



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Modelado del sistema de ventilación de un bloque
quirúrgico mediante un modelo zonal**

Autor:

De Frutos Merino, Antonio

Tutor:

**Villafruela Espina, José Manuel
Dpto: Ingeniería Energética y
Fluidomecánica**

Valladolid, Mayo 2018.

RESUMEN

Un diseño adecuado del sistema de ventilación del bloque quirúrgico de un hospital es una de las maneras más eficaces de reducir el riesgo de infecciones aerotransportadas durante la cirugía. El sistema de ventilación es el encargado de mantener tanto el número de renovaciones de aire como la sobrepresión del quirófano respecto a los recintos contiguos. Por otro lado, el sistema de ventilación no siempre presta servicio en condiciones de diseño. La colmatación progresiva de los filtros y las medidas de ahorro energético en periodos de inactividad cambian las condiciones de funcionamiento de los ventiladores.

En este trabajo se dimensiona el sistema de ventilación de un bloque quirúrgico real para trabajar en condiciones de diseño utilizando un método de cálculo de tipo zonal. La metodología empleada permite estudiar fácilmente el comportamiento del sistema de ventilación en condiciones diferentes a las de diseño.

.

PALABRAS CLAVE

Quirófano

Ventilación

Pérdida de carga

Infección nosocomial

CONTAM

ABSTRACT

An adequate design of the ventilation system of the surgical block of a hospital is one of the most effective ways to reduce the risk of airborne infections during surgery. The ventilation system is responsible for maintaining both the number of air changes and the overpressure of the operating room compared to the adjacent rooms. On the other hand, the ventilation system does not always provide service under design conditions. The progressive clogging of the filters and the energy saving measures in periods of inactivity change the operating conditions of the fans.

In this work, the ventilation system of a real surgical block is dimensioned to work in design conditions using a zone type calculation method. The methodology used allows the study of the behavior of the ventilation system in different design conditions.

KEYWORDS

Operating room

Ventilation

Head losses

Nosocomial infection

CONTAM

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. JUSTIFICACIÓN | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 3 |
| 1.3. METODOLOGÍA | 4 |
| | |
| 2. VENTILACIÓN DE ÁREAS QUIRÚRGICAS | 5 |
| 2.1. VENTILACIÓN | 5 |
| 2.1.1. Concepto | 5 |
| 2.1.2. Sistemas de ventilación: | 5 |
| 2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DE VENTILACIÓN | 9 |
| 2.2.1. Caudal de aire | 9 |
| 2.2.2. Renovaciones de aire | 10 |
| 2.2.3. Eficiencia de ventilación | 11 |
| 2.2.4. Eficiencia de eliminación de contaminante | 11 |
| 2.3. DISEÑO EL BLOQUE QUIRÚRGICO | 12 |
| 2.4. INFECCIONES NOSOCOMIALES | 14 |
| 2.5. SISTEMA DE VENTILACIÓN | 15 |
| 2.5.1. Climatizadoras y conductos | 15 |
| 2.5.2. Ventiladores | 16 |
| 2.5.3. Difusores y rejillas de extracción | 16 |
| 2.5.4. Filtros | 17 |
| | |
| 3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN | 19 |
| 3.1. SITUACIÓN BLOQUE QUIRÚRGICO | 19 |
| 3.2. COMPOSICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL BLOQUE QUIRÚRGICO | 20 |
| 3.2.1. Quirófano tipo A | 22 |
| 3.2.2. Quirófano tipo B | 23 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.3. | Limpio y preparación..... | 24 |
| 3.24. | Hall de acceso..... | 24 |
| 3.2.5. | Salida sucio..... | 25 |
| 3.3. | SISTEMA DE IMPULSIÓN..... | 26 |
| 3.3.1. | Ventilador de impulsión..... | 26 |
| 3.3.2. | Difusores..... | 26 |
| 3.4. | SISTEMA DE EXTRACCIÓN..... | 28 |
| 3.4.1. | Ventilador de extracción..... | 28 |
| 3.4.2. | Rejillas de extracción..... | 28 |
| 3.4.3. | Configuración de difusores y rejillas..... | 29 |
| 3.5. | SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AIRE..... | 30 |
| 3.5.1. | Climatizadoras..... | 30 |
| 3.5.2. | Sistemas de control de climatización..... | 31 |
| 4. | SOFTWARE DE DISEÑO..... | 33 |
| 4.1. | ZONAS..... | 35 |
| 4.2. | FUGAS DE AIRE..... | 36 |
| 4.3. | CONDUCTOS..... | 38 |
| 4.4. | TERMINALES..... | 41 |
| 4.4.1. | Rejillas de extracción..... | 44 |
| 4.4.2. | Difusores..... | 43 |
| 4.5. | FILTROS..... | 46 |
| 4.6. | BATERIAS DE CALOR Y FRIO..... | 47 |
| 4.7. | VENTILADORES..... | 49 |
| 4.8. | PÉRDIDAS EN CLIMATIZADORA..... | 51 |
| 5. | CÁLCULO DEL VENTILADOR..... | 53 |
| 5.1. | PROCESO DE SELECCIÓN DEL VENTILADOR..... | 54 |
| 5.2. | CONDICIONES OPERATIVAS. FILTROS NUEVOS..... | 72 |
| 5.3. | CONDICIONES OPERATIVAS. FILTROS SUCIOS..... | 77 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.4. | CONDICIONES OPERATIVAS. MODO NOCHE..... | 83 |
| 5.5. | RESUMEN..... | 89 |
| 6. | CONCLUSIONES | 93 |
| 7. | PRESUPUESTO | 95 |
| 8. | BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA | 97 |
| | ANEXO | 99 |
| 1. | Ventilador de impulsión inicial bloque quirúrgico:..... | 99 |
| 2. | Ventilador real del bloque quirúrgico: | 101 |
| 3. | Ventilador de extracción del quirófano:..... | 103 |
| 4. | Ventilador de extracción bloque quirúrgico:..... | 105 |
| 5. | Diagrama de flujo: | 107 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN

Los interiores de los edificios tienen la necesidad de ser ventilados para renovar el aire y evitar así condensaciones, malos olores y proliferación de partículas en suspensión que puedan llegar a ser malignas para el sistema respiratorio del ser humano. Cuando el edificio es un centro sanitario, la ventilación adquiere un papel importante por la convivencia en este de pacientes, visitantes y personal que trabaja dentro del hospital, por ello, a la hora de diseñar un centro hospitalario, además de satisfacer las necesidades propiamente clínicas, se deben satisfacer las condiciones higiénicas que son muy importantes para el correcto funcionamiento del centro hospitalario. Dentro del hospital, el quirófano es una zona donde la ventilación debe cumplir con una serie de requisitos especiales para evitar la deposición de patógenos sobre la herida abierta del paciente.

Las infecciones nosocomiales son aquellas que adquiere una persona debida a su paso por un hospital y, que en el momento de su paso no estaban presentes ni en incubación. Estas infecciones pueden transmitirse por contacto directo o por vía aérea. Una forma de controlar la transmisión por vía aérea es mediante el sistema de ventilación de aire que, si se diseña adecuadamente, puede reducir la concentración de microorganismos dañinos, polvo, gases anestésicos, ..., en el ambiente del hospital. Estos elementos suponen una amenaza para cualquiera de los tres grupos de personas que conviven en un hospital, pero que son especialmente dañinos para los pacientes, por tener en ese momento un sistema inmunológico débil.

Un sistema de ventilación de aire inadecuado va a favorecer a la proliferación de infecciones nosocomiales. Se estima que más de 1.400.000 personas al año en todo el mundo sufren una infección de este tipo y que el 20% de los pacientes de hospitales de países en vías de desarrollo (carecen de sistemas de ventilación en sus hospitales), adquiere una infección de este tipo. El costo de este tipo de infecciones en un país desarrollado como puede ser Reino Unido se estima en

1000 millones de libras para cada 100.000 casos de infecciones nosocomiales con más de 5000 muertes atribuibles. [1]

Mediante el sistema de acondicionamiento y distribución de aire, se van a controlar las propiedades del aire de entrada y la presión interior de cada sala, esto permite que se pueda tener una sobrepresión en el interior del bloque quirúrgico que evita la infiltración de aire de las salas adyacentes. Aunque el bloque quirúrgico se encuentre en un periodo de inactividad, la sobrepresión interior es necesario mantenerla para evitar la contaminación del mobiliario y el instrumental que estarán en contacto con el paciente. Por ello, el sistema de ventilación diseñado debe garantizar que la sobrepresión en el bloque quirúrgico se mantenga todo el tiempo.

Un diseño adecuado del sistema de ventilación de un bloque quirúrgico va a permitir reducir las infecciones nosocomiales gracias a:

- El filtrado previo del aire eliminado así las partículas dañinas.
- Eliminación de las zonas de estancamiento de aire.
- Eliminación de la infiltración de aire sin tratar de zonas adyacentes gracias a la sobrepresión interior.
- Evitar la deposición de partículas aerotransportadas sobre el instrumental.
- Dilución las partículas nocivas existentes en el ambiente.

La norma *UNE 100713:2005* [2], es la norma que se encarga de regular las instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales. Actualmente se ha desarrollado una nueva norma *UNE EN 16244-2* [3]. A fecha de presentación de este trabajo esta norma está pendiente de publicación.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es diseñar el sistema de ventilación de un bloque quirúrgico real.

El sistema de ventilación no siempre trabaja en condiciones de diseño ya que la colmatación progresiva de los filtros genera mayor pérdida de carga en el sistema, por ello, se debe garantizar que el caudal de impulsión y la presurización del bloque quirúrgico se encuentran dentro del intervalo de diseño durante los periodos de actividad del sistema.

En los periodos de inactividad, el bloque quirúrgico debe mantener una pequeña sobrepresión interior para evitar la entrada de aire de zonas adyacentes, por ello se estudia una forma de reducir la energía que consume el sistema variando la cantidad de aire impulsado.

No se debe olvidar de que, durante los periodos de actividad del sistema de ventilación del bloque quirúrgico debe cumplir la norma *UNE 100713:2005* que regula las instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales.

1.3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el diseño del sistema de ventilación del bloque quirúrgico de estudio y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente en su interior se han seguido los siguientes pasos:

- Conocer los requisitos del sistema de ventilación de bloque quirúrgicos establecidos en la normativa y en las recomendaciones.
- Seleccionar los elementos que componen la instalación de ventilación (conductos, filtros, compuertas cortafuego, baterías frío/calor, recuperador de calor, etc).
- Calcular las pérdidas de carga de la instalación mediante un modelo zonal (CONTAM).
- Seleccionar los ventiladores adecuados y su punto de funcionamiento en condiciones de diseño.
- Buscar un proveedor que garantice que sus productos se adecuan a la normativa vigente y además que pueda proporcionar toda la documentación necesaria para poder llevar a cabo el cálculo de la instalación.
- Diseñar la instalación en CONTAM.
- Calcular el ventilador que demanda la instalación en CONTAM.
- Plantear las posibles situaciones a las que se tiene que enfrentar el ventilador elegido durante el periodo de vida útil de la instalación.
- Cuantificar dichas situaciones y comprobar si los ventiladores escogidos van a poder responder ante esos casos y determinar el régimen de giro del ventilador para esas situaciones. En el caso de que el ventilador no pueda responder para el caso planteado, sustituir el ventilador por otro más adecuado.

Para realizar el presente trabajo, se ha escogido como proveedor al fabricante TROX que dispone de un catálogo virtual *easy product finder* y un software de selección de climatizadoras YAHUS.

2. VENTILACIÓN DE ÁREAS QUIRÚRGICAS

2.1. VENTILACIÓN

2.1.1. Concepto

La ventilación es el proceso de renovación de aire de los locales para limitar el deterioro de su calidad, desde el punto de vista de su composición, que se realiza mediante la entrada de aire exterior y evacuación de aire viciado. [4]

La ventilación en los seres vivos resuelve funciones vitales como es el suministro de oxígeno y a la vez les proporciona condiciones de confort afectando a la temperatura, humedad y velocidad del aire. [5]

2.1.2. Sistemas de ventilación:

Según las necesidades del recinto a ventilar, se pueden emplear los distintos sistemas:

2.1.2.1. *Ventilación natural*

La ventilación natural es aquella en la que la renovación del aire se produce empleando la velocidad del viento y las diferencias de presión y temperatura existentes en el ambiente:

- Con la velocidad del viento se genera un fenómeno conocido como “*efecto de la presión del viento*” que genera unas zonas de sobrepresión y de depresión en el edificio que da lugar a corrientes de aire.

- Con la diferencia de presión se genera el “*efecto chimenea*” que consiste en un tiro de aire que tiene su origen en las diferencias de presión y temperatura en distintas partes del local.

Este tipo de ventilación no permite tener un control sobre las propiedades del aire de entrada, por ello no se emplea en la ventilación de un bloque quirúrgico.

2.1.2.2. *Ventilación forzada*

También conocida como ventilación mecánica, es el proceso mediante el cual se extrae o se impulsa aire a un local mediante dispositivos mecánicos, conocidos como ventiladores, con la finalidad de mantener un control sobre las propiedades del aire en el local.

Este tipo de ventilación es el que se va a utilizar en el quirófano y puede ser:

- **Solo extracción:**

Consiste en tener uno o varios extractores en la habitación que consiste en un conducto que en su parte inicial tiene una rejilla y en su parte final está conectado a un ventilador de extracción.

En la *figura 2.1* se puede ver los posibles flujos de extracción que puede haber en una habitación.



Figura 2.1: Flujos de extracción de aire

- **Solo impulsión:**

Los ventiladores recogen el aire del exterior y lo introducen en el interior del recinto a través de una instalación de conductos. Al introducir aire en el interior estamos generando una sobrepresión en el interior lo que imposibilita la entrada de aire a través de orificios en la construcción.

En la *figura 2.2* se puede ver los distintos flujos de impulsión que se pueden generar en una sala.

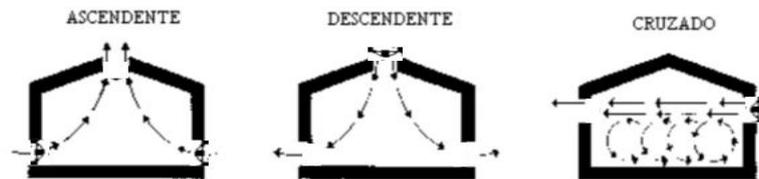


Figura 2.2: Flujos de impulsión de aire

Las ventajas de la impulsión de aire son:

- El posible tratamiento (si fuera necesario) del aire antes de su entrada en el recinto, que permitirá tener un control total sobre las propiedades del aire de entrada.
- Permite un control de la cantidad de aire que entra en el recinto, además de una mejor distribución de este en el recinto.

- **Combinación de impulsión y extracción:**

En este caso se tiene para un mismo recinto la combinación de la extracción con la impulsión, lo que permite una optimización del proceso haciéndole más eficiente.

Los mecanismos de ventilación forzada son:

- **Ventilación por desplazamiento:** se tiene una zona de impulsión de aire y una zona de extracción y entre ellas fluye el aire mezclado con el aire del recinto, este tipo de ventilación tiene una eficiencia máxima.

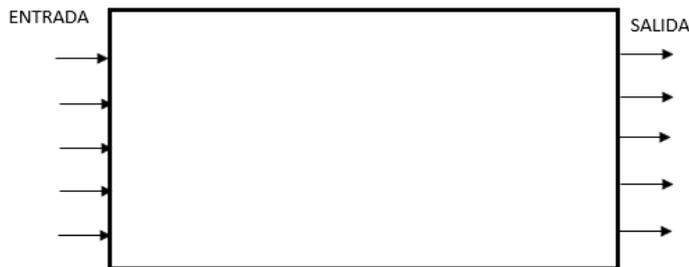


Figura 2.3: Ventilación por desplazamiento

- **Ventilación por mezcla:** mediante este sistema se consigue que el aire impulsado forme una mezcla homogénea con el aire existente de la habitación. En este caso también se consiguen eficiencias muy altas.

