

Diseño del sistema de aire acondicionado para quirófano de la unidad clínica la magdalena, ubicada en la ciudad de Barrancabermeja Santander, cumpliendo con los lineamientos del capítulo de calidad de aire interior de la pre norma colombiana de climatización en ambientes hospitalarios, la normativa colombiana vigente y las recomendaciones del estándar ASHRAE 170.

Jose Manuel Castiblanco Bautista

Trabajo de Grado para Optar el título de especialista en ingeniería de refrigeración y climatización

Director

Roberto D’Anetra

Ingeniero mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingeniería físico-mecánicas

Escuela De Ingeniería Mecánica

Especialización En Ingeniería De Refrigeración Y Climatización

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y sabiduría para lograr mis Objetivos.

A mi madre.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido formarme como una persona de bien, pero más que nada, por su amor en todo momento.

A mi padre.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su exigencia que siempre buscaba mostrar lo mejor de mí.

A mi hermana por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí a ser una persona responsable y dedicada.

A mis maestros, amigos y novia gracias por su tiempo, por su apoyo en todo momento, por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación en esta especialización.

Tabla de contenido

1.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.1 Identificación del problema	10
2.OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo general.....	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	11
4.ANÁLISIS DE LA LITERATURA RECOPIADA	12
4.1 Marco teórico	12
4.1.1 Objetivos del sistema de climatización en edificaciones de uso hospitalario.....	12
4.1.2 Calidad del aire..	13
4.1.3 Consideraciones técnicas	13
a. Toma de aire exterior para calidad de aire interior o presurización.....	14
b. Componentes de los sistemas de acondicionamiento de aire.....	15
c. Cuarto de maquinas	15
4.1.4 Unidades manejadoras de aire: gabinete o estructura	16
a.Serpentín de enfriamiento	17
b.Ventiladores	18
4.1.5 Monitoreo de la presión del sistema.	18
4.1.6 Conductos y registros de inspección.....	19
4.1.7 Parámetros de diseño para zonas específicas críticas y generales.	21
4.2 MARCO CONCEPTUAL	22
4.2.1 Clasificación quirófanos..	22
4.2.1.1 Quirófano clase A..	23
4.2.1.2 Quirófano clase B.	24
4.2.1.3 Quirófano clase C..	24
4.3 MARCO LEGAL.....	26
5.DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL QUIRÓFANO.....	28
5.1 Cálculo de cargas térmicas.....	28
5.2 Diseño de ductos de suministro y retorno.....	39
5.3 Difusores, filtros y rejillas de retorno	41
5.4 Selección de equipos.....	43
6.CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

Lista de figuras

Figura 1 Indoor/outdoor design conditions.....	29
Figura 2 Operating profiles.....	30
Figura 3 General Project - Design	31
Figura 4 General project - More design.....	32
Figura 5 Master data - Partitions.....	33
Figura 6 Room data - Main.....	34
Figura 7 Room data - Miscellaneous	35
Figura 8 Air handle - Main	35
Figura 9 Perfiles operacionales 24 horas	37
Figura 10 Distribución de cargas térmicas.....	37
Figura 11 Carta Psicométrica.....	38
Figura 12 Plano distribución de ductos.....	41
Figura 13 Difusor rotacional con filtro HEPA Price model: RFDC.	42
Figura 14 Rejilla Price model: 700H.	42
Figura 15 Quirófano con difusión por flujo rotacional.....	43
Figura 16 Selección unidades del sistema	46
Figura 17 Ficha técnica ventilador.....	46
Figura 18 Monitor de presión, humedad y temperatura, marca Pressura.	47

Lista de tablas

Tabla 1 Etapas de filtración según la clase de aire	13
Tabla 2 Parámetros de diseño para zonas críticas y generales en hospitales.....	21
Tabla 3 NAFA (National Air Filtration Association).....	25
Tabla 4 Quirófanos norma colombiana.....	27
Tabla 5 Resumen cargas térmicas.....	36
Tabla 6 Secciones de ductos	40
Tabla 7 Presurización por diferencial de caudal	44
Tabla 8 Calculo de presión estática externa.....	45

Resumen

TITULO:DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA UN QUIRÓFANO DE LA UNIDAD CLÍNICA LA MAGDALENA, UBICADA EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA SANTANDER, CUMPLIENDO CON LOS LINEAMIENTOS DEL CAPÍTULO DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR DE LA PRE NORMA COLOMBIANA DE CLIMATIZACIÓN EN AMBIENTES HOSPITALARIOS, LA NORMATIVA COLOMBIANA VIGENTE Y LAS RECOMENDACIONES DEL ESTÁNDAR ASHRAE 170.* *

AUTOR: JOSE MANUEL CASTIBLANCO BAUTISTA***

PALABRAS CLAVE: ISO 6, NOSOCOMIAL, CALIDAD DEL AIRE.

DESCRIPCIÓN:

Durante el proceso de la especialización en ingeniería de refrigeración y climatización de la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander, se desarrolló este proyecto que busca diseñar un sistema de aire acondicionado para un quirófano, clase A – ISO 6, en la Unidad Clínica La Magdalena, ubicada en la ciudad de Barrancabermeja, que cumpla con los lineamientos del capítulo de calidad de aire interior de la pre norma colombiana con el fin de mantener condiciones termos-higrométricas, además de diluir y remover sustancias contaminantes, reduciendo el riesgo de contaminación biológica o química a través del aire a niveles aceptables, para que los trabajadores y pacientes que se encuentren en el quirófano no se contagien de enfermedades transportadas por el sistema de aire acondicionado. Para lograr el objetivo se realizó el proceso de diseño del sistema de climatización, calculando cargas térmicas y las primeras especificaciones de la unida manejadora con el software CHVAC Elite, en el cual tuvimos en cuenta todas las variables necesarias del espacio y ubicación del quirófano, para lograr un sistema eficaz y que cumpliera con todos los lineamientos de la pre norma colombiana, seguido a esto, se seleccionaron los difusores de suministro y retorno adecuados, y así procedimos al diseño de ductos para proceder a realizar el cálculo de presión estática que debe superar el ventilador de la manejadora. Finalmente con todos éstos datos, realizamos la selección de equipos adecuados con el proveedor nacional Tecam, los cuales son:

- Unidad manejadora de dos válvulas de expansión, 5 TR, R- 410A
- 2 condensadores de alta eficiencia 5 TR, R- 410A
- 1 Ventilador radial microbiológicamente inerte, presurización uniforme.

Equipos con un valor de total de: \$27'580'000.

* Trabajo de grado.

*** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela ingeniería mecánica. Director: Roberto D'Anetra, Ingeniero mecánico

Abstract

TITLE: DESIGN OF THE AIR CONDITIONING SYSTEM FOR AN OPERATING ROOM AT LA MAGDALENA CLINICAL UNIT, LOCATED IN BARRANCABERMEJA, SANTANDER, COMPLYING WITH THE GUIDELINES FROM THE CHAPTER OF INDOOR AIR QUALITY OF THE COLOMBIAN REGULATION OF AIR CONDITIONING IN HOSPITAL ENVIRONMENTS, THE COLOMBIAN CURRENT REGULATIONS AND THE RECOMMENDATIONS OF THE ASHRAE STANDARD 170.*

AUTHOR: JOSE MANUEL CASTIBLANCO BAUTISTA***

KEYWORDS: ISO 6, NOSOCOMIAL

DESCRIPTION: Throughout the Specialization in Refrigeration and Air Conditioning Engineering of the School of Mechanical Engineering of the Industrial University of Santander, this project was developed seeking to design an air conditioning system for an operating room, class A - ISO 6, at la Magdalena clinical unit, located in Barrancabermeja, that complies with the guidelines of the chapter of indoor air quality of the Colombian regulation in order to maintain thermos-hygrometric conditions, while reducing the risk of biological or chemical contamination through the air to acceptable levels, to ensure that workers and patients who are in the operating room do not get ill of diseases transported by the air conditioning system. To achieve the objective, the air conditioning system was designed, calculating thermal loads and the first specifications of the unit manager with the CHVAC Elite software, in which we took into account all the necessary variables of the space and location of the operating room, to accomplish an effective system complying all the guidelines of the Colombian pre-standard, subsequently, the appropriate supply and return diffusers were selected, and we proceeded to the design of pipelines to perform the static pressure calculation that the fan of the Blower Coil must overcome. Finally, with all this data, we made the selection of suitable equipment with the national provider Tecam, which are:

- Air handler unit with two expansion valves, 5 TR, R- 410A
- 2 high efficiency condensers 5 TR, R- 410A
- 1 microbiologically inert radial fan, uniform pressurization.

Equipment with a total value of: \$ 27'580'000.

* Bachelor Thesis

*** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Mechanical engineering school. Director: Roberto D'Anetra, Mechcal Engineer

1. Formulación del problema

1.1 Identificación del problema

Las salas de cirugía de la clínica Magdalena cuentan con unas instalaciones modernas, aptas para prestar su servicio como clínica de nivel 4, sin embargo, el sistema de climatización de las salas de cirugía no está cumpliendo con los requerimientos de la pre norma de Climatización en Ambientes Hospitalarios, por tanto para superar dicha problemática se realizará el diseño de la sala de cirugía más antigua, de forma que estas cumplan con los lineamientos del capítulo de Calidad de Aire Interior de la pre norma Colombiana de Climatización en Ambientes Hospitalarios y la normativa Colombiana vigente.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar el diseño del sistema de climatización de la sala de cirugía en la Unidad clínica Magdalena, ubicada en Barrancabermeja, Santander, que cumpla con los lineamientos del capítulo de Calidad de Aire Interior de la pre norma colombiana de Climatización en Ambientes Hospitalarios y la normativa colombiana vigente.

2.2 Objetivos específicos

Determinar la carga térmica necesaria para la sala de cirugía.

Realizar selección de equipos que cumplan con los lineamientos del capítulo de Calidad de Aire Interior de la pre norma colombiana de Climatización en Ambientes Hospitalarios y la normativa colombiana vigente.

Realizar el diseño de ductos y selección de rejillas para el suministro y retorno de aire, de acuerdo con los lineamientos del capítulo de Calidad de Aire Interior de la pre norma Colombiana de Climatización en Ambientes Hospitalarios y las recomendaciones del estándar ASHRAE 170.

