevada, que permiten lograr ahorros tanto en energía como en capital.

Con la finalidad de mejorar la confiabilidad operacional de los **Data Centers**, se han usado en los últimos años técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional, para agilizar el proceso de diseño de los sistemas de aire acondicionado de estos elementos. Un claro ejemplo de esto fueron las investigaciones realizadas para el dimensionamiento del sistema de aire

acondicionado para el consejo municipal de la ciudad de Melbourne, Australia [19] que no contaba con una metodología de diseño clara y concisa como la presentada en 2011 por la empresa *Math Applied Inc* [20]. Tomando el ejemplo de lo sucedido en Melbourne, no hay evidencias claras de la aplicación de estas técnicas en Colombia.

Esto, representa una oportunidad tanto de investigación como de desarrollo tecnológico. Es así, que el presente trabajo tiene como objetivo principal, generar una metodología para el diseño de los sistemas de aire acondicionado **Data Centers** mediante el uso de técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional. Para lograr este objetivo, se hará uso del programa Ansys Fluent y se tomará como caso de estudio, el diseño del sistema de aire acondicionado para un **Data Center** ubicado en Bogotá D.C.



### 3. JUSTIFICACIÓN

Para todo lo referente a ingeniería, un país como Colombia debe estar a la altura de las técnicas utilizadas a nivel internacional. Esta es la razón general por la cual este proyecto se lleva a cabo.

Desarrollar la metodología propuesta en este proyecto, permitirá estándares específicos para no malgastar dinero y tiempo. Es así, que se pretende que las empresas del sector industrial asociado al diseño de **Data Centers**, incluyendo *Start-ups* usen esta metodología para conducir su camino y sus protocolos en pro de mejorar la calidad y el rendimiento de estos espacios. Claramente, podrán a su vez modificar como se requiera la configuración del sistema determinado en este proyecto dependiendo de la capacidad de la empresa e innovaciones futuras en el área de acondicionamiento de aire.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar una metodología de diseño para el sistema de aire acondicionado de un **Data Center** haciendo uso de técnicas de Dinámica de Fluidos Computacional.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones de funcionamiento de un **Data Center**.
- Construir un modelo computacional que permita simular la distribución de temperaturas dentro de un **Data Center** teniendo en cuenta la maquinaria electrónica de mayor aporte energético.
- Determinar la disposición espacial adecuada de los puntos de acondicionamiento, de acuerdo con un análisis de la distribución de temperaturas en el **Data Center**.
- Desarrollar el diseño básico del sistema de aire acondicionado para el caso de estudio.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1. MARCO CONCEPTUAL

- *Fluido*: Un fluido es una sustancia que se deforma al contacto por una tensión tangencial a este. Incluso el aire es contado como un fluido gaseoso. [12]
- *Calor*: Se refiere generalmente a la transferencia de energía entre distintas zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a diferentes temperaturas y fluye del cuerpo de menor temperatura al de mayor temperatura. [13]
- *Temperatura*: Esa la fuerza impulsora que permite el flujo de energía entre dos cuerpos o la transferencia de calor. [13]
- *Hot/Cold Aisle Containment*: Se conocen como dos métodos utilizados para la redirección controlada del calor producido por la maquinaria electrónica en un CPD para lograr mantener los equipos en óptimas condiciones ambientales para su uso continuo. [9]

### 5.2. MARCO TEÓRICO

#### 5.2.1. Data Centers

Los **Data Centers** son centros de procesamiento de datos que se clasifican por tamaños y tiempos de uso en Tiers. Cada Tier corresponde a una categoría o nivel y van en números romanos del uno al cuatro [3]. Concentrados en los **Data Centers** más utilizados que son los Tier I y teniendo en cuenta que grandes empresas tienen sus ojos posados en Bogotá D.C, Colombia para construcción de varias de estas instalaciones, se enfoca el estudio en esta categoría y ubicación.

#### 5.2.2. Servidores

Máquina dentro de una red informática en la cual, aparte del sistema operativo, funcionan uno o varios servidores basados en software que transmiten información dentro de una red empresarial o universitaria de cualquier calibre. Estos son los causantes de las principales emisiones de calor en los CPDs. [14]

### *5.2.3. Técnicas Containment*

Según ASHRAE el HAC/CAC se ha vuelto común entre una gran cantidad de CPDs. Ambos simplemente se basan en el aislamiento de los flujos de aire de altas y bajas temperaturas antes y después de pasar por la maquinaria electrónica. De no ser aislado, el aire caliente a la salida de los servidores se mezcla con el aire de enfriamiento a la entrada de estos, causando una degradación en la temperatura del aire y creando la necesidad de aire aún menor temperatura para el enfriamiento [9].

En la estrategia HAC/CAC cada hilera de servidores se encuentra organizada cara a cara. Las caras de las entradas van hacia la misma dirección y los escapes se encuentran en el mismo pasillo. El abastecimiento del aire va hacia los pasillos de entrada mientras que el aire caliente recircula y es sacado de los pasillos en los cuales se encuentran los escapes de los servidores [9].

### *5.2.4. CFD*

Dinámica computacional de fluidos es la simulación numérica del flujo de fluidos. Esta puede ser usada para predecir las velocidades, temperaturas y muchas otras variables de interés para una gran cantidad de aplicaciones. Al pasar los años esta técnica ha sido utilizada para simular el flujo de aire sobre el ala de un avión o del agua debajo de la cáscara de un barco [20].

### *5.2.5. Simulación*

Una simulación como la que se va a presentar más adelante con datos cuantitativos está compuesta por 3 etapas: preprocesamiento, procesamiento y post procesamiento. Durante la etapa del preprocesamiento se genera la geometría y la configuración del enmallado y otros detalles para la simulación. Durante la etapa de procesamiento se resuelven las ecuaciones base del problema. Y, finalmente, durante el post procesamiento se define la visualización y análisis de resultados.

#### 5.2.6. Dominio y Enmallado Computacional

Una simulación en CFD empieza con la creación de la geometría del caso de estudio. La región para modelar generalmente es llamada *dominio* y la geometría se entiende como los límites del dominio y todos los objetos contenidos en este. El CFD se enfoca en el espacio dentro o entre los objetos, donde el fluido fluirá. Para las aplicaciones específicamente relacionadas con **Data Centers** los programas de CFD cuentan con módulos de CRACs, racks, baldosas perforadas y otros componentes que pueden ser posicionadas y dimensionadas fácilmente dentro de la sala simulada [20].

Una vez la geometría contenida y sala sean creadas, todo el espacio debe ser dividido en un gran número de celdas donde los cálculos serán ejecutados y los resultados almacenados. Las líneas y planos que separan estas celdas se les conocen como *mallas*. Las celdas contenidas en la sala tras el enmallado pueden ser de distintas formas; hexaédrica, prismática, o tetraédrica que son las más comunes. Esta puede ser una tarea extenuante para el analista, sin embargo, muchos módulos de programas CFD para **Data Centers** vienen con herramientas automáticas o semiautomáticas para estas operaciones [20].

#### 5.2.7. Modelado de Equipos en Data Centers

El CFD es utilizado para simular muchos tipos de aplicaciones distintas y para cada una los componentes utilizados son simulados, considerados y tratados de distintas maneras. Por ejemplo, desde el método análogo para resolver problemas de transferencia de calor, una ventila o ventilador, puede ser modelado como un área plana por la cual fluye aire, una luz puede ser moldeada como una fuente volumétrica de calor con la forma de una bombilla. Estas simplificaciones en el modelado para distintos equipos o artefactos en la sala varían dependiendo a las limitaciones del software en uso, los ejemplos dados anteriormente se basan en las capacidades de ANSYS Icepak En los **Data Centers**, enfoques similares son aplicados a las instalaciones de ingeniería: CRACs, racks de equipos como servidores y switches o UPSs o PDUs. Para presente sección se revisan los equipamientos comunes que se encuentran en un **Data Center**. [20]

#### *5.2.8. Malla*

Cómo fue mencionado anteriormente en el diagrama de flujo, se debe crear una malla. La malla, es una estructura tridimensional que envuelve el dominio del problema. Esta definición aplica particularmente para cualquier programa de simulación. En el caso de sistemas mecánicos, usualmente estos se limitan al objeto. Sin embargo, en el caso de softwares para CFD, el dominio se extiende a toda la sala, incluyendo todos los equipos y el ambiente incluido en esta.

#### *5.2.9. Post-Procesado y Presentación de Resultados*

En esta sección lo que se busca es iniciar las aplicaciones de haber realizado el proceso de enmallado. El post-procesado nos permite ver de manera gráfica el comportamiento de temperaturas en el dominio, o sea, la distribución de las temperaturas en la sala. Esta se puede utilizar para realizar los ajustes en el espacio que se consideren pertinentes y es este el mayor argumento a favor del CFD. La conveniencia y facilidad de poder mover todos los equipos en las configuraciones que se deseen para probar distintas posibilidades y poder dar la mejor recomendación para el espacio propuesto por un empleador.

#### *5.2.10. Convergencia del Sistema*

La convergencia del sistema ayuda a estimar un menor uso de maquinaria al realizar el post-procesado del modelado y de la presentación de resultados de forma más eficiente. Esto se deberá a que el ejercicio de hallar la convergencia o el punto de convergencia permitirá determinar cuál es el número de iteraciones necesario antes de que los valores cambien drásticamente. Un punto de tolerancia es no ver cambios en los datos después del tercer decimal.

Cabe resaltar, que esto afectará directamente a los resultados ya que las gráficas de temperaturas en los post-procesados, suelen verse limitadas a dos decimales. Si su software de preferencia le permite ajustar a mayor cantidad de decimales, se sobre entiende que los post-procesados también se verán afectados al hallar el punto de convergencia.

#### *5.2.11. Independencia de Malla*

La independencia de malla se utiliza para un propósito similar al de hallar el punto de convergencia del sistema y es el de utilizar el sistema de forma más eficiente. Buscando el punto óptimo donde la malla es lo suficientemente fina para arrojar resultados confiables utilizando el mismo criterio de decimales que se utilizó al hallar el punto de convergencia.

*Nota:* Para un ejemplo de implementación de los conceptos expuestos en el Marco Teórico en el programa ANSYS ICEPAK, referirse al Apéndice A en el cual podrá encontrar todos los cálculos pertinentes a un ejercicio creado para propósito académico obtenido del manual original de ANSYS ICEPAK, adaptado al sistema internacional de unidades.

## 6. CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE UN DATA CENTER.

### 6.1. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Las condiciones de funcionamiento de un data center son cruciales para garantizar que funcione de manera eficiente y confiable. Aunque estas condiciones pueden variar según el Tier (*a continuación, descrito*) y diseño del centro de datos, el control de las temperaturas y la humedad es esencial para el rendimiento y la durabilidad de los equipos.

Para evitar la corrosión y el daño a los componentes electrónicos, la ASHRAE recomienda entre 20% y 80% de HR (humedad relativa) en su normativa TC.9 para distintos tipos de **Data Centers** con distintas cantidades de racks y equipo. Por lo tanto, se utilizará un valor medio entre ambos porcentajes como HR objetivo, el cuál será un HR 60%. Y por su parte, los rangos de temperatura ambiente varían entre 18°C (64.4°F) y 27°C (80.6°F). Esto es crucial para evitar el sobrecalentamiento de los equipos y asegurar su rendimiento óptimo ya que la máxima temperatura superficial sobre los equipos dentro de la sala no debe superar los 50°C.

Los tiers de data centers son una forma de clasificar los centros de datos según su nivel de confiabilidad, disponibilidad y redundancia. La confiabilidad se refiere a la capacidad del centro de datos para mantenerse en funcionamiento sin interrupciones no planificadas. La disponibilidad se refiere a la capacidad del centro de datos para garantizar que la información esté disponible siempre que se requiera. La redundancia se refiere a la capacidad del centro de datos para continuar funcionando incluso si uno o más componentes fallan. Los tiers de data centers se clasifican en cuatro niveles, desde el Tier 1 hasta el Tier 4, siendo el Tier 1 el más básico y el Tier 4 el más avanzado. Cada nivel tiene características específicas que determinan su nivel de confiabilidad, disponibilidad y redundancia. A continuación, se describen las características principales de cada tier:

- Tier 1: Un centro de datos Tier 1 tiene una sola ruta de alimentación y refrigeración y pocos o ningún componente redundante o de respaldo. Tiene una disponibilidad esperada del 99,671% (28,8 horas de inactividad anuales) [1].



- Tier 2: Un centro de datos Tier 2 tiene una sola ruta de alimentación y refrigeración y algunos componentes redundantes o de respaldo. Tiene una disponibilidad esperada del 99,741% (22 horas de inactividad anuales) [1].
- Tier 3: Un centro de datos Tier 3 tiene múltiples rutas de alimentación y refrigeración y sistemas para actualizar y mantener el centro sin necesidad de desconectarlo. Tiene una disponibilidad esperada del 99,982% (1,6 horas de inactividad anuales) [1].
- Tier 4: Un centro de datos Tier 4 está diseñado para ser completamente tolerante a fallos y tiene redundancia para cada componente. Tiene una disponibilidad esperada del 99,995% (26,3 minutos de inactividad anuales) [1].

## **6.2. COMPONENTES PRINCIPALES DE UN DATA CENTER**

Los centros de procesamiento de datos están compuestos de equipos electrónicos que procesan y almacenan la información instalados en estructuras modulares; y de sistemas de acondicionamiento de aire para mejorar su desempeño y evitar dificultades de operación por sobre temperatura. A continuación, se describen los componentes más importantes:

### **6.2.1. CRACs**

Los CRACs (computer room air conditioner), son equipos largos y rectangulares que atraen el aire caliente que se genera por el equipo en la habitación que lo expulsa, lo enfría y condiciona, y lo devuelve a la sala para reutilización. Bajo operación estándar, tienen una tasa de flujo fija y son capaces de extraer cierta cantidad calor del aire. Un modelo CFD de un CRAC usualmente consiste de un bloque rectangular con uno o dos ventiladores utilizados para mover el aire. Una ventila de retorno generalmente se utiliza para el aire del ambiente fuera, mientras un ventilador operando a la misma velocidad provee el aire enfriado de vuelta a la sala. [20]

### **6.2.2. Racks**

Si los CRACs son utilizados para extraer el calor, los racks son las cabinas que contienen el equipo que genera dicho calor en la operación de la sala de los servidores conteniendo cables, servidores, entre otros equipos varios. Se pueden modelar como un bloque de calor entero o con partes del bloque en espacios vacíos. Para objeto de simplicidad, se es más común utilizar

el método de bloque sólido a menos que el rack presente alguna particularidad que sea de vital importancia para el flujo de aire y/o temperatura de la sala que deba ser incluido. [20] Ahora bien, existen distintos tipos de Data Center y estos se clasifican en Tiers como se mencionó anteriormente.

#### *6.2.3. PDUs y UPSs*

Además de los racks, las fuentes de poder claramente son consideradas componentes generadores de calor en sala que requieren enfriamiento. El aire saliente calentado, es expulsado por la parte superior del equipo. Estos componentes pueden ser modelados con la misma tasa de flujo aplicada a ambos entrada y salida del aire de la unidad con una adición de calor en el medio. También pueden ser enmalladas y pueden añadirseles una carga volumétrica de calor en el interior. Para este método de modelado en particular, aperturas en el apartado inferior y superior permitirán el flujo ser guiado a través del equipo como resultado de convección natural. [20]

#### *6.2.4. Baldosas Perforadas y Cielo Raso con Rejillas*

Las baldosas perforadas permiten que el aire frío suministrado a la sala entre por debajo del suelo y sea suministrado a través de este, usualmente en frente de las columnas de los racks. Estas baldosas se caracterizan por tener un porcentaje de su área abierto lo que causa una caída en la presión. Así mismo, estas sirven para reordenar el flujo a lo que pasa a través de esta. [20]

## 7. MODELO COMPUTACIONAL

### 7.1. MODELO MATEMÁTICO DE UN DATA CENTER

Para la ecuación gobernante del sistema en cuestión se requiere un modelo matemático que sea capaz de expresar el fenómeno que se desea conocer del mismo. A la larga, el interés de quien simule este **Data Center** debe ser como prioridad el cuidado de los equipos y las temperaturas a la que se encuentran los mismos en cualquier punto del espacio a trabajar y en cualquier tiempo que se desee evaluar. Por lo dicho anteriormente, podría decirse que el modelo de ecuación de conducción de calor de la energía es descartable como modelo para este sistema ya que este no permitirá tener una visual total de la recámara sino por su naturaleza solo de los equipos ya que no considera la convección en el resto de la recámara.

*Modelo de Conducción*

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{\rho c_v} \cdot \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + \frac{q_v}{\rho c_v}$$

(A. Martín, 2011).

*Ecuación 1. Ecuación Diferencial de la Conducción*

Donde:

- $\frac{dT}{dt}$  es la tasa de cambio de la temperatura del material con respecto al tiempo.
- $\rho$  es la densidad del material.
- $C_v$  es la capacidad calorífica específica del material.
- $q_v$  es la tasa de generación de calor en el volumen del material.
- $\frac{\partial q_x}{\partial x}, \frac{\partial q_y}{\partial y}$  &  $\frac{\partial q_z}{\partial z}$  son las tasas de transferencias de calor en las coordenadas X, Y, Z, respectivamente.

Por su parte, el modelo de conservación del momento, aunque representa el fenómeno del **Data Center** a detalle permitiendo incluso expresar fuerzas dentro del mismo y utilizar términos como viscosidad del aire, la realidad es que dentro de este modelo particular no hay fuerzas significativas que impacten la operación, por lo que son descartables además de que no se consideran cambios de viscosidad en el gas por lo que este modelo es también descartable.

*Modelo de Conservación del Momento (En el eje X)*

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right) = - \frac{\partial \rho}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + F_x$$

(A. Martín, 2011).

*Ecuación 2. Ecuación Diferencial de la Conservación del Momento (Eje X)*

Donde:

- $\rho$  es la densidad del aire en el **Data Center**
- $u, v, w$  son los componentes del vector de velocidad del aire en las direcciones x, y, z, respectivamente.
- $t$  es el tiempo
- $p$  es la presión del aire
- $\mu$  es la viscosidad dinámica del aire
- $F_x$  es una fuerza externa aplicada en la dirección x.

Y ya revisados los modelos anteriores deja un modelo matemático idóneo para ser la ecuación gobernante de este sistema, y ese es la ecuación de conservación de la masa del aire en el **Data Center**, ya que bien se conoce, el funcionamiento de la refrigeración del sistema es via recirculación de aire a través de la recámara, y ya que lo que se necesita es conocer la temperatura a la que están sometidas los equipos debido a la recirculación y enfriamiento del mismo en la recámara, se puede utilizar la conservación de la masa para hallar la temperatura en un tiempo determinado en cualquier posición ya que esta fórmula se expresa en las tres coordenadas cartesianas (X, Y, Z).

*Ecuación Gobernante: Modelo de Conservación de la Masa*

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

(A. Martín, 2011).

*Ecuación 3. Ecuación Diferencial de la Conservación de la Masa.*

Donde:

- $\rho$  es la densidad del aire en el **Data Center**
- $t$  es el tiempo
- $u, v, w$  son los componentes del vector de velocidad del aire en las direcciones  $x, y, z$ , respectivamente.

## 7.2. PROCESO DE MODELADO

Uno de los usos más importantes del CFD es como una herramienta de planificación. En esta, se plantea un diseño existente para evaluar o uno nuevo a implementar, se modela, y se evalúa. Si las predicciones, medidas y suposiciones del diseño son razonable, el CFD ayudará a argumentar cambios o implementaciones de Data Centers, así como también, ayudará a evaluar nuevas futuras tendencias. En la industria automotriz, estas pruebas se realizan para probar la aerodinámica de distintas carrozas para probar las características antes de que se doble. El mencionado método es idealmente aplicable a los **Data Centers**, en los cuales cambios constantes en el equipo son básicamente rutinarios. Al usar CFD, un número infinito limitado por tiempo de escenarios puede ser probado y estudiado antes de que cualquier equipo sea físicamente añadido, movido, o cambiado.

Como es de esperar por lo mencionado al inicio, la veracidad de la simulación dependerá del acercamiento entre el modelo CFD y las medidas reales (si estas se encuentran disponibles). Cabe resaltar que todo puede ser perfectamente modificable, pero en un ejercicio real, unos de los límites usualmente serán; el Tier de **Data Center** a construir, el cuál puede cambiar dependiendo a la libertad y criterio tanto del empleador como del ingeniero a cargo, el espacio de trabajo y la locación ya que estos usualmente ya están determinados por la empresa asignando un espacio de trabajo en alguna sala disponible dentro de sus instalaciones.