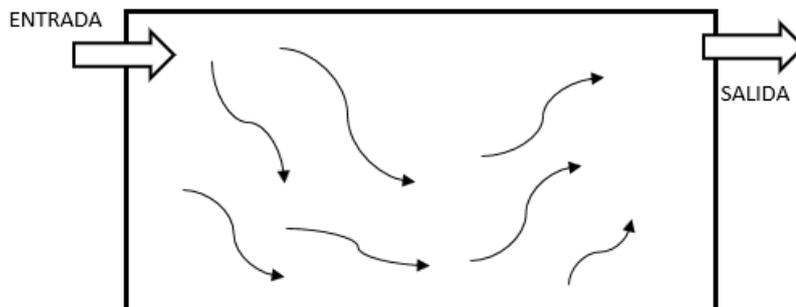


Figura 2.4: Ventilación por mezcla

- **Cortocircuito:** este mecanismo es el principal problema de la ventilación, y suele darse cuando tenemos una mala localización de los puntos de impulsión y extracción o se coloca mobiliario en zonas donde no estaban previstas modificando así el recorrido del aire. Se tiene un local donde hay zonas que no se ventilan y en ocasiones el aire de impulsión sale por la extracción tal cual entra.



Figura 2.5: Cortocircuito de aire

2.1.2.3. Ventilación híbrida

Ventilación en la que, cuando las condiciones de presión y temperatura ambientales son favorables, la renovación del aire se produce por la ventilación natural y, cuando son desfavorables, se activa la ventilación mecánica.

La puesta en marcha del ventilador de extracción se realiza mediante sensores de control de viento.

Este tipo de ventilación es el que se usa actualmente en las viviendas.

2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO DE VENTILACIÓN

2.2.1. Caudal de aire

La misión que tiene el caudal de aire es la renovación del aire interior del recinto por aire exterior o por aire recirculado. El caudal de aire es debidamente tratado antes de su entrada al bloque quirúrgico.

Según la norma *UNE EN 100713:2005* para quirófanos de tipo A, el caudal mínimo de aire exterior impulsado será de $2400 \text{ m}^3/\text{h}$ y para quirófanos de tipo B la totalidad de aire que es necesario impulsar es de $2280 \text{ m}^3/\text{h}$.

El resto de dependencias del bloque requieren un caudal mínimo de $15 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$.

Esto es lo que dice la normativa ^[4] para un quirófano tipo, pero la cantidad de aire necesaria para llevar a cabo una correcta ventilación depende entre otros factores de las dimensiones y características del local y de la carga térmica del mismo.

Una característica importante del interior del quirófano es que en su interior debe existir una sobrepresión, que se controla a través del caudal de impulsión y de extracción. Esta sobrepresión es necesaria para evitar que entren olores, polvos o partículas desde las habitaciones colindantes.

Otro parámetro que permite controlar el caudal de aire en el interior de un quirófano es la concentración interior de un cierto contaminante.

Esta concentración no debe superar los valores que establecen los estándares internacionales, por ello, el caudal necesario que se debe impulsar viene determinado por la siguiente expresión:

$$Q_{ext} = \frac{G}{C_i - C_o} \frac{1}{\epsilon v}$$

Q_{ext}: Caudal exterior de aire necesario para mantener una concentración.

C_i: Concentración contaminante interior.

G: Tasa de generación de un contaminante.

C_o: Concentración del contaminante en el aire exterior.

2.2.2. Renovaciones de aire

Según la norma *UNE 100713(14, AENOR, 2015)* se establece un mínimo de 20 renovaciones por hora, siendo rebasado este valor cuando estamos en un quirófano de tipo laminar.

2.2.3. Eficiencia de ventilación

Se define edad de una partícula de aire en una habitación como el periodo de tiempo que la partícula ha permanecido en dicho recinto.

Con este concepto se puede definir la eficiencia de ventilación de un local en función del concepto de edad media del aire. La edad media del aire se puede calcular para:

- Todo el recinto, entonces se conoce como edad media de la habitación y representa el valor medio de todas las partículas que se encuentran en el local.
- Un punto del recinto, entonces se habla de edad media local que representa el tiempo medio de permanencia del aire en el recinto antes de pasar por el punto de consideración.

Con estas definiciones se define la eficiencia de ventilación como:

$$\varepsilon = \frac{\textit{edad del aire media local en la extracción}}{2 \times \textit{edad media en la habitación}}$$

2.2.4. Eficiencia de eliminación de contaminante

La eficiencia de eliminación de contaminante (ε_v) es una indicativa de lo adecuada que es la renovación del aire en el conjunto de una sala, con relación al caudal nominal del aire. Este índice es mayor cuanto mejor es la renovación del aire en el conjunto de la estancia siempre considerando un volumen de la estancia constante y un caudal constante.

Esta eficiencia es diferente para cada recinto en función de su geometría, mobiliario interior, configuración del sistema de impulsión y retorno, temperatura, etc.

Se define la eficiencia de eliminación de contaminante como la relación entre las concentraciones de una sustancia contaminante en un recinto: ^[6]

$$\varepsilon v = \frac{C_e}{C_z}$$

C_e : Concentración de una sustancia contaminante en el aire de extracción.

C_z : Concentración de una sustancia contaminante en la zona ocupada temperatura.

2.3. DISEÑO EL BLOQUE QUIRÚRGICO

Antes de comenzar a estudiar el sistema de ventilación del bloque quirúrgico se deben conocer los tipos de locales que se existen dentro de un bloque quirúrgico:

- Locales “*limpios*”: quirófanos, lavabos de médicos, descanso de personal y locales de instrumental.
- Locales “*semilimpios*”: almacenes, salidas de quirófanos, vestuarios de personal, recepción y el acceso.
- Locales “*sucios*”: salas de limpieza y locales para instalaciones.

Ahora que se conoce la jerarquía que siguen los distintos locales que existen dentro de un bloque quirúrgico se realiza un diseño en el que se acceda de forma progresiva desde las zonas “*menos limpias*” a las “*más limpias*”.

Cuando se diseña un bloque quirúrgico siempre se persigue evitar la contaminación procedente del exterior de cualquier zona del área quirúrgica y esto se consigue construyendo un recinto completamente estanco, por ello, se deben cuidar los cerramientos en el quirófano y no deben existir ventanas ni ningún otro tipo de comunicación con el exterior del edificio.

El quirófano es el área principal del bloque y se debe garantizar la limpieza de este en todo momento, por ello se debe minimizar el número de locales que estén comunicados con este, además se establece que el número máximo de quirófanos para tener un control total en el bloque debe ser de ocho.

Finalmente se establecen una serie de consideraciones en cuanto a la construcción del bloque:

- El bloque debe ser independiente de las circulaciones generales del hospital.

- Dentro del bloque deben diferenciarse separaciones en las circulaciones del personal, de los pacientes y de los materiales (sucios o limpios).
- El personal que trabaja en zonas “limpias” debe poder acceder al resto del bloque sin atravesar una zona “sucia”.
- El material sucio debe poder atravesar el bloque sin atravesar ninguna zona “limpia”.
- El aire siempre debe circular desde las zonas “limpias” a las zonas “sucias”.

Una vez escritas estas consideraciones, se establecen varias soluciones según la arquitecta hospitalaria española María Pérez Sheriff [7]. Estas soluciones han ido evolucionando hacia la simplificación, siempre considerando el quirófano la sala más crítica del bloque.

María Pérez establece que un quirófano de cubicar al menos 110 m^3 (6x6x3).

Para conseguir las exigencias establecidas, se plantean dos soluciones:

- **Con pasillo doble (Figura 2.6):** se dispone de un pasillo de limpio por donde accede el personal sanitario, el paciente y el instrumental estéril y un pasillo de sucio por donde sale el material utilizado durante la operación y los desechos correspondientes.
- **Con pasillo único (Figura 2.7):** en este caso se dispone de un único pasillo que recoge el tránsito del personal sanitario, paciente, instrumental esterilizado e instrumental utilizado durante la intervención, lo único que cambia es que el material que se cataloga como “sucio” sale del quirófano en contenedores herméticos.

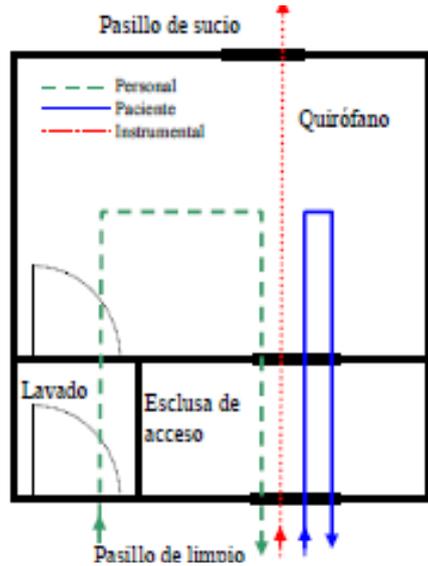


Figura 2.6: Bloque quirúrgico con pasillo doble

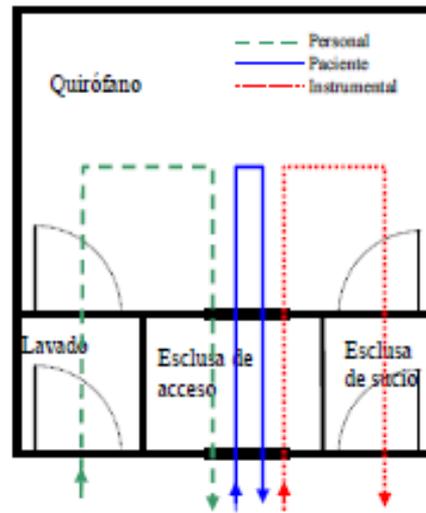


Figura 2.7: Bloque quirúrgico con pasillo único

2.4. INFECCIONES NOSOCOMIALES

La infección nosocomial es la infección contraída por una persona en un recinto hospitalario, dentro de estas infecciones se incluyen las infecciones que no se habían manifestado ni estaban en periodo de incubación cuando el sujeto se puso en contacto con el área hospitalario. [8]

Este tipo de infecciones que proliferan por el medio hospitalario presentan gran resistencia a ciertos antibióticos lo que hace difícil su tratamiento, y tienen como blanco los pacientes que se encuentran recibiendo un tratamiento invasivo.

Las causas que generan estas enfermedades son:

- El contacto con una colonia de microorganismos patógenos arraigados en una instalación hospitalaria.
- Una instalación demasiado antigua y difícil de esterilizar.
- Visitantes portadores de una infección transmisible, o el mismo personal sanitario.

- Un tratamiento inseguro o la utilización de un vial contaminado.

Para evitar la primera de las causas, actualmente se realizan tres etapas de filtrado entre las que destaca el filtrado con un filtro HEPA. Estos filtros están compuestos por mallas de fibras dispuestas al azar que son capaces de atrapar partículas por intercepción, impacto o difusión logrado con estos métodos alcanzar partículas con tamaños inferiores a 0,1 micras, en muchos casos estos filtros incorporan una luz ultravioleta capaz de eliminar cualquier bacteria o virus vivo que ha quedado atrapado en el filtro. Los mejores filtros pueden llegar a tener una eficiencia del 99,95%.

Mediante un sistema de ventilación adecuado se pueden reducir considerablemente este tipo de infecciones que afectan a millones de personas en todo el mundo.

2.5. SISTEMA DE VENTILACIÓN

2.5.1. Climatizadoras y conductos

La climatizadora es un elemento de forma normalmente prismática en la que se alojan los distintos componentes para el tratamiento de aire (filtros, baterías de calefacción y refrigeración, ventiladores, etc). Esta es la encargada de conseguir las condiciones climáticas de los recintos teniendo una influencia decisiva sobre la calidad del aire interior. Las climatizadoras del bloque quirúrgico son de uso exclusivo e independiente del resto del hospital, aunque están conectadas al sistema central de producción de calor y frío utilizado por la climatizadora. Las climatizadoras serán de tipo higiénico según la norma *UNE 1886:2008*^[9].

La ventilación del quirófano se lleva a cabo a través de dos mecanismos:

Para la impulsión se usa un sistema de caudal constante donde el ventilador impulsará un caudal constante fijado anteriormente independientemente de cual sean las condiciones en el quirófano, mientras que para la extracción se usa un sistema de caudal variable donde se fija una presión de consigna en el interior de

la sala y mediante un controlador se calcula cual es la velocidad de giro del ventilador de extracción para poder mantener esa sobrepresión.

Los conductos que se utilizan en la instalación deben ser de chapa interior lisa y a ser posible de sección circular para evitar la acumulación de suciedad y facilitar su limpieza, no permitiéndose la utilización de conducto flexible.

Estos conductos deben contener compuertas completamente herméticas para evitar el intercambio de aire en situaciones anormales. Mediante estas compuertas se puede realizar la limpieza y mantenimiento de estos conductos.

2.5.2. Ventiladores

En la ventilación mecánica se utiliza un ventilador accionado por un motor eléctrico acoplado a una climatizadora.

El ventilador es capaz de mover el aire generando una depresión a su entrada y una sobrepresión a su salida que se encarga de impulsar el aire a través de un sistema conductos.

Los ventiladores les hay de dos tipos, ventiladores axiales o ventiladores radiales, en un bloque quirúrgico se emplearán los segundos. Los ventiladores radiales también conocidos como ventiladores centrífugos el aire sale perpendicular al eje de giro del rodete y entra paralelo al eje de giro del rodete. Se emplean este tipo de ventiladores para superar las pérdidas que se generan en los conductos (pérdidas por fricción y pérdidas locales).

2.5.3. Difusores y rejillas de extracción

Los difusores son los últimos elementos por los que circula el aire climatizado antes de entrar a una habitación y se pueden encontrar muchos tipos de difusores:

Difusores de rejilla:



Figura 2.8: Difusor de rejilla

Difusores circulares:



Figura 2.9: Difusor circular

Difusores rotacionales:

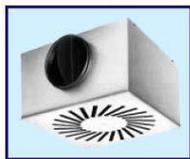


Figura 2.10: Difusor rotacional

Difusores lineales:



Figura 2.11: Difusor lineal

Estos difusores deben estar dimensionados para que la velocidad del aire sobre la mesa camilla no supere 0,2 m/s en quirófanos de tipo A y de 0,3 m/s en quirófanos de tipo B.

En el caso de que tuviéramos rejillas de impulsión estas deberían estar dimensionadas para que la velocidad a su salida no supere la velocidad de 1,5 m/s.

Las rejillas de extracción siempre son de menor tamaño que las rejillas de impulsión, pero se deben dimensionar para evitar velocidades elevadas del aire.

2.5.4. Filtros

Se recomienda, como mínimo, de disponer en la impulsión de tres niveles de filtrado equipados con filtros de la siguiente categoría que se recogen en la siguiente tabla ^[10]:

| Nivel de filtración | Clase de filtro | Norma UNE |
|---------------------|-----------------|---------------|
| 1º | M6 | EN 779:2005 |
| 2º | F9 | EN 779:2005 |
| 3º | H13 Y H14 | EN 18221:2010 |

En casos excepcionales que se necesite un aire muy limpio en el espacio de la zona de actividad quirúrgica se recomienda utilizar filtros H15.

2.5.5. Presurización del bloque

El diseño de un bloque quirúrgico debe minimizar el movimiento de aire desde las zonas menos limpias a las más limpias. En las *figuras 2.12 y 2.13* se puede ver, para las dos posibles configuraciones del bloque, la sobrepresión que debe tener cada habitación del bloque:

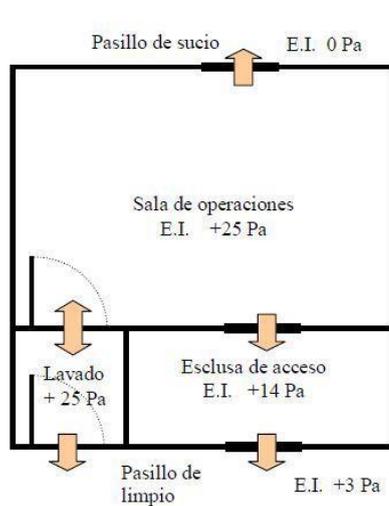


Figura 2.12: Presiones dentro del bloque quirúrgico 1

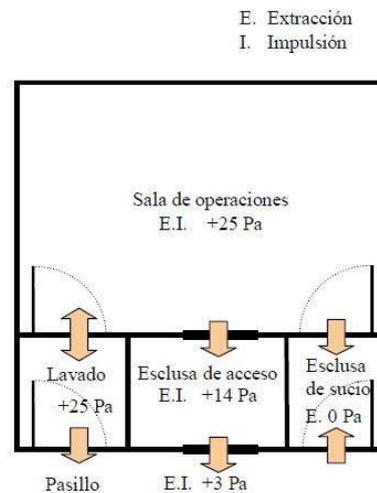


Figura 2.13: Presiones dentro del bloque quirúrgico 2

Si se observan las figuras se aprecia un escalonamiento de presiones que va desde las zonas “más limpias” a las “menos limpias”. Un aspecto importante en el diseño del bloque es la estanqueidad de las salas, que es imprescindible para lograr la presurización deseada.