3. Justificación del plan propuesto

Es necesario que todas las clínicas en Colombia cumplan con los lineamientos del capítulo de Calidad de Aire Interior de la pre norma Colombiana de Climatización en Ambientes Hospitalarios y la normativa colombiana vigente, por esta razón, es necesario adecuar los sistemas de climatización de las salas de cirugías con las que cuenta la Clínica Magdalena ya que de no hacerlo, se estaría incumpliendo con la ley y poniendo en riesgo la salud de pacientes y personal médico que labora en la clínica.

4. Análisis de la literatura recopilada

4.1 Marco teórico

4.1.1 Objetivos del sistema de climatización en edificaciones de uso hospitalario. Los sistemas de climatización en edificaciones de uso hospitalario deberán garantizar:

- a. Mantener las condiciones de confort para pacientes, trabajadores, visitantes y/o condiciones termos-higrométricas.
- b. Diluir y remover sustancias contaminantes, reduciendo el riesgo de contaminación biológica y/o química transmisible a través del aire a niveles aceptables.
- c. Controlar el movimiento del aire entre las áreas de modo tal que este fluya desde las áreas con requerimientos más elevados de higiene del aire hacia las áreas con requerimientos menores .

4.1.2 Calidad del aire. Para esta norma se definen 3 clases de aire dependiendo de los niveles de filtración establecidos en la tabla 1.

- a. CLASE I: Áreas definidas con muy altos requerimientos.
- b. CLASE II: Áreas definidas con altos requerimientos.
- c. CLASE III Áreas definidas con requerimientos intermedios.
- d. CLASE III Áreas definidas con requerimientos intermedios.

Tabla 1

Etapas de filtración según la clase de aire

CLASE	ESTAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
CLASE I	MERV 8	MERV 11	MERV 17 (terminal)
CLASE II	MERV 8	MERV 11	MERV 17 (en unidad manejadora de aire)
CLASE III	MERV 8	MERV 11	N/A

Nota: *Etapas de filtración de los quirófanos según la clase de aire. Adaptado de ACAIRE, Pre norma colombiana de climatización en ambientes hospitalarios, capítulo de calidad de aire interior, etapas de filtración según la clase de aire; 2019.

Nota: Las etapas 1 y 2 deberán instalarse antes del serpentín de enfriamiento, la etapa 3 después del serpentín de enfriamiento.

4.1.3 Consideraciones técnicas

a. Toma de aire exterior para calidad de aire interior o presurización

Los requerimientos mínimos de dimensionamiento, ubicación y construcción de las tomas de aire exterior son:

- Estar alejadas hasta 10 m. de zonas de parqueo de automotores, descarga con contaminantes ya sea del edificio de operación o edificios colindantes; si por asuntos de índole constructivo u arquitectónico de la edificación no se puede cumplir con esta distancia hasta la fuente de contaminación, se deberá implementar el procedimiento descrito en el apéndice A de este documento y el cual se basa en el procedimiento establecido en el estándar 62.1-2016 de ASHRAE para determinar la distancia mínima permitida dependiendo de la fuente de contaminación.
- Estar lo suficientemente alejadas de zonas de parqueo de automotores.
- No ubicarlas en zona de influencia en la descarga de aire de áreas de aislados infecciosos, campanas de riesgo químico y biológico.
- Evitar al máximo que la toma se encuentre en la nube de descarga en caso de existir torre de refrigeración.
- 10 metros mínimo es la distancia que se debe alejar las tomas de aire exterior de cualquier descarga con contaminantes ya sea del edificio de operación o edificios colindantes.
- Tanto las tomas como la descarga de aire deben ser provistas por lamas a 45° hacia abajo que protejan el conducto del ingreso de aguas lluvias. Así mismo se recomienda tanto en los puntos finales de descarga y toma de aire la instalación de mallas con una luz de paso máximo de 4 mm que eviten el ingreso de agentes extraños a los sistemas.
- La máxima velocidad frontal de paso tanto en toma de aire exterior como en descarga deberá ser 7 m/s.

- Las descargas de aire se deben realizar como mínimo a 3 metros en vertical de la cubierta o la zona horizontal que las defina. Estas descargas no deberán estar a menos de 3 m horizontalmente de ventanas o puertas que puedan abrirse, tomas de aire o zonas accesibles al público o personal de mantenimiento.
- Deberá contemplarse que todo conducto de extracción que se diseñe y se instale en una edificación destinada para uso hospitalario no podrá tener presión positiva al pasar por el interior de la edificación y deberá mantener presión negativa a lo largo de su recorrido por el interior del edificio.
- Nota: Siempre tomar en consideración que a mayor distancia entre la descarga que posee posibles contaminantes y las tomas de aire exterior, menor será el riesgo de contaminación al interior de clínicas y hospitales.

b. Componentes de los sistemas de acondicionamiento de aire.

- Estos lo conforman las unidades manejadoras de aire, los cuartos de máquinas, sistemas de filtración, equipos de ventilación y en general todos los componentes que permiten la puesta en operación, verificación y mantenimiento del sistema de climatización de la clínica u hospital. Es muy importante que los cálculos y selección de todos estos componentes se realice de manera adecuada y acorde de las diferentes necesidades encontradas en la variedad de áreas del proyecto.

c. Cuarto de máquinas

- Este cuarto debe ser de uso exclusivo para la unidad (es) manejadora (s) de aire.
- La ubicación de este cuarto deberá estar próxima al área de injerencia del sistema (Esto nos permite reducir la distancia de recorrido de los conductos).

- El cuarto deberá ser cerrado y totalmente estanco, su entrada ser independiente, pues no se permite el contacto con zonas limpias por medio de puertas que permitan que el personal de servicio llegue a este cuarto atravesando zonas limpias.
- El cuarto debe ser cerrado y totalmente estanco con entrada de manera independiente que no permita el ingreso a zonas limpias para realizar actividades en este.
- Los materiales constructivos de los cuartos deben garantizar la menor posibilidad de generación de material particulado (PM) en suspensión, así como de compuestos orgánicos volátiles dentro de los mismos.
- Se debe disponer del espacio suficiente para permitir de manera cómoda todas las labores de mantenimiento preventivo y correctivo de las UMAs.
- Los cuartos de máquinas no deberán ser usados como *plenum* para los ductos de retorno y toma exterior. Los ductos deberán diseñarse e instalarse para ir acoplados directamente a la unidad manejadora de aire (UMA).

4.1.4 Unidades manejadoras de aire: gabinete o estructura

- La estructura principal de estas máquinas deberá ser de doble pared sin materiales con posibilidad de desprendimiento particulado. La configuración deberá ser tipo “sándwich” para que se garantice el no contacto del aire tratado con superficies de fácil desprendimiento (No se aceptan materiales protegidos con velo).
- El diseño estructural deberá estar basado en no permitir la intrusión de agua, evitar la corrosión y deberá tener materiales internos que cumplan con la prueba de crecimiento de

moho y humedad según el UL 181/ASTM 1338, en caso de que no sean materiales metálicos.

- Se debe contar con paneles de acceso que permitan de manera fácil la realización de actividades de mantenimiento preventivo o correctivo al interior de las Unas. Así mismo se debe garantizar la correcta iluminación al interior de estas para dichas labores.
- Las bandejas de condensados deben ser únicamente de material en acero inoxidable con su drenaje acorde a la instalación.
- La tubería de desagüe no puede ser conectada directamente al sistema de aguas residuales y se debe garantizar con la instalación de este a presión negativa para evitar posible contaminación.
- Es indispensable que las UMAS cuenten con ruptura de puente térmico.

a. *Serpentín de enfriamiento*

- Los serpentines deben estar montados sobre una bandeja de recolección de condensado el cual debe tener un desagüe con las dimensiones acordes para la rápida evacuación. ASHRAE recomienda mínimo 300 mm de longitud desde el serpentín con una profundidad mínima de 50 mm.
- La velocidad del aire en el serpentín de enfriamiento deberá estar por debajo de 2.4 m/s para evitar el excesivo arrastre de gotas.
- Se recomienda no exceder las 400 aletas por metro (10 aletas por pulgada).
- El acceso al serpentín debe ser posible tanto por el lado de entrada del aire como por el de salida.

b. Ventiladores

- El ventilador de impulsión de aire se debe ubicar entre el primer y el segundo nivel de filtración.
- Se debe garantizar que en el ventilador no quede agua de condensación.
- El acople entre ventilador y motor deberá ser del tipo directo y evitar en lo posible la instalación de correas que normalmente permiten el desprendimiento de material particulado el cual puede terminar dañando físicamente los filtros terminales obstruyéndolos con mayor rapidez.
- Los ventiladores deberán ser instalados con VFD (Variadores de Frecuencia) que permitan mejorar el control de presiones entre las diferentes áreas y obtener un balanceo más fino y ajustado.

4.1.5 Monitoreo de la presión del sistema. La diferencia de presión en áreas críticas como quirófanos, UCI para aislados y zonas aledañas a éstas deberán estar monitorizadas de forma permanente para garantizar que no ingresen o salgan contaminantes de forma incontrolada acorde a los requerimientos del área. Se recomienda dotar las zonas en cuestión con alarmas de tipo luminosa y sonora que permitan al equipo médico tener conocimiento en tiempo real de la estabilidad de la zona en cuanto a diferenciales de presiones se refiere y si se presenta un cambio repentino de la condición ideal puedan alertar al personal idóneo para que puedan normalizar la situación crítica que se presenta.

4.1.6 Conductos y registros de inspección. Se deben cumplir las siguientes recomendaciones en la selección, fabricación e instalación de ductos de suministro y retorno en ambientes hospitalarios

- Se debe realizar el cálculo y dimensionamiento de conductos y accesorios siguiendo las recomendaciones presentadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Colombia.
- La (UMA) encargada de la distribución y retorno de aire a las diferentes zonas o áreas que se quieren acondicionar en el hospital debe ubicarse lo más cerca posible de dichas áreas para reducir lo máximo posible el tamaño y recorridos de ducto. En las áreas críticas como quirófanos y UCI es de vital importancia que se presente esta condición.
- El material de fabricación de los conductos del lado de contacto directo con el aire debe tener como máximo una rugosidad de 0.3 micrómetros y ser resistente a la presión de servicio y a la abrasión. (se recomienda ductos de sección circular para disminuir la acumulación de suciedad y facilitar su limpieza).
- El material de fabricación de los ductos debe como mínimo aprobar los ensayos del método de aire a presión “SKEEPER “y el de aire a presión con cepillado.
- Los ductos flexibles solo se utilizarán en caso de conexión a unidades terminales y deben tener un máximo de 1.5 metros (en áreas críticas no está permitido el uso de ductos de este tipo).
- Se deben evitar en lo posible los cambios bruscos de sección. Las curvas de los codos deberán tener como mínimo un radio igual a 1.5 veces el diámetro equivalente.
- Al interior del conducto no se admiten instalaciones ajenas al ámbito de la instalación de climatización.