Una vez esto haya sido aclarado entre el empleador y el ingeniero diseñador a cargo, se puede realizar la debida investigación para definir otras condiciones. Como la temperatura ambiente promedio y máxima históricamente en un periodo de tiempo definido por el criterio del diseñador, esto debido a que los equipos electrónicos deben mantenerse regulados bajo

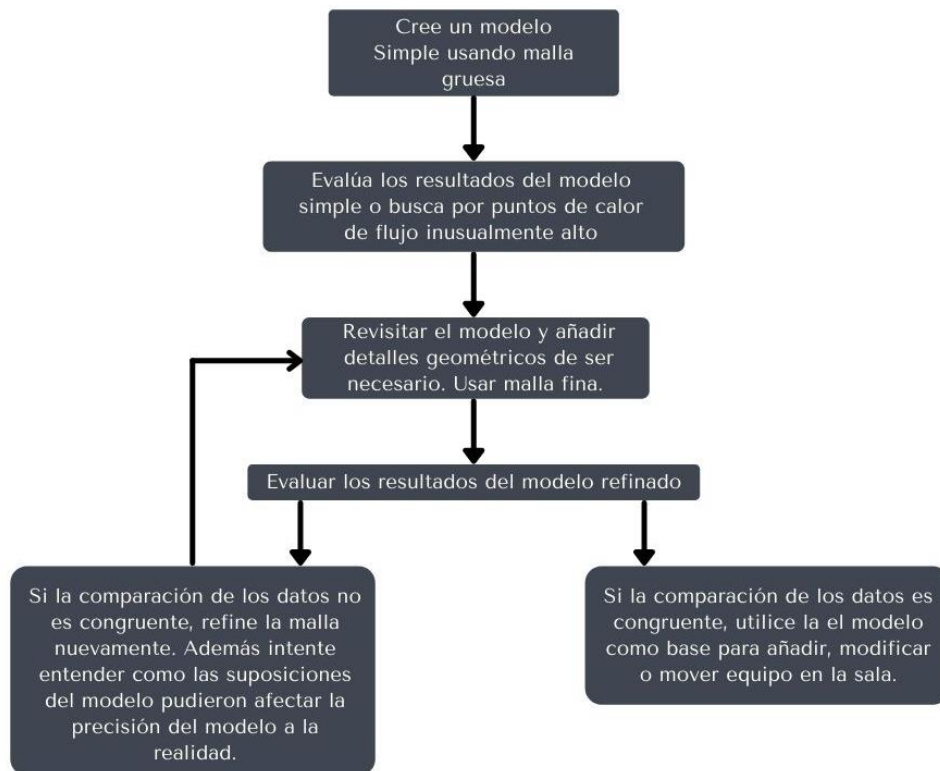
márgenes de temperaturas y humedades estandarizados bajo la normativa ASHRAE TC9.9, la cual será explicada más adelante.

Un modelo simple de **Data Center** en promedio usará medidas estándar de calor en los racks, ignorando las tuberías pequeñas en la cámara de suministro e implementará, usualmente, una malla gruesa para luego de implementar el modelo, refinarla y encontrar la independencia de malla, ahorrando tiempo y dinero de esta forma. La comparación de los resultados del modelo simple a las medidas usualmente mostrará discrepancias en ciertos puntos o en todos, dependiendo nuevamente de que tan precisas hayan sido las suposiciones y la semejanza del modelo a la situación real.

Estas discrepancias podrán ser modificadas en una revisión de condiciones realizando los ajustes que se consideren pertinentes y que estén dentro de las posibilidades del programa de modelado que usted esté utilizando. Un modelo entre más completo o acercado a la situación real esté, hará mejor uso de mallas más finas. La elección de qué detalle añadir debería ser tomada después de realizar la comparativa con un modelo simple. Tomando el ejemplo mencionado anteriormente de un modelo simple; si la distribución del flujo a través de las baldosas es aceptable comparada con las medidas reales pero ciertos puntos de calor en la sala se pierden, puede significar que ignorar las tuberías pequeñas haya sido una aproximación correcta, pero ignorar el detalle del servidor en los racks no.

Una vez refinado el modelo este puede ser utilizado para hacer cambios o modificaciones a la sala. Es importante destacar que sin importar la experiencia el realizar un refinado de la malla simple logrará un resultado, entre lo posible, más fiel a la realidad. En casos en los cuales no exista una semejanza aceptable, incluso después de varios intentos de refinamiento a la malla del modelo simple, se deberá investigar a fondo la causa raíz hasta encontrarla. Esto puede resultar principalmente sobre las suposiciones de las cargas de calor o las tasas de flujo, especialmente si las ventilas tienen velocidades variables y el modelo no tiene esto en cuenta. Por su parte, las medidas también pueden ser causantes del problema en cuestión por lo que el análisis debe tener en cuenta estos posibles factores de error humano.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que sirve como guía para simplificar el proceso de modelado anteriormente descrito:



*Diagrama de Flujo 1. Proceso de Modelado.*

## 8. DISEÑO BÁSICO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL ESTUDIO DE CASO

### 8.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

En el presente caso, se considerará el funcionamiento de un CPD *Tier I*, lo que implica que deberá tener una disponibilidad objetivo del 99.671%, lo que equivale a un máximo de 28.8 horas de interrupción máximas al año, así como también, podrá estar conectado a múltiples líneas de distribución eléctrica y de refrigeración, sin embargo, solo una de estas estará activa a la vez. Dicho esto, cabe aclarar que lo que define la categoría de un **Data Center** va relacionado enteramente con el funcionamiento continuo (disponibilidad), y por su capacidad de almacenar y operar distintos servidores.

La ubicación también será considerada como uno de los parámetros de diseño ya que se utilizará Bogotá porque este es uno de las ubicaciones idóneas en LATAM para la implementación de **Data Centers** debido a su geolocalización, las condiciones ambientales y climáticas que la locación conlleva.

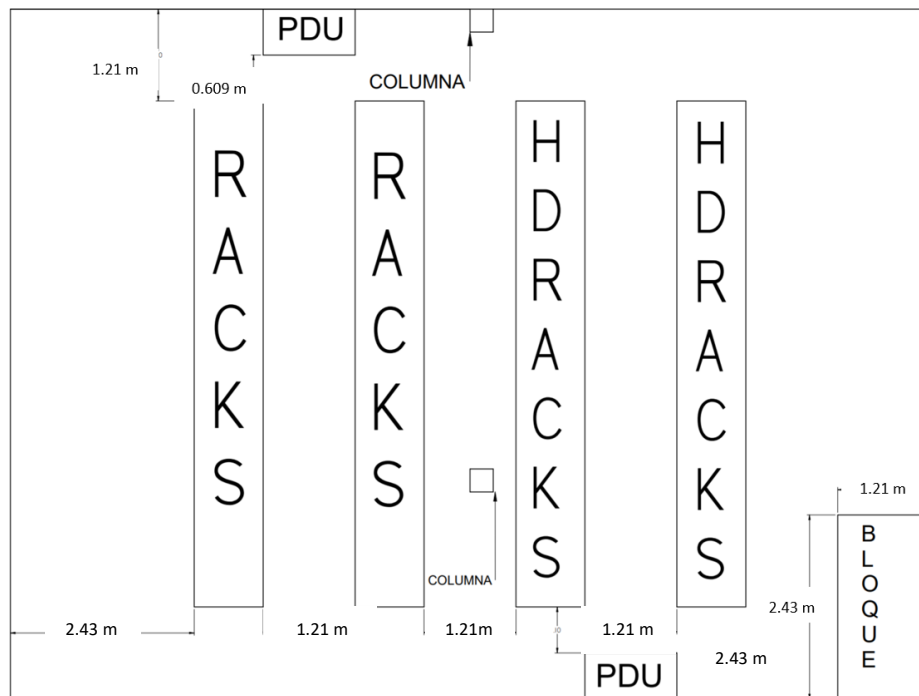
El Data Center estará compuesto de los siguientes elementos:

| Equipo               | Cantidad |
|----------------------|----------|
| CRACs                | 2        |
| Racks                | 22       |
| Racks Alta Densidad  | 22       |
| Baldosas Perforadas  | 44       |
| Suelo Elevado        | 1        |
| Cielo Raso Perforado | 1        |
| Parrilla de Retorno  | 8        |
| PDU's                | 2        |
| Cableados            | 4        |
| Columnas             | 2        |
| Bloques Variados     | 1        |

Tabla 1. Equipos en el Data Center



En el plano 1 se presenta la distribución de dichos componentes:



Plano 1. Disposición Espacial Inicial de los Equipos del Data Center

A continuación, las características técnicas principales:

Así mismo se caracteriza este **Data Center** por ser uno que cuenta con suelo elevado a 0.45m del suelo con medidas (9.144m)x(3.6576m)x(12.192m) el cual deja un volumen  $V_i=407,76\text{m}^3$ . Así mismo se ha medido que la temperatura del aire suministrado a los CRACs es de 12.77 C y el flujo másico de los CRACs que utiliza este **Data Center** es de 7.21 kg/s. Por su parte, se tienen 4 hileras compuestas 11 racks cada una, 2 de racks estándar los cuales de calor por rack generan 3000W con un flujo volumétrico de  $12,74\text{ m}^3/\text{min}$ , y 2 racks de alta densidad los cuales manejan mayor cantidad de calor debido a la capacidad y cantidad de los ventiladores internos de los mismos, siendo estos, en este caso, capaces de manejar 7000W por rack y contando con un flujo volumétrico de  $28,31\text{ m}^3/\text{min}$ . Es menester mencionar que, así como el aire recircula a la entrada de los CRACs a través de un subsuelo, el aire frío circula por el cielo raso de la sala el cual está perforado con 6 perforaciones de rejillas de retorno al 50% de área abierta. Los equipos en los racks son alimentados a través de dos PDUs que generan 3600W.

Debido a que el *Data Center* es una combinación entre Racks estándar y de alta densidad, se puede utilizar un equipo de 10 renovaciones teniendo en cuenta que la compañía británica Open Xtra, recomienda para *Data Centers* con racks de alta densidad 25 renovaciones en sus CRACs debido a las cargas que los Racks de alta densidad representan para la sala en términos de calor. [24]

| Concepto                                      | Valor                 |
|-----------------------------------------------|-----------------------|
| Renovaciones                                  | 10 renovaciones/hr    |
| Altitud de Bogotá                             | 2640 m                |
| Tier de Data Center                           | Tier 1                |
| Volumen de la Sala ( $V_i$ )                  | 407,76 m <sup>3</sup> |
| Calor de PDUs ( $Q_{PDU}$ )                   | 3600 W                |
| Calor Racks Estándar ( $Q_{rack}$ )           | 3000 W                |
| Calor Racks Alta de Densidad ( $Q_{HDrack}$ ) | 7000 W                |
| Humedad Relativa inicial (Ambiente)           | 80%                   |
| Humedad Relativa final (Objetivo)             | 60%                   |
| Temperatura promedio de Bogotá                | 14,8 °C               |

Tabla 2. Parámetros de Diseño para Cálculos

## 8.2 CÁLCULO PSICROMÉTRICO DE LA CARGA DE AIRE

Se utilizarán los cálculos psicrométricos en las condiciones de Bogotá a través del aplicativo *Psychometric-Calculator*. Teniendo en cuenta que el ***Data Center*** inicia su funcionamiento con condiciones iniciales de Bogotá y que el aire por salubridad debe ser renovado. En la figura 1 se presentan las condiciones iniciales de Bogotá:

The screenshot shows the 'PsychometricCalculator' interface. On the left, there are input fields for: Altitude (2640.0 m), Dry Bulb Temp (14.8 °C), Wet Bulb Temp (12.5533 °C), Relative Humidity (80.0 %), Dew Point Temp (11.41849 °C), and Barometric Pressure (73.3788 kPa). In the center, there are buttons for 'Calculate', 'Clear', and a unit selector set to 'SI' (with 'grams' also visible). On the right, the calculated output values are displayed: Dew Point Temp (11.41849 °C), Barometric Pressure (73.3788 kPa), Atmospheric Pressure (73378.801 Pa), Humidity Ratio (0.01163 kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub>), Specific Volume (1.14746 m<sup>3</sup>/kg), Enthalpy (44.29405 kJ/kg), and Density (0.88162 kg/m<sup>3</sup>).

Figura 1. Psychometric Calculator 1.

## Cálculos

Ahora con la densidad calculada a través del aplicativo, se podrá hallar la masa de aire presente en la cámara utilizando la densidad calculada a través de **Psychrometric Calculator**

Masa de aire:

$$m = V_i * \rho_i$$

$$m = (407.762m^3) * (0,88162kg/m^3)$$

$$m = (407.762m^3) * (0,88162kg/m^3)$$

$$m = 359,491kg$$

Las condiciones psicrométricas finales para el aire interior se presentan en la figura 2.

| Property            | Value   | Unit                              |
|---------------------|---------|-----------------------------------|
| Altitude            | 2640.0  | m                                 |
| Dry Bulb Temp       | 12.0    | °C                                |
| Wet Bulb Temp       | 7.65598 | °C                                |
| Relative Humidity   | 60.0    | %                                 |
| Dew Point Temp      | 4.49723 | °C                                |
| Barometric Pressure | 73.3788 | kPa                               |
| Dew Point Temp      | 4.49723 | °C                                |
| Barometric Pressure | 73.3788 | kPa                               |
| Humidity Ratio      | 0.00722 | kg <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub> |
| Specific Volume     | 1.12839 | m <sup>3</sup> /kg                |
| Enthalpy            | 30.2793 | kJ/kg                             |
| Density             | 0.89262 | kg/m <sup>3</sup>                 |
| Vapor Pressure      | 0.84155 | cbar                              |

Figura 2. Psychrometric Calculator 2.

Al introducir los datos en el aplicativo,  $h_f=30.2793\text{kJ/kg}$ , con esta entalpía final, es posible calcular la diferencia de entalpías:

$$\Delta h = h_i - h_f$$

$$\Delta h = 44.29405\text{kJ/kg} - 30.2793\text{kJ/kg}$$

$$\Delta h = 14.01475\text{kJ/kg}$$

Ahora que se tiene la diferencia de entalpías, se calcula el flujo másico, para hallar el calor a extraer del aire de la recámara:

$$\dot{m} = (359,491kg) * (10\text{Renovaciones}/1hr)$$

$$\dot{m} = 3594,91kg/1hr$$

$$\dot{m} = 0.99kg/s$$

Finalmente, es posible calcular el calor a extraer con el flujo másico calculado:

$$\dot{Q}_{Aire} = (\dot{m}) * (\Delta h)$$

$$\dot{Q}_{Aire} = (0.99kg/s) * (14.01475kJ/kg)$$

$$\dot{Q}_{Aire} = 13.87462kW$$

$$\dot{Q}_{Aire} = 13874,62W$$

### 8.3. CÁLCULO DE LA CARGA TOTAL

Ahora que se tiene el calor del aire contenido en el recinto, se procede a sumar este con los calores de los equipos presentes expuestos en la Tabla 1:

$$\dot{Q}_T = 2\dot{Q}_{Rack} + 2\dot{Q}_{HDRack} + 2\dot{Q}_{PDU} + \dot{Q}_{Aire}$$

$$\dot{Q}_T = 2(3000W) + 2(7000W) + 2(3600W) + 13874,62W$$

$$\dot{Q}_T = 22(3000W) + 22(7000W) + 2(3600W) + 13874,62W$$

$$\dot{Q}_T = 66000W + 154000W + 7200W + 13874,62W$$

$$\dot{Q}_T = 305874,62W$$

$$1kW = 0.284345 TR$$

$$\dot{Q}_T = 86.973 TR$$

$$\dot{Q}_T \approx 306kW \approx 87 TR$$

### 8.4. SELECCIÓN DE EQUIPO

La selección del equipo se realiza teniendo en cuenta todo el proceso que se ha realizado hasta el momento. Desde el análisis del espacio de trabajo hasta los cálculos de calor en sala ya que muchos de estos CRACs se han diseñado para instalación en espacios amplios y planos, y lo que se requiere (usualmente) es que los equipos se asemejen a los utilizados en el modelado inicial. Esto es situacional y queda a criterio del diseñador si es posible, por temas de espacio, descartar o utilizar distintas opciones en el mercado en el cual también se pueden determinar limitaciones por costos.

Asumiendo que todo lo mencionado en el anterior párrafo haya sido revisado y aprobado, se debe tener en cuenta el número de unidades a utilizar, y la capacidad de las mismas. El diseñador también debe decidir, dependiendo al Tier del **Data Center**, y cuantas unidades se

desean mantener a la espera en caso de emergencia o fallas. Esto no solo aplica para las unidades de enfriamiento sino también para líneas de suministro eléctrico. Finalmente, el factor de presupuesto puede directamente impactar el diseño si en el mercado se encuentra un solo CRAC que pueda cumplir la función de dos o tres. Aquí es donde yace también uno de los más grandes argumentos a favor del CFD y este es; la conveniencia de editar los modelos ya realizados, en este caso, por la disponibilidad de equipos en el mercado.

Con lo anterior con consideración, solo resta llevar la interpretación del ejercicio a la práctica en el mercado para sustentar el criterio de selección de los equipos de refrigeración. Como se mencionó anteriormente, los criterios para la selección de los equipos serán: Capacidad de refrigeración, tamaño y costos. Sin embargo, hay un cuarto criterio, y este es el tipo de unidad utilizada en la simulación, en otras palabras, una unidad de refrigeración con flujo vertical donde el aire enfriado fluya por el cielo raso perforado y el aire caliente en el espacio entre el suelo de la infraestructura y el suelo elevado.

En el caso particular presente se tienen alrededor de 90 TRs que manejar de calor por lo que dos unidades de 50 TR serian ideales para trabajar en simultaneo. Claro está que no será exactamente como en el plano inicial ya que las unidades por su tamaño tendrán que encontrarse como tal fuera de la sala con las entradas y salidas de aire fuera del Data Center por lo que se presentan estas unidades como ejemplos:

De la empresa HVAC RNTL:



Figura 3. Unidad de refrigeración 1.

De la empresa York:



### YD 30-50 Ton Split System Condensing Units

11.1-12.5 EER

Compact design, clean styling, low silhouette and quiet operation make these condensing units suitable for almost any outdoor location.

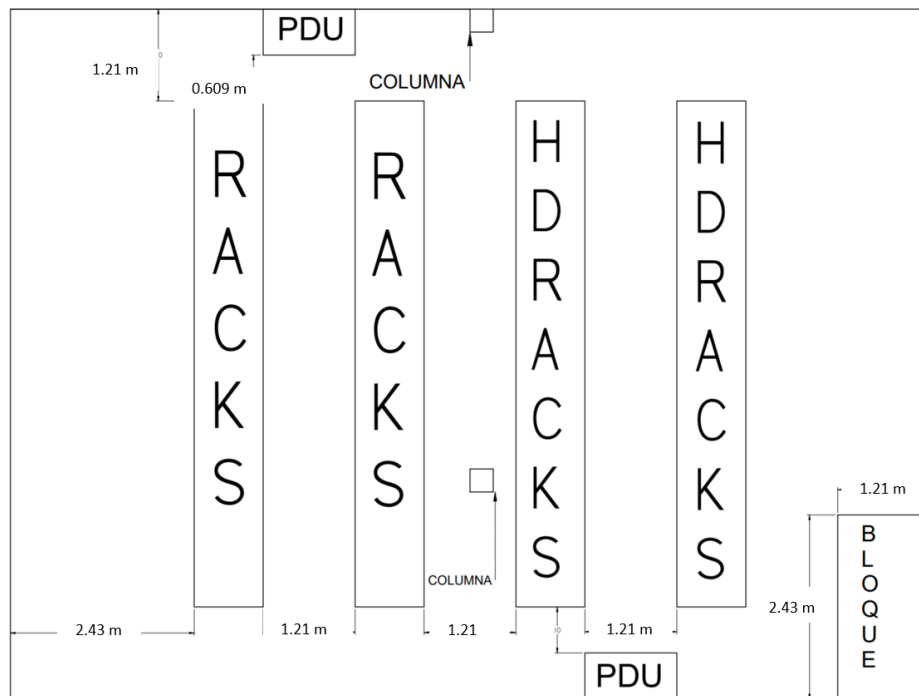
- Reduced vibration transmission
- V-coil design with exterior service port connections
- 1-year complete system and optional 4-year extended compressor limited warranties

*Figura 4. Unidad de Refrigeración 2.*

Unidades de este estilo sirven como ejemplo de lo que se busca para refrigerar este data center que siendo categoría (Tier I) representa una gran cantidad de carga, por lo que, en este caso particular, posiblemente por costos se tengan que verificar otras alternativas, pero eso dependerá de las conexiones y poder adquisitivo de la empresa que requiera una unidad de esta magnitud. Es posible que sea recomendable un rediseño del Data Center y se deba hacer en salas distintas.

## 9. REPOSICIONAMIENTO ESPACIAL DE EQUIPOS

Para efectos de estudio, se ha utilizado el caso en el manual de usuario del programa ANSYS Icepak el cual presenta la siguiente distribución de equipos tal y como se muestra en la siguiente figura:



Plano 2. Disposición Espacial

Esta ha sido recreada en el programa mencionado a fines de estudiar los impactos que puede presentar la reubicación de los equipos en el entorno.