3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN [11]

3.1. SITUACIÓN BLOQUE QUIRÚRGICO

La zona de estudio se encuentra en el Hospital Clínico Universitario de Valladolid (HCUVa), concretamente en la primera fase de la ampliación realizada entre 2009 y 2013 que permitió una mejora y ampliación de los servicios de atención hospitalaria del mismo hospital.

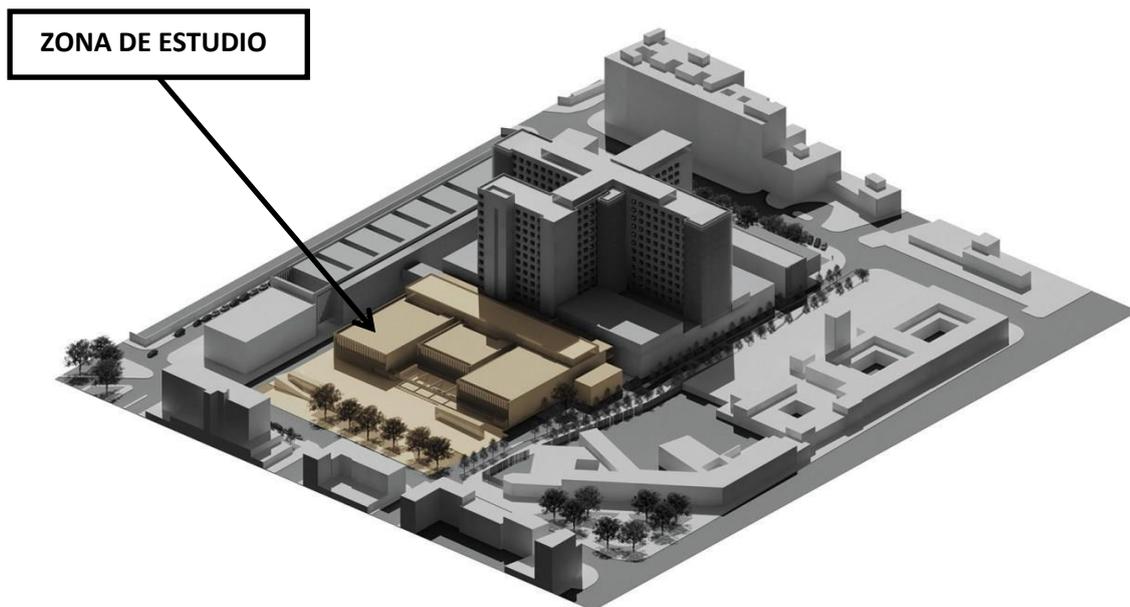


Figura 3.1: Vista aérea HCUVa

El trabajo se centra en la primera planta destinada principalmente al área quirúrgica contando con dieciocho quirófanos.

Estos quirófanos son de tipo A y de tipo B ^[4] y se agrupan en tres grupos de cuatro quirófanos y tres grupos de dos quirófanos:



Figura 3.2: Primera planta de la ampliación del HCUVa

3.2. COMPOSICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL BLOQUE QUIRÚRGICO

El bloque quirúrgico se compone de las siguientes zonas:

- Tres quirófanos tipo B destinados a cirugía general.
- Un quirófano tipo A que se destina a trasplante de órganos.
- Dos zonas compartidas por dos quirófanos cada una, donde se prepara el personal y el instrumental antes de la operación.

- Un hall de acceso, que divide los quirófanos en dos grupos, que permite el acceso tanto a los quirófanos como a las zonas de preparación. Al hall se accede mediante un pasillo de “limpio”.
- Una zona de “sucio”, a esta zona solo se puede acceder desde el hall ya que se encuentra al final de este. Por esta zona sale todo el material quirúrgico que se ha utilizado durante la operación. A través de ella se puede acceder al pasillo de sucio que es por donde sale todo el material utilizado en la intervención además de cualquier desperdicio generado en esta.

En la siguiente ilustración se puede ver el plano del bloque quirúrgico que se estudia distinguiendo las zonas anteriormente citadas.

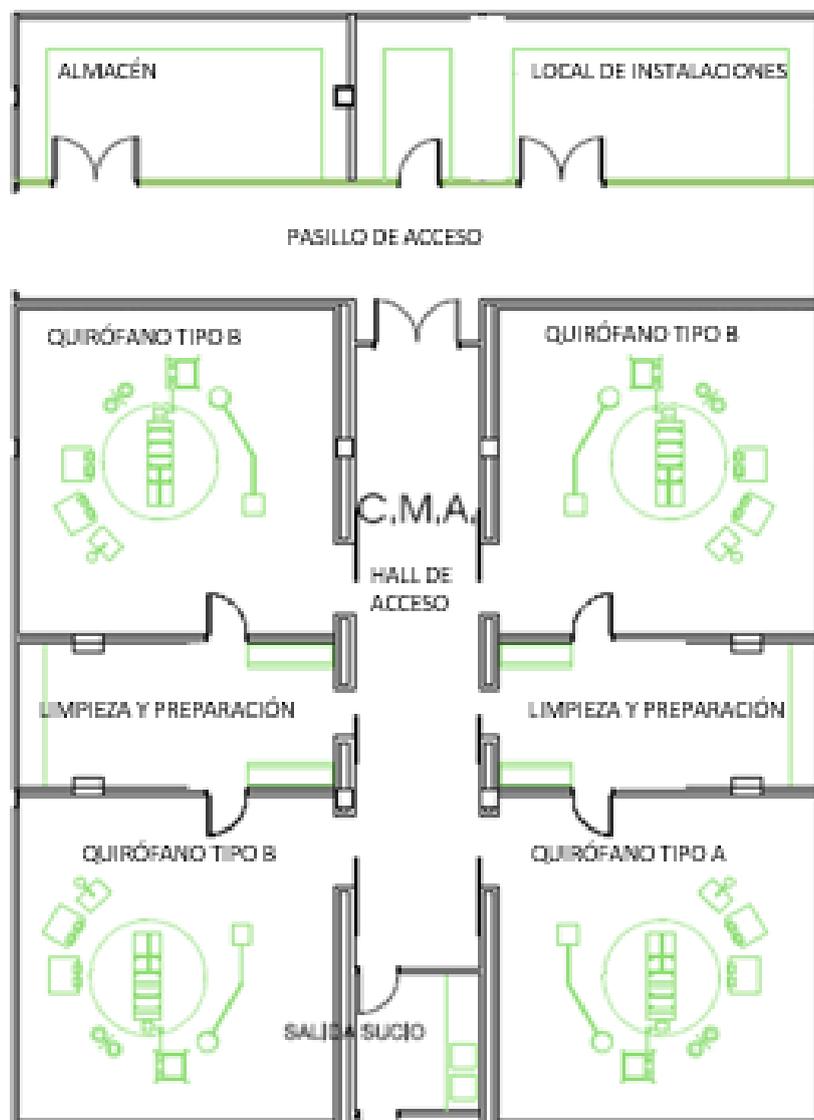


Figura 3.3: Distribución de salas en el bloque quirúrgico

3.2.1 Quirófano tipo A

Un quirófano de tipo A (*figura 3.3*) se utiliza para cirugía especial (trasplante de órganos, cirugía cardíaca, cirugía ortopédica, etc.) por lo que se requieren altas exigencias en cuanto a ventilación, requiriendo que el difusor genere un flujo laminar, de ahí, que se conozcan como quirófanos de tipo laminar.

Si se observa la *figura 3.4* se puede ver el interior de un quirófano de este tipo cuando está en periodo de inactividad. Se puede ver que, en el interior, los elementos fijos cuelgan del techo para permitir mayor movilidad al cirujano dentro de la operación y la amplitud de las rejillas de impulsión, para colocar bajo ella al paciente y el personal sanitario durante la operación.

La entrada de aire en este tipo de quirófano se realiza mediante difusores laminares que consiste en un grupo de rejillas. Para la extracción del aire el quirófano cuenta con un total de ocho rejillas de las cuales cuatro son superiores y cuatro inferiores.

La superficie de este quirófano es de 45 m^2 y su altura es de 3 m .



Figura 3.4: Vista interior quirófano laminar (TIPO A)

3.2.2. Quirófano tipo B

Un quirófano de tipo B (*figura 3.3*) se utiliza para cirugía general por lo que requiere menores exigencias en cuanto a ventilación por lo que los difusores van a generar un flujo turbulento en el interior, de ahí, que se conozcan como quirófanos turbulentos.

Si se observa la *figura 3.5* se puede ver que el interior de un quirófano tipo B es similar a un quirófano tipo A.

En este tipo de quirófanos la extracción se realiza del mismo modo que en un quirófano tipo A, pero para la impulsión el quirófano presentará cuatro difusores rotacionales distribuidos por la sala.

Las dimensiones de este quirófano son las mismas que en el caso anterior.



Figura 3.5: Vista interior quirófano turbulento (TIPO B)

3.2.3. Limpio y preparación

Las salas de preparación y limpieza (*figura 3.3*) permiten a todo el personal que intervenga en la operación (cualquier persona que accede al quirófano durante la operación) realizarse la higiene correspondiente a la situación.

La climatización de estas zonas se va a llevar a cabo a través de la climatizadora del bloque quirúrgico, que impulsa aire con las mismas propiedades que el aire que entra en los quirófanos.

Cada sala contiene un difusor rotacional colocado en el techo que introduce el aire, y una rejilla de extracción de $180 \times 150 \text{ mm}$ que se coloca en la cota más alta de la sala.

Estas salas tienen una superficie de unos 22 metros cuadrados.

3.24. Hall de acceso

El hall de acceso (*figura 3.3*) es el eje central del bloque, permitiéndonos el acceso a cualquier zona del bloque quirúrgico. Se trata de un pasillo amplio de unos 35 m^2 por donde circulan, además de los pacientes y el personal sanitario, el instrumental necesario para realizar la operación.

La entrada de aire a esta zona se realiza a través de dos difusores rotacionales situados en el techo y la extracción a través de dos rejillas de $180 \times 105 \text{ mm}$ situadas en la cota más alta.

El aire que entra al hall de acceso presenta las mismas propiedades que el aire que entra en los quirófanos. La climatizadora que se encarga de garantizar estas propiedades es la misma que alimenta las zonas de limpieza y preparación.



Figura 3.6: Hall de acceso del bloque quirúrgico

3.2.5. Salida sucio

La zona de sucio (*figura 3.3*) sirve para almacenar hasta su recogida el instrumental utilizado durante la intervención quirúrgica, o cualquier “desperdicio” que se hubiera generado en la operación. Para la climatización de esta zona únicamente tenemos una extracción colocada en la cota más alta del local de 180x105mm.

Se trata de una sala muy pequeña (8 m²) en la que la extracción se realiza con el mismo ventilador que en el caso del hall.

3.3. SISTEMA DE IMPULSIÓN

El sistema de impulsión de un quirófano tiene que ser capaz de mantener las necesidades exigidas por normativa (*UNE EN 100713:2005*) además de garantizar una sobrepresión determinada dentro del quirófano para evitar la entrada de corrientes de salas adyacentes.

3.3.1. Ventilador de impulsión

El bloque quirúrgico de estudio demanda cinco ventiladores de impulsión. Cuatro de ellos van a alimentar a cada uno de los quirófanos y el restante se va a encargar de suministrar el aire al resto de zonas del bloque quirúrgico.

Cada ventilador se integra dentro de una climatizadora que se describe a continuación.

3.3.2. Difusores

Esto son los elementos terminales en los conductos de aire y van a determinar la forma de distribuir el aire. Se distingue entre dos tipos de difusores dependiendo de en qué quirófano se vayan a ubicar:

- Difusores rotacionales (*figura 3.7*):

Estos difusores se encuentran en los quirófanos tipo B en los que se persigue conseguir un flujo de mezcla. Con estos difusores se consigue una mejor mezcla del flujo que sale del difusor con el aire de la sala, lo que conlleva a una menor diferencia de temperaturas entre los distintos puntos del quirófano.



Figura 3.7: Difusor rotacional

Esta mezcla más eficaz se debe a que el flujo sale con forma de espiral.

- **Difusores laminares (figura 3.8):**

Estos difusores se encuentran en el quirófano tipo A en los que se persigue conseguir un flujo unidireccional, para ello, se colocan un grupo de rejillas en el techo que en nuestro caso son seis, de dimensiones 580x880 mm consiguiendo una superficie de impulsión de 3,06 m².

En este tipo de quirófanos se necesita una superficie de impulsión suficientemente grande para colocar bajo ella la camilla con el paciente, el equipo médico y el instrumental necesario. Este flujo es muy sensible a perturbaciones por lo que cualquier obstáculo que se encuentre en su camino hará que cambie su régimen, lo que lleva a un empeoramiento de las condiciones en el interior del quirófano.



Figura 3.8: Sistema de impulsión en el quirófano tipo A

3.4. SISTEMA DE EXTRACCIÓN

La misión del sistema de extracción es evacuar el aire del interior del quirófano para que el aire se esté renovando constantemente y mantenga sus propiedades en los niveles de confort, pero manteniendo una sobrepresión en el interior que sea adecuada. En este caso el sistema de extracción es el mismo para quirófanos de tipo A y B.

3.4.1. Ventilador de extracción

Este ventilador se alberga en la misma climatizadora que el ventilador de impulsión de forma que se demandan cinco ventiladores de extracción, uno para cada quirófano y uno para el resto de las zonas del bloque quirúrgico.

Todos los ventiladores presentan un funcionamiento independiente.

3.4.2. Rejillas de extracción

Las rejillas de extracción son comunes en ambos tipos de quirófanos. Son los elementos que se encuentran a la entrada del conducto de extracción y se encargan de recoger el aire del interior del quirófano y enviarlo al exterior.

Cada quirófano cuenta con ocho rejillas cuatro de ellas superiores y cuatro de ellas inferiores. Se colocan en la pared conexas al hall y en la opuesta a está colocando cuatro rejillas en cada pared.

Las dimensiones son distintas dependiendo de la ubicación de la rejilla teniendo las rejillas



Figura 3.9: Rejilla de extracción inferior

inferiores 380x105 mm y las rejillas superiores 180x105 mm.

3.4.3. Configuración de difusores y rejillas

En la *figura 3.10*, se puede apreciar la configuración que presenta las rejillas de extracción y los difusores de impulsión de un quirófano de flujo turbulento. Además, de la configuración de elementos terminales está indicado el caudal que teóricamente debe extraer o impulsar cada elemento.

En el caso de un quirófano de flujo laminar se sustituyen los cuatro difusores rotacionales por una placa de una superficie de 3,06 m² en el centro de la sala que impulsa el mismo aire que los cuatro difusores juntos (736 l/s).