- No se permiten la utilización de sistemas de canalización de aire que no sean del tipo directo (la utilización de *plenums* no está permitida).
- Los conductos deben llegar de fábrica sellados en sus extremos y solo se les debe dar apertura en el momento de su instalación final. En caso de fabricación en obra es indispensable garantizar la limpieza de estos y realizar la correcta protección hasta la fase de instalación de estos. Cada vez que se monte una sección del ducto se deberá realizar su limpieza interna y sellada del extremo que queda libre.
- Los registros de inspección se deben instalar cerca de cada codo principal, serpentín o unidad terminal. (la distancia máxima en ramal principal entre registro y registro debe ser 10 metros). Estos registros deberán garantizar la hermeticidad de sus juntas.
- Las dimensiones de los registros deben ser tal que permita el acceso para la operación necesaria en los mismos. Es muy importante que dichos registros garanticen la estanqueidad y que conserven sin alteración alguna el aislamiento provisto en posición cerrado.
- Rejillas o difusores que posean el tamaño adecuado, pueden considerarse como puntos calificados de registro.
- Los puntos de ubicación de los registros deberán estar claramente identificados en planos y en sitio por medio de indicadores fáciles de identificar a simple vista.
- Cada vez que un ducto de aire pase una pared que está rateada para resistir dos horas o más el fuego se deberá instalar un regulador de volumen de aire tipo cortafuego en la misma, también aplica para los huecos en rejillas de transferencia o cuando se pasan placas, esto no aplica si en ese muro o placa hay otros huecos que no están protegidos con reguladores de volumen de aire tipo cortafuego.

4.1.7 Parámetros de diseño para zonas específicas críticas y generales. En la tabla 1 tendremos de forma detallada la mayor cantidad de variables a contemplar en el diseño y puesta en marcha de un sistema de Climatización para zonas hospitalarias, estas condiciones son de obligatorio cumplimiento para lograr la conformidad del espacio con esta norma.

Tabla 2

Parámetros de diseño para zonas críticas y generales en hospitales

Tabla 1. Parámetros de diseño para zonas críticas y generales en Hospitales.										
AREA / Requisitos	Clase de Aire	equivalencia ISO del Area	Temperatura (°C)	Humedad Relativa	Aire de impulsión Cam/h (mín)	Aire Exterior cfm (mín)	Presión Positiva(+) o Negativa (-)	Diferencial de Presión a zona contigua (Pa)	Se permite recirculación de Aire. Si o No	Nivel Sonoro (Db)
ZONAS CRÍTICAS										
QUIROFANO TIPO A	I	5 ó 6	18-24	40-60	(a)	15	(+)	5-10	Si	40
QUIROFANO TIPO B	I	7	21-24	40-60	30-40	15	(+)	5-10	Si	40
QUIROFANO TIPO C	II	8	21-24	40-60	20-30	15	(+)	5-10	Si	40
UCI CUBÍCULOS	I	7	22-24	40-60	12	4	(+)	5	Si	40
UCI ÁREAS GENERALES	II	8	22-24	40-60	12	4	(+)	5	Si	40
UCI NEONATAL	II	NA	22-24	40-60	12	4	(+)	5	Si	40
UCI QUEMADOS *	II	NA	23-25	55-70	12	4	(+)	2,5	si	40
AISLADO INMUNOSUPRIMIDOS UCI(a)	III	NA	21-24	40-60	12	4	(+)	5	Si	40
AISLADO INFECTADO UCI(b)	II	NA	21-24	40-60	12	4	(-)	5	No	40
ESTERILIZACIÓN	II	NA	22-25	40-60	10	4	(+)	2,5	Si	40
ALMACEN ESTERIL EN ESTERILIZACIÓN	II	NA	22-25	40-60	10	4	(+)	5	Si	40
PRE-SALA DE ESPERA EN URGENCIAS®	III	NA	21-24	40-60	10	4	(-)	2,5	No	40
TRIAGE	III	NA	21-24	40-60	10	4	(-)	2,5	No	40
Autopsia(d)	III	NA	20-24	40-60	12	4	(-)	2,5	No	40
DIAGNOSTICO Y TRATAMIENTO										
Salón de cadavers no refrigerados(d)	III	NA	21-24	40-60	10	NR	(-)	2,5	No	40
Salón de medicina nuclear	III	NA	21-24	40-60	10	NR	(-)	2,5	No	40
Consulta Externa	III	NA	21-24	40-60	10	2	NA	NA	Si	40
Farmacia	III	NA	22-24	40-60	10	3	(+)	2,5	Si	40
Alimentación parenteral	III	NA	23-25	40-60	10	3	(+)	2,5	Si	40
Lavandería Almacén limpio	III	NA	24-26	40-60	12	3	(+)	2,5	Si	40
Lavandería sucio	NR	NA	NA	NA	10	2	(-)	2,5	SI	NA
Habitación hospitalización	III	NA	23-26	40-60	10	2	(+)	2,5	SI	40
Sala de espera	III	NA	23-25	40-60	12	3	NA	NA	Si	45
Tabla 1. Parámetros de diseño para zonas críticas y generales en Hospitales(Continuación).										
pasillos	III	NA	23-25	40-60	12	3	NA	NA	SI	45
habitacion neonatos	III	NA	24-26	40-60	10	3	(+)	2,5	SI	40
Imagenología salas limpias	III	NA	23-25	40-60	12	4	(+)	2,5	SI	40
Imagenología convencional	III	NA	23-25	40-60	10	2	(+)	2,5	Si	40
LABORATORIOS										
Fecundación In Vitro	II	NA	16-22	40-60	15	4	(+)	5	SI	40
General	III	NA	21-24	40-60	10	4	(-)	2,5	No	40
Patología	III	NA	21-24	40-60	10	4	(-)	2,5	No	40
Microbiología	III	NA	21-24	40-60	10	4	(-)	5	No	40
bioquímica	III	NA	21-24	40-60	10	4	(-)	2,5	No	40

Nota: *Parámetros de diseño para zonas críticas y generales en hospitales. Adaptado de ACAIRE, Pre norma colombiana de climatización en ambientes hospitalarios, capítulo de calidad de aire interior, etapas de filtración según la clase de aire; 2019.

4.2 Marco conceptual

Se definirán los siguientes conceptos para un entendimiento de la monografía:

4.2.1 Clasificación quirófanos. Los quirófanos acordes a su categoría presentan similitud con la clasificación ISO para salas limpias, esto aunado a variables como temperatura, humedad, nivel de ruido, diferencias de presiones, renovaciones hora y otras condiciones inherentes a la aplicación nos permitirán definir la clase del quirófano en la cual aplica nuestro sistema de Climatización. Es clave entender que esta clasificación se validará con la instalación en Reposo (“At rest”), todos los equipos de producción instalados y operando, pero sin ocupación de personas.

Las áreas destinadas a quirófanos deberán cumplir con los siguientes requisitos mínimos de diseño, construcción y operación.

4.2.1.1 Quirófano clase A. En este quirófano se realizan procedimientos de alta complejidad donde se requiere anestesia general o regional y soporte de funciones vitales tales como trasplantes de órganos, cirugías cardíacas, cirugía ortopédica, etc.

Estos quirófanos pueden tener una clasificación ISO 5 e ISO 6 en la zona del campo operatorio. Se permite fuera de la zona del campo operatorio tener máximo 2 clasificaciones inferiores a esta.

Quirófano ISO 5:

- Se recomienda un sistema difusión por flujo unidireccional (Techo Unidireccional).
- La zona de campo operatorio recomendada es 3mx3m.
- El área del techo unidireccional debe ser igual al área del campo operatorio.
- La velocidad a la salida del difusor debe estar en el rango de 0,25 m/s a 0,45 m/s.
- El caudal del aire exterior mínimo a ingresar es de 15 renovaciones por hora.
- Cada quirófano debe poseer una unidad manejadora de aire independiente que garantice en todo momento que el aire recirculado sea únicamente de este, tanto el aire exterior como el aire recirculado deben cumplir con el mismo tratamiento del aire.

Nota aclaratoria:

El valor de la velocidad a la salida del difusor junto con el área del techo unidireccional impone el caudal de la impulsión.

Quirófano ISO 6:

- Aplican con sistema de difusión por flujo turbulento.
- Los cambios/hora para el caudal de impulsión en este tipo de quirófanos deben estar en el rango de >40.
- El caudal del aire exterior mínimo a ingresar es de 15 renovaciones por hora.

- Cada quirófano debe poseer una unidad manejadora de aire independiente que garantice en todo momento que el aire recirculado sea únicamente de este, tanto el aire exterior como el aire recirculado deben cumplir con el mismo tratamiento del aire.

4.2.1.2 Quirófano clase B. En este quirófano se realizan procedimientos menores o mayores que impliquen sedación oral, parenteral e intravenosa. También el paciente puede estar bajo el efecto de analgésicos o medicamentos disociativos, intervenciones con nivel medio de complejidad, salas de parto y riesgo de infección nosocomial.

Estos quirófanos deben tener una equivalencia con la clasificación ISO 7.

- Aplican con sistema de difusión por flujo turbulento.
- Los cambios/hora en este tipo de quirófanos deben estar en el rango de 30/40.
- El caudal del aire exterior mínimo a ingresar es de 15 renovaciones por hora.
- Cada quirófano debe poseer una unidad manejadora de aire independiente que garantice en todo momento que el aire recirculado sea únicamente de este, tanto el aire exterior como el aire recirculado deben cumplir con el mismo tratamiento del aire.

4.2.1.3 Quirófano clase C. En este quirófano se realizan cirugías de tipo ambulatoria y procedimientos que requieren anestesia local o tópica, donde no se realice sedación preoperatoria.

Estos quirófanos deben tener una equivalencia con la clasificación ISO 8:

- Aplican con sistema de difusión por flujo turbulento.
- Los cambios/hora en este tipo de quirófanos deben estar en el rango de 20/30.
- El caudal del aire exterior (renovaciones por hora) mínimo a ingresar a quirófano (15).