Para el programa ANSYS Icepak posible utilizar la herramienta **Show Contours** que permitirá ver como las superficies se ven afectadas en temperaturas y tener la referencia de la temperatura con el gráfico de barras que esta opción genera. Al chequear esta opción puede proceder a dar click en *create* lo cual debería generar el siguiente gráfico del modelo:

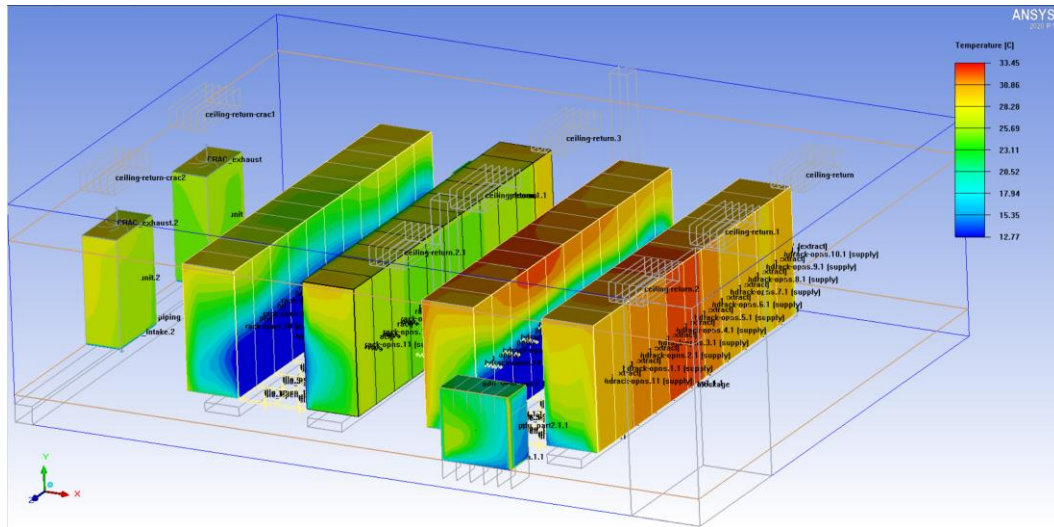


Figura 5. Temperatura Superficial de los Equipos Arreglo 1.

Tener en cuenta que la posición de estos equipos es la misma mostrada en el plano alzado expuesto al inicio de este capítulo

En resumen, se puede reorganizar la disposición de los equipos sin afectar la configuración del modelo. Sin embargo, en este ejercicio no se consideró la restricción de las líneas de suministro eléctrico con fines prácticos y demostrativos. Esto permitió obtener rápidamente diferentes resultados al reorganizar los equipos de enfriamiento y otros elementos que afectan la temperatura de la sala. En este caso, los CRAC se han movido a los extremos de la sala, dejándolos en las esquinas para verificar los efectos, como se muestra en la figura:

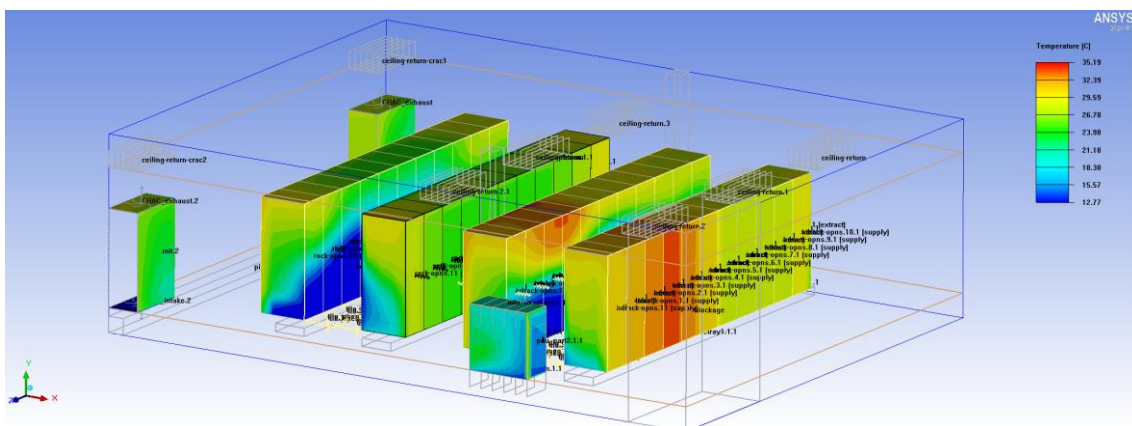


Figura 6. Temperatura Superficial de los Equipos Arreglo 2.



Visto y considerando el poco espacio que se tiene disponible para reorganizar los equipos, en este caso no se ha visto un mayor cambio en el delta de temperaturas en la barra de temperaturas a la derecha de cada imagen con respecto a la temperatura máxima encontrada en la anterior disposición del espacio, así mismo, se puede observar cómo el comportamiento de las temperaturas es básicamente el mismo en los equipos, por lo cual la distribución inicial se considera segura, al mantener los equipos electrónicos operando por debajo de 50°C, siendo este el límite de seguridad para estos equipos. Ahora bien, es importante aclarar que estos son resultados de la temperatura que soportan los equipos en cada punto de su superficie.

Referirse a los Anexos para comprender como modelar en ANSYS Icepak un *Data Center*. Y entender a detalle el ejercicio expuesto en este capítulo.

## **10. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE AIRE ACONDICIONADO**

Teniendo en cuenta lo anterior expuesto, se puede resumir la metodología de diseño como un paso a paso de la siguiente manera:

1. Identificar la tarea a realizar (evaluar diseño existente o diseñar).
2. Delimitar el diseño con condiciones de frontera basados en el entorno (Condiciones ambientales, estructurales y presupuestales).
3. Identificar los equipos de mayor carga de calor e incluir los mismos en el diseño.
4. Realizar el modelado en el programa de preferencia teniendo en cuenta las condiciones de frontera.
5. Simular el sistema y reevaluar teniendo en cuenta las necesidades del cliente.
6. Reevaluar el sistema teniendo en cuenta distintas posibilidades de reubicación de equipos.

A partir de este punto, queda a manos del ingeniero en cuestión lo referente a cotizaciones y rediseños por espacio y posibles adecuaciones al mismo.

Es menester mencionar que casos de rediseño no tendrán algunos casos implícitos, por ejemplo: Presupuestos, estudios de ambientales históricos, ubicación espacial, entre otros. Por su parte, dependiendo de si es una auditoría o contratación para rediseño, será irrelevante o de extrema importancia evaluar la simulación reubicando los equipos.

## 11. CONCLUSIÓN

La caracterización de las condiciones mencionadas en el capítulo 6 establecen base de trabajo para construir un modelo computacional, el cual fue respaldado matemáticamente a través de la identificación y uso de las distintas ecuaciones que rigen el sistema. Queda a criterio del diseñador si desea respaldar el diseño final del sistema como se ha realizado en este trabajo.

El modelo computacional expuesto en el capítulo en el capítulo 7 ha permitido exponer tanto el modelo matemático en el cual se ha basado el ejercicio al comparar distintos modelos matemáticos que describan de mejor manera la situación. El modelo electo fue el de conservación de la masa ya que con esta se puede calcular el calor en cualquier punto del sistema con la masa del aire en coordenadas dentro del mismo.

A falta de un proceso analítico conveniente para reevaluar distintas situaciones y posibilidades dentro de un *Data Center*, explicar casos de reubicación de equipos en los cuales se fuerce un contraste de posibilidades para determinar la mejor organización de una sala de procesamiento de datos tal y como se observa en el capítulo 9.

Por su parte, con toda la información presentada en el documento, se establece la metodología de diseño recomendada en este documento tal y como se muestra en el capítulo 10. Dicha metodología, a excepción de estudios de presupuesto, se han tenido en cuenta para el caso de estudio presentado en el modelado del Anexo.

Se recomienda a los nuevos diseñadores que consideren todas las restricciones que puedan surgir por diversas razones, como la disposición espacial de la infraestructura y las conexiones, el presupuesto y el mercado, y el tipo de técnicas a utilizar, como Hot/Cold Aisle Containment, suelos elevados y cielos rasos perforados. La investigación previa es uno de los factores que más podrían influir en los resultados. Es importante comprobar fuentes fiables, como artículos científicos o páginas gubernamentales, para obtener datos históricos de temperatura y humedad, y tener en cuenta los estándares mínimos establecidos por la normativa mencionada en el párrafo anterior.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Google triplicó sus ganancias en el segundo trimestre,” *Dinero*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.dinero.com/empresas/articulo/como-le-fue-a-google-en-el-segundo-trimestre-del-2019/274839>.
- [2] “Nada frena el crecimiento de Facebook”, *Economía de Mallorca*, 2019. [Online]. Available: <http://economiademallorca.com/art/22296/nada-frena-el-crecimiento-de-facebook>.
- [3] “Centros de Proceso de Datos”, *Universidad de Cantabria*, 2014. [Online]. Available: <https://sdei.unican.es/Paginas/informacion/infraestructura/CPDs.aspx>.
- [4] “Sistemas de cableado estructurado y fibra óptica”, *Gotor Comunicaciones*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://gotor.com/sistemas-cableado-estructurado-fibra-optica/>.
- [5] “Infraestructuras para centros de procesamiento de datos (CPD)” *Gotor Comunicaciones*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://gotor.com/infraestructuras-para-centros-de-procesamiento-de-datos-cpd/>.
- [6] “An Updated Look at Data Center Temperature and Humidity”, *AVTECH*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://avtech.com/articles/4957/updated-look-recommended-data-center-temperature-humidity/>.
- [7] Redacción Tecnósfera, “Data centers en Colombia y el potencial del país para la conectividad,” *El Tiempo*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/data-centers-en-colombia-y-el-potencial-del-pais-para-la-conectividad-378630>.
- [8] J. M. Monge Gómez and IT Ingenieros y Asesores Grupo Electrotécnica, “Estándares sobre Diseño y Funcionamiento de Data Center”, *Present. TIER*, pp. 1–47.
- [9] J. Niemann, K. Brown, and V. Avelar, “Hot-Aisle vs Cold-Aisle Containment for Data Centers”, *APC by Schneider Electr.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2013.
- [10] “Hot Aisle Containment Systems for Data Centers - Subzero Engineering,” *Subzero Engineering*, 2018. [Online]. Available:
- [11] “Explain: Tier 1 / Tier 2 / Tier 3 / Tier 4 Data Center”, *NixCraft*, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.cyberciti.biz/faq/data-center-standard-overview/>.
- [12] L. Prieto, “Módulo 3: Fluidos, Fluidos Densidad específica,” vol. 5, pp. 1, 2017.

- [13] Cengel, Y. A.; Boles, M.A.: Termodinámica. McGraw-Hill, 1996.
- [14] Ionos, “¿Qué es un servidor informático? Definición y explicación” 02/08/19, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-un-servidor-un-concepto-dos-definiciones/>.
- [15] Schneider Electronics, “Guide Specifications EcoAisle Thermal Containment System.” pp. 1–8, 2004.
- [16] “Hot Aisle Containment Systems for Data Centers - Subzero Engineering,” *Subzero Engineering*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.subzeroeng.com/services/aisle-containment/hot-aisle-containment/>.
- [17] X. Baker, K. & Jia, “MODELING MISSION CRITICAL FACILITIES FOR LEED: LESSONS LEARNED” pp. 581–587, 2018.
- [18] 42U, “Data Center Containment Solutions”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.42u.com/data-center-containment.htm>.
- [19] Advanced Environmental Concepts, “Air Conditioning Sizing Methodology,” *Melbourne City Council*, Melbourne, pp. 1–11, 2003.
- [20] B. L. Marshall & P. Bemis, “Using CFD for Data Center Design and Analysis”, Boston, pp. 1–17, 2011.
- [21] A. Martín, “Apuntes de Transmisión del calor”, *Universidad Politécnica de Madrid*, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>
- [22] J. R. Sturges y M. R. Patterson, "ASHRAE TC9.9: Mission and Scope," en 2007 ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, Atlanta, GA, USA: ASHRAE, 2007, pp. 1.1-1.5.
- [23] Secretaría de Salud de Bogotá. "Temperatura de Bogotá", Secretaría Distrital de Salud, Bogotá, Colombia, Julio de 2021. [En línea]. Disponible: <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/index.php/datos-de-salud/salud-ambiental/tbogota/#:~:text=Para%20el%20primer%20semestre%20de,extrema%20con%2027.7%20°C>.
- [24] OpenXtra, "Network Monitoring Solutions | OpenXtra", OpenXtra, versión 1.0, marzo 15, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.openxtra.co.uk/openxtra.html>.

[25] ANSYS. (2020). ANSYS Icepak User's Guide: Chapter 25, "Modeling and Simulation of Data Centers." ANSYS, Inc.

[26] PhoenixNAP, "Data Center Tiers Explained", PhoenixNAP, Noviembre 25, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://phoenixnap.com/blog/data-center-tiers-classification>

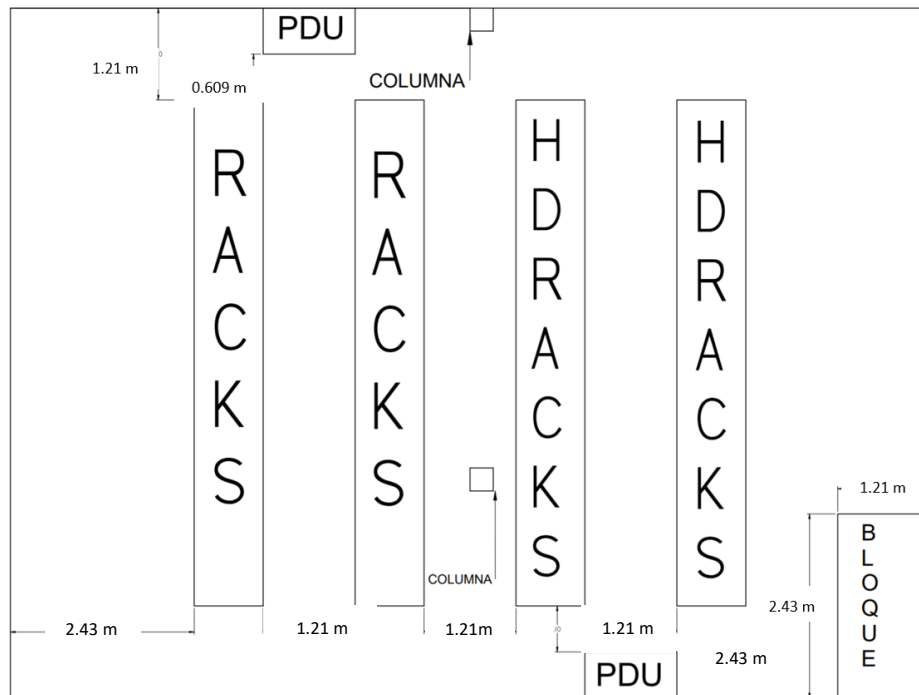
## 13. ANEXO: CREACIÓN DE MODELO COMPUTACIONAL DE UN DATA CENTER

### 13.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

En el presente caso, se considera el funcionamiento de un CPD *Tier I*, lo que implica que este tiene una disponibilidad objetivo del 99.671%, lo que equivale a un máximo de 28.8 horas de interrupción máximas al año, así como también, podrá estar conectado a múltiples líneas de distribución eléctrica y de refrigeración, sin embargo, solo una de estas estará activa a la vez. Dicho esto, cabe aclarar que lo que define la categoría de un **Data Center** va relacionado enteramente con el funcionamiento continuo (disponibilidad), y por su capacidad de almacenar y operar distintas cantidades servidores o por su capacidad de enfriamiento.

La ubicación también será considerada como uno de los parámetros de diseño ya que se utilizará Bogotá porque, como fue mencionado anteriormente en el documento, este es uno de las ubicaciones idóneas en LATAM para la implementación de **Data Centers** debido a su geolocalización y las condiciones ambientales y climáticas que la locación conlleva.

Teniendo en cuenta las características de funcionamiento de un **Data Center Tier I** y después añadir características de un **Data Center** incluyendo: CRACs (2), Racks (22), Racks Alta Densidad (22), baldosas perforadas (44), suelo elevado (1), cielo raso perforado (1), parrillas de retorno (8), PDUs (2), Cableados (4), Columnas (2) y bloques variados (1), se procede a realizar el modelo y simulación de un **Data Center** con distribución de equipo ya existente tal como se muestra en el plano a continuación en aras de comprobar si su *disposición espacial* es la más adecuada para el mismo:



Plano 3. Disposición Espacial Inicial de los Equipos del Data Center

Así mismo se caracteriza este **Data Center** por ser uno que cuenta con suelo elevado a 0.45m del suelo con medidas (9.144m)x(3.6576m)x(12.192m). Así mismo se ha medido que la temperatura del aire suministrado a los CRACs es de 12.77 C y el flujo másico de los CRACs que utiliza este **Data Center** es de 7.21 kg/s. Por su parte, se tienen 4 hileras compuestas 11 racks cada una, 2 de racks estándar los cuales de calor por rack generan 3000W con un flujo volumétrico de 12,74 m<sup>3</sup>/min, y 2 racks de alta densidad los cuales manejan mayor cantidad de calor debido a la capacidad y cantidad de los ventiladores internos de los mismos, siendo estos, en este caso, capaces de manejar 7000W por rack y contando con un flujo volumétrico de 28,31 m<sup>3</sup>/min. Es menester mencionar que, así como el aire recircula a la entrada de los CRACs a través de un subsuelo, el aire frío circula por el cielo raso de la sala el cual está perforado con 6 perforaciones de rejillas de retorno al 50% de área abierta. Los equipos en los racks son alimentados a través de dos PDUs que generan 3600W.

*Nota:* Para efectos de simplicidad, se simularán solo los equipos dentro de la sala, lo que implica que solo se tendrá en cuenta una unidad de refrigeración y de distribución eléctrica principal. Las condiciones del aire son el estándar de Aire que se encuentran en el módulo Icepak de ANSYS. Para el caso en cuestión se utilizará una solución óptima que será



contrastada con otros posicionamientos de CRACs para motivos de comparación de resultados.

Al haber definido todo lo referente a los equipamientos generales y demás implementos que pueden encontrarse regularmente en un **Data Center**, se puede proceder explicar y demostrar paso a paso como simular un **Data Center** en un programa específico, para lo cual se utilizará el ANSYS Icepak 2021.

## 13.2. CREACIÓN DEL PROYECTO

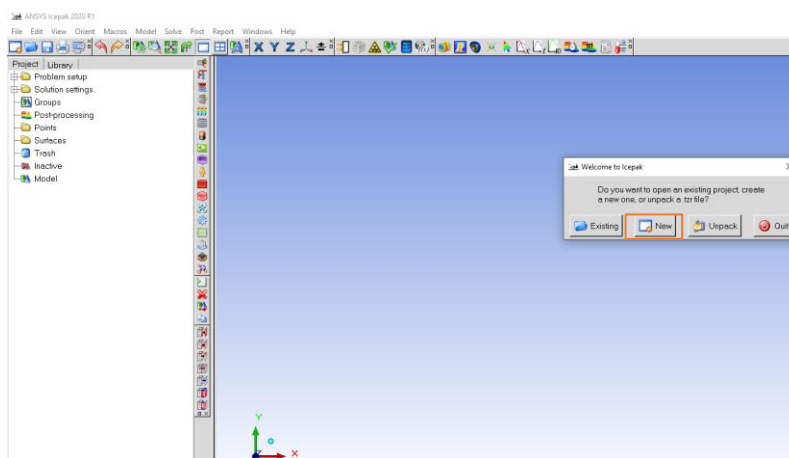


Figura 7. Creación del Proyecto.

Lo primero como es natural, es empezar creando un nuevo proyecto, para ello se da click en **New** lo cual mostrará la ventana de **New Project**, aquí se deberá nombrar el nuevo proyecto si se desea guardar para poder continuarlo en otra ocasión y para realizar ajustes o simplemente correr distintas simulaciones en el mismo modelo. Para fines prácticos, este proyecto se llamará simplemente **Data Center** (Fig 1.).

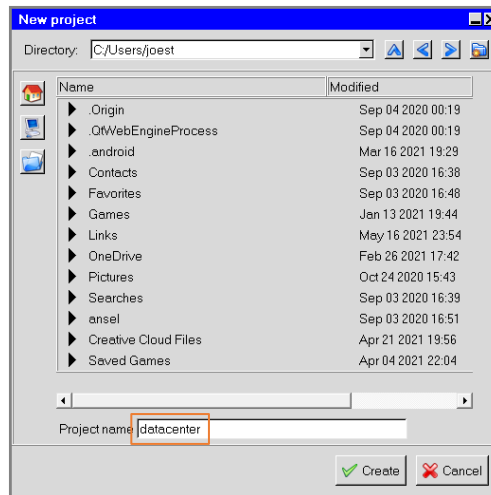


Figura 8. Nombre del Proyecto.

### 13.2.1. Ajustes y Preferencias

Una vez creado el proyecto, se generará automáticamente el volumen de control o espacio de trabajo dentro del programa, y por fuera de este, el archivo del proyecto que contendrá a la simulación misma.