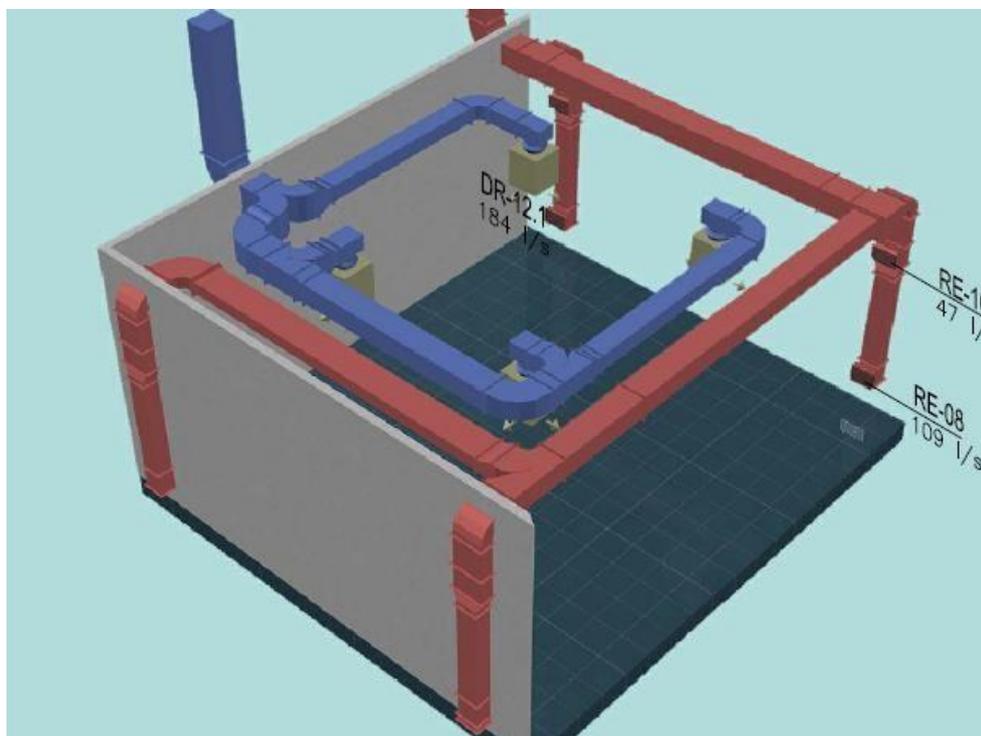


Figura 3.10: Configuración de difusores y de rejillas en un quirófano tipo B

3.5. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AIRE

3.5.1. Climatizadoras

Como se mencionó anteriormente, la casa TROX va a ser la proveedora de los elementos necesarios para realizar la instalación. Esta casa nos indica que el modelo más adecuado para nuestra construcción es el *TKM50HE EU*. Esta climatizadora incorpora una unidad de impulsión y una de retorno a doble altura. A continuación, se describen todos los componentes que presenta este tipo de climatizadora:

- **Filtro previo M6:** este filtro se coloca próximo a la entrada de aire para limpiar cualquier impureza que pueda contener el aire a la entrada de la unidad.
- **Unidad recuperadora:** después del filtro se coloca la unidad recuperadora que permite intercambiar energía entre el aire de extracción del local y el aire que entra desde el exterior.
- **Batería de frío:** colocada después del ventilador, se utiliza para enfriar aire procedente del exterior. Esta batería se debe dimensionar para una situación límite como puede ser un día muy caluroso de verano.
- **Batería de calor:** se usan para calentar el aire procedente del exterior o bien para eliminar la humedad de este (siempre se dimensionan en las condiciones más desfavorables).
- **Sección de humectación:** este sistema proporciona la humedad necesaria al aire que proviene del exterior.
- **Silenciador:** para garantizar el confort en el área quirúrgico, se coloca un silenciador en las últimas etapas de climatización que permite reducir los decibelios emitidos por el equipo.
- **Filtrado final:** en la parte final de la climatizadora se coloca un filtro F9 que permite obtener un aire prácticamente libre de impurezas y finalmente justo antes de salir del conducto se coloca un filtro HEPA (H13) que permite una eficacia de casi el 100% en la eliminación de partículas.

- **Ventiladores:** la climatizadora dispone de un ventilador de impulsión y uno de extracción, a estos ventiladores se les coloca una sección de expansión que permite acceder a ellos en el caso de avería. Estos ventiladores trabajarán a diferentes regímenes.



Figura 3.11: Climatizadora TROX TKM50HE EU

3.5.2. Sistemas de control de climatización

El sistema de control que se tiene en el bloque quirúrgico será un sistema de lazo cerrado.

En un sistema de control de lazo cerrado, la toma de decisiones del sistema no depende solo de la entrada sino también de la salida. La reacción medida (*variable a controlar*) se compara con el valor deseado (*referencia*) y la diferencia entre ambas (*error*) se utiliza para modificar la acción (*salida del controlador*) con el fin de reducir el error intentando conseguir un error prácticamente nulo.

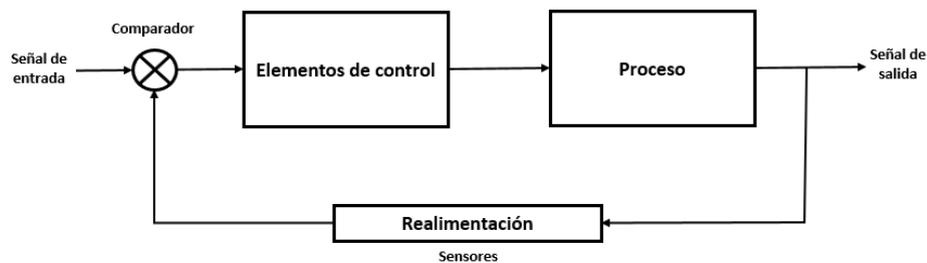


Figura 3.12: Esquema sistema de control de lazo cerrado

Para llevar a cabo el ejercicio de control en el sistema se controlan las variables de humedad, temperatura y presión.

Las variables de temperatura y humedad no influyen en nuestro diseño, por lo que únicamente se va a explicar cómo se controla la variable de presión.

Con el fin de garantizar las necesidades de ventilación requeridas por la normativa se fija un caudal de impulsión constante. Para poder satisfacer este caudal en todo momento este ventilador aumenta o disminuye su régimen según sus necesidades, mientras que el ventilador de extracción mantiene constante su régimen. Este control se realiza gracias a una sonda de presión situada en el interior del quirófano.

El bloque de estudio tiene cuatro quirófanos, cada uno alimentado por una climatizadora diferente, en el que se coloca un sensor de presión (capilar) y una consigna de presión en cada sala que medirá la sobrepresión de la misma respecto al resto del hospital. El comparador compara las señales obtenidas y si ambas señales no coinciden el controlador calcula el nuevo punto de funcionamiento (intersección curva de la instalación con la curva del ventilador) del variador de frecuencia del ventilador de impulsión para obtener que la señal enviada por el capilar coincida con la consigna en el menor tiempo posible.

Así el ventilador girará más despacio para disminuir la presión en la sala (menor caudal impulsado) y girará más rápido para aumentar esa sobrepresión (mayor caudal impulsado) cuando las necesidades lo requieran.

4. SOFTWARE DE DISEÑO

CONTAM es un software de análisis de ventilación y calidad de aire interior por zonas. Es un programa de dominio público que fue desarrollado por empleados del gobierno estadounidense que utiliza como normativa la ASHARE [12].

Mediante CONTAM se puede determinar:

- **Flujos de aire:** infiltraciones y flujos de aire que son impulsados por sistemas mecánicos, por diferencias de temperaturas en el exterior del edificio o bien por la diferencia de temperaturas entre el aire interior y exterior.
- **Concentraciones de contaminantes:** la dispersión de contaminantes del aire transportados por flujos de aire o bien que se generen en el interior del edificio por una serie de mecanismos.
- **Exposición humana:** permite realizar una evaluación de riesgos al realizar una predicción de contaminantes a los que se expone un ocupante de una habitación.

Para comenzar el cálculo del sistema de ventilación, se debe introducir el entramado de conductos en CONTAM.

En la *figura 4.1* se muestra el plano que sirve como punto de partida para comenzar el diseño de la instalación. Este plano fue elaborado por los técnicos que desarrollaron el diseño de la instalación de ventilación del HCUVa, pero que a la hora de su ejecución se modificó la forma de alimentar a las salas de preparación y limpieza, que en los planos son alimentadas por las climatizadoras de los quirófanos pero que, en la realidad, son alimentadas por la climatizadora del bloque quirúrgico.

Para diseñar elementos más concretos de la instalación como pueden ser filtros o ventiladores, se utiliza un programa proporcionado TROX conocido como *YAHUS*. Para elementos terminales como pueden ser rejillas o difusores TROX dispone en su página web un “*catalogo virtual*” conocido como *easy product Finder*.

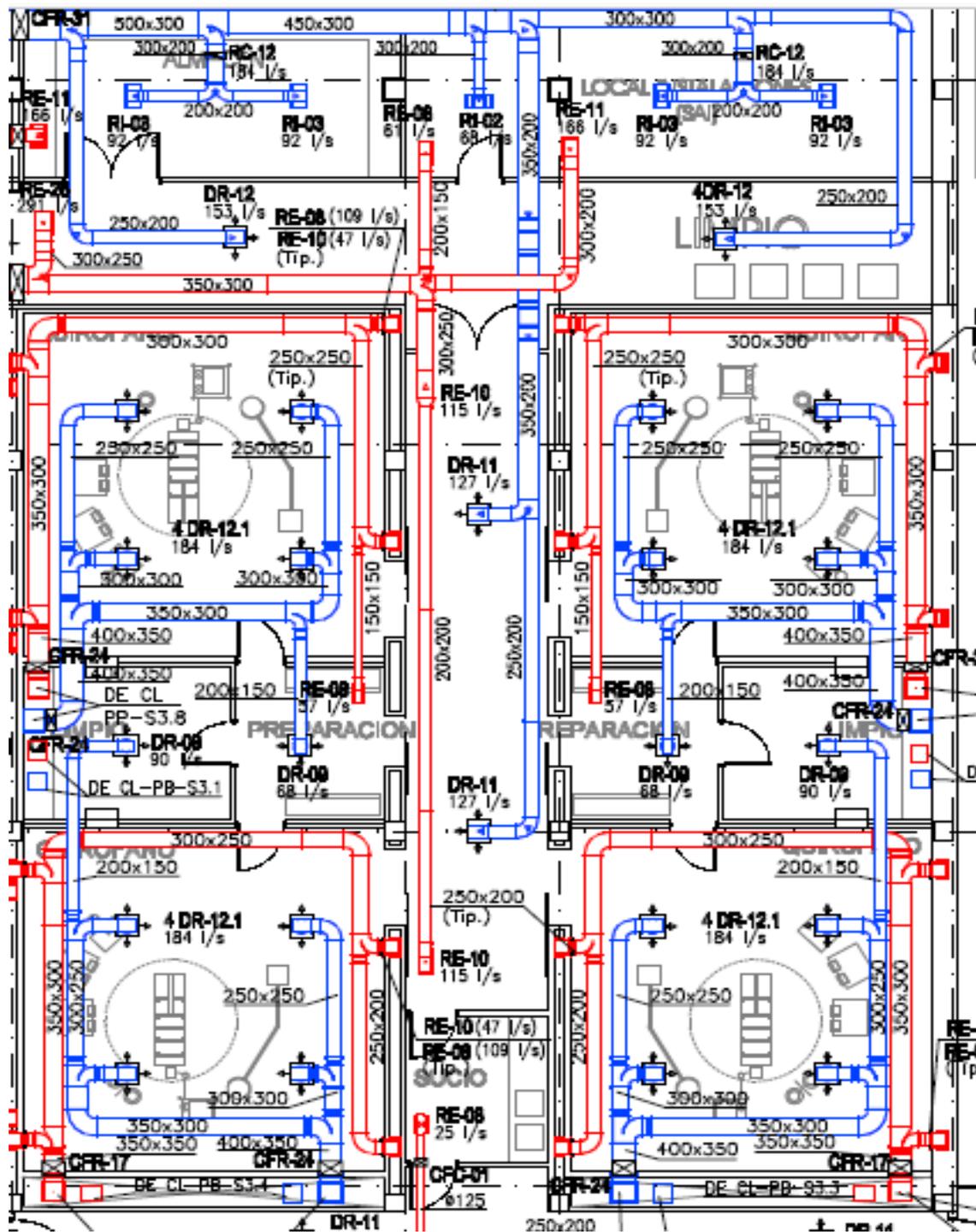


Figura 4.1: Plano del bloque quirúrgico proporcionado por HCUVa. Ver plano adjunto

4.1. ZONAS

Para comenzar el estudio del sistema de ventilación del bloque quirúrgico, se introduce el bloque dentro de CONTAM, para ello se usa el comando **zone**, que permite introducir las salas que contiene el bloque quirúrgico.

Para definir correctamente una zona, CONTAM demanda los siguientes parámetros:

- **Volumen/area:** CONTAM usa por defecto 3 metros como altura de la zona, por lo que con introducir una de las dos dimensiones, el programa te asigna la otra por defecto.
- **Temperatura:** este software permite fijar la temperatura de la zona. En nuestro caso la temperatura siempre será constante.
- **Presión:** al igual que la temperatura, se puede asignar la presión a una zona, siempre que se quiera que esta sea constante en dicha zona.

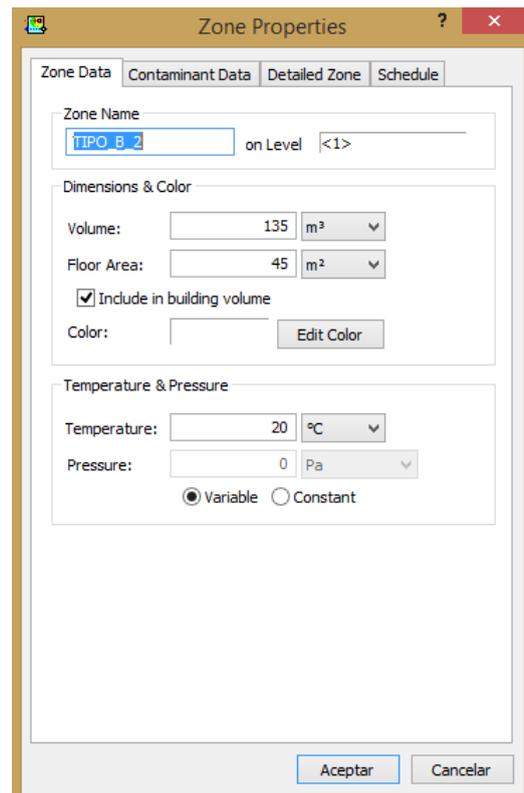


Figura 4.2: Propiedades de zona

A continuación, se recoge en la *tabla 4.1* los parámetros que demanda CONTAM de cada zona que contiene el bloque quirúrgico:

Tabla 4.1: Zonas del bloque quirúrgico

| Zona | Nombre | Temperatura (°C) | Superficie (m ²) | Presión teórica (Pa) |
|------------------------|---------------|------------------|------------------------------|----------------------|
| Almacén | ALMACEN | 20 | 24 | 0 |
| Local de instalaciones | INSTALACIONES | 20 | 55 | 0 |
| Quirófano tipo B | TIPO_B_1 | 20 | 45 | 25 |
| Quirófano tipo B | TIPO_B_2 | 20 | 45 | 25 |
| Quirófano tipo B | TIPO_B_3 | 20 | 45 | 25 |
| Quirófano tipo A | TIPO_A | 20 | 45 | 25 |
| Zona de preparación | PREPARACION_1 | 20 | 22 | 25 |
| Zona de preparación | PREPARACION_2 | 20 | 22 | 25 |
| Zona de sucio | SUCIO | 20 | 8 | 0 |
| Hall de acceso | HALL_ACCESO | 20 | 35 | 14 |
| Pasillo de limpio | LIMPIO | 20 | 41 | 3 |

4.2. FUGAS DE AIRE

El bloque quirúrgico se diseña sin ventanas para evitar que se generen corrientes parasitas exteriores que accedan a este a través de las ventanas, sin embargo, entre las distintas habitaciones de este van a fluir corrientes de unas habitaciones a otras debido a la presencia de puertas. El cierre de una puerta nunca va a ser perfecto y siempre va a quedar una ranura por la que pueda fluir el aire, para introducir estas ranuras, se utiliza el comando **air Flow path**. Este elemento se coloca en el lugar donde exista una puerta.

Mediante el comando **orifice area data** se define la ranura que presenta la puerta:

- **Área del orificio:** área por donde fluye la corriente de una zona a otra.
- **Exponente de flujo (n):** este exponente varía desde 0,5 (aberturas grandes) donde el flujo está dominado por efectos dinámicos hasta 1,0 (donde el flujo está dominado por efectos viscosos). Para este tipo de aberturas el exponente se suele encontrar entre 0,6 y 0,7

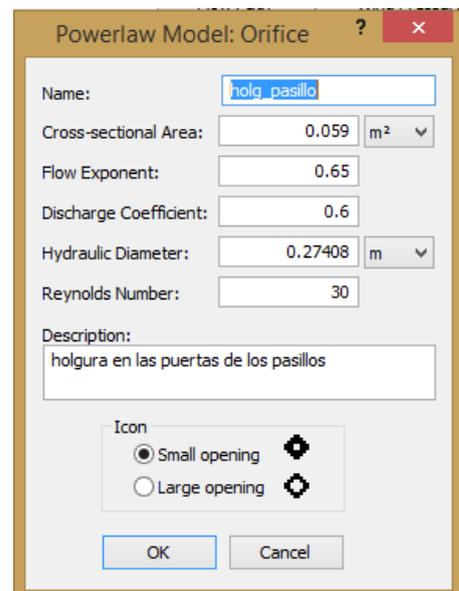


Figura 4.3: Propiedades de orificios

por lo que nosotros vamos a utilizar 0,65 para realizar el estudio.