- Cada quirófano debe poseer una unidad manejadora de aire independiente que garantice en todo momento que el aire recirculado sea únicamente este, tanto el aire exterior como el aire recirculado deben cumplir con el mismo tratamiento del aire.

Nota aclaratoria:

Se deberá seleccionar el caudal de aire de impulsión mayor entre el dado por el cálculo de carga térmica y el caudal mínimo recomendado (cambios hora) para los diferentes quirófanos.

- ASHRAE 170 2017: define los requerimientos de diseño del sistema de ventilación para el control ambiental del confort, la asepsia y los olores en hospitales y centros sanitarios.

Tabla 3
NAFA (National Air Filtration Association)

Newest USA Particle Size Test	In Approximation with older test standard		Regular USA Dust Spot Test		European Version Pf Regular Dust Spot Test		Proposed New European Particle Size Test		BS 3928 High Efficiency Particulate Air Filters Initial Efficiency A (Test Aerosol: NaCl)
ASHRAE 52.2-1999 Std. 52.2 Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) (Test Aerosol: KCL)	ASHRAE 52.1 - 1992		ASHRAE 52.1 - 1992		DIN EN779 - 1993		CEN EN779 - 2002		
Average Dust Spot Efficiency @450Pa	Average Arrestance @250Pa	Average Dust Spot Efficiency @450Pa	Average Arrestance @250Pa	Average Dust Spot Efficiency @450Pa	Average Arrestance @250Pa	Average Efficiency of only 0.4µm particles @450Pa (Test Aerosol: DEHS)	Average Arrestance @250Pa		
Micron Size 0.3-10.0 µm	Ea>20%	Ea <20%	Ea>20%	Ea <20%	Ea>20%	Ea <20%	Micron size 0.4µm	Micron size 0.3 (0.6) µm	
MERV 20	NA	NA						EU 14 (A>99.999%)	
MERV 19	NA	NA						EU 13 (A>99.99%)	
MERV 18	NA	NA						EU 12 (A>99.97%)	
MERV 17	NA	NA						EU 11 (A>99.9%)	
MERV 16	NA	NA						EU 10 (A>95%)	
MERV 15	> 95%	NA	> 95%		F9 (> 95%)		F9 (> 95%)		
MERV 14	90 – 95%	> 98%	90 – 95%		F8 (90 – 95%)		F8 (90 – 95%)		
MERV 13	80 – 90%	> 98%	80 – 90%		F7 (80 – 90%)		F7 (80 – 90%)		
MERV 12	70 – 75%	> 95%	60 – 80%		F6 (60 – 80%)		F6 (60 – 80%)		
MERV 11	60 – 65%	> 95%							
MERV 10	50 – 55%	> 95%	40 – 60%		F5 (40 – 60%)		F5 (40 – 60%)		
MERV 9	40 – 45%	> 90%							
MERV 8	30 – 35%	> 90%		> 90%		G4 (> 90%)		G4 (> 90%)	
MERV 7	25 – 30%	>90%							
MERV 6	<20%	85 – 90%		80 – 90%		G3 (80 – 90%)		G3 (80 – 90%)	
MERV 5	<20%	80 – 85%							
MERV 4	<20%	75 – 80%		65 – 80%		G2 (65 – 80%)		G2 (65 – 80%)	
MERV 3	<20%	70 – 75%							
MERV 2	<20%	65 – 70%							
MERV 1	<20%	< 65%		< 65%		G1 (< 65%)		G1 (< 65%)	

Nota: *NAFA (National Air Filtration Association). Adaptado de Diseño de quirófanos, Harbey Alexis Lizarazo, Bucaramanga; 2019.

- Ashrae 52.2 se redactó inicialmente como un método para medir el desempeño de los dispositivos de ventilación general para limpiar el aire. Mientras que los sistemas de ventilación general para limpiar el aire y los sistemas de colección de

polvo industrial eliminan partículas del flujo de aire, no tienen mucho más en común. Las diferencias se presentan a continuación.

- Enfermedad nosocomial: Las infecciones nosocomiales (del latín nosocomium, hospital) son infecciones adquiridas durante la estancia en un hospital y que no estaban presentes ni en el período de incubación ni en el momento del ingreso del paciente. Las infecciones que ocurren más de 48h después del ingreso suelen considerarse nosocomiales.

4.3 Marco legal

Colombia cuenta con la resolución 4445 de 1996 por medio de la cual se dictan normas para el cumplimiento del título IV de la ley 9 de 1979 (iluminación, ventilación y acondicionamiento de aire), en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir las IPS y se dictan otras disposiciones técnicas y administrativas. En el párrafo del artículo 34 referente a algunos requisitos que deben cumplir los servicios obstétricos y quirúrgico, expresa literalmente: “La temperatura será de 21° C, la humedad relativa del 50%, la velocidad del viento de 60 cm/seg., y la renovación del aire entre 25 y 30 veces por hora”, sin embargo, estas condiciones fueron modificadas en el año 2009 de la siguiente forma:

Tabla 4
Quirófanos norma colombiana

ZONA QUIRÚRGICA ó aséptica	El quirófano debe tener una altura libre de 2.80 mts y una superficie útil libre mínima de 20.00 M2. La puerta de acceso a esta zona debe ser de vaivén con un ancho mínimo de 1.50 mts, con visor a 1.40 mts de altura	Dispone de lavamanos quirúrgicos en cantidad igual al número de salas de cirugía, depósito de material estéril, depósito de anestesia, prelavado de instrumental y cuarto de aseo. En las salas de cirugía se debe garantizar puntos de oxígeno, vacío, aire comprimido y óxido nitroso, el sistema eléctrico y el piso deben garantizar la conductividad a tierra (Si se construye fundido en sitio se contara con cuadrículas dilatadas en bronce cada .20 mts en el área quirúrgica y de forma mas espaciada a medida que se aleja de la mesa de cirugía o mediante el uso de pisos antiestáticos de materiales que garanticen la conductividad a tierra). Las salas deben contar con un sistema de extracción de gases anestésicos residuales de la maquina hacia el exterior, independiente del sistema de ventilación mecánica de la sala, igualmente deberán dotarse de tomas eléctricas de grado hospitalario a una altura mínima de 1.50 mts. La iluminación en el campo operatorio será simétrica y además de la lámpara cielítica se deberá contar con luz de emergencia generada por unidad autónoma o lámpara con acumulador. No se permitirán ventanas de abrir en salas de cirugía. Se deberá garantizar condiciones ambientales de confort térmico con temperaturas que oscilen entre 18°C y 22°C, con humedad relativa entre 40% y 60%, los sistemas de ventilación mecánica, deberán garantizar la renovación del aire entre 25 y 30 veces por hora, disponer de sistemas de acondicionamiento de aire y garantizar calidad de aire mediante un filtrado de alta eficiencia con filtros HEPA, los quirófanos, deberán estar en sobre presión en relación con los pasillos y con todas las áreas que con estos se comuniquen, garantizando que el aire circule desde las salas hacia las dependencias adyacentes y desde estas hacia las zonas sin ventilación forzada.
----------------------------	---	---

Nota: *Quirófanos norma colombiana. Adaptado de Diseño de quirófanos, Harbey Alexis Lizarazo, Bucaramanga; 2019.

Con respecto a la normativa nacional, actualmente se encuentra pendiente de aprobación la Prenorma Colombiana de Climatización en Ambientes Hospitalarios, la cual busca definir de una mejor manera los requerimientos técnicos, condiciones ambientales y de calidad de aire que se deben cumplir en un quirófano.

Las normas internacionales, son abundantes, y deben ser tomadas a manera de recomendación y/o referencia de buenas prácticas. A continuación se listan las mas relevantes:

- UNE 100713
- NF590-351 FRANCIA
- UNI 1145 ITALIA
- DIN 1946-4 ALEMANIA
- STANDARD ASHRAE 170 USA

- STANDARD ASHRAE 52.2 USA
- STANDARD ASHRAE 62.1 USA
- UNE 1822-1
- UNE EN-779

De estas, el estándar 170 de ASHRAE es sin duda, la más utilizada por ingenieros y diseñadores de este tipo de sistemas.

5. Diseño del sistema de aire acondicionado del quirófano

Para el proceso de diseño se tuvo en cuenta los siguientes procesos:

- Cálculo de cargas térmicas
- Diseño de ductos de suministro y retorno
- Selección de rejillas y filtros
- Selección de equipos

5.1 Cálculo de cargas térmicas

Para el cálculo de las cargas térmicas se seleccionó el software Chvac Elite software las especificaciones a cumplir serán para diseñar un quirófano clase A, ISO 6

Design Month	Outdoor Dry Bulb	Outdoor Wet Bulb	Indoor Dry Bulb	Indoor Relative Humidity
1 February	87	82	70	60
2 (None)	0	0	0	50
3 (None)	0	0	0	50
4 (None)	0	0	0	50
Winter:	0		0	

Figura 1 Indoor/outdoor design conditions

Al iniciar el cálculo de cargas térmicas el software nos pidió ingresar una serie de datos, inicialmente se agregó la ciudad de Barrancabermeja, las condiciones climáticas de la misma, su latitud, altitud y longitud, además de la temperatura de bulbo seco y húmedo que se desea para el diseño a realizar, como se puede evidenciar en la figura 1. Para este diseño se desea que la temperatura del quirófano sea de 70 F° y humedad relativa de 60% con base en la pre norma colombiana.