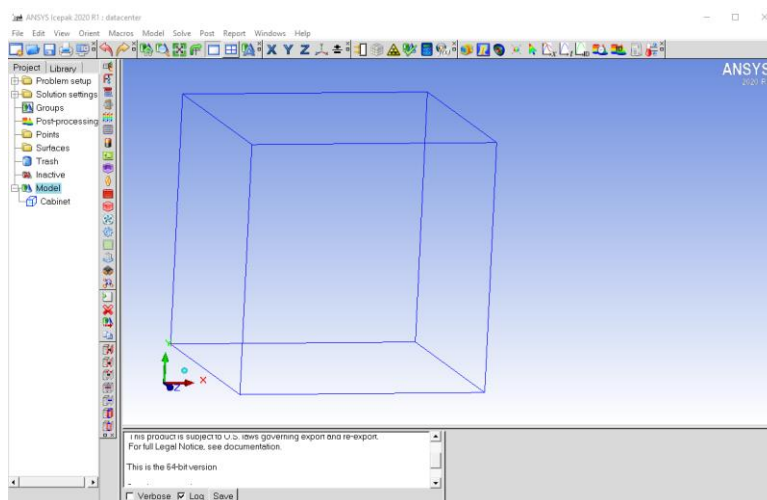


Figura 9. Volumen de Control.

Una parte importante del proceso de modelado es definir cómo se trabajará, esto se puede realizar a través de la ventana de preferencias en **Edit** → **Preferences**. Una vez click se abre el panel de **Preferences**. Se hará click en **Display** en el apartado de **Options** para cambiar la precisión numérica mostrada y se cambiará el formato de la leyenda a su vez. Seguido a esto se cambiará en la siguiente opción **Editing** dentro de la misma ventana de **Preferences** y el apartado de **Options** las dimensiones predeterminadas. De **Start/End** a **Start/Length**:

Estas opciones como se muestran en la figura:

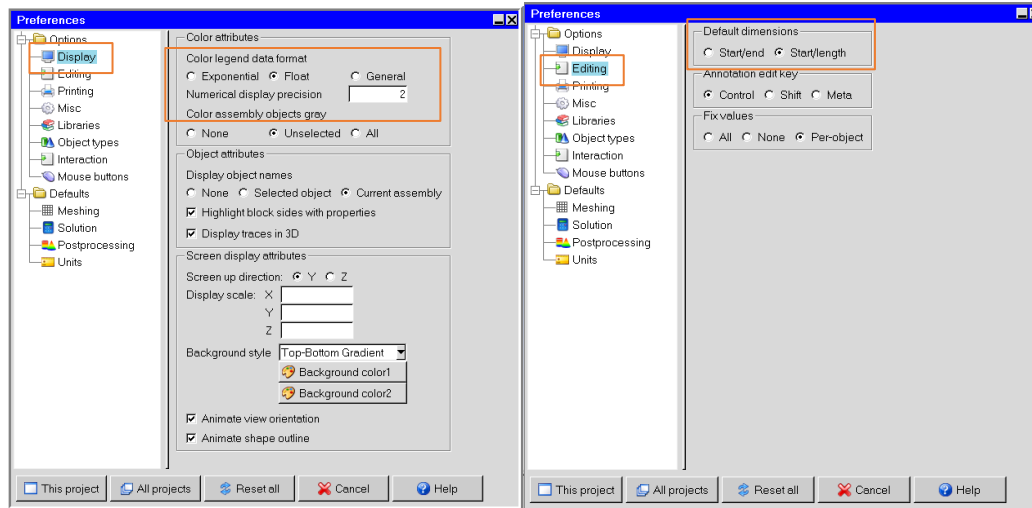


Figura 10. Preferencias (Precisión Numérica y Dimensiones).

Se dirigirá al apartado de **Object Types** dentro de **Options** en la misma ventana de **Preferences** para apagar decoraciones para todos los tipos de objetos en aras de mantener simplicidad y se aumentará la densidad de las líneas para bloques, ventiladores, entradas, platos, resistencias y rejillas. Todo para una mejor experiencia visual, la cual es en si algo carente en estos softwares.

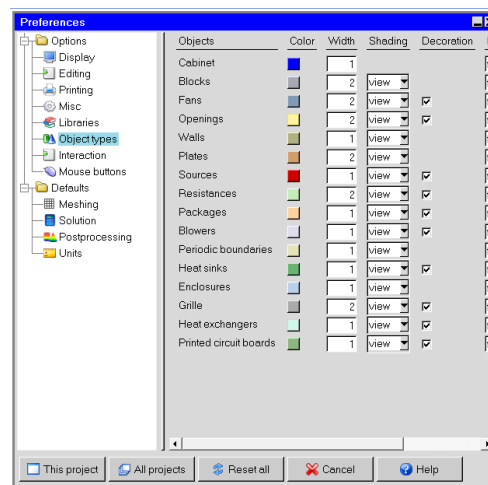


Figura 11. Preferencias (Visual Simple).

Finalmente, se asegurará que las unidades se encuentren en el sistema internacional. Esto se logrará transformando las unidades en el apartado de **Units** dentro del grupo de **Defaults** (última opción en panel izquierdo). Esto para trabajar con coherencia el ejercicio planteado.

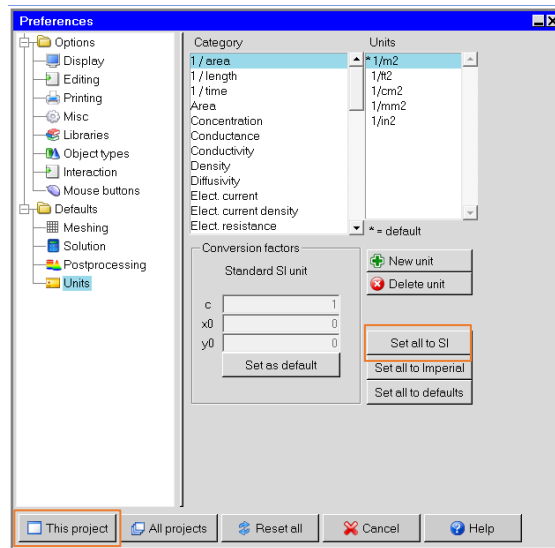


Figura 12. Preferencias (Sistema de Unidades).

Con esto se habrá terminado con las preferencias del modelo, se hará click en ***This Project*** y eso será todo. Se procederá a construir el modelo parametrizado anteriormente. Primero se necesita definir el espacio a trabajar y el equipo dentro del mismo. Esto, por supuesto puede ser definido por el entorno mismo si se desea hacer una evaluación de un sistema ya existente que es el caso que se presentará para fines prácticos.

### 13.2.2. Creación de la Recámara con Suelo Elevado

Lo primero dimensión a la recámara del **Data Center**. Para dicho propósito debe dirigirse a la opción de **Cabinet** en el apartado de **Model** que se encuentra en el árbol de opciones del panel izquierdo no confundir con **Model** que se encuentra en la parte superior, esta también será utilizada en varias ocasiones, pero no en la presente. En esta opción cual se podrá especificar la geometría del espacio como se muestra a continuación:

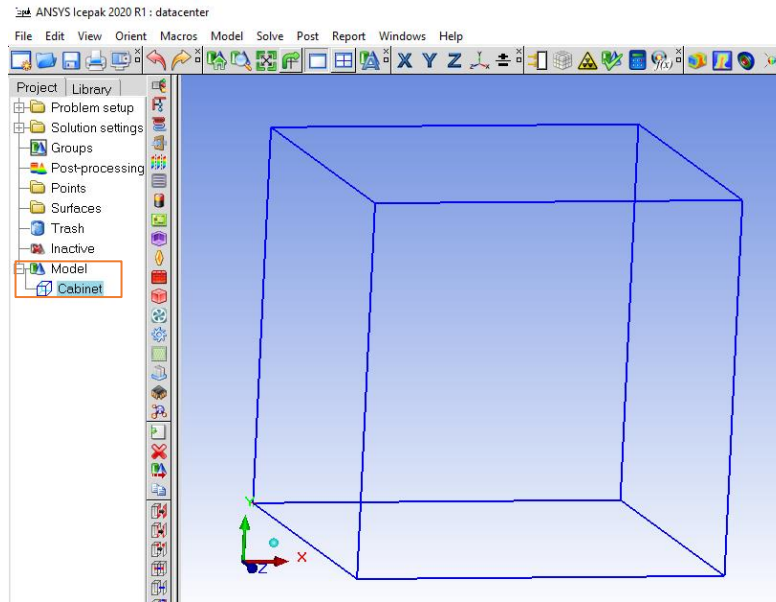


Figura 13. Dimensionamiento del Espacio de la Recámara 1.

Se procede a dar ese tamaño adecuado del que se hablaba anteriormente en el recuadro que aparecerá con el título de **Cabinet** luego de dar doble clic (izquierdo) sobre la opción mencionada en el anterior paso (Fig. 8):

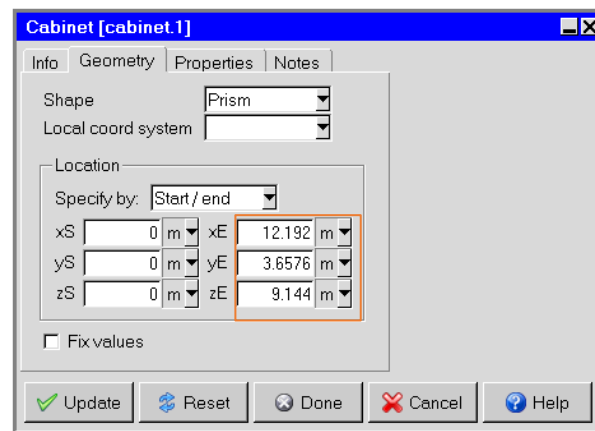


Figura 14. Dimensionamiento del Espacio de la Recámara 2.

Como se puede apreciar en la Fig. 9 inmediatamente se cambia la forma general del volumen de control que es lo que se conoce para el programa como cabinet.

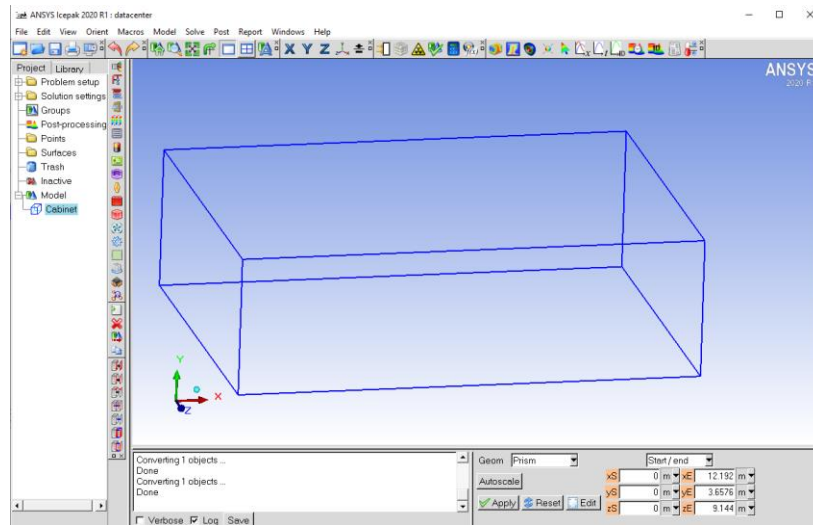


Figura 15. Dimensionamiento del Espacio de la Recámara 3.

Ahora se procede a definir el suelo sobre el cual se trabaja. Dada la circunstancia, se deberá definir el **Data Center** como uno de suelo elevado lo que significaría que lo usual es que el aire frío suministrado pase a través de este y suba al **Data Center** a través de las baldosas perforadas ubicadas en los pasillos entre cada fila de racks. 🏠 Para el suelo elevado se creará una placa con una herramienta de nombre similar encontrada en el panel izquierdo con el siguiente ícono y al utilizarla se obtiene lo siguiente (Fig. 8):

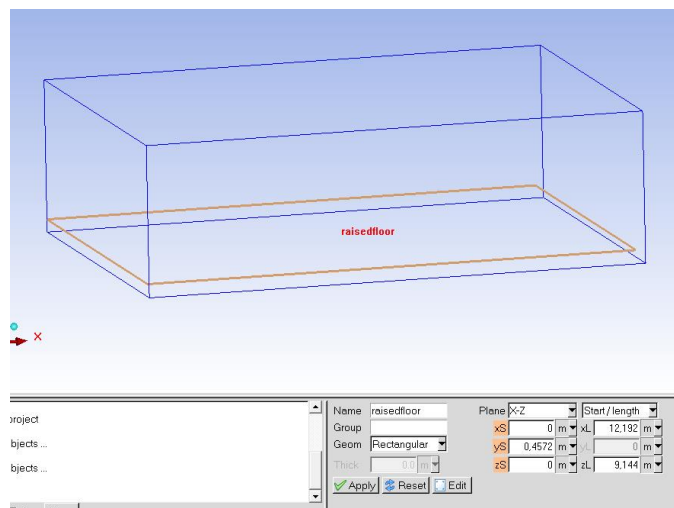


Figura 16. Dimensionamiento del Suelo Elevado.

Como se puede apreciar en la Fig. 9, el recuadro tiene tres columnas, en la primera se puede nombrar y dar una forma básica geométrica, en la segunda se selecciona el plano en el que la placa reposará o al cual está será paralela. Y finalmente en la tercera se dan las dimensiones de la misma.

### 13.2.3. Creación de los CRACs

Ya que el espacio fue definido, unidades y parámetros también y además se tiene definido el problema, se pasa a construir y dar forma al **Data Center**. Para empezar, se añadirá el primer CRAC al espacio. Para esto se deberá dirigir a **Macros** → **Geometry** → **Data Center Components** → **CRAC** para abrir el panel de **CRAC**. Ahora bien, si se fija antes de entrar al panel de **CRAC** se puede apreciar como el módulo de Icepak ofrece una gran variedad de instrumentos para crear en este apartado comprobando que está muy bien enfocado a **Data Centers**. O sea, para el ejercicio en cuestión, razón por la cual se utiliza este módulo de ANSYS y no cualquier otro:

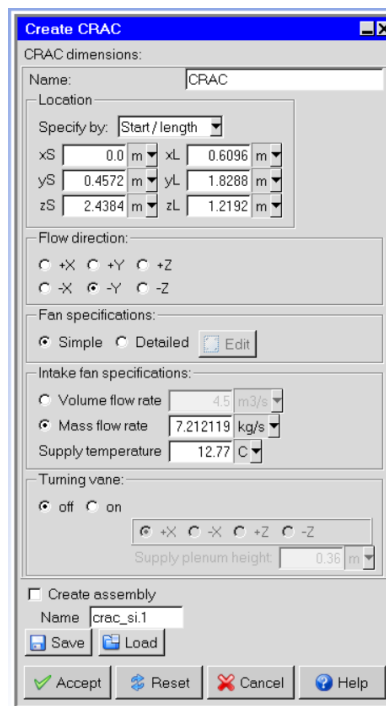


Figura 17. Creación de los CRACs 1.

Al presionar clic en aceptar se podrá apreciar el resultado de generar el primer equipo en el sistema y de darle las respectivas indicaciones como flujo másico, temperatura y posición del equipo. Ahora, con estos valores al rotar el elemento se puede evidenciar que este no se encuentra alineado con el piso o mejor dicho la placa del suelo elevado, esto debido a que aún se debe agregar la perforación por la cual pasará el aire suministrado a sala de manera subterránea.

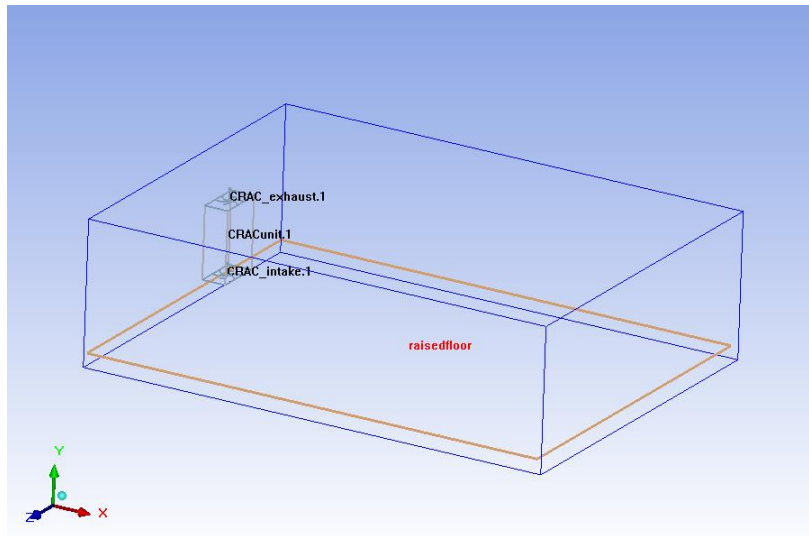


Figura 18. Creación de los CRACs 2.

Ahora que el primer equipo se encuentra en su lugar, se debe inmediatamente generar los parámetros de dicho objeto en malla. Esto se logra abriendo el control de enmallado haciendo clic en el ícono de **Generate Mesh** con el siguiente ícono ( ). Este se encuentra en la barra de herramientas superior.

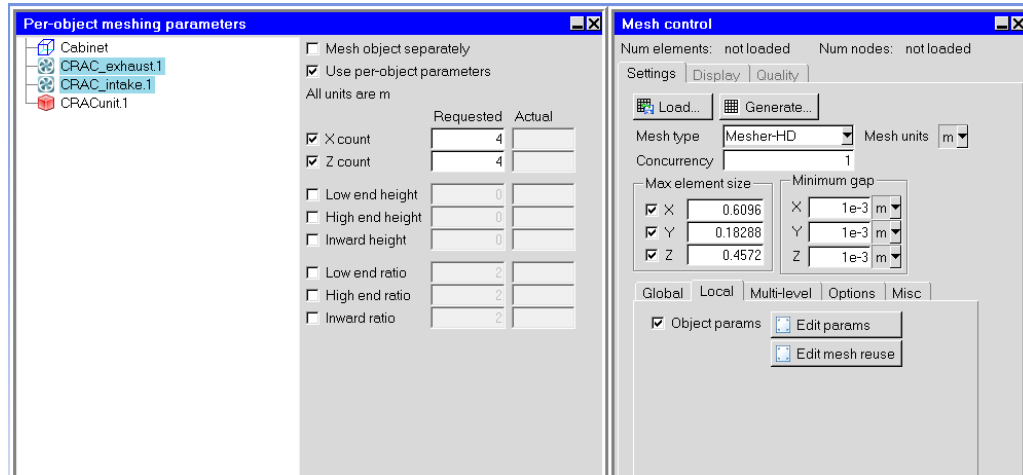


Figura 19. Creación de los CRACs 3.

Para conseguir esto que se ve en la pasada figura, se hace clic en la opción Local → **Edit Params** → **Per-object Meshing Parameters** → **Count X** → **Count Z** (Fig. 12). A modo de aclaración se explica que el count lo que hace es funcionar como un valor adimensional de densidad de malla y que esta densidad puede ser editado a nivel general o por objeto creado.



Ahora que se pudo evidenciar cuantas variables puede generar solo un equipo, natural concluir que es prioritario encontrar un método para generar orden en la lista del panel de **Per-object Meshing Parameters** y el panel de la izquierda de la interfaz principal. Lo siguiente, será agrupar los componentes y equipos generados seleccionando los elementos del Crac del panel izquierdo y al presionar clic derecho seleccionar **Create** → **Groups**. Se nombra el grupo, pero más importante se podrán realizar copias rápidas del equipo con los mismos parámetros al original dándole un cambio de posición a su vez utilizando coordenadas, para el caso presente solo se hará uso de un desplazamiento en el eje Z para un segundo CRAC que saldrá del primero que se creó manualmente acelerando de esta forma el trabajo. Clic derecho en el grupo a copiar → clic izquierdo en **Group Name** para nombrar y/o asignar el grupo al CRAC en cuestión. Luego clic en **Translate** y darle el **offset** en **Z** que será la distancia de desplazamiento en el eje designado que se moverá el nuevo CRAC del original:

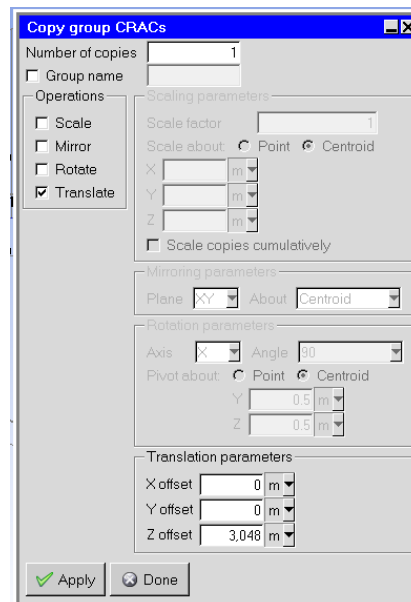


Figura 20. Creación de los CRACs 3.

Y así se ven los dos CRACs que se han creado hasta el momento y el árbol del panel izquierdo en el cual se aprecian los equipos en grupos y por separado en modelo junto con el suelo elevado y la sala.