- **Coefficiente de descarga (C):** este coeficiente adopta un valor próximo a 0,6 para el caso de aberturas estrechas y alargadas como es en nuestro caso.
- **Diámetro hidráulico:** CONTAM proporciona el valor por defecto del diámetro hidráulico utilizando la expresión:

$$Dh = \frac{4A}{P}$$

- **Número de Reynolds:** el software calcula directamente este número adimensional a partir de su expresión:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Una vez definida la “ranura” se debe ubicar en el plano, para ello se usa el comando **Flow path**, que demanda los siguientes parámetros:

- **Altura:** se indica la altura a la que se encuentra el orificio.
- **Cantidad de orificios:** se trata de un modelo zonal, por ello, es indiferente el lugar donde se coloque el orificio, así que se puede indicar la cantidad de orificios sin necesidad de introducir estos en su ubicación exacta.
- **Dirección positiva del flujo:** se puede suponer un flujo positivo de la corriente para asignar un valor positivo de velocidad y caudal si el flujo se desplaza en esa dirección.

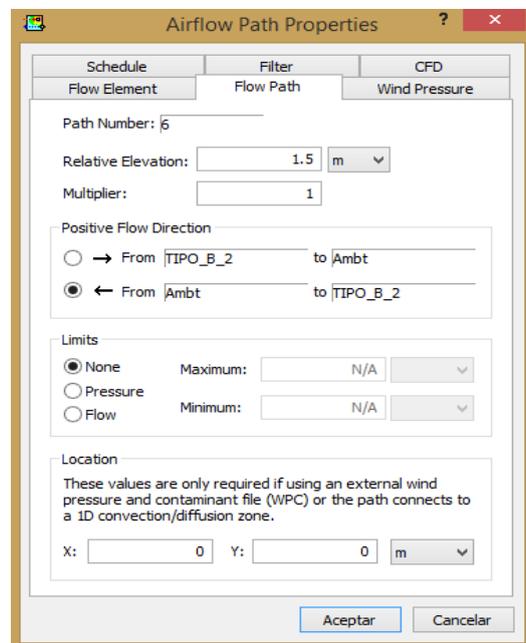


Figura 4.4: Propiedades de fugas

El resto de los comandos que ofrece la ventana de **Airflow Path Properties** no van a influir en el estudio, por lo que se dejan con sus valores por defecto.

En el bloque quirúrgico de estudio se suponen los siguientes orificios por donde pueden generarse flujos residuales:

Tabla 4.2: Holguras en el bloque quirúrgico

| Tipo | Nombre | Ancho(m) | Alto(m) | Área(m ²) |
|--------------------------------|-----------------|----------|---------|-----------------------|
| Holgura en puerta abatible* | Holgura_puert | 0,9 | 2,03 | 0,0045 |
| Holgura en puerta de pasillo** | Holgura_pasillo | 0,9 | 2,03 | 0,059 |

* La holgura en la puerta abatible se supone que es únicamente en la parte inferior de la puerta.

** La holgura en la puerta del pasillo se supone que es en todo el perímetro de la puerta.

4.3. CONDUCTOS

Para definir un conducto, lo primero que se hace es dibujarlo en el plano y posteriormente pinchar sobre el para definirlo. Para simular un conducto por donde circula aire se utiliza el comando **Darcy-Colebrook Model**. En donde se introducen los siguientes datos:

- **Nombre:** se introduce el nombre del conducto.
- **Rugosidad:** se indica la rugosidad que tiene el material del que está fabricado el conducto.

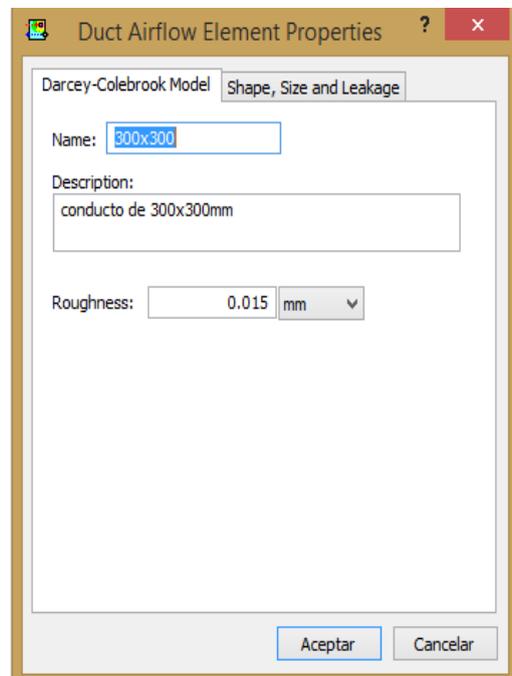


Figura 4.5: Propiedades transversales del conducto

- **Dimensiones:** si se clicca sobre la pestaña *Shape, Size and Leakage*, se despliega una ventana donde se debe indicar la forma que tiene el conducto y posteriormente, definir las dimensiones de este.
- **Fugas:** en la ventana que se desplegó en el caso anterior, se puede introducir cualquier fuga que pudiera contener el conducto. Esta opción que ofrece CONTAM, no se va a utilizar.

Una vez definido el conducto transversalmente, se debe definir longitudinalmente, para ello se va a la ventana de *Duct Segment Properties* y se introducen los siguientes parámetros:

- **Longitud del conducto:** se define la longitud que tiene el conducto indicado.
- **Coefficientes de pérdidas:** con este parámetro se puede definir las pérdidas locales que se generan en codos, bifurcaciones, etc.
- **Dirección positiva del flujo:** se debe definir el sentido que debe tener el flujo que va a circular por el conducto, para asignar como positivo esa dirección.

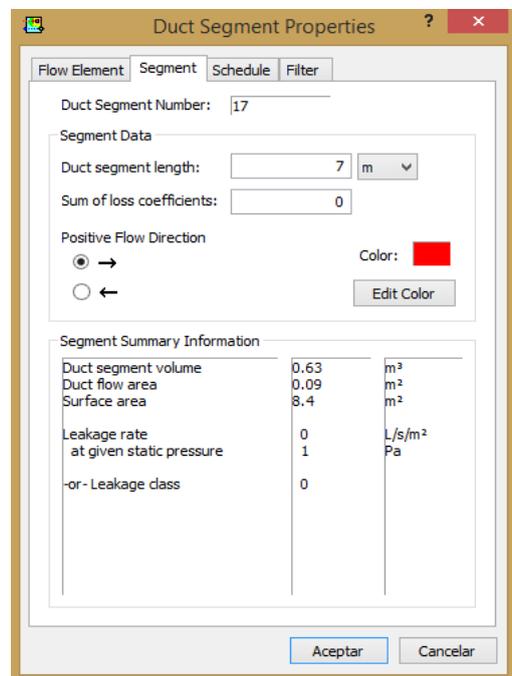


Figura 4.6: Propiedades longitudinales de conducto

Con todos estos valores definidos, CONTAM calcula las pérdidas de carga que se producen en el conducto como consecuencia del paso de aire utilizando la ecuación de *Darcy-Colebrook* para calcular el coeficiente de fricción:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

En nuestro caso los conductos son rectangulares por lo que CONTAM para determinar el diámetro hidráulico utiliza la expresión del apartado 4.2:

$$Dh = \frac{4A}{P}$$

En la siguiente tabla, quedan definidos todos los conductos que son necesarios para realizar la instalación:

Tabla 4.3: Conductos en el bloque quirúrgico

| Conducto | a (mm) | b(mm) | Rugosidad (mm) |
|----------|--------|-------|----------------|
| 1 | 150 | 150 | 0,015 |
| 2 | 200 | 200 | 0,015 |
| 3 | 200 | 150 | 0,015 |
| 4 | 200 | 250 | 0,015 |
| 5 | 250 | 250 | 0,015 |
| 6 | 300 | 200 | 0,015 |
| 7 | 300 | 250 | 0,015 |
| 8 | 300 | 300 | 0,015 |
| 9 | 350 | 300 | 0,015 |
| 10 | 400 | 300 | 0,015 |
| 11 | 400 | 350 | 0,015 |
| 12 | 450 | 300 | 0,015 |
| 13 | 500 | 300 | 0,015 |

Estos conductos se usan tanto para la impulsión como para la extracción.

A la hora de introducir el sistema de conductos en CONTAM, se han adoptado una serie de suposiciones:

- Se desprecia cualquier pérdida local debida a una bifurcación.
- Las medidas de los conductos son aproximadas.
- Se sustituye la pérdida local que genera un codo por una longitud equivalente de un metro. Según ASHARE 2005.

Todas estas suposiciones se hacen, ya que las pérdidas que se producen en los conductos son despreciables en comparación con las que se producen en los filtros.

4.4. TERMINALES

Cuando se dibuja un conducto, el programa obliga a definir sus extremos. Si se selecciona un extremo de un conducto aparecerá la siguiente ventana (figura 4.7), donde se puede indicar si es un extremo libre o bien se encuentra conectado a un conducto.

Otras opciones que permite el programa es asignar una temperatura y ubicar en el espacio el terminal.

La ventana desplegable *Terminal Data* es la que nos centra mayor interés:

- **Coefficiente de pérdidas:** este valor lo dejamos por defecto (0,125), según el capítulo 35 de ASHRAE 2005. Este valor permite dimensionar las perdidas en conexiones dinámicas.
- **Área de cara libre:** es el área del difusor/rejilla por donde puede salir realmente el aire.
- **Área del conducto:** este valor le proporciona CONTAM según al conducto que se encuentre unido el terminal.
- **Datos de equilibrio:** con esta herramienta se puede asignar a un difusor/rejilla un coeficiente de pérdidas, que genere una pérdida de carga a la entrada/salida de este con el fin de que salga/entre el mismo aire por cada terminal. Para el

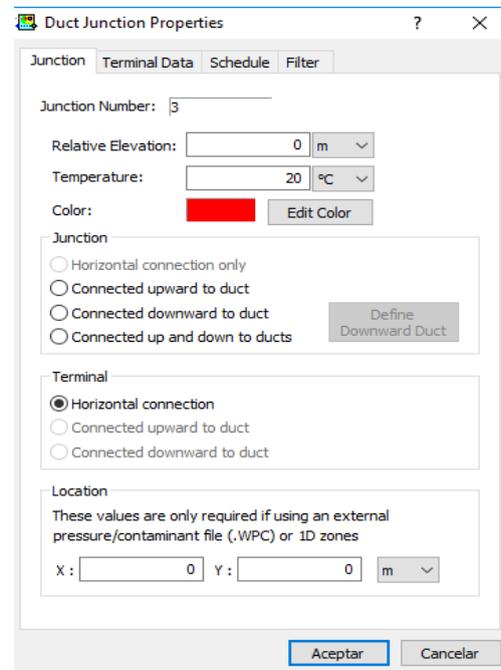


Figura 4.7: Propiedades de unión

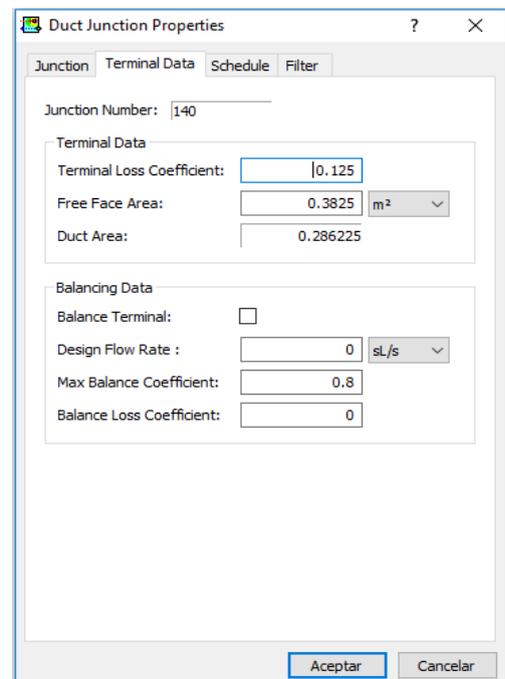


Figura 4.8: Propiedades de terminal

estudio de esta instalación, no se utiliza esta herramienta.

4.4.1. Rejillas de extracción

Cada quirófano incorpora ocho rejillas, las cuales se deben introducir en CONTAM mediante la pestaña **terminal data**, por ello se deben obtener los valores que demanda dicha pestaña.

Según los planos proporcionados las rejillas que incorpora el bloque son las siguientes:

Tabla 4.4: Rejillas de extracción en el bloque quirúrgico

| Posición | Modelo | Área (m ²) | Área libre (m ²) | Coefficiente de pérdidas dinámicas |
|----------|-------------|------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| Superior | VAT/380x105 | 0,04 | 0,021 | 0,125 |
| Inferior | VAT/180x105 | 0,019 | 0,008 | 0,125 |

En la *tabla 4.4*, se definen todos los parámetros necesarios que demanda CONTAM para definir correctamente una rejilla de extracción. El valor del coeficiente de perdidas dinámicas se obtiene de CONTAM según *ASHARE 2005* y el valor del área de cara libre se obtiene de la siguiente imagen del catálogo de TROX:

| Zona efectiva de salida A_{eff} en m ² | | | | | | | | | |
|---|---|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H en mm | Series | L en mm | | | | | | | |
| | | 225 | 325 | 425 | 525 | 625 | 825 | 1025 | 1225 |
| 75 | AH · AF | 0.006 | 0.009 | 0.011 | 0.014 | 0.017 | 0.022 | 0.028 | 0.034 |
| | VAT · TRS · TRS-R · TRS-K | 0.007 | 0.011 | 0.014 | 0.018 | 0.021 | 0.029 | 0.036 | 0.043 |
| 125 | AT · VAT · ASL · SL · TR · TRS · TRS-R · TRS-K · KS | 0.014 | 0.021 | 0.029 | 0.036 | 0.043 | 0.057 | 0.072 | 0.086 |
| | AH · AF | 0.011 | 0.017 | 0.022 | 0.028 | 0.034 | 0.044 | 0.055 | 0.066 |
| | AWT | 0.010 | 0.015 | 0.020 | 0.025 | 0.031 | 0.040 | 0.050 | 0.060 |
| 225 | AT · VAT · ASL · SL · TR · TRS · TRS-R · TRS-K · KS | 0.029 | 0.043 | 0.057 | 0.072 | 0.086 | 0.114 | 0.142 | 0.172 |
| | AH · AF | | 0.034 | 0.044 | 0.055 | 0.066 | 0.087 | 0.108 | 0.129 |
| | AWT | | 0.031 | 0.040 | 0.050 | 0.060 | 0.078 | 0.097 | 0.116 |
| | AT · VAT · ASL · SL · TR · TRS · TRS-K | | 0.064 | 0.086 | 0.108 | 0.129 | 0.172 | 0.214 | 0.256 |
| 325 | AH · AF | | | 0.066 | 0.081 | 0.096 | 0.129 | 0.169 | 0.193 |
| | AWT | | | 0.060 | 0.073 | 0.086 | 0.116 | 0.152 | 0.174 |
| | AT · VAT · ASL · SL · TR | | | | | 0.172 | 0.228 | 0.285 | 0.342 |
| 425 | AH · AF | | | | | 0.129 | 0.169 | 0.214 | 0.256 |
| | AT · VAT · ASL · SL · TR | | | | | | | 0.355 | 0.427 |

Figura 4.9: Área eficaz en rejillas de extracción [13]

4.4.2. Difusores

Como ya se comentó en capítulos anteriores, la norma *UNE 100713 (14, AENOR, 2005)* exige tres niveles de filtrado. Dos de estos niveles se realizan en la climatizadora y el otro se realiza en el difusor.

La presencia del difusor que incorpora un filtro HEPA, indica la presencia de una pérdida de carga que se introduce en CONTAM de la misma forma que un conducto, pero que, a la hora de definir se utiliza la pestaña **P vs Q** dentro de las opciones que ofrece **Cubic Spline Flow Models**.