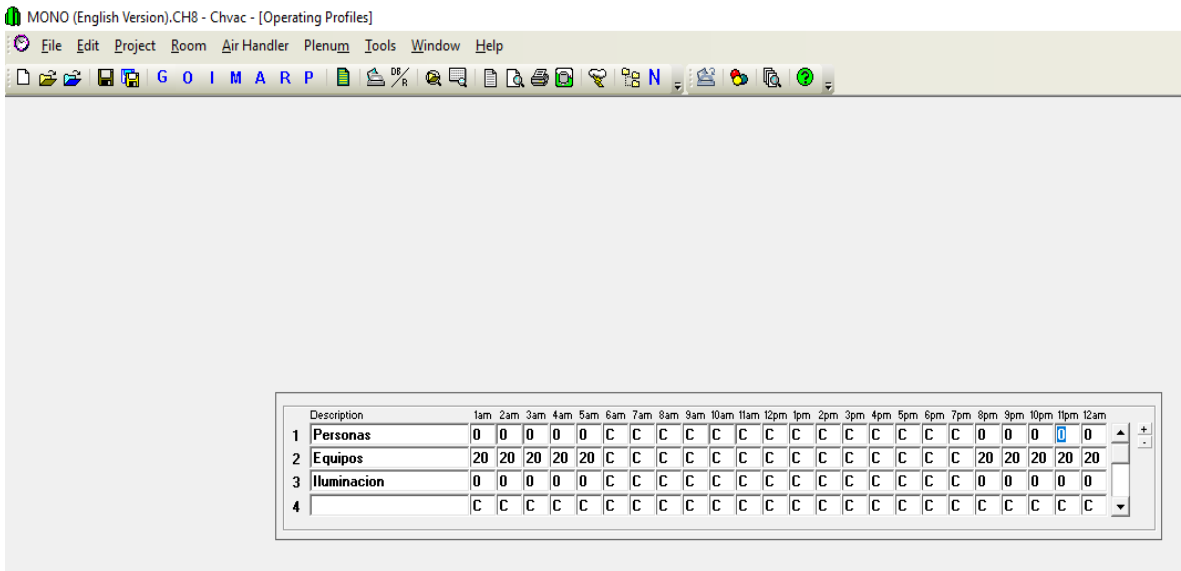


Figura 2 Operating profiles
I

Después de llenar estos datos, como se puede ver en la figura 2, se ingresaron las condiciones de ocupación y operación de los perfiles de personas, equipos e iluminación, el numero 0 indica que no hay personas o las luces están apagadas, el valor C indica funcionamiento del 100% y el valor 20 indica que están funcionando en ese porcentaje los equipos que están adentro del quirófono.

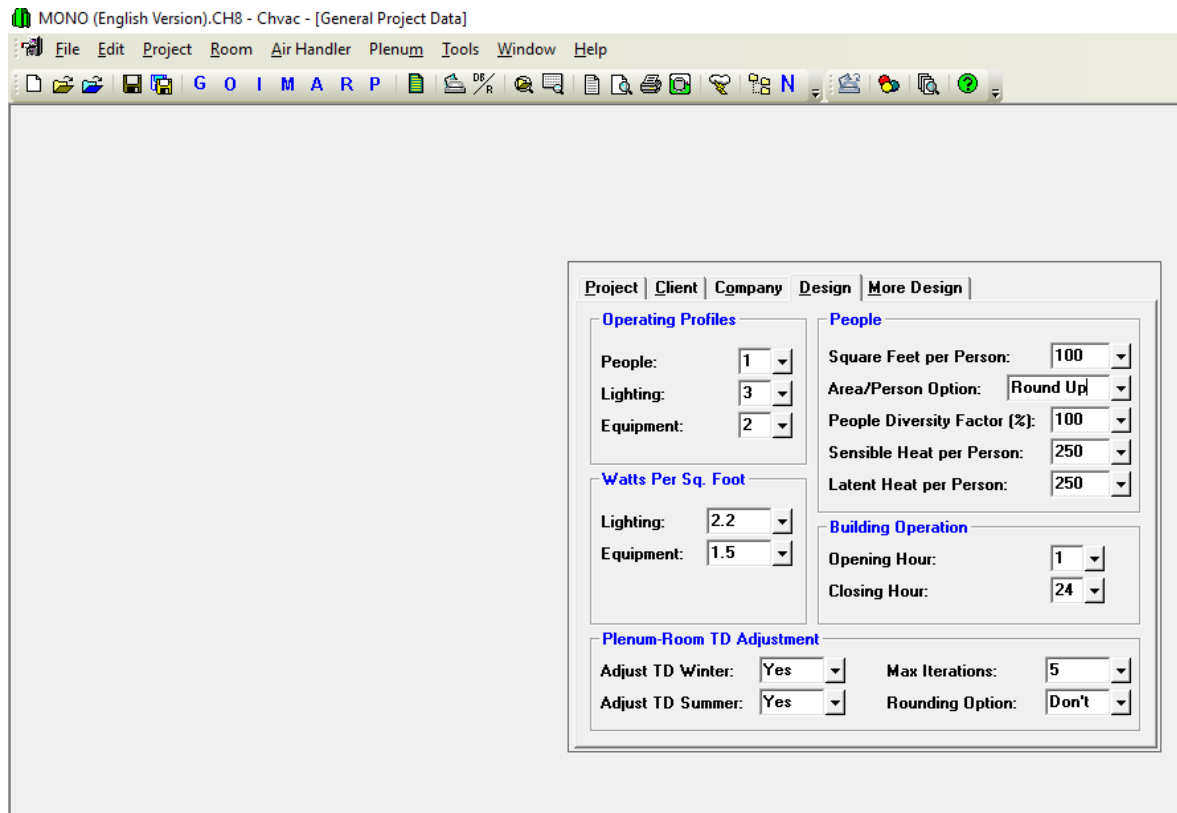


Figura 3 General Project - Design

Se retoma a la opción de datos generales del proyecto y en la sección de perfiles de operación se agregan los que se realizaron previamente.

En la sección de *watts per sq. foot* se seleccionaron dichos valores respecto a la actividad que se realizará, en este caso se seleccionó sala de operaciones para la sección *Lighting* con un valor de 2.2, y para *Equipment* 1.5 .

En la sección de *people* se seleccionó los perfiles de acuerdo a la actividad que van a realizar las personas en el quirófano para la cual se especificó actividad moderada, y en la sección *Building Operation* se seleccionó que funcionará 24 horas (Ver figura 3).

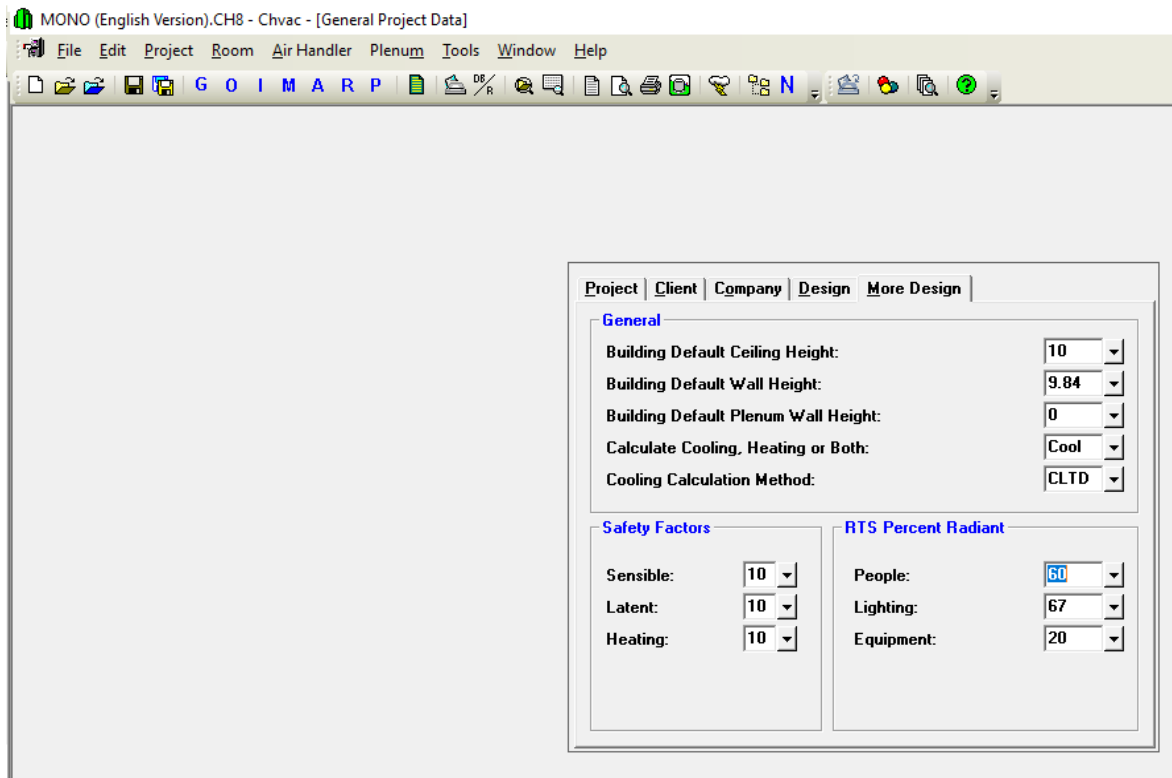


Figura 4 General project - More design

En la sección de *More design* se agregaron los datos de la altura del techo de 10 ft y la altura de los muros de 9,84 ft, además del método para realizar el cálculo de cargas térmicas por medio de CLTD y los valores de seguridad de 10% para las cargas sensibles, latentes y de calentamiento de ambiente exterior, como podemos ver en la figura 4.

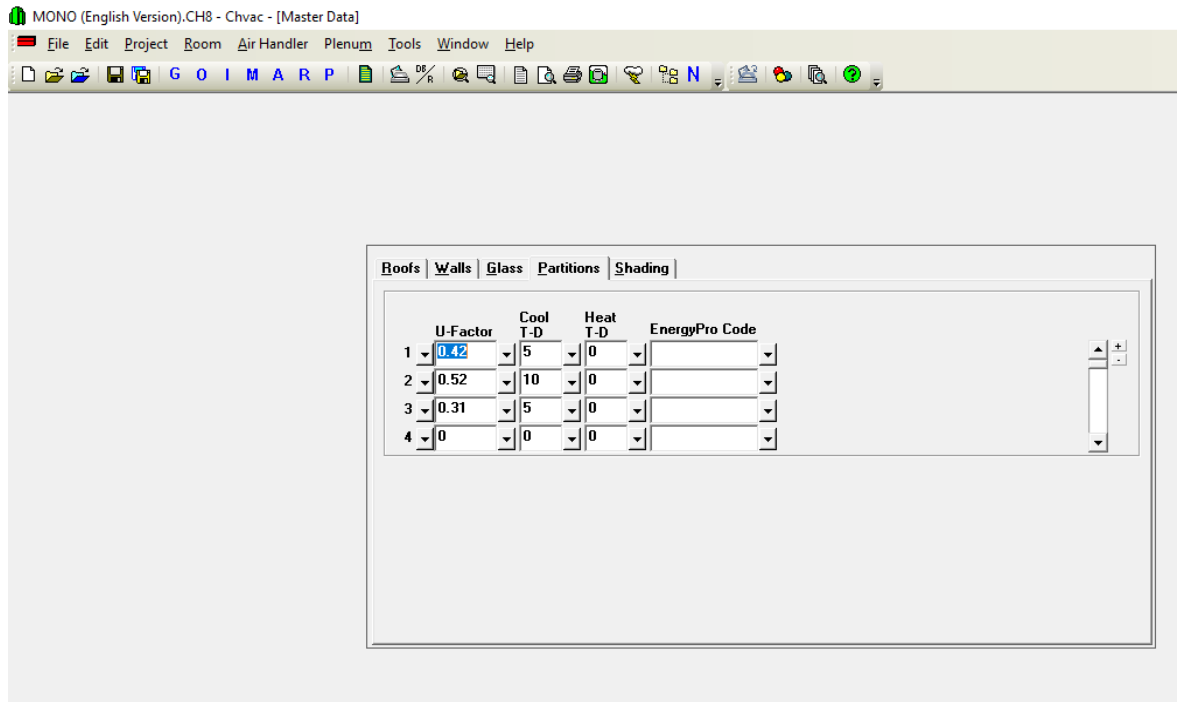


Figura 5 Master data - Partitions

En la sección de *Master data* es donde se especifica los materiales de la construcción, debido a que los muros, el piso y techo son interiores y no estarán expuestos al sol, se eligió la opción *partitions*.