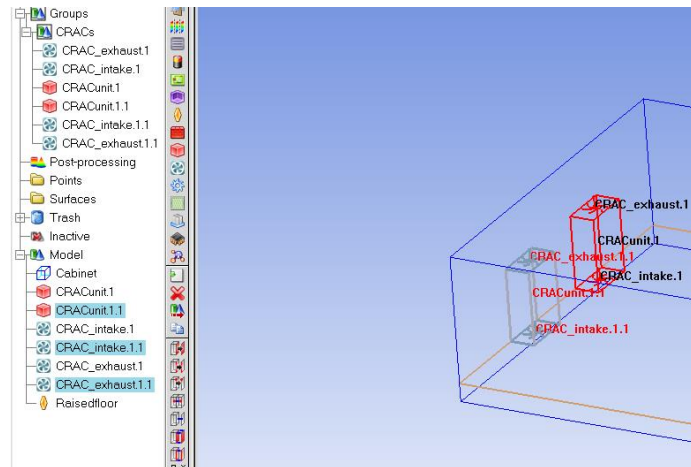


Figura 21. Creación de los CRACs 4.

#### 13.2.4. Creación de los RACKs

Ya con las unidades CRAC creadas, se procede a crear los racks para los servidores. Para esto deberá ir a: **Macros** → **Geometry** → **Data Center Components** → **Rack (Front to rear)**, y se configurará con los valores mostrados en la siguiente figura:

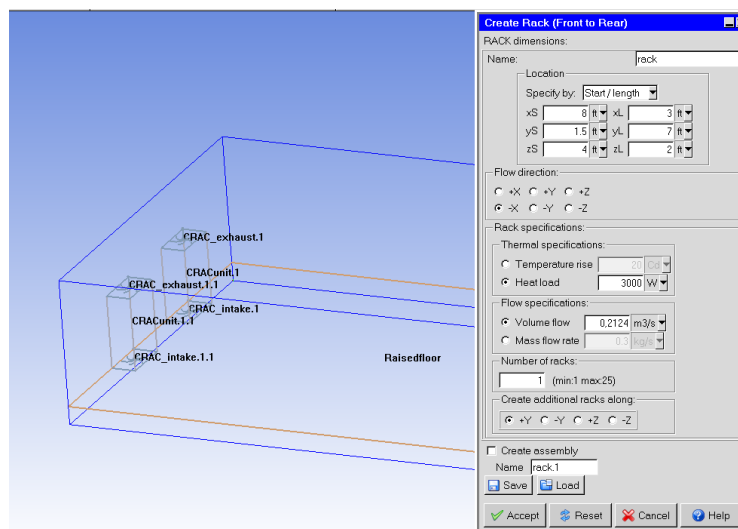


Figura 22. Creación de los Racks 1.

Esa será la ventana de configuración para el primer rack el cual se copiará en la distancia que se necesita para el **Data Center** en evaluación. Se denota que las dimensiones se encuentran en pies.

Como notación adicional se debe tener en cuenta que la tasa de flujo volumétrico es convertida por ANSYS Icepak a una tasa de flujo másico en estado computacional de análisis. ANSYS Icepak utiliza la densidad especificada para el aire en el panel de materiales como se muestra en la figura:

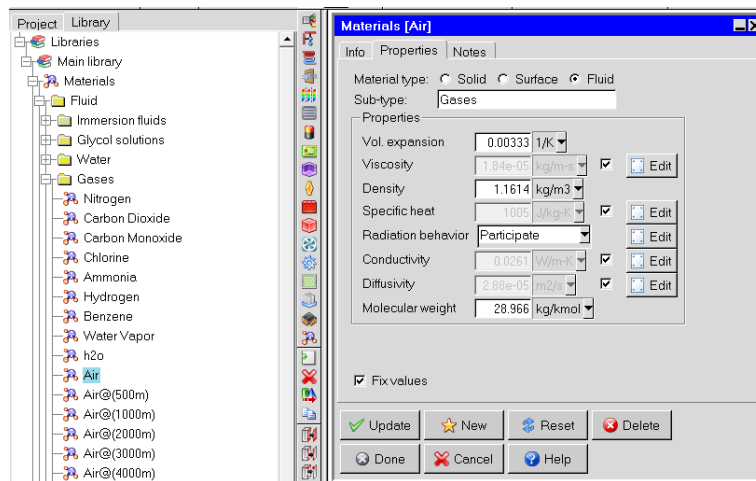


Figura 20. Edición del Gas.

Como se puede observar. Si alguien siguiendo este manual se fija en los datos suministrados en la tabla, se llega a la afirmación de que los valores son los predeterminados. Eso se debe a que se realiza, en este ejercicio, una simulación con valores que ANSYS considera promedio o estándar. En caso tal de que se tenga una condición distinta, se debe tener el juicio de saber si cambiar los valores realmente representa una diferencia notoria para la simulación y de ser así, realizar los ajustes pertinentes.

Ahora lo que sigue es crear un grupo para todos los racks para lograr copiar toda esa fila creada anteriormente y así lograr posicionar la segunda columna. Se selecciona desde el panel izquierdo donde se encuentra la lista de los racks creados. Desde **rack** hasta **rack-opns.10** para crear un grupo nuevo tal como se hizo en los CRACs anteriores:

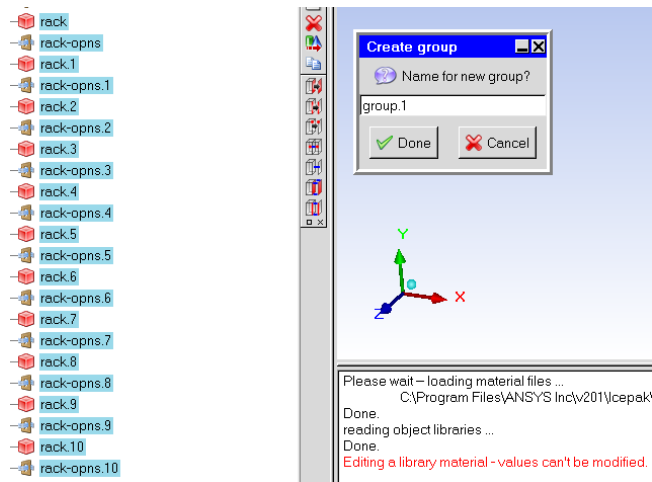


Figura 24. Creación de los Racks 2.

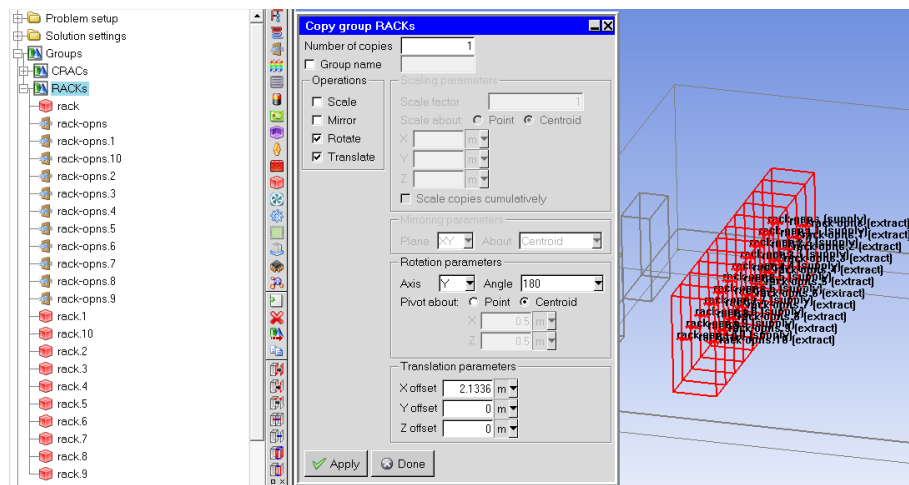


Figura 25. Creación de los Racks 3.

Y este es el progreso que va hasta este punto:

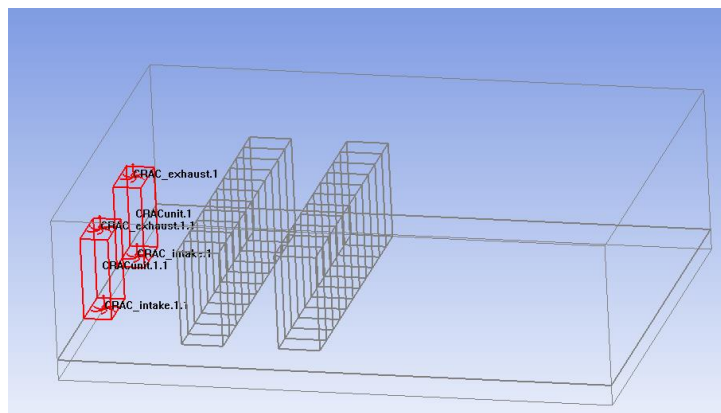


Figura 26. Creación de los Racks 4.

### 13.2.5. Creación de los RACKs de Alta Densidad

Ahora se creará otra fila doble de racks, pero estas tendrán distintas condiciones y serán orientadas a crear una fila de racks de alta densidad igual que como se hizo anteriormente con la primera, pero cambiando sus configuraciones como se muestra en la figura:

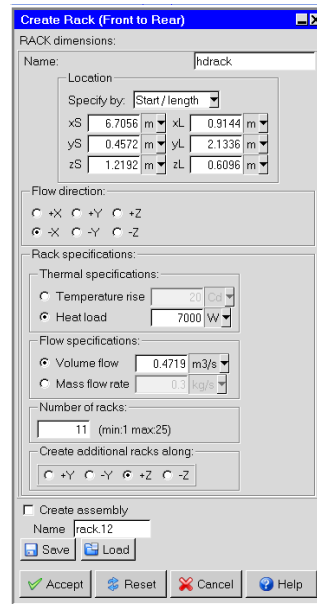


Figura 27. Creación de los Racks de Alta Densidad 1.

Tener en consideración que se cambia el nombre arriba para obtener la distinción de los nombres Alta Densidad (**HD** – High Density):

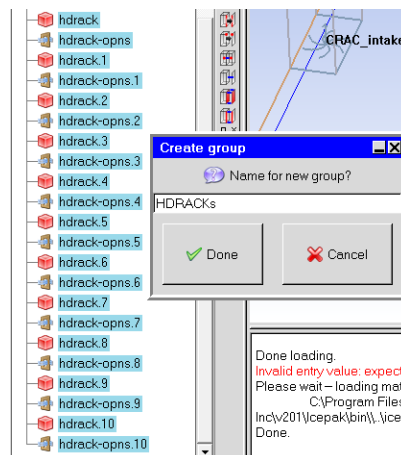


Figura 28. Creación de los Racks de Alta Densidad 2.

Igual que antes, se realiza el mismo proceso de copiado para duplicar y crear la segunda fila de racks de alta densidad. Este sería el resultado hasta el momento:

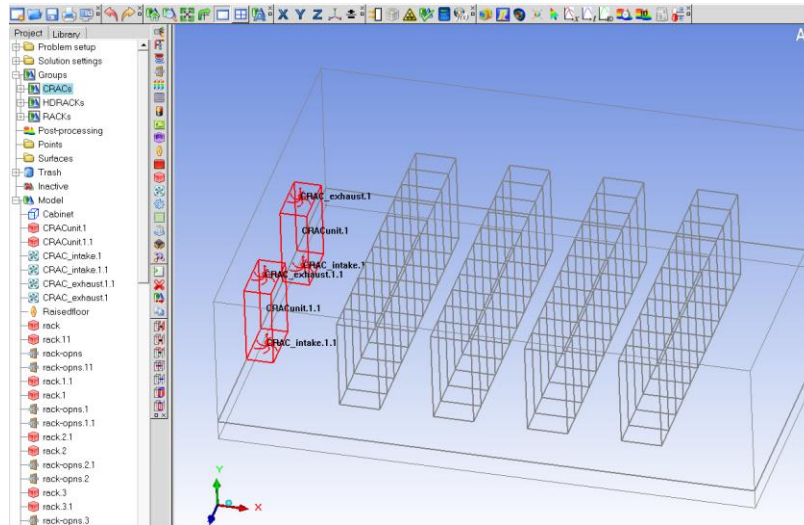


Figura 29. Creación de los Racks de Alta Densidad 3.

### 13.2.6. Creación de las Baldosas Perforadas

Una vez terminados los **Racks** procede a crear las baldosas perforadas de la siguiente manera:

**Macros → Geometry → Data Center Components → Tile**

Al ser 11 **racks** se crearán 11 baldosas, por su parte, se tendrá una nueva configuración no vista en los **CRACs** ni en los **Racks**, el porcentaje de área abierta. Esta se configurará al treinta y cinco por ciento.

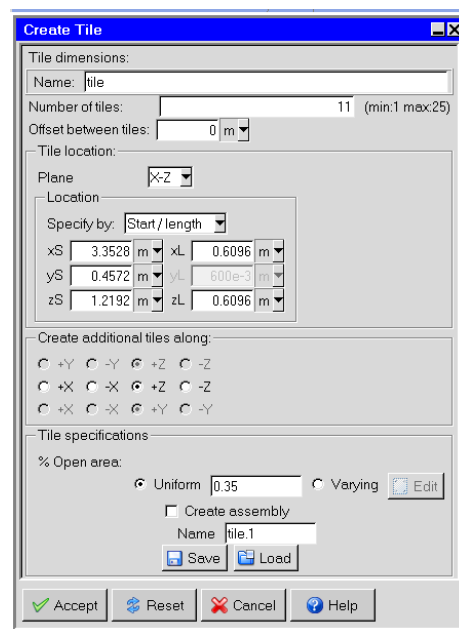


Figura 30. Creación de las Baldosas Perforadas 1.

Ahora se procede a agrupar las baldosas, del mismo modo que se ha venido haciendo y se copia el grupo creado para obtener la segunda fila de baldosas perforadas del piso elevando entre la pareja de filas de racks 1 y luego se copia ese grupo para recrear lo mismo en la pareja de filas de racks de alta densidad.

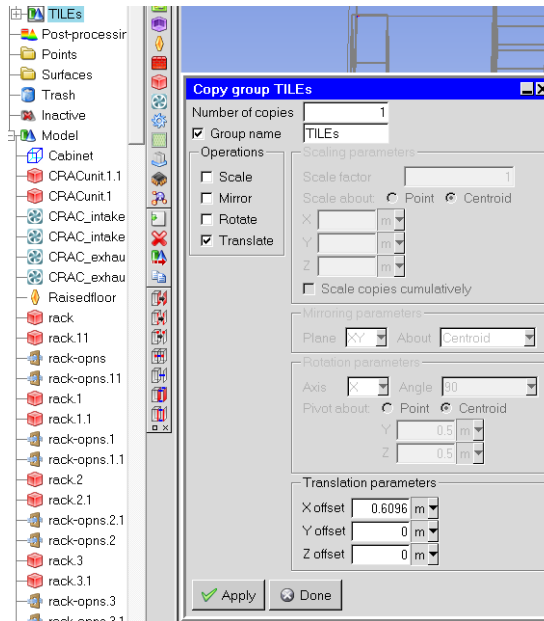


Figura 31. Creación de las Baldosas Perforadas 3.

Haga click en **Apply** → **Done**

Ahora que se han creado las baldosas se repite el proceso, pero con el siguiente **offset** en **X** para trasladar la copia a la mitad de la pareja de racks de alta densidad como se mencionó anteriormente.

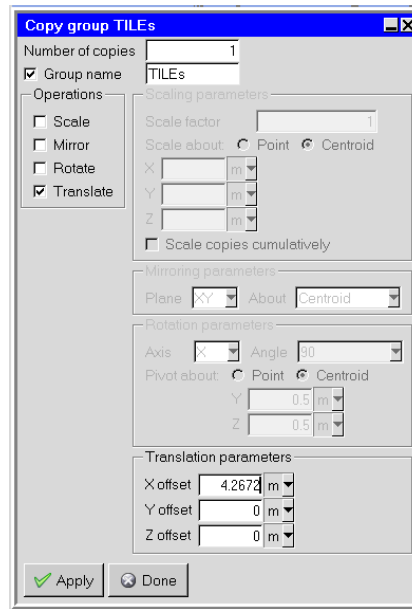


Figura 32. Creación de las Baldosas Perforadas 4.

Y este debería ser el resultado hasta el momento (ver figura 25):

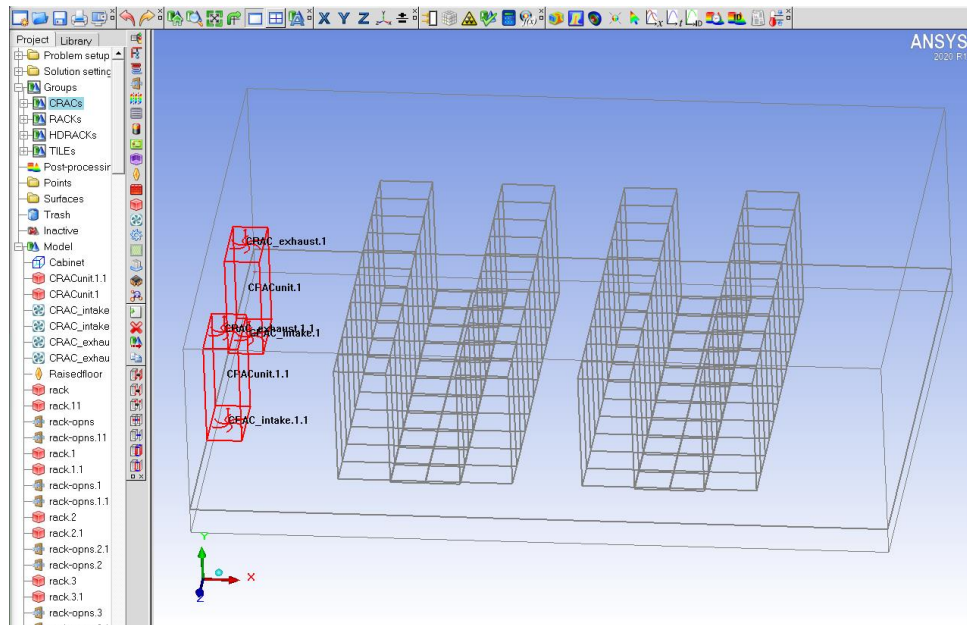


Figura 33. Creación de las Baldosas Perforadas 5.

### 13.2.7. Creación del Cielo Raso Perforado

Hasta el momento, se tienen unidades CRACs que expulsan aire enfriado por el cielo raso y este fluye a través de la sala desde el suelo, sin embargo ¿A través de que exactamente en el techo y como se redirecciona este? Para esto, se crean los puntos por los cuales el aire frío



que es calentado por los racks entra a la sala. Así como también el cielo raso mismo. En los íconos ubicados entre el modelo y el panel izquierdo, se encuentra este icono  el cual es para crear las perforaciones del cielo raso. (Fig. 26)

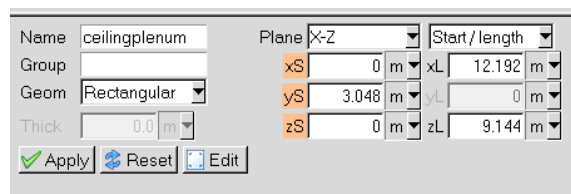


Figura 34. Creación del Cielo Raso Perforado.

Ahora se realizará básicamente lo mismo que cuando se creó al inicio el suelo elevado, pero en el techo siendo esta la propiedad de un cielo raso. Ahora se procede a crear los puntos de entrada para el aire frío que debe llegar a los **Racks** a través las áreas abiertas del cielo raso con el siguiente icono en el mismo panel mencionado anteriormente con esta forma  y de la misma manera se aplicarán los siguientes ajustes (Fig. 27):

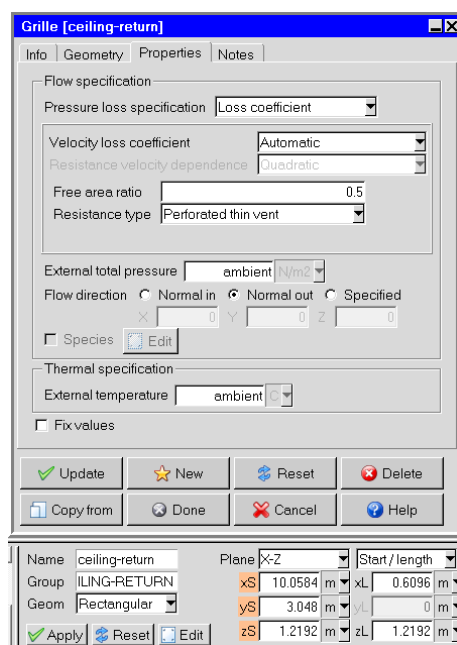


Figura 35. Creación de las Rejillas de Retorno 1.

Al hacer click en **Edit** será capaz de ver la ventana superior en la figura. En ella haga click en **Properties** y de ahí se podrá modificar la tasa de área libre como se aprecia en la figura (Free Area Ratio). Seguido a esto se procede a crear 5 copias de la original, creando 3 puntos de ingreso para las parejas de filas de racks.

Haga clic derecho en el grupo de **CEILING-RETURN** y clic en **copy**, luego asigne el número de copias a dos y los demás parámetros como se muestra en la Fig. 28:

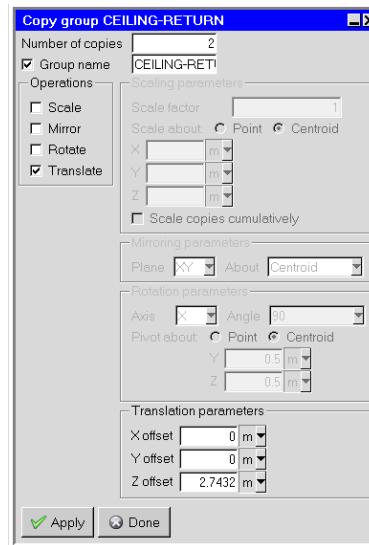


Figura 36. Creación de las Rejillas de Retorno 2.