En la *figura 4.10* se muestra la ventana que aparece a la hora de definir un conducto. En esta ventana CONTAM ofrece un abanico de modelos de flujo que se pueden tener dentro de una instalación.

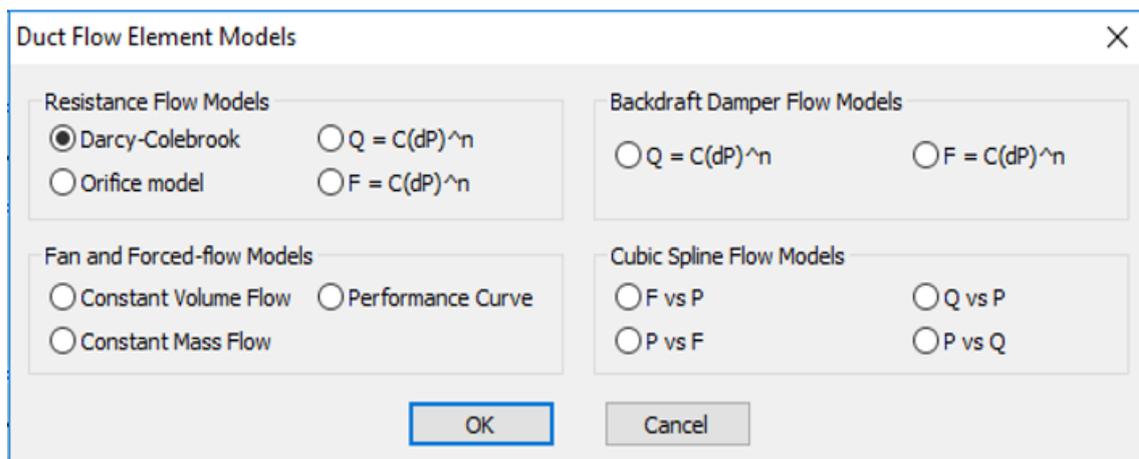


Figura 4.10: Modelos de conductos que ofrece CONTAM

Como se dijo anteriormente, se selecciona el modelo **P vs Q**, y se despliega la ventana de la *figura 4.11* donde CONTAM demanda los siguientes datos:

- **Shape, size and leakage:** aquí va a ser donde se definen las dimensiones del conducto y las pérdidas en este si las hubiese.
- **Edit curve fan:** en esta pestaña se debe definir la curva de pérdida de carga que presenta el filtro. Para poder definir la curva de un filtro,

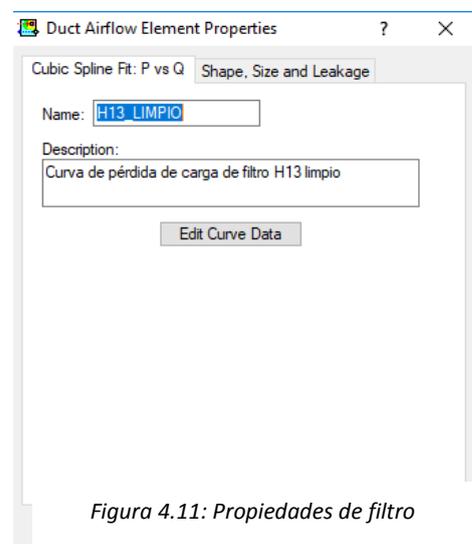


Figura 4.11: Propiedades de filtro

4. Software de diseño

Se usa un “catálogo virtual” que tiene TROX conocido como *easy product finder* donde se elige un difusor con filtro HEPA y el catalogo despliega la siguiente ventana:

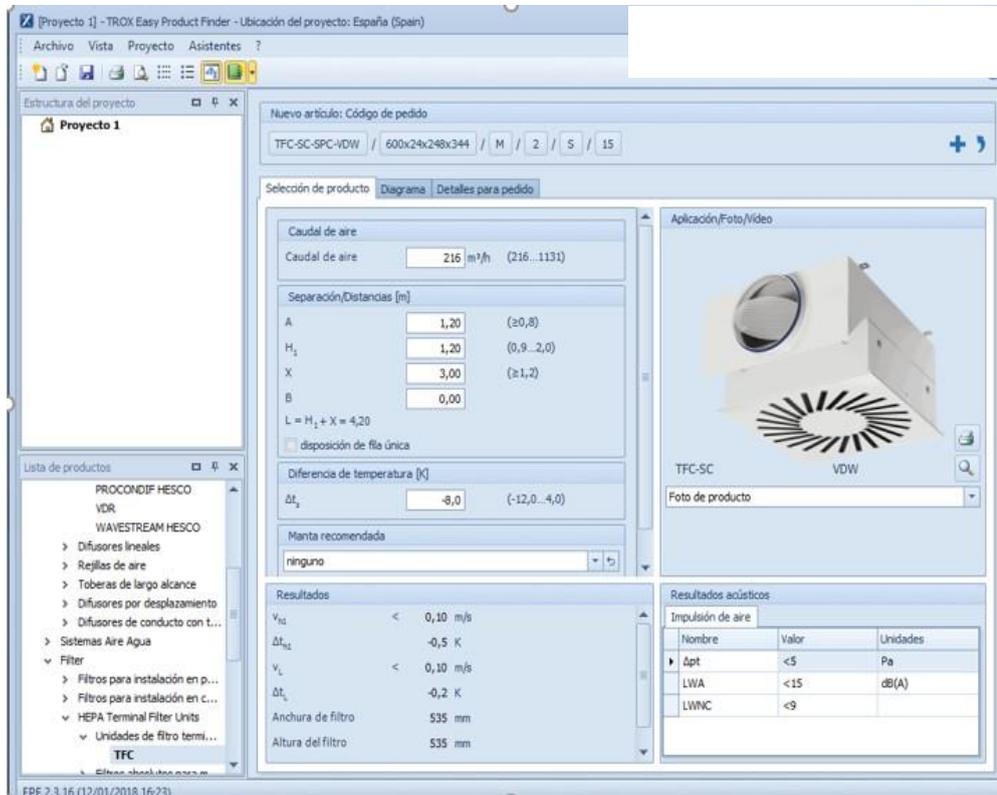


Figura 4.12: Catálogo *easy product finder*

En este catálogo TROX permite definir las dimensiones del difusor, el filtro que lleva incorporado y la morfología de las rejillas del difusor. *Easy product finder* no proporciona la curva de pérdida de carga del aire a su paso por el difusor, pero proporciona la pérdida de carga para un caudal previamente definido y la máxima pérdida de carga que soporta el filtro antes de su rotura.

CONTAM siempre exige un mínimo de cuatro puntos para poder realizar una función, por lo que, se introducen una serie de caudales dentro de *easy product finder*:

Tabla 4.5: Pérdida de carga del difusor rotacional

| Caudal (m ³ /h) | Pérdida de carga filtro limpio(Pa) | Máxima pérdida de carga en el filtro(Pa) |
|----------------------------|------------------------------------|--|
| 250 | 74 | 600 |
| 400 | 123 | 600 |
| 500 | 157 | 600 |
| 600 | 193 | 600 |
| 663 | 217 | 600 |
| 700 | 231 | 600 |

Una vez que se tienen estos datos se pueden definir todas las características del difusor. Si se presiona sobre **edit curve fan** se despliega la siguiente ventana:

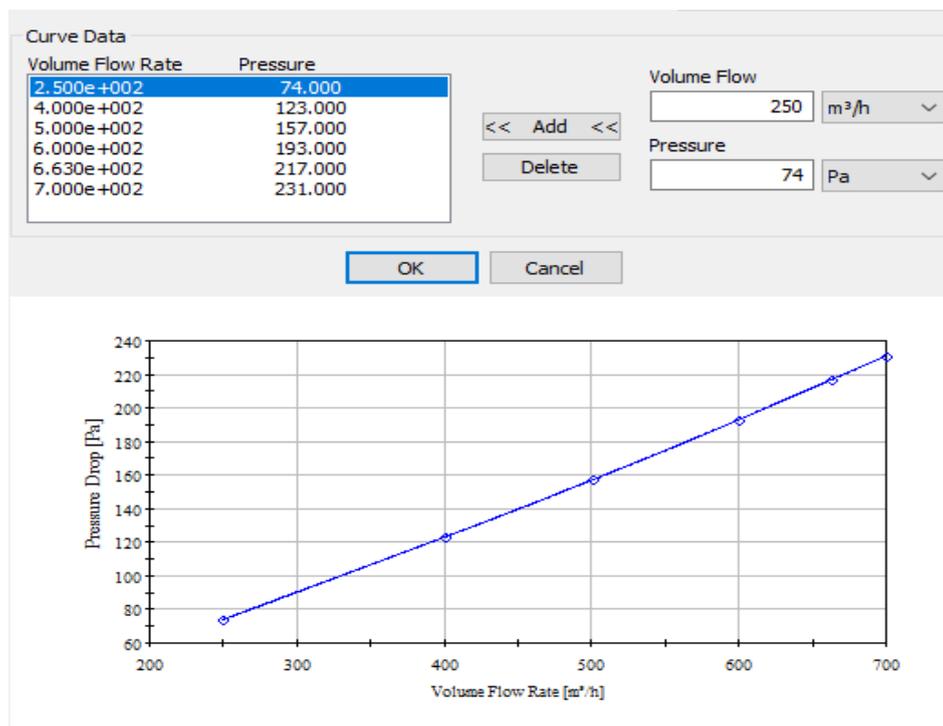


Figura 4.13: Curva difusor rotacional en CONTAM

CONTAM demanda el caudal y la pérdida de carga que se genera para ese caudal para poder realizar una interpolación de la función de pérdida de carga del elemento introducido.

4.5. FILTROS

El aire que entra en un quirófano de cumplir una serie de requisitos, por ello la norma *UNE-EN-779* establece que el aire debe pasar por un filtrado previo (M5 o M6), un filtrado de alta eficacia (F7 o F9) y un filtrado absoluto (H13 o H14).

El filtrado absoluto se realiza en el difusor y los otros dos niveles de filtrado se realizan en la climatizadora.

Estos filtros se deben introducir en CONTAM y se realiza de la misma forma que en el caso de los difusores, pero se deben obtener las dimensiones y la curva de pérdida de carga del filtro.

Para la elección de los filtros de la climatizadora se utiliza el “catálogo virtual” *easy product Finder* donde se produce la elección de un filtro M6 y otro F9. Al presionar sobre uno de estos filtros se despliega la siguiente ventana:

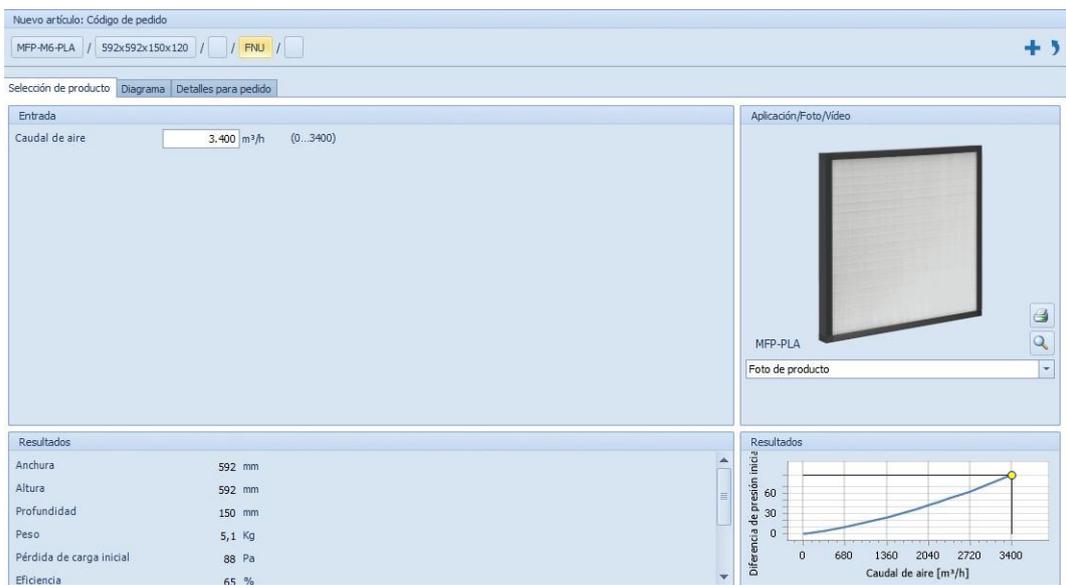


Figura 4.14: Catálogo easy product finder

En esta ventana se configuran las dimensiones del filtro para que pueda incorporarse en la climatizadora y en este caso, el catálogo proporciona la pérdida de carga que genera el filtro para el filtro limpio y la máxima pérdida de carga a la que el filtro asegura su eficacia.

Una vez que se han obtenido todos los valores demandados por CONTAM se puede utilizar la función ***P vs Q*** para definir la pérdida de carga que genera el filtro.

4.6. BATERIAS DE CALOR Y FRIO

La temperatura del quirófano debe estar entre 22 y 26°C (UNE 100713, 2005), por ello la temperatura del aire a la entrada del quirófano debe encontrarse entre este rango de temperaturas. Para conseguir estas condiciones es necesario incorporar en la climatizadora una batería de refrigeración y una batería de calefacción que van a generar una pérdida de carga adicional que debe vencer el correspondiente ventilador de impulsión. Para introducir este dispositivo dentro de CONTAM se procede de la siguiente manera:

Se agrega un tramo de conducto a la instalación y para su definición se presiona sobre la función $Q = C(dP)^n$ de la ventana de la *figura 4.10* donde se desplegará la siguiente ventana:

- **Shape, size and leakage:** Como en el caso del difusor, en esta pestaña se definen las dimensiones de las baterías y las fugas de caudal si las hubiese.
- **Coefficiente de flujo:** (C) se debe definir este parámetro para generar la curva de pérdidas.
- **Exponente de flujo:** (n) al igual que en el caso anterior, es necesario definir este parámetro para generar la función de pérdida de carga.

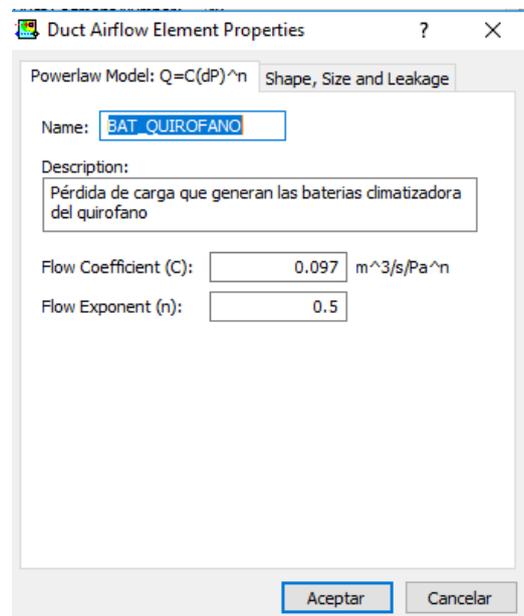


Figura 4.15: Función de baterías de calor y frio

Para introducir esta función el fabricante TROX ha proporcionado un software que se emplea para el cálculo de climatizadoras, este software se llama YAHUS.