Los muros se seleccionaron con los materiales del cual está compuesto el muro el cual será de superboard sin aislamiento, finalizado con estuco, este muro dio un *U factor* de 0.275, la temperatura variante exterior será de 5 F° más caliente, el piso será de concreto pesado de 8 pulgadas, liso sin aislamiento, de un *U factor* 0.52, el piso será de 10 F° más caliente en la zona inferior y el techo será de 6 pulgadas con drywall, finalizado con una variante de 5 F° más caliente con el piso ubicado en la parte superior y con un *U factor* de 0.31.

MONO (English Version).CH8 - Chvac - [Room Data - Room 1 of 1]

File Edit Project Room Air Handler Plenum Tools Window Help

GOIMARP

Room Data - Room 1 of 1

Room No. 1 Name Quirofano System Zone 1 Floor No. 1 Length 16.08 Width 14.76 Ht. (0-10) 10 Type 22 Check Errors Yes

Main Miscellaneous Indoor Conditions Notes

Roof Type

No.	Length	Width	G. Refl.	Slope	Direction
1	0	0	20	0	
2	0	0	20	0	

Wall Type

No.	Ht. (0-9.84)	Length	G. Refl.	Direction	Part
1	0	16.08	20	P	Part
2	0	14.76	20	P	Part
3	0	14.76	20	P	Part
4	0	16.08	20	P	Part
5	0	14.76	20	P	Part
6	0	0	20		

Glass Type

No.	Shade	Atten.	Tilt	Width	Height	Ref	Occ.
1	0	1	90	0	0	0	1
2	0	1	90	0	0	0	1
3	0	1	90	0	0	0	1
4	0	1	90	0	0	0	1
5	0	1	90	0	0	0	1
6	0	1	90	0	0	0	1

Lighting & Equipment

Lighting: 537 522

Pct. Rad.: 0 67

Sen. Equip.: 2693 356

Pct. Rad.: 0 20

Lat. Equip.: 0

Lat. Pool: [0]

People

Number: 10 3

Area/per.: 0 100

Sensible: 0 250

Pct. Rad.: 0 60

Latent: 0 250

Profiles

People: 0 1

Lighting: 0 3

Equipment: 0 2

Figura 6 Room data - Main

En la sección de *room data* en *main* se agregó el tipo de construcción, que será internamente y se seleccionó la número 22 que es de ese tipo.

La estructura de muros, techos y piso fueron por *partitions*, y se agrega el tipo que se contruyo en el *master data* y las áreas de los mismos.

En la seccion *lighting and equipment* se agrega la cantidad de luces que tendrá el quirófano y los equipos medicos que funcionarán dentro de el. En el mismo *room data* se podrá agregar la cantidad de personas que podran estar en el quirófano, para una operación de alta complejidad se selecciona 10 personas (ver figura 6).

MONO (English Version).CH8 - Chvac - [Room Data - Room 1 of 1]

File Edit Project Room Air Handler Plenum Tools Window Help

No. 1 Name Quirofano System 1 Zone 0 Floor 1 Length 16.08 Width 14.76 Ht.(0-10) 10 Type 22 Check Errors Yes

Main Miscellaneous Indoor Conditions Notes

Ventilation & Infiltration

Winter		Summer	
Method	Value	Method	Value
Vent:	Default	AC/Hr	15
	Value (n/a): 0		Value (n/a): 0
Infil:	Default	Default	0

General

Occurrences: 1 Summer Exhaust: 0

Calculation Option: Default Winter Exhaust: 0

Minimum Cooling Supply Air: AC/Hr 40

Floor & Ceiling

Slab Perimeter: 0 E.Pro

Floor Slab Coef: 0 Default

Ceil. Area B. Pt: 0 237

Safety Factors

Sensible: 0 10

Latent: 0 10

Heating: 0 10

Runout Duct Properties

Calculate: Default No

Use Schedule: Default No

Rough Factor: 0 0

Pressure Drop: 0 0

Min. Velocity: 0 0

Max. Velocity: 0 0

Min. Height: 0 0

Max. Height: 0 0

Shape: Default Default

Max.CFM/Run: 0 0

No. Diffusers: 0 [calc]

Figura 7 Room data - Miscellaneous

En la sección de *Miscellaneous* según estandar 170 de la Ashrae y tomando las especificaciones de la prenorma colombiana el caudal de impulsión cambios/hora de 40 y el caudal del aire exterior mínimo a ingresar de 15 renovaciones por hora (ver figura 7).

MONO (English Version).CH8 - Chvac - [Air Handler Data - Air Handler 1 of 100]

File Edit Project Room Air Handler Plenum Tools Window Help

No. 1 Name Quirofano

Main General Infil & Vent Indoor Conditions Misc Duct Sizing Equipment

System Type

☒ Constant volume

☐ Proportion

☐ Sum of Peaks

☐ VAV

Excess Supply Air

☐ Reheat

☐ Reserve

☐ Adjust

Supply Fan Type

☒ Draw Through

☐ Blow Through

☐ Package Fan

General

Occurrences of This Air Handler: 1

☐ Room Exhaust May Not Exceed Supply

Heating Coil

☐ Total Heating Supply CFM: 0

☒ Leaving Heating Coil Temperature: 93

Cooling Coil

☒ Leaving Dry Bulb Temperature: 57

☐ Leaving Relative Humidity: 0

Leaving Cooling Coil CFM: 0

Fan Efficiency and Pressure

Motor and Fan Efficiency: 85

Static Pressure Across Fan: 7

Figura 8 Air handle - Main

En la seccion de *air handle* se seleccionó el tipo de manejadora de volumen constante y con método de la proporción ya que con éste calcula el máximo caudal del area necesaria, el aire de suministro será de reserva y el tipo ventilador será *draw through*, la temperatura en *heating coil* saldrá a 93 F° y temperatura en *cooling coil* saldrá a bulbo seco de 57 F°.

Después de haber ingresado los datos pertinentes se calcula la carga térmica, al finalizar el software nos entregara un informe con los siguientes datos.

Tabla 5

Resumen cargas térmicas

Descripción	Carga sensible (Btu/h)	Carga latente (Btu/h)	NETO (Btu/h)	%NETO
Iluminación	2014		2014	2.73
Equipos	10108		10108	13.72
Personas	2750	2750	5500	7.46
Infraestructura	2049		2049	2.78
Infiltración	8410	40108	48518	65.84
Draw-Thru Fan	5155		5155	7.0
Reserva fan	343		343	0.46
Total	30829	42858	73687	100
			(6.14 TR)	