Como es costumbre clic en **Apply** y luego **Done**. Y se repite el proceso con el mismo grupo, pero solo 1 copia y en **offset** en -X como se muestra en la Fig. 29:

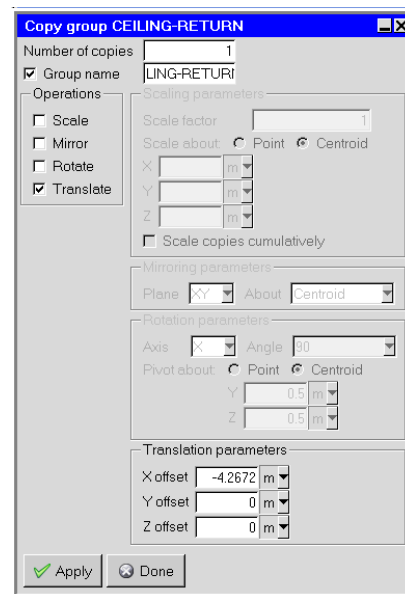


Figura 37. Creación de las Rejillas de Retorno 3.

Y este sería el resultado hasta el momento (Fig. 30):

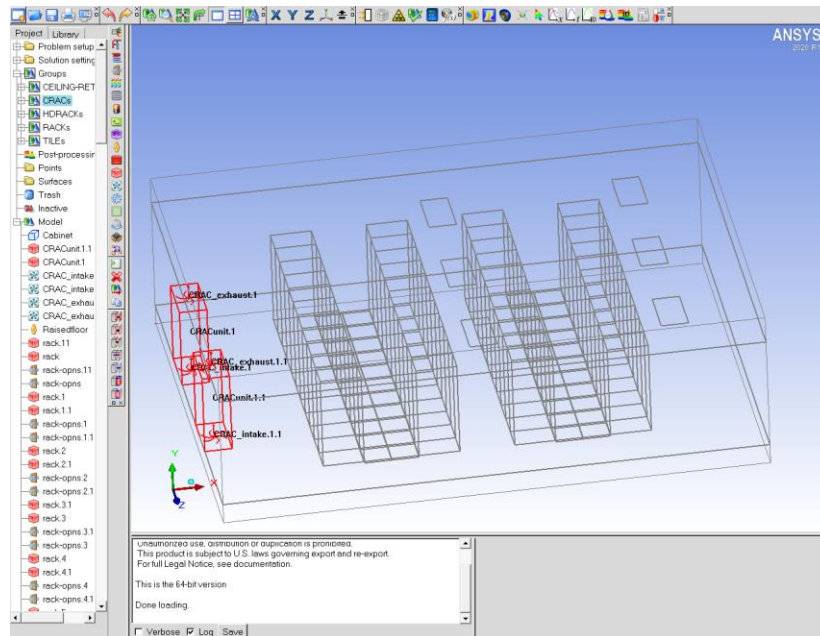


Figura 38. Creación de las Rejillas de Retorno 4.

Ahora ajustar el área abierta al 50% de las rejillas por las cuales el aire frío llega a los **Racks** a los cracs para ser refrigerados y continuar el ciclo en sala. Para esto se crea una nueva rejilla y se duplica como se muestra en la Fig. 31:

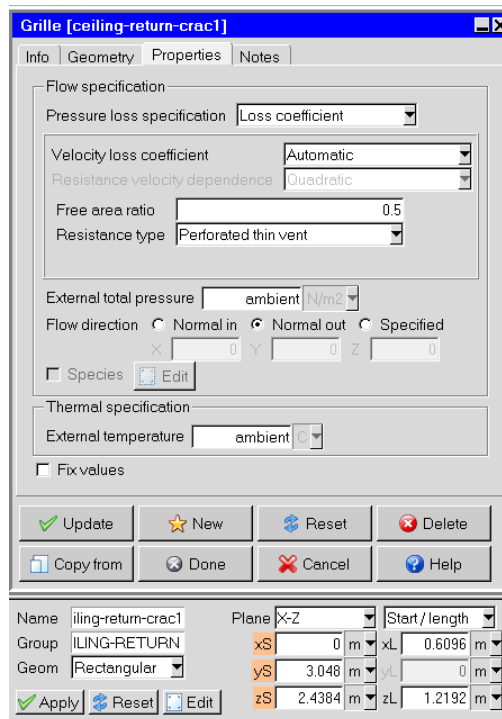


Figura 39. Creación de las Rejillas de Retorno 5.

Ahora lo que se debe hacer es seleccionar este elemento particular y copiarlo para que quede otra rejilla justo arriba del segundo crac. Con un offset en Z y se le cambia el nombre a **ceiling-return-crac2** y se prosigue a crear un Mesh control para todas las rejillas como se ha hecho anteriormente con los siguientes parámetros (Fig. 32):

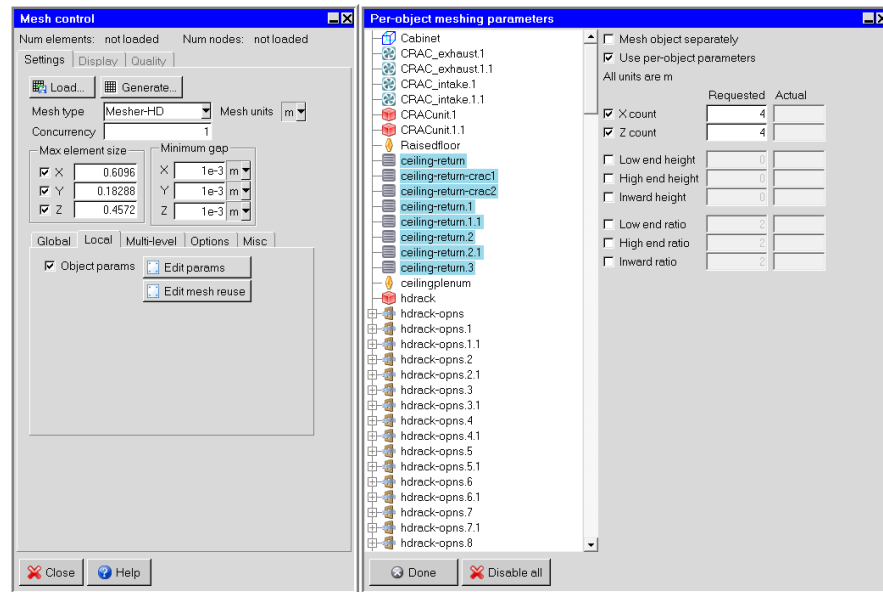


Figura 40. Creación de las Rejillas de Retorno 6.

Finalmente se obtiene lo siguiente en el modelo:

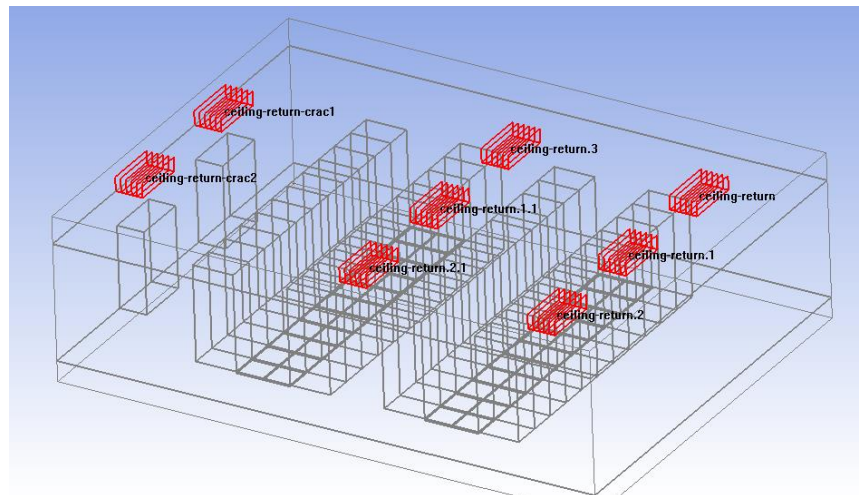


Figura 41. Creación de las Rejillas de Retorno 7.

### 13.2.8. Creación de las PDUs

Y casi a punto de terminar las unidades a generar dentro de la sala se encuentran una de las más importantes, las unidades de poder o **PDUs**, las cuales serán generadas como bloques

utilizando la opción **Macros** → **Geometry** → **Data Center Components** → **PDU** y así se podrá configurar una **PDU** para posteriormente copiarla como se ha venido haciendo durante el recorrido de este manual (Fig. 36):

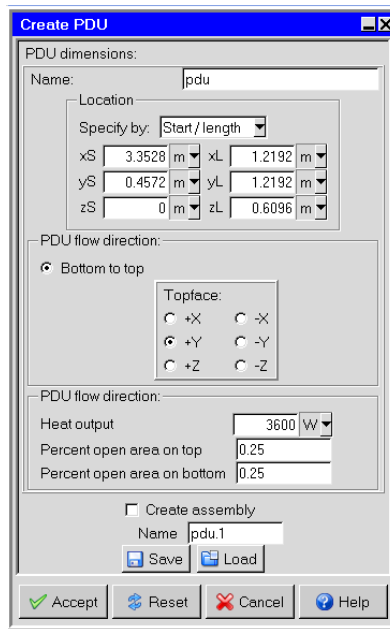


Figura 42. Creación de las PDUs 1.

Se procede a generar la malla a la entrada y la salida seleccionando de la lista Model, los elementos mostrados en la lista y con el botón de generado de malla, se abre la ventana de control de malla y haciendo click en la pestaña de local se muestra en la figura para darle el count en z y x como se muestra en la figura:

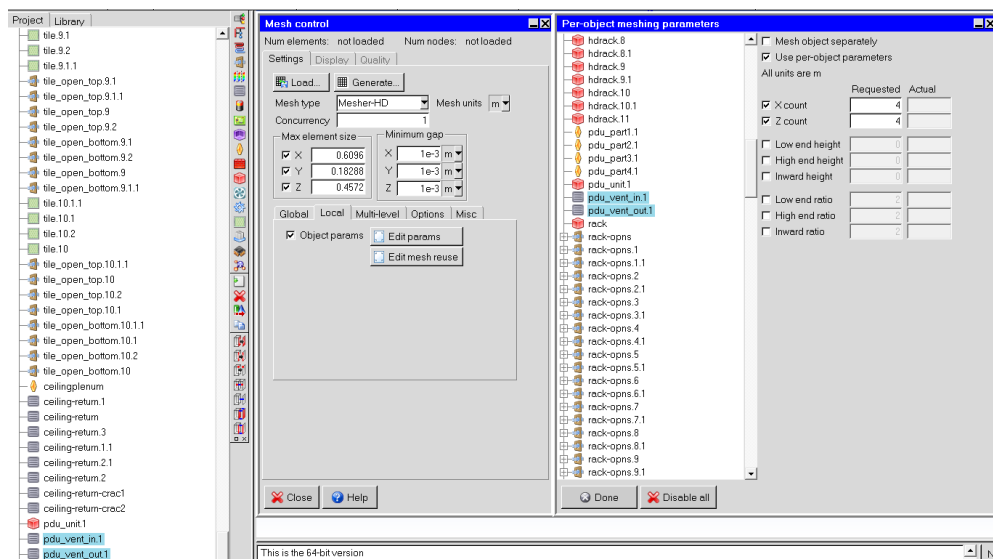


Figura 43. Creación de las PDUs 2.

Para crear una segunda PDU, se realiza el proceso de copiado que se ha visto durante todo el manual. Se crea un grupo bajo el nombre de PDUs con todos los elementos relacionados al PDU creado anteriormente al final de la lista de elementos en **Model**, click derecho → **Create** → **Group** y se nombra **PDUs** considerando que serán dos unidades.

Finalmente, al tener el grupo se da click derecho → **Copy**, y se llenan los espacios tal como se muestra en la figura o como lo requiera su ejercicio:

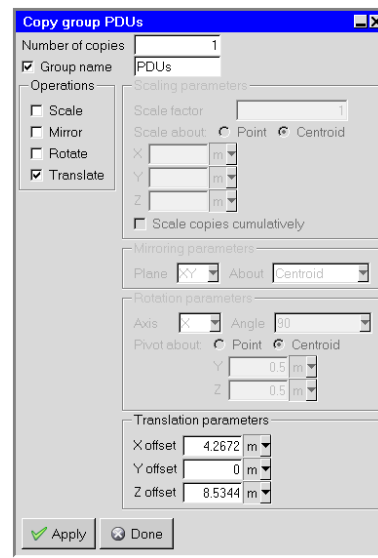


Figura 44. Creación de las PDUs 3.

Esto es lo que se obtiene:

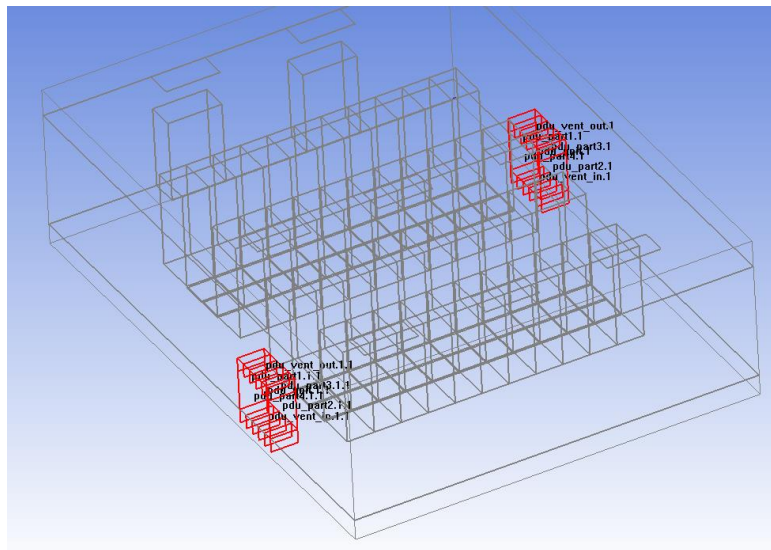


Figura 45. Creación de las PDUs 4.

### 13.2.9. Creación de Detalles

Se prosigue a crear detalles de estructura, tuberías y canaletas de cableado para las conexiones de los dispositivos. Para todo lo siguiente se sigue el mismo proceso. Click en el de bloques y se les da nombre, dimensiones y posición como se muestra en las siguientes figuras.

#### - Tuberías

The screenshot shows a dialog box for creating a piping. The 'Name' field is 'pipings'. The 'Group' is 'BLOCKAGE'. The 'Geom' is 'Prism'. The 'Type' is 'hollow'. The 'Start/length' dropdown is set to 'length'. The dimensions are: xS: 0 m, xL: 0.3048 m, yS: 0 m, yL: 0.3048 m, zS: 0 m, zL: 9.144 m. There are 'Apply', 'Reset', and 'Edit' buttons at the bottom.

Figura 46. Creación de las Tuberías.

#### - Bloques

The screenshot shows a dialog box for creating a blockage. The 'Name' field is 'blockage'. The 'Group' is 'BLOCKAGE'. The 'Geom' is 'Prism'. The 'Type' is 'hollow'. The 'Start/length' dropdown is set to 'length'. The dimensions are: xS: 10.9728 m, xL: 1.2192 m, yS: 0 m, yL: 3.6576 m, zS: 6.7056 m, zL: 2.4384 m. There are 'Apply', 'Reset', and 'Edit' buttons at the bottom.

Figura 47. Creación de los Bloques.

#### - Columnas

The screenshot shows two dialog boxes side-by-side for creating columns. The left dialog box is for 'column1' and the right is for 'column2'. Both have 'Name' fields with their respective names. The 'Group' is 'COLUMNS'. The 'Geom' is 'Prism'. The 'Type' is 'hollow'. The 'Start/length' dropdown is set to 'length'. The dimensions are: xS: 6.096 m, xL: 0.3048 m, yS: 0 m, yL: 3.6576 m, zS: 0 m, zL: 0.3048 m. There are 'Apply', 'Reset', and 'Edit' buttons at the bottom of each dialog.

Figura 48. Creación de las Columnas.

#### - Canaletas de Cableado

The screenshot shows a dialog box for creating a cable tray. The 'Name' field is 'cabletray1'. The 'Group' is 'CABLETRAYS'. The 'Geom' is 'Prism'. The 'Type' is 'solid'. The 'Start/length' dropdown is set to 'length'. The dimensions are: xS: 3.3528 m, xL: -0.6096 m, yS: 0.1524 m, yL: 0.1524 m, zS: 0.6096 m, zL: 7.3152 m. There are 'Apply', 'Reset', and 'Edit' buttons at the bottom.

Figura 49. Creación de las Canaletas.

En la fase actual del proceso de modelado, se ha establecido que se requiere un cableado individual por cada fila de racks, resultando en tres cableados adicionales. Para lograr esto, se realiza la duplicación del grupo de bandejas porta cables ("CABLETRAYS") que se creó

previamente. Esta duplicación se lleva a cabo con desplazamientos en la coordenada X: primero con un desplazamiento de 1.8288 metros y luego con otro de 4.2672 metros.

Con la finalización de este paso, el modelo ha sido completamente desarrollado en términos de infraestructura. El siguiente enfoque se dirige hacia la generación de la malla y la implementación de puntos de monitoreo. Hasta ahora, se ha concluido con éxito el primer paso en el flujo de trabajo del proceso de modelado. Procederemos ahora al segundo paso: la creación de una malla para evaluar los puntos de calor dentro del modelo.

### 13.3. CONFIGURACIÓN DE LA SIMULACIÓN

La configuración de la simulación se compone de varios pasos que ajustan el funcionamiento o parámetros del modelo para que los sólidos creados con algunos parámetros anteriormente tengan sentido a la hora de correr el programa.

#### 13.3.1. Configuración de la Malla

Se inicia por el generado de la malla de todo el modelo finalizado, para el modelo presente con los siguientes valores configurados en el Max Element Size y el Minimum Gap:

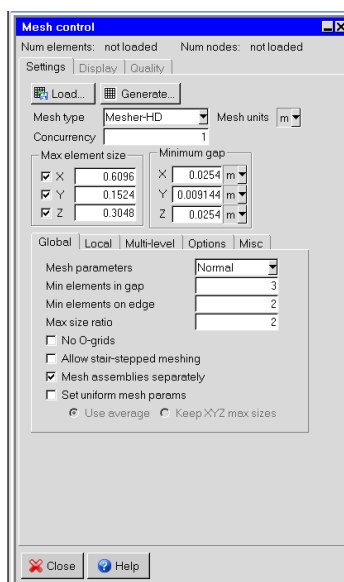


Figura 50. Configuración del Mesh Control.



Una vez esto sea realizado es posible que el programa de dos resultados:

El primero, idealmente correrá la malla sin problema alguno, lo cual básicamente se podrá ver reflejado en el log en la parte inferior del programa.

El segundo, posiblemente de dos errores, uno, puede verse dado a alguna conversión errada si está trabajando en otro sistema de unidades, y la otra razón, siendo esta la más común, es que el lugar donde usted ha decidido guardar el archivo no lo reconoce el programa, por lo cual deberá cambiar su ubicación preferiblemente al escritorio e intentar correr la simulación nuevamente, esto no influirá en su progreso ni corromperá los archivos.

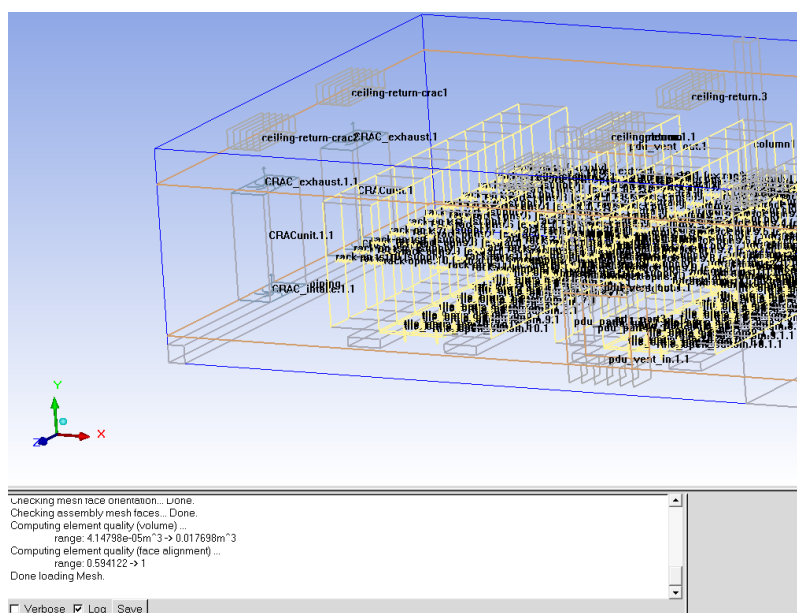


Figura 51. Carga de la Malla Creada.