Si se presiona sobre la sección de baterías dentro de la climatizadora, se despliegan las siguientes ventanas (*figura 4.16* y *figura 4.17*), que corresponden con las baterías de calefacción y refrigeración:

4. Software de diseño

Calcular Bateria refrigeración TROX® TECHNIK
The art of handling air

Geometría Bateria

Geometría: P40

Tipo: Cu-Al

Paso de aleta: 2,0

Tipo: FeZn 1,5 mm

Condiciones de trabajo

Tª seca entrada aire: 32 °C

HR entrada aire: 50,00

Máx. Perd. Carga Agua: 30 kPa

Tª entrada agua: 7 °C

Tª salida agua: 12 °C

Temperatura Salida Aire: 22 °C

Condiciones Líquido

Líquido: Water

Glycol: % Etileno Peso: 0

Expansión directa

Calcular

Resultados

| Descripción | Geometría | Paso de al | Potencia | Margen | Temperatura S | Δp | Ratio p Δ | |
|-------------|-----------|------------|----------|--------|---------------|----|-----------|--|
| TWCT40... | P40 | 2 | 13,87 | 12,09 | 22 | 41 | 1 | |

Cu-Al-FeZn P40AR 2R-21T-550A-2.0pa 3C 1*

| | | |
|-------------------------|-------|------|
| Potencia total | 13,87 | kW |
| Potencia sensible | 9,02 | kW |
| Potencia latente | 4,85 | kW |
| Caudal aire | 2650 | m3/h |
| Velocidad aire | 1,59 | m/s |
| Temperatura salida aire | 22,0 | °C |
| HR salida aire | 77,9 | % |
| Pérdida carga aire | 41 | Pa |
| Temperatura agua | 7,0 | °C |
| Tª salida agua | 12,0 | °C |
| Caudal agua | 2379 | l/h |
| Velocidad agua | 1,15 | m/s |

Aceptar Cancelar

Figura 4.16: Propiedades batería de refrigeración

Calcular Bateria calefacción TROX® TECHNIK
The art of handling air

Geometría Bateria

Geometría: P60

Tipo: Cu-Al

Paso de aleta: 2,0

Tipo: FeZn 1,5 mm

Condiciones de trabajo

Tª seca entrada aire: 5,5 °C

HR entrada aire: 50,00

Máx. Perd. Carga Agua: 30 kPa

Tª entrada agua: 90 °C

Tª salida agua: 70 °C

Temperatura Salida Aire: 25 °C

Condiciones Líquido

Líquido: Water

Glycol: % Etileno Peso: 0

Calcular

Resultados

| Descripción | Geometría | Paso de al | Potencia | Margen | Temperatura S | Δp | Ratio p Δ | |
|-------------|-----------|------------|----------|--------|---------------|----|-----------|--|
| TWCT60... | P60 | 2 | 17,50 | 70,43 | 25 | 17 | 1 | |

Cu-Al-FeZn P60AC 2R-14T-550A-2.0pa 1C 1/2*

| | | |
|-------------------------|-------|------|
| Potencia total | 17,50 | kW |
| Potencia sensible | 17,50 | kW |
| Potencia latente | 0,00 | kW |
| Caudal aire | 2650 | m3/h |
| Velocidad aire | 1,59 | m/s |
| Temperatura salida aire | 25,0 | °C |
| HR salida aire | 14,1 | % |
| Pérdida carga aire | 17 | Pa |
| Temperatura agua | 90,0 | °C |
| Tª salida agua | 70,0 | °C |
| Caudal agua | 777 | l/h |
| Velocidad agua | 1,12 | m/s |

Aceptar Cancelar

Figura 4.17: Propiedades batería de calefacción

Una vez definidos todos los parámetros, YAHUS genera la pérdida de carga del paso del aire por esas baterías para un caudal determinado. Se supone que la pérdida de carga que se genera en el aire sigue la siguiente expresión:

$$P = KQ^2$$

$$Q = CP^{1/2}$$

Como YAHUS proporciona la pérdida de presión y el caudal para el que se genera esa pérdida, se puede determinar el coeficiente y exponente de flujo demandados por CONTAM.

4.7. VENTILADORES

Para introducir el aire en los quirófanos es necesario un elemento que genere una sobrepresión y una depresión por lo que se emplea un ventilador. Para introducir el ventilador en CONTAM se dibuja un tramo de conducto solapado a la instalación y se elige la función *performance curve* dentro de la *figura 4.10*.

Una vez elegida esta opción, se despliega la siguiente ventana (*figura 4.18*). En esta ventana se asigna un nombre al ventilador y se accede a:

- **Shape, size and leakage:** donde se define las dimensiones del ventilador y las pérdidas de caudal en el caso de que hubiera.

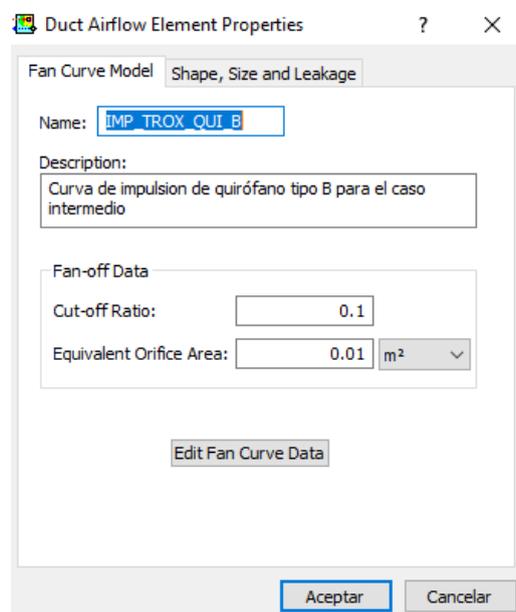


Figura 4.18: Propiedades de ventilador

- **Edit fan curve data:** donde se introduce la curva del ventilador.

4. Software de diseño

Para poder definir la curva del ventilador se utiliza el programa YAHUS, para ello se presiona sobre el ventilador en la climatizadora, donde se desplegará la ventana de la *figura 4.19*:

En la ventana de la *figura 4.19* se define el caudal que tiene que impulsar el ventilador y la pérdida de carga que tiene que vencer.

En este momento YAHUS se pone a calcular los ventiladores que se adecuan a la climatizadora seleccionada y el caudal y pérdida de carga establecido y se genera la ventana de la *figura 4.20*, donde permite elegir un ventilador para incorporar a la climatizadora:



Figura 4.19: Selección del ventilador

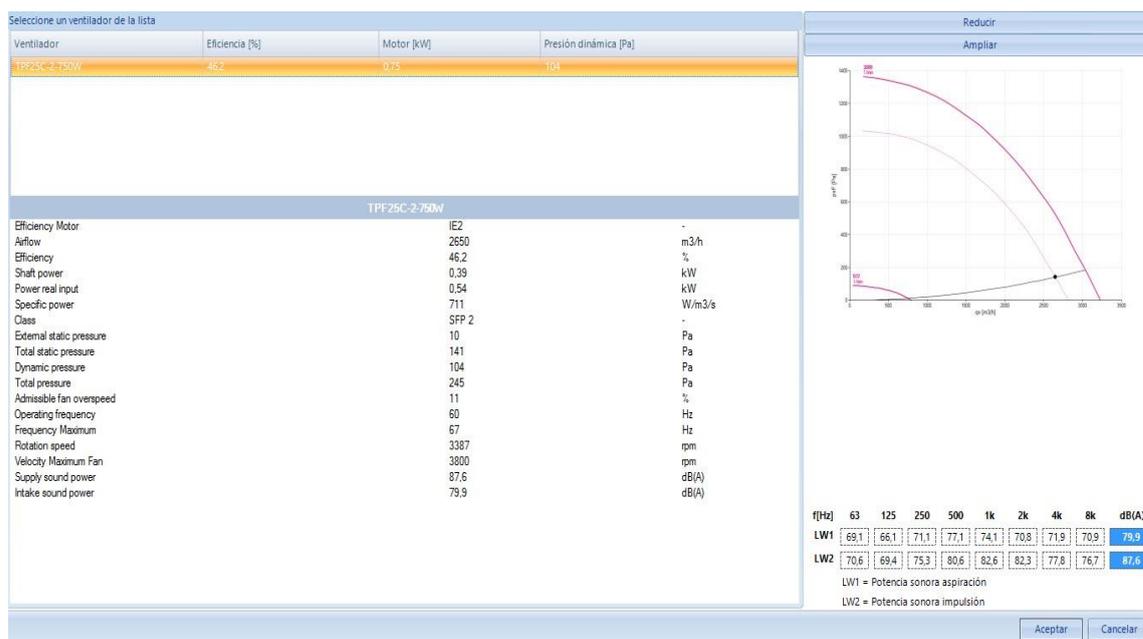


Figura 4.20: Ventilador asignado por YAHUS

YAHUS, para las condiciones que se establecieron previamente, asigna un ventilador y proporciona el régimen al que debe trabajar ese ventilador con su correspondiente curva.

Esta curva es la que demandaba anteriormente CONTAM y que se introduce mediante la *figura 4.21*.

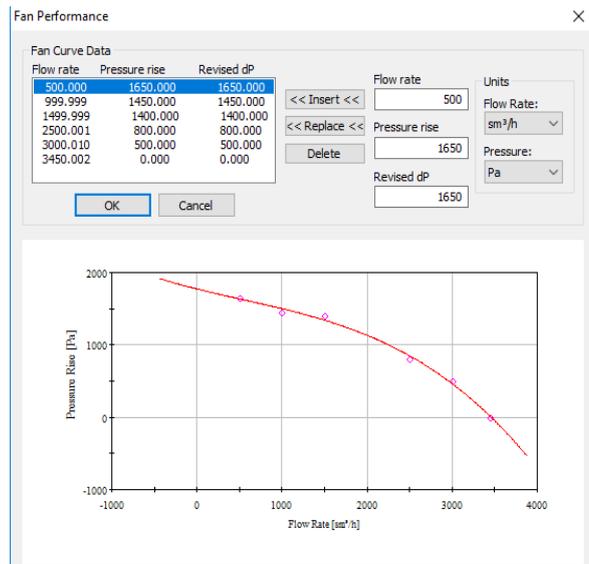


Figura 4.21: Curva de ventilador en CONTAM

4.8. PÉRDIDAS EN CLIMATIZADORA

El aire que sale por la climatizadora sale a la temperatura del quirófano lo que hace que se aproveche este calor incorporando una recuperadora dentro de la climatizadora (que YAHUS pone por defecto, ya que no permite su definición). Además, la climatizadora posee una serie de compuertas necesarias para su mantenimiento, un silenciador y una sección de humectación que generan una pérdida de carga en la climatizadora. Estas pérdidas se deben introducir en la instalación y por ello se van a determinarlas:

Cuando YAHUS genera el ventilador, proporciona una serie de datos (*figura 4.22*) donde se distinguen los siguientes datos:

| Resumen prestaciones | | |
|---------------------------|-------|------|
| TPF31C-2-1500W | | |
| Eficiencia Motor | IE2 | - |
| Caudal aire | 4723 | m³/h |
| Eficiencia | 45,6 | % |
| Potencia eje | 0,83 | kW |
| Consumo eléctrico real | 1,03 | kW |
| Potencia específica | 764 | W/m³ |
| Categoría | SFP 3 | - |
| Presión estática dispo... | 20 | Pa |
| Presión estática total | 151 | Pa |
| Presión dinámica | 137 | Pa |
| Presión total | 288 | Pa |
| Reserva Velocidad | 8 | % |
| Frecuencia operativa | 52 | Hz |
| Frecuencia Máxima | 57 | Hz |
| Velocidad giro | 3005 | rpr |

Figura 4.22: Propiedades climatizadora

- **Presión total:** es la presión que debe vencer el ventilador para impulsar el caudal definido dentro de la habitación.
- **Presión estática total:** es la pérdida de presión que se ha “definido”, es decir, la pérdida de presión que generan las baterías y filtros de la climatizadora y la pérdida de presión que generan los difusores y sistema de conductos.

Si se observan las presiones definidas anteriormente, se aprecia que estos dos valores no son iguales, y esto se debe a lo comentado al principio del apartado. Así que se van a cuantificar las pérdidas mediante la función:

$$P = KQ^2$$

$$P = \text{Presión total} - \text{Presión estática}$$

Para introducir esta pérdida de carga en CONTAM, se utiliza la función $Q = C(dP)^n$, es decir, se sigue el mismo procedimiento que en el caso de las baterías de refrigeración y de calefacción.

5. CÁLCULO DEL VENTILADOR

En este capítulo, mediante los programas citados en el capítulo anterior, se van a determinar los ventiladores que deben incorporar las climatizadoras.

Para esta elección se supone que los filtros de esta se encuentran a la mitad de su vida útil. Una vez que se equipa la climatizadora con el ventilador se van a estudiar los siguientes casos:

- Régimen de giro del ventilador para poner en funcionamiento la instalación (filtros nuevos).
- Régimen de giro del ventilador para el caso más desfavorable ante el que se va a encontrar la instalación (filtros sucios).

Además, se va a plantear un “*modo noche*” para la climatizadora, que va a consistir en la impulsión de la mitad del caudal para mantener una pequeña sobrepresión dentro del bloque quirúrgico.

En la *figura 5.1* se realiza un esquema del bloque quirúrgico al que se va a suministrar aire. En este esquema se indican las presiones y caudales que se quieren conseguir para cada zona del bloque quirúrgico:

| | | |
|---|---|---|
| Almacén 5 Pa 360 m ³ /h | Local de instalaciones - Pa - m ³ /h | |
| Pasillo de limpio 3 Pa 615 m ³ /h | | |
| Quirófano tipo B 25 Pa 2280 m ³ /h | Hall de acceso 14 Pa 930 m ³ /h | Quirófano tipo B 25 Pa 2280 m ³ /h |
| Zona de preparación 18 Pa 330 m ³ /h | | Zona de preparación 18 Pa 330 m ³ /h |
| Quirófano tipo B 25 Pa 2280 m ³ /h | | Quirófano tipo A 25 Pa 2650 m ³ /h |
| Zona de sucio 0 Pa 0 m ³ /h | | |

Figura 5.1: Objetivos de presión y caudal en bloque quirúrgico

5.1. PROCESO DE SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para el empezar el cálculo de los ventiladores, se supone que los filtros en la climatizadora se encuentran en la mitad de su vida o, en otras palabras, que generan como pérdida de carga la media aritmética entre la mínima y la máxima pérdida de carga que pueden generar dicho filtro. Este sistema es el que utiliza YAHUS para proporcionar el ventilador que debe incorporar la climatizadora.

El filtro terminal, dentro del difusor, se introduce con su curva de pérdida de carga inicial, ya que *easy product finder* proporciona únicamente la pérdida de carga que genera este elemento cuando es nuevo.

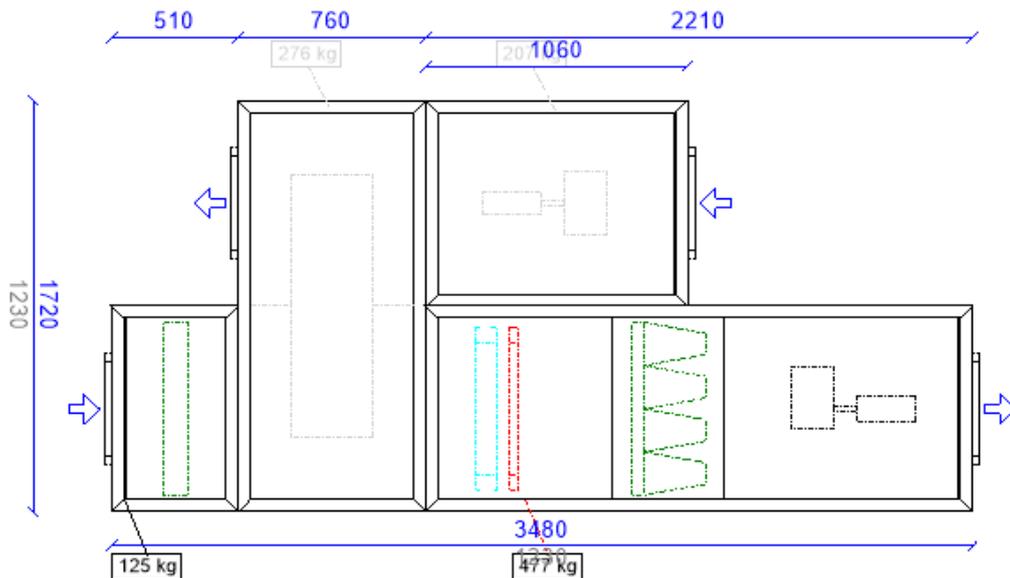


Figura 5.2: Esquema climatizadora empleada en YAHUS

Para que YAHUS comience a calcular el ventilador se va pinchar sobre el ventilador de la *figura 5.2* donde se despliega una ventana (*figura 5.3*) que demanda los siguientes datos:

- **Caudal:** aquí se introduce el caudal que va a impulsar/extraer la climatizadora.
- **Presión estática disponible:** es la pérdida de carga que se produce fuera de la climatizadora, es decir, es la pérdida de carga que se produce en el difusor y el sistema de conductos.

Figura 5.3: Selección de ventilador

Esta pérdida de carga no se conoce y por ello se debe determinar.