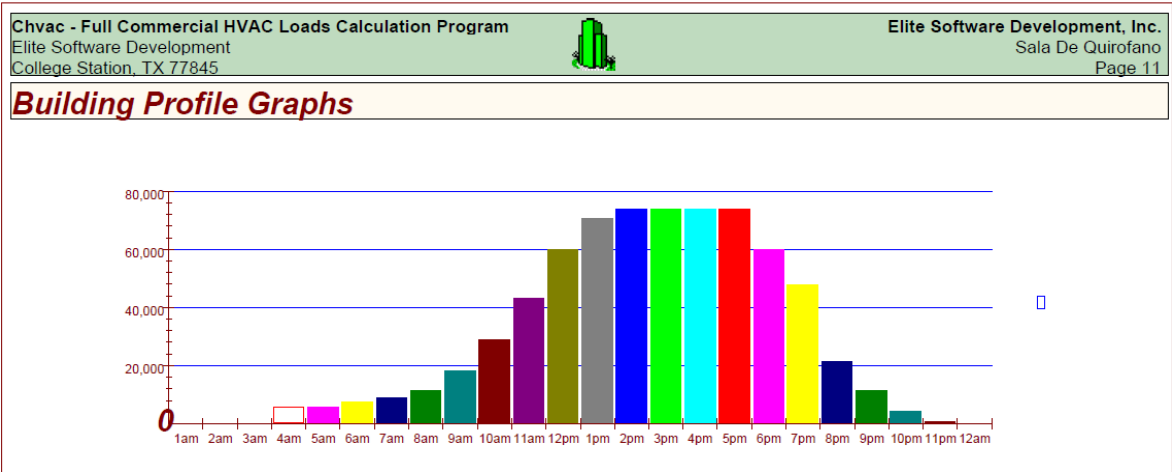


Figura 9 Perfiles operacionales 24 horas

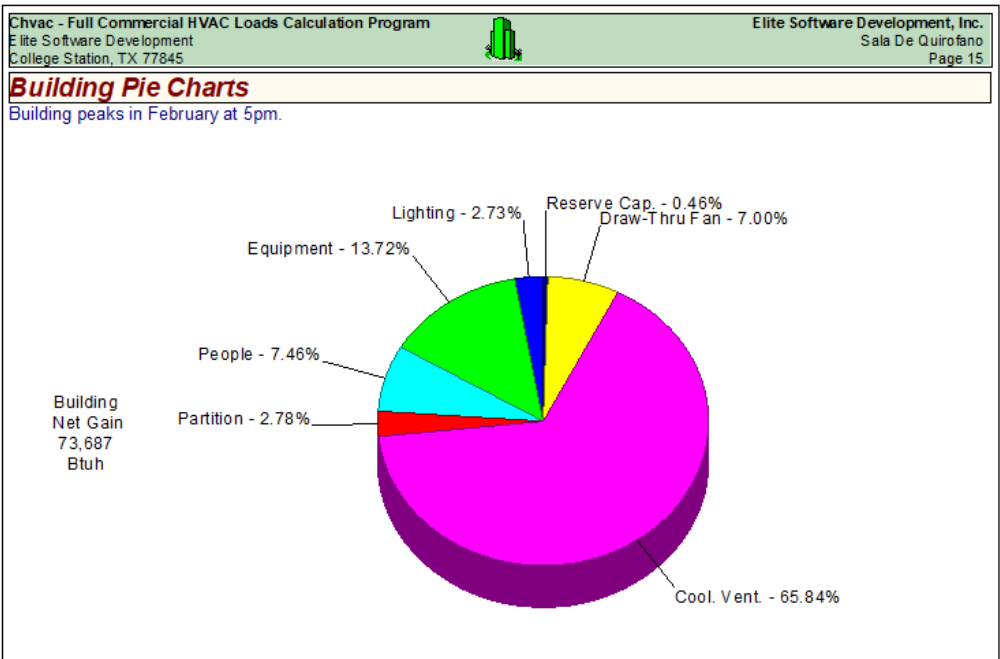


Figura 10 Distribución de cargas térmicas

Como se puede evidenciar más del 65.84% de la carga térmica del quirófano es causada por las infiltraciones de aire exterior ya que son 15 renovaciones por hora y el aire exterior de Barrancabermeja se encuentra en unas condiciones termo-higrométricas muy altas, lo cual nuestro sistema debe controlar con el fin de cumplir con las especificaciones del capítulo de calidad de aire interior en ambientes hospitalarios de la pre norma colombiana.

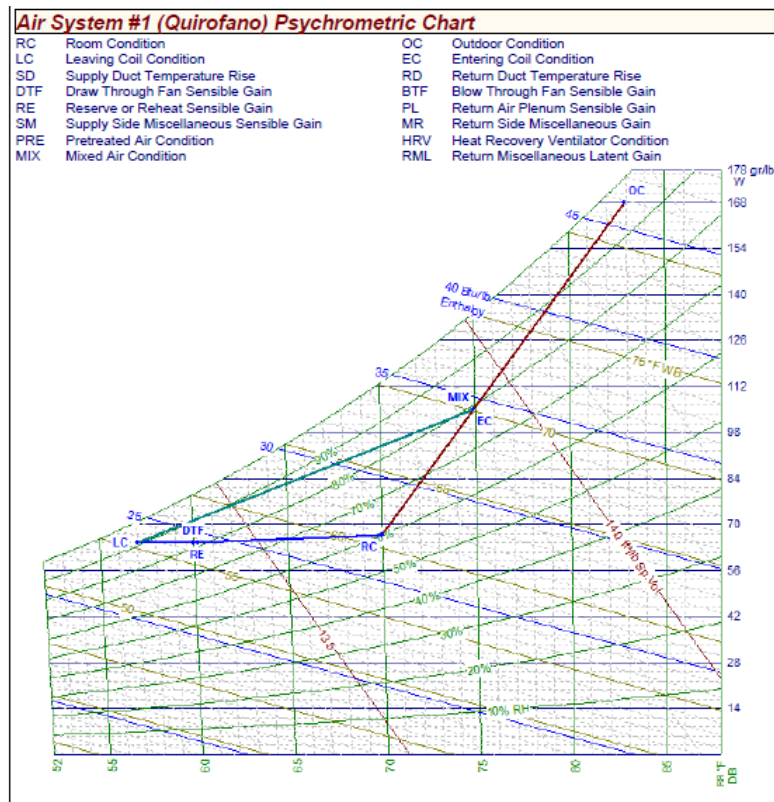


Figura 11 Carta Psicométrica

Carta psicométrica del proceso que se debe realizar para climatizar el quirófano.

El punto OC de la figura 11, es la condición del aire exterior, el punto RC es la condición del aire interno en el quirófano y el punto MIX la condición de mezcla, el punto LC es la temperatura de salida del sistema.

5.2 Diseño de ductos de suministro y retorno

Para el diseño de los ductos de suministro se tomaron en cuenta los siguientes datos:

Por medio del software Ductsize y el método de pérdida de igual en los tramos, el objetivo es mantener la misma presión estática a lo largo del ducto con diferentes velocidades, se agregaron los parámetros para el diseño de los ductos, con los 1582 CFM y una caída de presión de 0.1 In,wáter column el software nos dio el dimensionamiento del ramal principal de suministro con un diámetro de 16.5 in. Para el siguiente tramo con una velocidad de 982 CFM el diámetro es de 13.8 in y para el tramo final a 382 CFM es de 9.7 in.

- Aplican con sistema de difusión por flujo turbulento.
- Total aire suministro: 1582 CFM.

Para el diseño de los ductos de retorno se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- Total aire de retorno = Total aire suministro 1582 CFM – Toma de aire exterior 593 CFM
- Total aire retorno: 989 CFM

Por medio del software Ductsize se calculó los ductos de retorno con diámetro de 13.8 in y velocidad de 989 CFM y el otro ducto seria de 10.7 in y velocidad de 494 CFM.

Tabla 6
Secciones de ductos

SECCIONES DE DUCTOS DE SUMINISTRO						
SECCION	CAUDAL	CAIDA DE PRESION (in.w.c)	DIAMETRO (in)	VELOCIDAD (fpm)	LARGO (m)	CAIDA DE PRESIÓN POR TRAMO (in.w.c)
A - B	1582	0.1	16.5	1062.4	4.6	1.5088
B – C	982	0.1	13.8	944.8	1.8	0.5904
C - D	392	0.1	9.7	747.1	1.1	0.3608
					TOTAL CAIDA DE PRESIÓN (in.w.c)	2.46

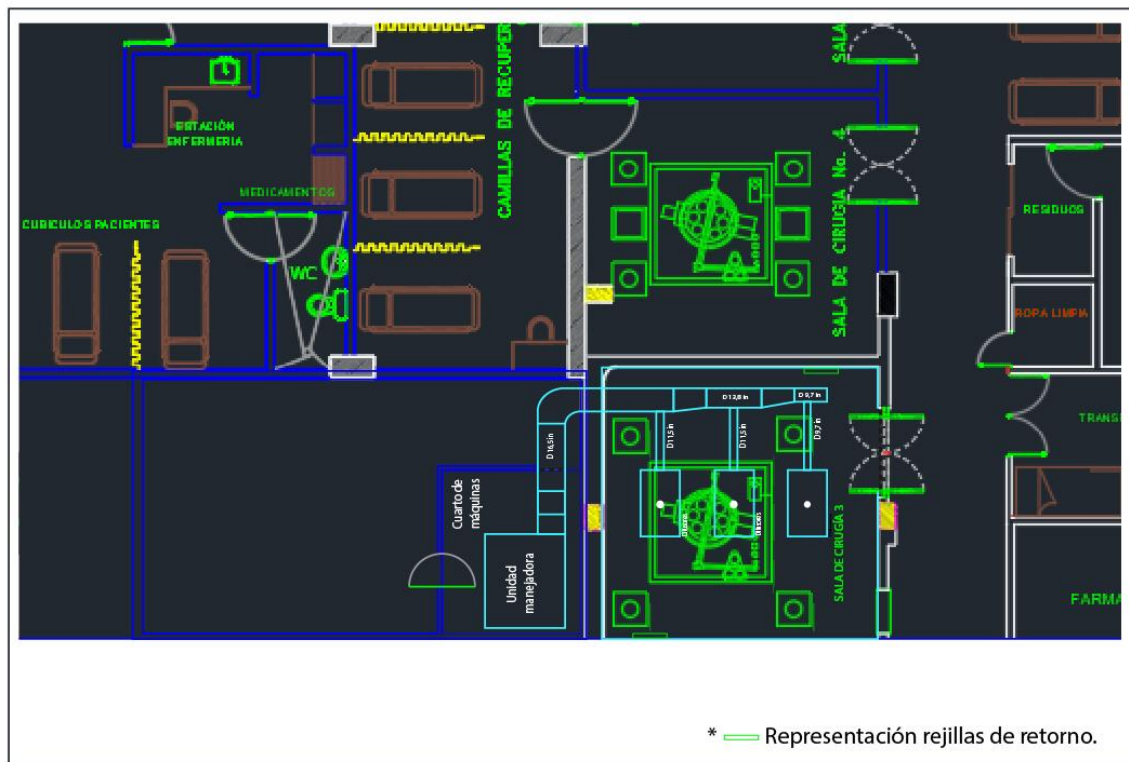


Figura 12 Plano distribución de ductos

5.3 Difusores, filtros y rejillas de retorno

Para la selección de difusores se buscaron en el catálogo de *Price industries* se eligió 3 difusores rotacionales de 24 x 48 in, con filtro HEPA de 99.99% ya que según la pre norma colombiana las exigencias para este tipo de quirófano aplica difusión por flujo turbulento con filtro HEPA terminal. El modelo del difusor es: *RFDC Radial flow diffuser with HEPA filter*.



Figura 13 Difusor rotacional con filtro HEPA Price model: RFDC.
Adaptado de Price industries (2019) / Radial flow diffuser from
<https://www.priceindustries.com/criticalenvironments/products/rfd-radial-flow-diffuser>.

Para la selección de dos rejillas de retorno se tomó en cuenta que van a 40 cm del piso. Dos rejillas de pared lateral 10 x 6, Price modelo: 700H por esquinas opuestas, según estándar ASHRAE 170.



Figura 14 Rejilla Price model: 700H.
Adaptado de Price Industries (2019) / Louvered Grille, from
<https://www.priceindustries.com/content/uploads/assets/literature/catalogs/catalog-pages/section%20d/500600700-louvered-grille-catalog.pdf>



Figura 15 Quirófano con difusión por flujo rotacional

5.4 Selección de equipos

Previamente a la selección de la unidad manejadora se debe garantizar que el quirófano debe tener presión positiva. Para esto, se calcula la presurización por diferencial de caudal. Con el fin de calcular que los CFM por holguras del quirófano sean menores que los CFM de suministro.