### 13.3.2. Creación de los Puntos de Monitoreo

Ya que la malla ha sido creada, procede crear puntos de monitoreo los cuales se utilizarán para poder saber que sucede en un punto específico de la simulación siendo este el paso dos del diagrama de flujo de proceso de modelado. Para efectos del ejercicio se tomarán los puntos de escape de aire del **CRAC** que, como se vio anteriormente, se encuentran en la parte superior del equipo.

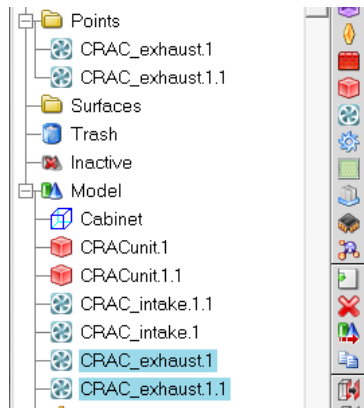


Figura 52. Creación de los Puntos de Monitoreo.

Se seleccionan los puntos y se arrastran a la carpeta de **Points** en la cual se duplicarán. En dicha carpeta, estos puntos serán identificados por el sistema como puntos a analizar dentro de la simulación. Por lo cual, a continuación, en la misma columna de parámetros, se deberá dirigir a la primera carpeta que se llama **Problem Set Up**. En esta carpeta serán visibles algunas opciones entre las cuales se seleccionará **Basic Parameters**. El cual se configurará con los valores mostrados en la pestaña de **General Set Up**:

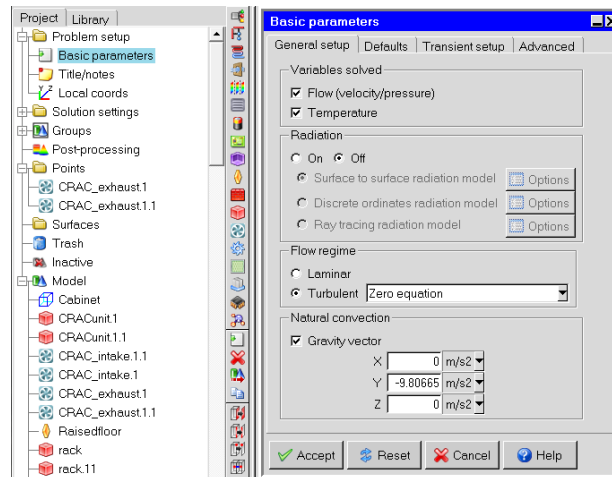


Figura 53. Configuración de los Parámetros Básicos de la Solución de la Simulación 1.

Para el apartado de **Defaults**, estos serían los valores a cambiar:

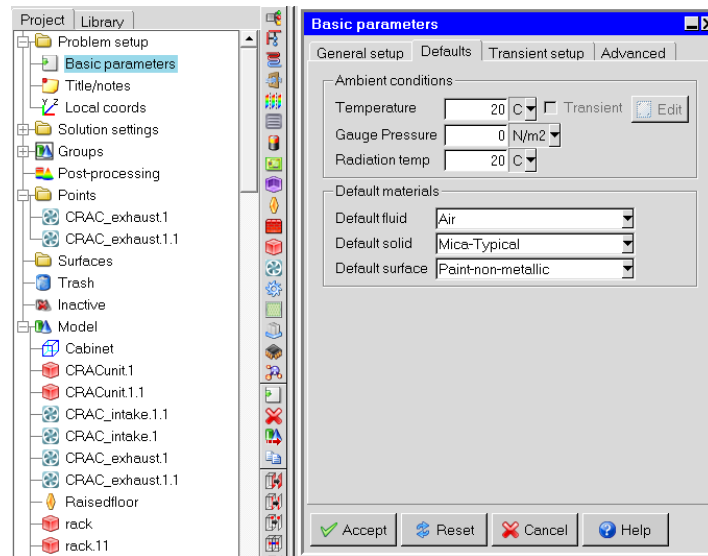


Figura 54. Configuración de los Parámetros Básicos de la Solución de la Simulación 2.

Para el apartado de **Transient Setup**, estos serían los valores a cambiar:

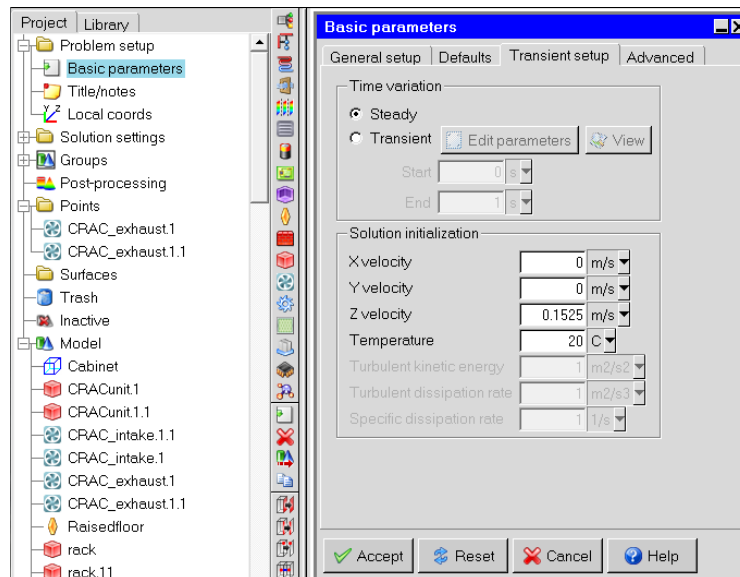


Figura 55. Configuración de los Parámetros Básicos de la Solución de la Simulación 3.

Para problemas que involucren convección natural, velocidad inicial en el eje Y mayor o menor a cero es recomendable.

Para el apartado de **Advanced**, estos serían los valores a cambiar:

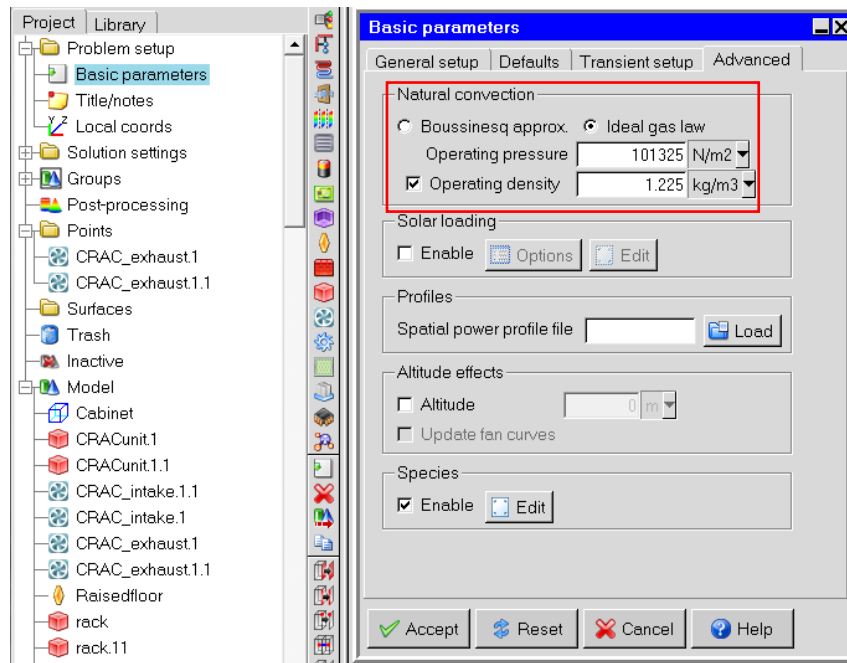


Figura 56. Configuración de los Parámetros Básicos de la Solución de la Simulación 4.

Utilizar ley de gases ideales es recomendable para problemas con grandes deltas de temperatura ya que es una manera sencilla y confiable de relacionar la presión y la densidad en aplicaciones manuales. La implicación que tiene seleccionar esta opción en lugar de **Boussinesq approx.** es que permite especificar tanto la presión como densidad del gas en el espacio en este caso, siendo dicho gas el aire.

Una vez parametrizados los escapes de los CRACs, lo que procede es parametrizar las entradas de los mismos, para esto, se seleccionan los dos de la lista de elementos del modelo y se procede a editarlos, una vez allí, se selecciona la opción de *Species*, que se encuentra en la pestaña de *Properties* y se le agrega un RH del 50% a la toma de aire de los CRACs.

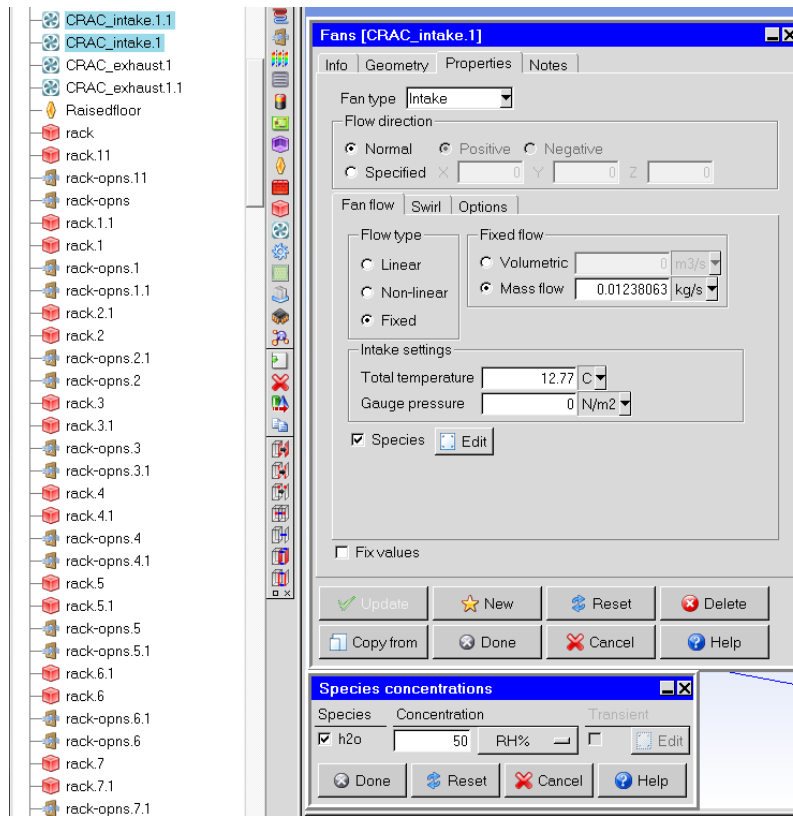


Figura 57. Parametrización de los CRACs.

Con esto se da por parametrizada la malla y se procede con la solución de la misma. En este caso, si la solución al analizar los resultados provee valores que se puedan considerar ilógicos o simplemente muy alejados del modelo real, se procede a reevaluar los mismos tal como se estipula en el diagrama de proceso de modelado.

Para el siguiente paso, se parametriza la solución, esto, cambiando el número de iteraciones para mayor confiabilidad y el criterio de convergencia de energía como se muestra a continuación:

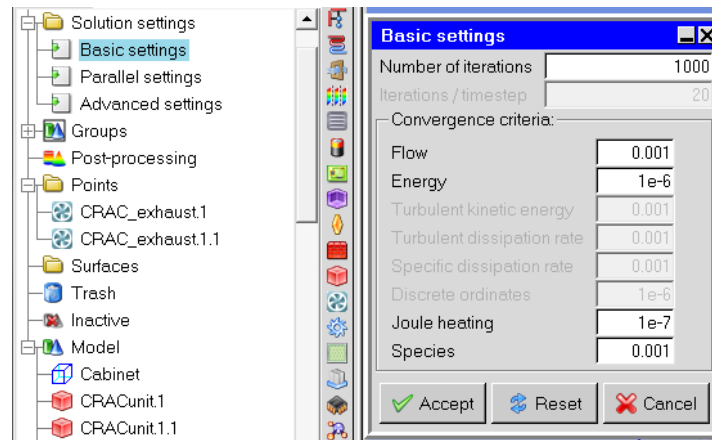


Figura 58. Ajustes Básicos de Iteraciones de la Simulación.

Finalmente, los valores finales se parametrizan de la siguiente manera para los **Advanced Settings** de la solución.

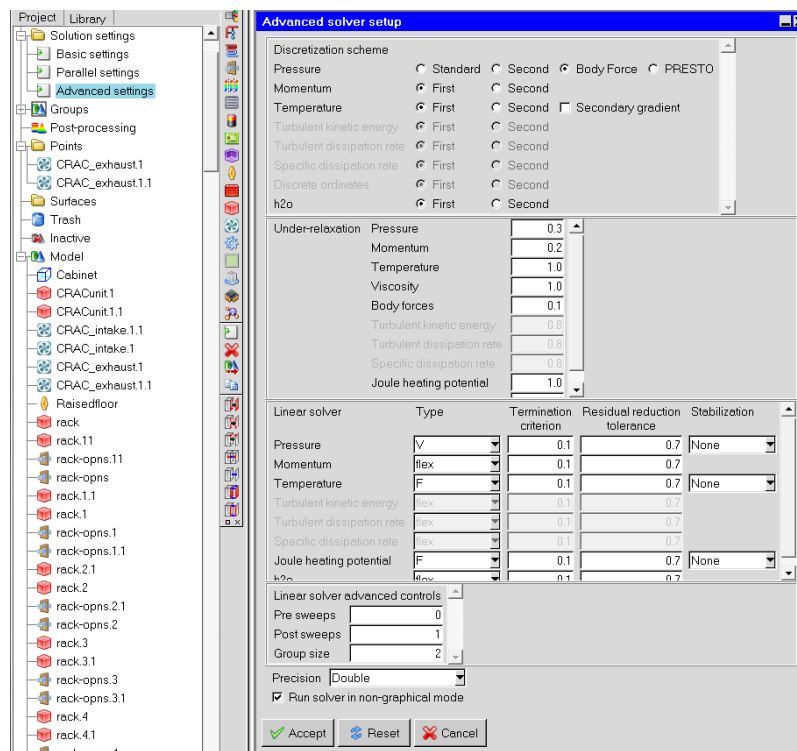


Figura 59. Ajustes Avanzados de la Solución de la Simulación.

De aquí en adelante solo resta guardar el progreso aparte y simular.

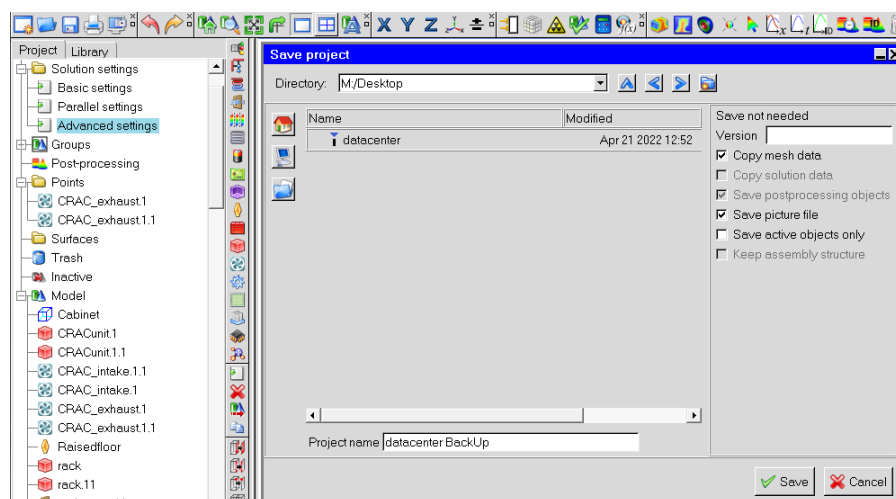


Figura 60. Guardar Proyecto Pre Solución.

### 13.4. CORRER LA SIMULACIÓN

Para correr la solución y empezar a obtener resultados gráficos de la simulación, se deberá dirigir a la opción de **Solve, Run Solution**. Una vez en este cuadro seleccionará la pestaña de **Results** y en dicha pestaña habilitará la opción de **CFD Post/Mechanical data**. Y para finalmente hará click en la opción de **Start Solution**.

Una vez hecho esto, el log comenzará a darle mensajes de que la simulación está iniciando, por lo cual usted podrá asegurarse de que en efecto el ejercicio se está cargando y podrá ver las temperaturas, con respecto al tiempo dependiendo al número de iteraciones ir proyectándose en una gráfica:

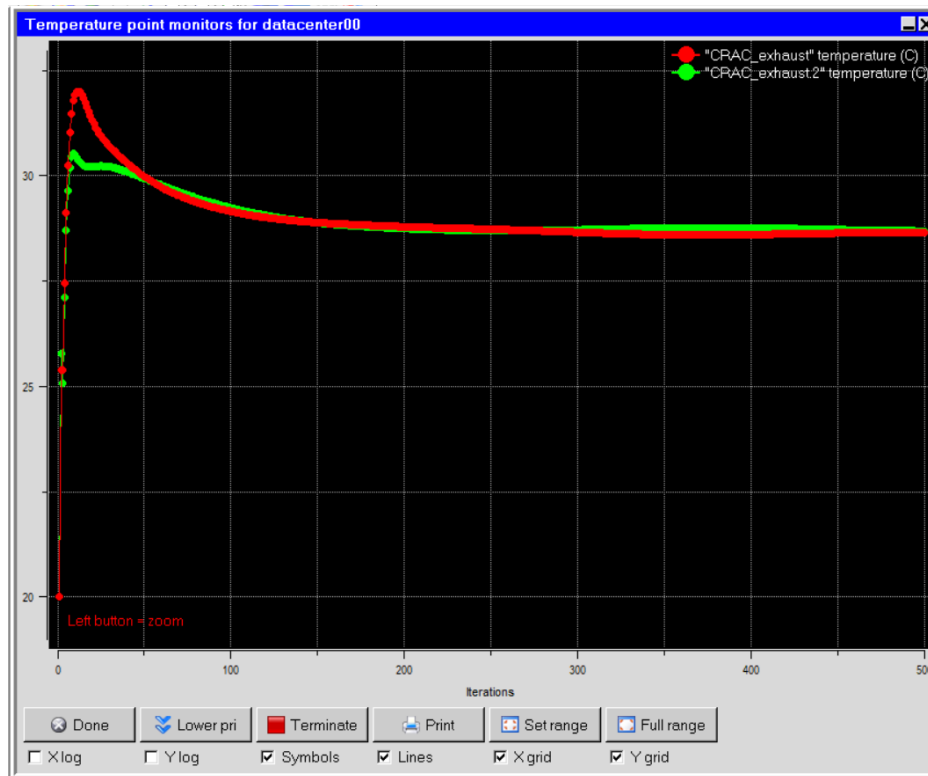


Figura 61. Gráfica de Puntos de Monitoreo – Temperatura Vs Iteraciones.

Finalmente, lo que procede es presentar y examinar los resultados. El objetivo de esta sección es el de considerar los patrones de flujo de aire e identificar áreas que tengan problemas tales como puntos de calor o zonas de recirculación. Para esto, se utilizan las herramientas de post procesado disponibles en Icepak.

### 13.5. PRESENTACIÓN DE DATOS Y POST-PROCESADO

Se hará click en la herramienta **Object Face** () la cual se encuentra al tope de la barra horizontal de opciones y en esta se podrá nombrar esta simulación de la manera que convenga. En este caso se llamará **surface-temp-contours**. Después de esto, se selecciona de la lista desplegable los elementos a necesitar de aquí. Los cuáles serán los grupos **CRACs**, **HDRACKs**, **PDU**s, **RACKs** y luego click en **accept**.



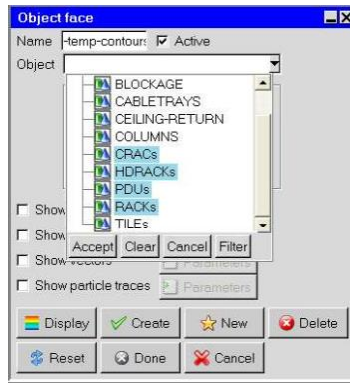


Figura 62. Configuración de Object Face.

Ahora es posible mostrar los contornos (**Show Contours**) que permitirá ver como las superficies se ven afectadas en temperaturas y tener la referencia de la temperatura con el gráfico de barras que esta opción genera. Al chequear esta opción puede proceder a dar click en *create* lo cual debería generar el siguiente gráfico del modelo:

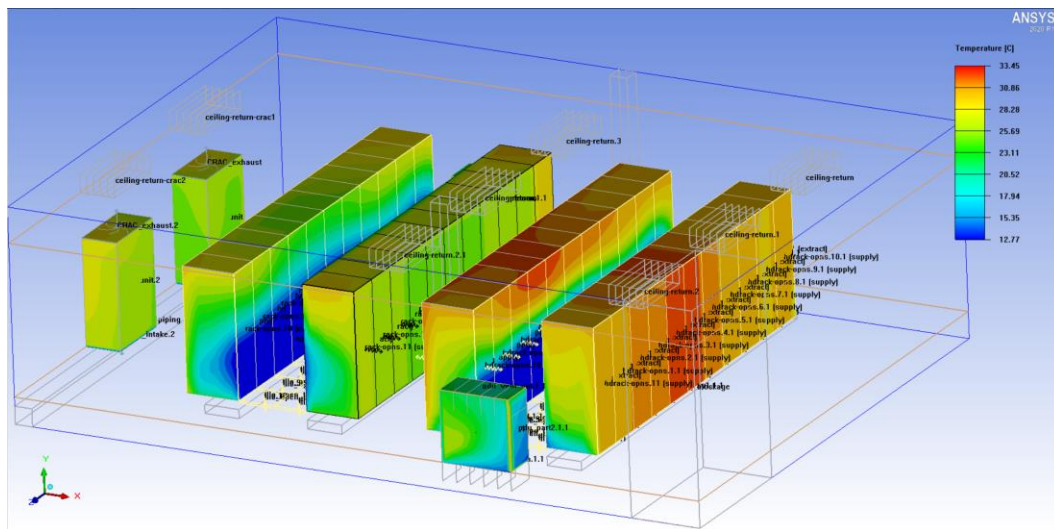


Figura 63. Temperatura Superficial de los Equipos Arreglo 1.

Para efectos de estudio, se pueden reposicionar los distintos equipos sin causar estragos al resto de la configuración del modelo. Ahora bien, en este ejercicio no se consideró la restricción por líneas de suministro eléctrico con fines prácticos y demostrativos. Esto servirá para rápidamente obtener distintos resultados al reacomodar los equipos de enfriamiento, y demás elementos que influyen en la sala a nivel térmico. En este caso, se han reposicionado

los CRACs a los extremos en la sala dejando estos en las esquinas para verificar que sucede en este caso como se muestra en la figura:

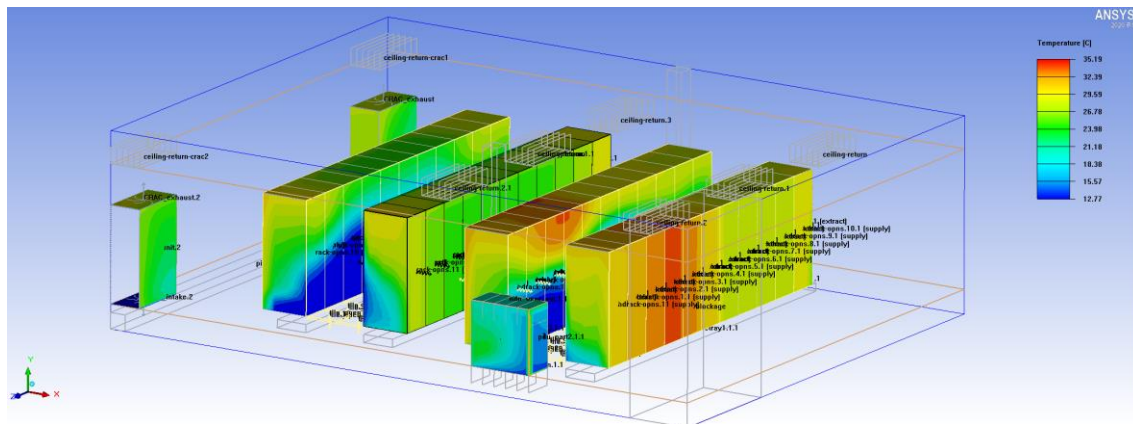


Figura 64. Temperatura Superficial de los Equipos Arreglo 2.

Visto y considerando el poco espacio que se tiene disponible para reorganizar los equipos, en este caso no se ha visto un mayor cambio en el delta de temperaturas con respecto a la temperatura máxima encontrada en la anterior disposición del espacio, así mismo, se puede observar cómo el comportamiento de las temperaturas es básicamente el mismo en los equipos, por lo cual la distribución inicial se considera segura, al mantener los equipos electrónicos operando por debajo de 50°C, siendo este el límite de seguridad para estos equipos. Ahora bien, es importante aclarar que estos son resultados de la temperatura que soportan los equipos en cada punto de su superficie.

Incluso, considerando el aspecto financiero, se puede probar la implementación de solo un CRAC trabajando en este **Data Center**, lo cual, considerando los resultados obtenidos anteriormente, se puede asumir de antemano que no será una alternativa viable, sin embargo, puede dar mayor perspectiva para futuras aplicaciones:

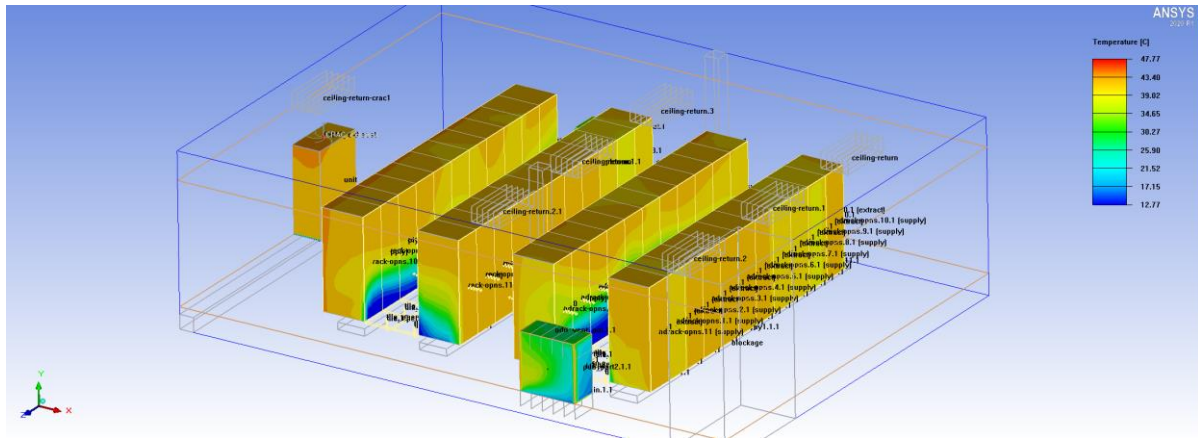


Figura 65. Temperatura Superficial de los Equipos Arreglo 3.

Además de esto, la herramienta de post procesamiento también permite que se realice un corte en plano con la opción **Plane Cut**  para ver un área plana transversal del espacio. De esta forma se puede verificar como las temperaturas se comportan en el aire mismo a través del **Data Center**.

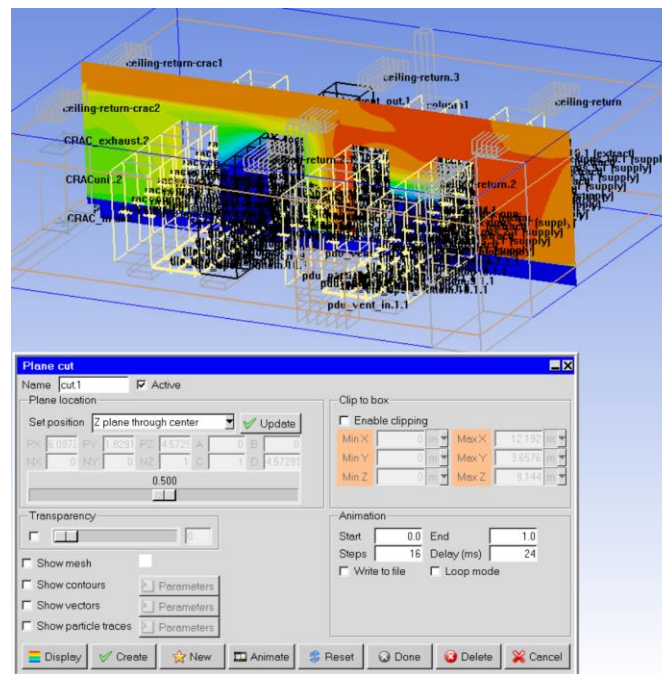


Figura 66. Temperatura en Plano de Corte a Través de la Sala.

Una de las posibilidades que se tienen a la mano es la de animar un rango de temperatura en una superficie en 3D dentro del modelo, de esta forma se puede observar a través del espacio como se maneja ese valor de temperatura específico. Para esto, se usa la herramienta **Isosurface** , con la cual se puede representar todo:



Puede ocultar la visual de la isosuperficie seleccionándola y haciendo click en active para que se vuelva inactiva pero no se elimine. Con esto se demuestra el potencial del programa dependiendo de la necesidad de quien utilice el programa. Sea que necesite saber cómo se ve el flujo de aire y orientar los equipos de otra forma, o sea que quiera determinar zonas o puntos de calor dentro del **Data Center** y determinar si los mismos presentan algún riesgo considerable para los equipos o si estos acumulan calor afectando a largo plazo a los mismos. Esta será la intuición que deberá tener quien maneje el programa para identificar los posibles problemas que tengan a la hora de comprobar un diseño de **Data Center**, a través del modelado del mismo.

Dejando de lado el post procesado, se pueden generar reportes del flujo volumétrico en una tabla que resume lo que pasa en cada elemento de ser necesario. Para esto, irá a la opción de **Report, Summary Report**, aquí se selecciona la opción Define **Summary Report**. Haga click en nuevo, para poder generar un nuevo campo en el cual parametrizar el reporte. En la lista de objetos se seleccionarán los dos escapes de los **CRACs** y se hará click en aceptar.

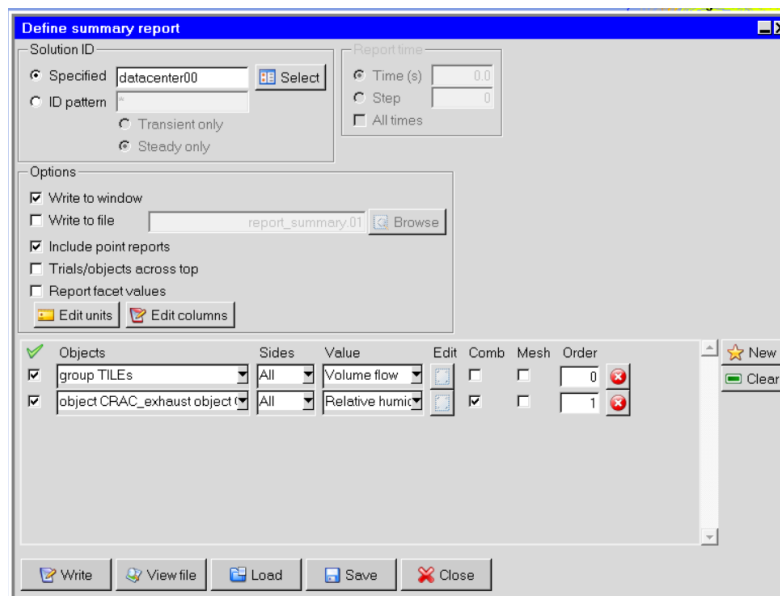
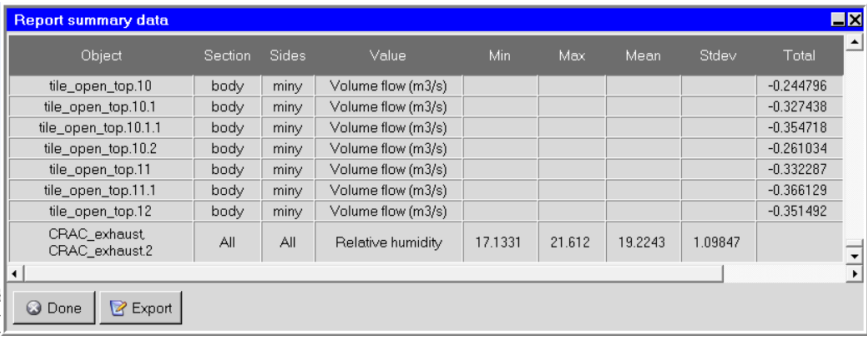


Figura 69. Configuración del Reporte de Datos Resumido.



Haga click en **Write** para mostrar el reporte.



| Object                         | Section | Sides | Value              | Min     | Max    | Mean    | Stdev   | Total     |
|--------------------------------|---------|-------|--------------------|---------|--------|---------|---------|-----------|
| tile_open_top.10               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.244796 |
| tile_open_top.10.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.327438 |
| tile_open_top.10.1.1           | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.354718 |
| tile_open_top.10.2             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.261034 |
| tile_open_top.11               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.332287 |
| tile_open_top.11.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.366129 |
| tile_open_top.12               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.351492 |
| CRAC_exhaust<br>CRAC_exhaust.2 | All     | All   | Relative humidity  | 17.1331 | 21.612 | 19.2243 | 1.09847 |           |

Figura 70. Reporte de Datos Resumido 1.

Y eso sería finalmente un paso a paso detallado para la generación de una simulación de reportes y post procesados de **Data Center**.

Finalmente, y como parte complementaria a todo el ejercicio ejemplo, se dará un ejemplo de cómo poder revisar a qué punto se estabiliza el sistema y como obtener lo que sería la independencia de malla, seguido a esto, como realizar la selección de un equipo de refrigeración:

## 11.6. CONVERGENCIA DEL SISTEMA

Para la convergencia del sistema, se debe asegurar que no haya cambios drásticos en los resultados al ajustar los números de iteración, este puede variar mucho de sistema a sistema, entre más complejo, mayor número de iteraciones puede tomar. En este caso, se establece un número de iteraciones que no afecte los resultados hasta el tercer decimal de la humedad relativa que fue calculado por el programa y expuesto en la tabla de **Report Summary Data**. Cambiando los parámetros básicos de la solución, se puede establecer un distinto número de iteraciones hasta encontrar el mínimo número con el cual se puede encontrar el punto de convergencia del sistema. Tenga en cuenta que 1000 iteraciones fueron las seleccionadas para este estudio de malla. Sin embargo, hasta 500 iteraciones los resultados se mantienen altamente similares como se puede observar en el siguiente reporte configurado a 500 iteraciones:

| Report summary data            |         |       |                    |         |        |         |         |           |
|--------------------------------|---------|-------|--------------------|---------|--------|---------|---------|-----------|
| Object                         | Section | Sides | Value              | Min     | Max    | Mean    | Stdev   | Total     |
| tile_open_top.10               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.244796 |
| tile_open_top.10.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.327438 |
| tile_open_top.10.1.1           | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.354718 |
| tile_open_top.10.2             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.261034 |
| tile_open_top.11               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.332287 |
| tile_open_top.11.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.366129 |
| tile_open_top.12               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.351492 |
| CRAC_exhaust<br>CRAC_exhaust.2 | All     | All   | Relative humidity  | 17.1331 | 21.612 | 19.2243 | 1.09847 |           |

Figura 71. Reporte de Datos Resumido 2.

Ahora, con 450 iteraciones, se puede observar un cambio importante en la data como se muestra a continuación:

| Report summary data            |         |       |                    |        |         |         |         |           |
|--------------------------------|---------|-------|--------------------|--------|---------|---------|---------|-----------|
| Object                         | Section | Sides | Value              | Min    | Max     | Mean    | Stdev   | Total     |
| tile_open_top.10               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |        |         |         |         | -0.242183 |
| tile_open_top.10.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |        |         |         |         | -0.324766 |
| tile_open_top.10.1.1           | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |        |         |         |         | -0.357113 |
| tile_open_top.10.2             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |        |         |         |         | -0.261896 |
| tile_open_top.11               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |        |         |         |         | -0.331903 |
| tile_open_top.11.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |        |         |         |         | -0.362958 |
| tile_open_top.12               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |        |         |         |         | -0.342471 |
| CRAC_exhaust<br>CRAC_exhaust.2 | All     | All   | Relative humidity  | 17.128 | 21.6424 | 19.2277 | 1.09655 |           |

Figura 72. Reporte de Datos Resumido 2.

Esto podría darnos a entender que simplemente a 500 iteraciones tenemos el número ideal donde se encuentra la convergencia del sistema. Sin embargo, a manera de ejercicio, se muestra a continuación que sucede a 490 iteraciones:

| Report summary data            |         |       |                    |         |        |         |         |           |
|--------------------------------|---------|-------|--------------------|---------|--------|---------|---------|-----------|
| Object                         | Section | Sides | Value              | Min     | Max    | Mean    | Stdev   | Total     |
| tile_open_top.10               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.244392 |
| tile_open_top.10.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.327045 |
| tile_open_top.10.1.1           | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.355184 |
| tile_open_top.10.2             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.26118  |
| tile_open_top.11               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.332237 |
| tile_open_top.11.1             | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.365205 |
| tile_open_top.12               | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |         |         | -0.349564 |
| CRAC_exhaust<br>CRAC_exhaust.2 | All     | All   | Relative humidity  | 17.1344 | 21.623 | 19.2251 | 1.09865 |           |

Figura 73. Reporte de Datos Resumido 3.

En este ensayo a 490 iteraciones se puede observar cómo claramente como los resultados se acercan más a la convergencia del sistema por lo cual se establece que la independencia de

mallla se encuentra a las 500 iteraciones, ya que de aquí a 1000, no se encuentran cambios significativos en los resultados expuestos en los reportes dado el parámetro de cambios aceptables hasta el tercer decimal como se dijo anteriormente.

### 11.7. INDEPENDENCIA DE MALLA

Como se explicó en la sección 5.5.5 (*Creación de CRACs*), la independencia de malla se puede editar por objeto o a nivel **Local** como el programa lo reconoce en sus pestañas, lo que hace referencia a por equipo modelado dentro de la sala, o a nivel general. Una manera sencilla de poder detectar la independencia de malla es incrementar los parámetros a nivel global dentro de la ventana de **Mesh Control** a la cual se accede en el panel de herramientas superior bajo el ícono  lo que abre la mencionada ventana:

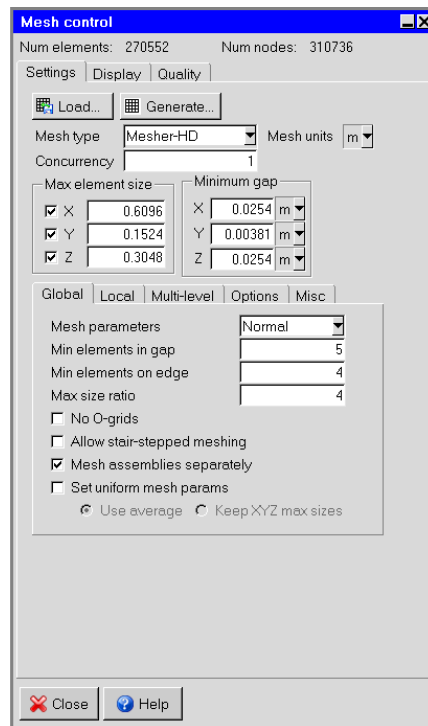


Figura 74. Panel de Parámetros de enmallado.

En dicha ventana los valores a cambiar para cambiar la densidad de la malla son:

*Min Elements in Gap*: Esta opción establece el número mínimo de elementos finitos que deben estar en espacio vacío entre dos sólidos del modelado.

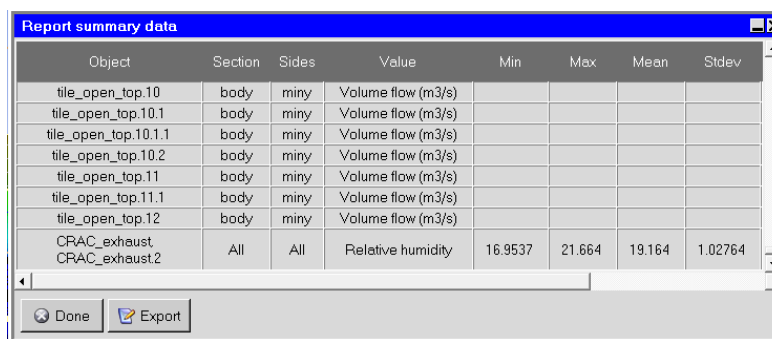


*Min Elements on Edge*: Esta opción establece el número mínimo de elementos finitos que deben estar a lo largo de cualquier borde de los sólidos del modelado.

*Max Size Ratio*: Esta opción establece la relación máxima entre el tamaño de los elementos finitos adyacentes.

Cabe resaltar que si el número de elementos finitos en el vacío o en los bordes, o si la relación máxima entre el tamaño de los elementos adyacentes es mayor al valor especificado, el software generará automáticamente una malla adicional para llenar la el vacío.

Al cambiar los valores de densidad pasando en *Min Elements in Gap* de 3 a 5 y, *Min Elements on Edge* y *Max Size Ratio* de 2 a 4, nos encontramos con los siguientes valores al momento de correr la simulación:



| Object                        | Section | Sides | Value              | Min     | Max    | Mean   | Stdev   |
|-------------------------------|---------|-------|--------------------|---------|--------|--------|---------|
| tile_open_top.10              | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |        |         |
| tile_open_top.10.1            | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |        |         |
| tile_open_top.10.1.1          | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |        |         |
| tile_open_top.10.2            | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |        |         |
| tile_open_top.11              | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |        |         |
| tile_open_top.11.1            | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |        |         |
| tile_open_top.12              | body    | miny  | Volume flow (m3/s) |         |        |        |         |
| CRAC_exhaust<br>CRAC_exhaust2 | All     | All   | Relative humidity  | 16.9537 | 21.664 | 19.164 | 1.02764 |

Figura 75. Reporte de Datos Resumido Con Malla Densa.

Como se puede evidenciar, cambiando la densidad de malla cambian los resultados, ahora bien, es posible que la precisión de esto pueda llegar a ser insignificantes dependiendo de cuánto tiempo tomen los mismos, por lo cual es importante realizar este análisis y tener los datos más precisos con el menor tiempo de uso de los recursos posible y así obtener resultados con mayor eficiencia.