Tabla 7
Presurización por diferencial de caudal

PRESURIZACION POR DIFERENCIAL DE CAUDAL								
Item	Diam(in)	h(in)	e lado(in)	w(in)	e piso(in)	Cantidad	A total(in2)	A total(ft2)
Puerta Doble		80	0.12	60	0.2	1	31.2	0.218
Luces		60	0.001			4	0.24	0.0013
Tubo acometida 1/2	0.5					3	0.58905	0.004
TOTAL							32.02905	0.2233

A(ft2)=	0.2233
dP(iwg)=	0.02
Q(cfm)=	82.42220489

Dado a que se cumple lo anteriormente mencionado se garantiza la presión positiva del quirófano.

Nota: es necesario instalar equipos de monitoreo de presión luminosos o acústicos para garantizar la presión positiva en todo momento del quirófano.

Para la selección de la unidad manejadora se deben tomar en cuenta las siguientes especificaciones:

Caudal suministro: 1582 CFM

Capacidad térmica: 6.14 TR

Etapas de filtración: merv 8 antes del ventilador y merv 11 después del mismo

Aire exterior: 593 CFM

Presión estática externa: 5,37 in.w.c

La presión estática externa se calcula por medias de las longitudes del ducto, los accesorios, difusores y filtros que se encuentran en los ductos de suministro.

Tabla 8

Calculo de presión estática externa

ACCESORIOS	CAIDA DE PRESIÓN (in.w.c)	CANTIDAD	CAIDA DE PRESIÓN TOTAL (in.w.c)
DIFUSOR CON FILTRO HEPA 99.99%	0.7	1	0.7
FILTRO HEPA 95%	0.46	1	0.46
DUCTOS	2.46		2.46
CURVA	0.25	7	1.75
		TOTAL (in.w.c)	5.37

Con estas especificaciones el proveedor TECAM seleccionó las siguientes unidades manejadora, condensadora y ventilador de la manejadora, las cuales fueron: Una unidad manejadora con dos válvulas de expansión de 5 TR, R-410A con un ventilador radial microbiológicamente inerte, con condiciones de flujo optimas, presurización uniforme del filtro y dos condensadoras de 5 TR de alta eficiencia R-410A.



DEPARTAMENTO DE VENTAS E INGENIERIA
TELEFONOS CALI: 4471717
TELEFONO BOGOTA: 7466031
REV 1

FVE-002



COT ZC # 91-VI-2019- ABR
JUNIO 25/2019

NOMBRE: CLIMA CAST
ATT: Ing Jose Castiblanco
TELEFONO:
DIRECCION:
ATENDIENDO SU SOLICITUD, NOS PERMITIMOS COTIZAR:

FAX:
CIUDAD: BOGOTA

CANT.	DESCRIPCION	REFERENCIA	VR. UNIT.	VR.TOTAL
1	UNIDAD MANEJADORA MARCA TECAM DE TRABAJO PESADO, DOBLE PARED, AISLADA CON POLIURETANO DE 2", PINTADA Y ENSAMBLADA, MODULARMENTE CON PUENTE TERMICO PARA USO EXTERIOR. SEGUN SELECCION INCLUYE: SECCION CAJA DE HECLAS HMB3, SECCION DE FILTROS FLT4 FILTROS 35% 2", SECCION SERPENTIN HORIZONTAL LCS1 CON SERPENTIN PARA EXPANSION DIRECTA 6/14HF DX, (2) VALVULAS DE EXPANSION DE STR PARA R-410A SECCION ACCESO ACC3, SECCION VENTILADOR PFL1 CON (1) VENTILADORES PLENUM FAN MOTOR ELECTRONICOGR.31 220/3PH/60Hz, CPG, SECCION DE FILTROS FLT4 CON FILTROS DEL 85% 4"	03ADBT 03_L HMB3/FLT4-LCS1-ACC3-PFL1-FLT4 1502 CFM @ 5.37 IN H2O	\$ 18,980,000	\$ 18,980,000
2	UNIDAD CONDENSADORA MARCA TECAM DE 5.0 TR., VERTICAL, TRIFASICA 208-230V/3PH/60Hz, UN CTU5, ALTA EFICIENCIA, REFRIGERANTE R-410A.	1UVC 060-136	\$ 4,300,000	\$ 8,600,000
NOTA: LAS UNIDADES MANEJADORAS COTIZADAS NO INCLUYEN: ELEMENTOS ELECTRICOS, NI DE CONTROL O MEDICION DIFERENTES A LOS INCLUIDOS EN LA PRESENTE COTIZACION.				
PROYECTO:			SUB-TOTAL	\$ 27,580,000

Figura 16 Selección unidades del sistema



Datos del ventilador

27.06.2019

versión FANselect V 1.01 (190826), AMCA V 1.03 February, 2019 / 1.19.06.26 | 46193 | (Usuario ZAFS36193)



tipo	GR31C-ZID.DC.CR
Número de artículo	114534/H01 Portfolio U+NA

datos tecnicos

Motor	ECblue
Alimentación de red	- 3~ 230V 60Hz
temperatura ambiente,	°C 55
densidad (p)	lbs/ft³ 0.075
Altitud	ft 245
Temperatura	°F 68
Eficiencia $\eta_{std,sa}$	% 66,1
Eficiencia N_{actual} N_{target}	73,5 62
Conformidad ErP	2015 Regulador EC integrado
grille influence	Nein

Figura 17 Ficha técnica ventilador

Para el monitoreo de la presión del sistema se usará monitores marca Pressura RMP20, el cual me mide la temperatura, humedad y presión del quirófano además de tener alarmas visuales y acústicas con el fin de alertar al personal del quirófano para garantizar que el quirófano se encuentre en las condiciones requeridas.

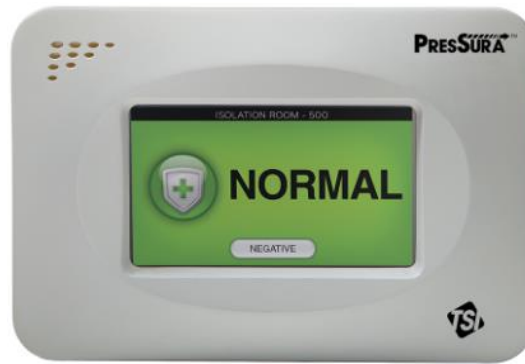


Figura 18 Monitor de presión, humedad y temperatura, marca Pressura.
Adaptado de Pressura (2019) from <https://www.tsi.com/pressura-hospital-room-pressure-monitors-rpm10/>

6. Conclusiones

El software Chvac Elite, es una herramienta computacional, completamente funcional para aplicaciones de este tipo donde la humedad relativa se debe llevar a valores controlados y bajos. El software nos permite agregar las especificaciones como lo son los cambios/horas para el caudal de impulsión y las renovaciones por hora de aire exterior mínimo que requiere el quirófano con el fin de cumplir con los requisitos de la pre norma colombiana.

El informe de resultados que entrega el software nos arroja los CFM de suministro y CFM de aire exterior que requiere el quirófano para la aplicación, junto con la carga térmica requerida.

La carga térmica para una sala de cirugía clase A – ISO 6, es influenciada en un 65.84% según los requerimientos de toma de aire exterior, equivalentes a 15 cambios por hora, dato requerido en la pre norma colombiana de calidad de aire en ambientes hospitalarios, esto con el fin de proteger a pacientes y personal de agentes patógenos e infecciones nosocomiales que se podrían transmitir por nuestro sistema de aire acondicionado, agregando a éste requerimiento las

condiciones de la ciudad Barrancabermeja, la cual tiene una climatología con altas cargas latentes en el aire exterior, afectando aún más nuestra carga térmica del quirófano.

El diseño de los ductos requiere que previamente se realice la selección de los tipos de difusores con el fin de saber la distribución de los ductos. Los difusores se seleccionaron de tipo rotacional ya que el tipo de sala que se diseñó Clase A, ISO 6 permite difusión por flujo turbulento con filtro HEPA de 99.99%. Los ductos se diseñaron circulares ya que la pre norma colombiana recomienda que sean de este tipo para el mantenimiento y prevenir acumulación de suciedad.

Las rejillas de retorno son de tipo pared se ubicaron dos y se encuentran en extremos opuestos a 40 cm del piso, según ASHRAE 170.

Para la selección de la unidad manejadora se requiero previamente haber diseñado los ductos y elegido los difusores, con el fin de calcular la caída de presión de los ductos, difusores, accesorios y filtros que debe superar el ventilador de la unidad, para cumplir con los estándares de la pre norma colombiana, la unidad debe ser con ventilador de variador de frecuencia, sin correas para acoplar al motor, de doble pared, ensamblada modularmente con puente térmico, para este caso se escogió de expansión directa para este quirófano, esta se ubicó en el cuarto de máquinas que debe ser hermético con suficiente espacio para mantenimiento de la unidad, se cotizo la unidad con TECAM una marca nacional reconocida y que cumple con las especificaciones requeridas.

Referencias bibliográficas

Colombia, capítulo de Calidad de Aire Interior de la pre norma Colombiana de Climatización en Ambientes Hospitalarios, ACAIRE, (2019).

Sociedad Americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y acondicionamiento de aire inc, (2018). Ventilación de instalación de atención médica, Atlanta, Estados Unidos: ASHRAE

Ingenin Ltda. (Productor). (2017). Air handler y rooms configuration [youtube]. De <https://www.youtube.com/watch?v=WvAojNJIPxg>

Ingenin Ltda. (Productor). (2017). Datos generales y perfiles [youtube]. De <https://www.youtube.com/watch?v=gwnFATykCYk&t=557s>

Ingenin Ltda. (Productor). (2017). Análisis y configuración de reportes [youtube]. De https://www.youtube.com/watch?v=_2iBJNGvvE4&t=674s

Ingenin Ltda.(Productor).(2017).Datos maestros y ambientales [youtube]. De <https://www.youtube.com/watch?v=A5HCmDiJbN8&t=1101s>

Ingenin Ltda, (Productor). (2017). Presurización de zonas críticas por diferencial de caudal [youtube]. De https://www.youtube.com/watch?v=1Ea_YJGQwRs&t=280s

Lizarazo Harbey Alexis, (2019) - Diseño de quirófanos con base en la pre norma colombiana de climatización en ambientes hospitalarios. (1rd ed.) [USB].Bucaramanga

Miquel Pujol, Enric Limón. (2013). Epidemiología general de las infecciones nosocomiales. Sistemas y programas de vigilancia, El sevier, (1) ,1 y 2 Recuperado de <http://www.elsevier.es/es-revista-enfermedades-infecciosas-microbiologia-clinica-28-articulo-epidemiologia-general-las-infecciones-nosocomiales--S0213005X13000025>