Para determinar los datos que demanda YAHUS se elabora en CONTAM la instalación que se muestra en la *figura 5.4*:

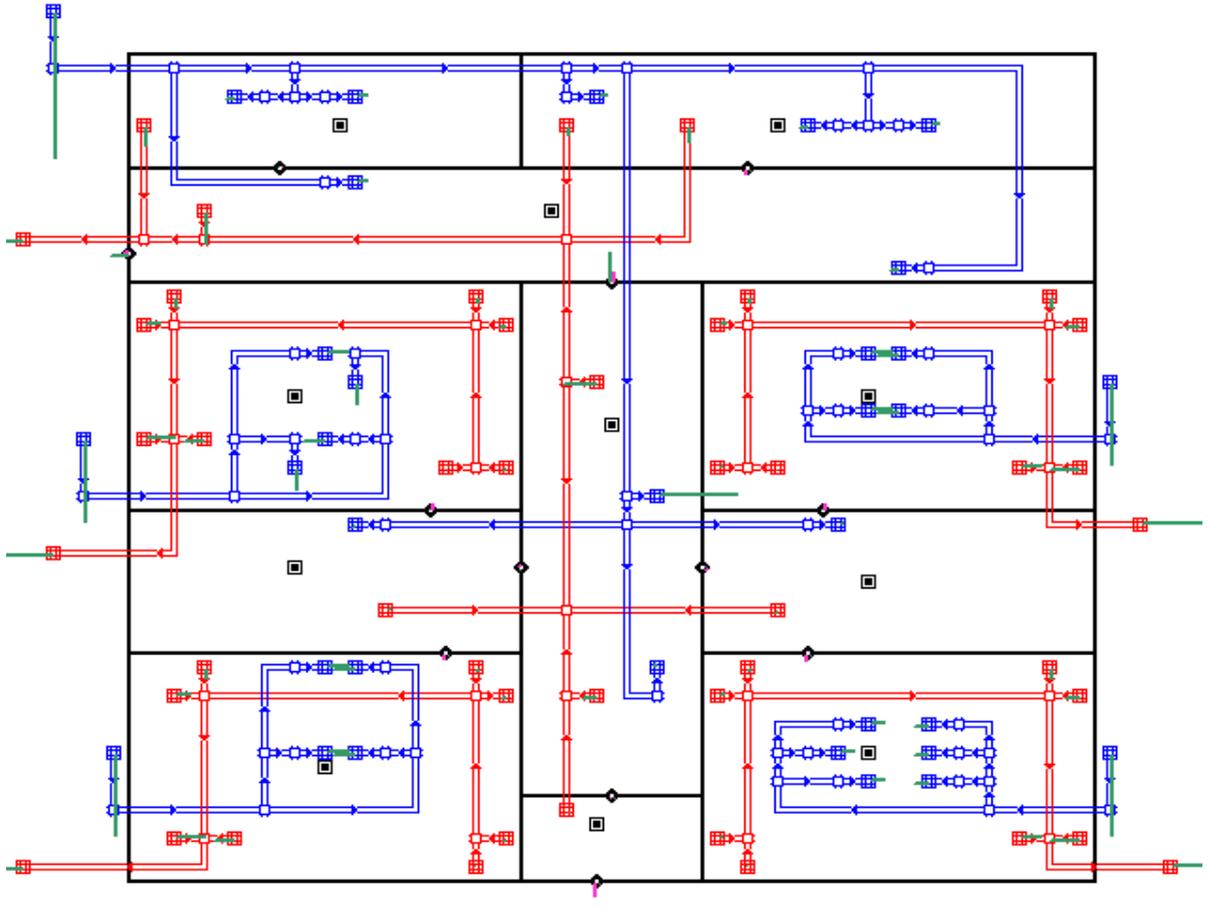


Figura 5.4: Instalación de conductos en CONTAM

Para el diseño de la instalación, se ha usado como guía el plano de la *figura 4.1* sobre el que se realizó las siguientes modificaciones:

- En cada quirófano se extrae y se impulsa aire con una climatizadora independiente al resto del bloque quirúrgico.
- Las salas de preparación y limpieza son alimentadas por la climatizadora del bloque quirúrgico.

La instalación de la *figura 5.4* incorpora los siguientes elementos:

- El sistema de conductos tanto de impulsión como de extracción.

- Los difusores que incorpora la impulsión.
- Un caudal de aire constante conectado al circuito de impulsión, dejando el sistema de extracción conectado con el ambiente. Los caudales de impulsión se obtienen de los planos proporcionados.

En CONTAM, el caudal constante se introduce con la función **constant volumen Flow model** que se encuentra dentro de la ventana de la *figura 4.10* donde se despliega la ventana de la *figura 5.5*.

Una vez elaborada la instalación en CONTAM, se selecciona la función **Simulation** para que el software se ponga a calcular.

CONTAM va a proporcionar la pérdida de carga que se produce en el sistema de impulsión y en el sistema de extracción, además de la presión en el interior de cada sala del bloque quirúrgico. Todos estos datos se recogen en las siguientes tablas:

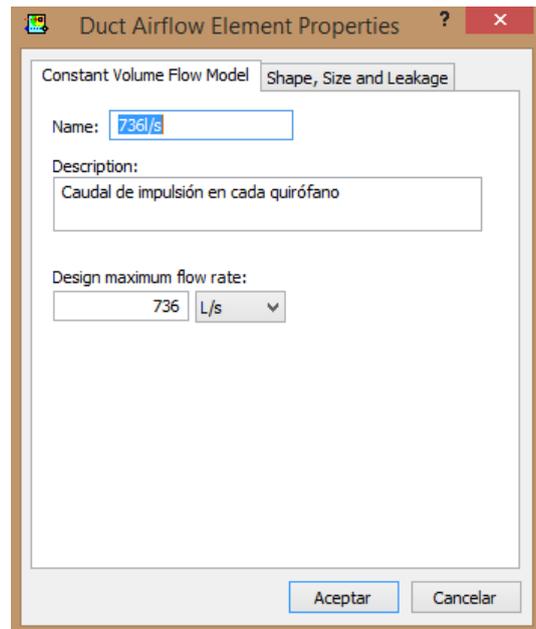


Figura 5.5: Caudal constante CONTAM

5. Cálculo del ventilador

Tabla 5.1: Pérdida de carga en sistema de impulsión

| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|-------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Caudal (m ³ /h) | 2650 | 2650 | 4720 |
| Presión en sala (Pa) | 9 | 9 | 7 |
| Pérdida de presión en circuito (Pa) | 113 | 236 | 242 |
| Presión deseada en sala (Pa) | 25 | 25 | 3 * |
| Presión estática disponible (Pa) ** | 129 | 252 | 238 |

* La presión en el bloque quirúrgico se mide en el pasillo de limpio

** $P. \text{estática disponible} = \text{Pérdida de presión} + P. \text{deseada sala} - P. \text{sala}$

Tabla 5.2. Pérdida de carga en sistema de extracción

| Circuito de extracción | Bloque quirúrgico | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B |
|-------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Pérdida de presión (Pa) | 15 | 35 | 35 |

En las *tablas 5.1 y 5.2* se está calculado el valor de presión estática disponible para introducir en YAHUS, pero antes de presionar la opción **calcular** es necesario definir los elementos que incorporan las climatizadoras, estos elementos se recogen en las siguientes tablas:

- Climatizadora del quirófano:

Tabla 5.3: Nomenclatura elementos climatizadora quirófano

| | |
|---------------------------------|---|
| Climatizadora | TKM 50HE EU 860x1090 |
| Filtro previo | MFP-M6-PLA/592x592x96x80/WS |
| Filtro compacto | MFI-F9-PLA/592x592x292x6 |
| Batería de refrigeración | TWCT60D-Cu-Al-3R-14T-550A-2,5pa 3C 1° |
| Batería de calefacción | TWCT40D-Cu-Al-1R-21T-550A-2,5pa 1C 1/2° |
| Recuperador | Por defecto |

- Climatizadora del bloque quirúrgico:

Tabla 5.4: Nomenclatura elementos climatizadora bloque quirúrgico

| | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Climatizadora | TKM 50 EU 860x1170 |
| Filtro previo | MFP-M6-PLA/592x592x96x80/WS |
| Filtro compacto | MFI-F9-PLA/592x592x292x6 |
| Batería de refrigeración | TWCT40D-Cu-Al-2R-26T-650A-2pa 5C ¼'' |
| Batería de calefacción | TWCT30D1-Cu-Al-1R-34T-650A-2pa 4C ¾'' |
| Recuperador | Por defecto |

Con los elementos descritos en las tablas anteriores, se tiene completamente definida la climatizadora, asique ya se puede introducir el valor de presión estática disponible calculado anteriormente. YAHUS va a generar el ventilador que más se acomoda a las condiciones de caudal y presión establecidas, además este software proporciona el régimen al que debe girar el ventilador para el punto de funcionamiento definido.

5. Cálculo del ventilador

Tabla 5.5: Ventiladores bloque quirúrgico con filtros a media vida

| Ventilador | Sala | Nomenclatura | Régimen (rpm) | Potencia (w) | Figura |
|------------|----------------------|--------------|---------------|--------------|--------|
| Impulsión | Quirófano tipo A | TPF25C-2 | 3912 | 1500 | 5.6 |
| Impulsión | Quirófano tipo B | TPF25C-2 | 4048 | 1500 | 5.7 |
| Impulsión | Bloque quirúrgico | TPF31C-2 | 3445 | 2200 | 5.8 |
| Extracción | Quirófano tipo A Y B | TPF25C-2 | 3387 | 750 | 5.9 |
| Extracción | Bloque quirúrgico | TPF31C-2 | 3005 | 1500 | 5.10 |

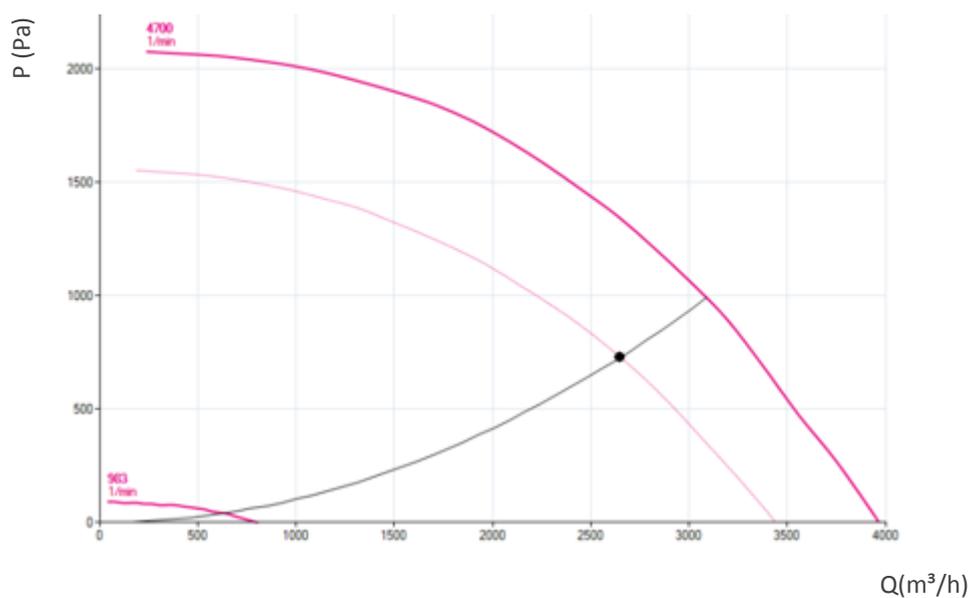


Figura 5.6: Ventilador de impulsión del quirófano tipo B

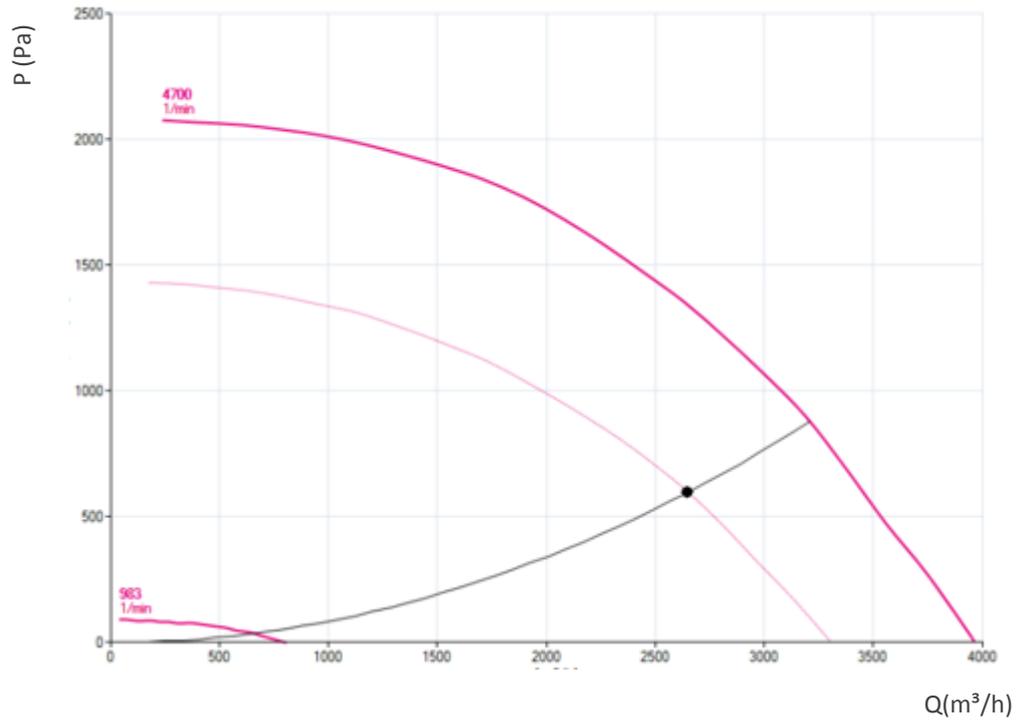


Figura 5.7: Ventilador de impulsión del quirófano tipo A

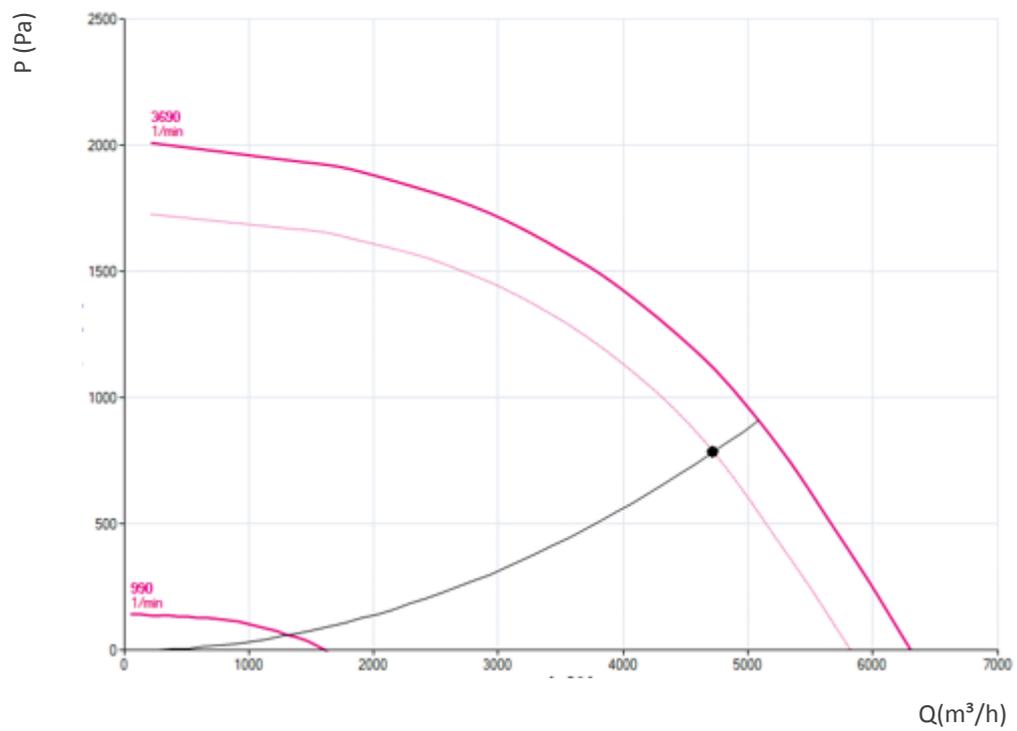


Figura 5.8: Ventilador de impulsión del bloque quirúrgico

5. Cálculo del ventilador

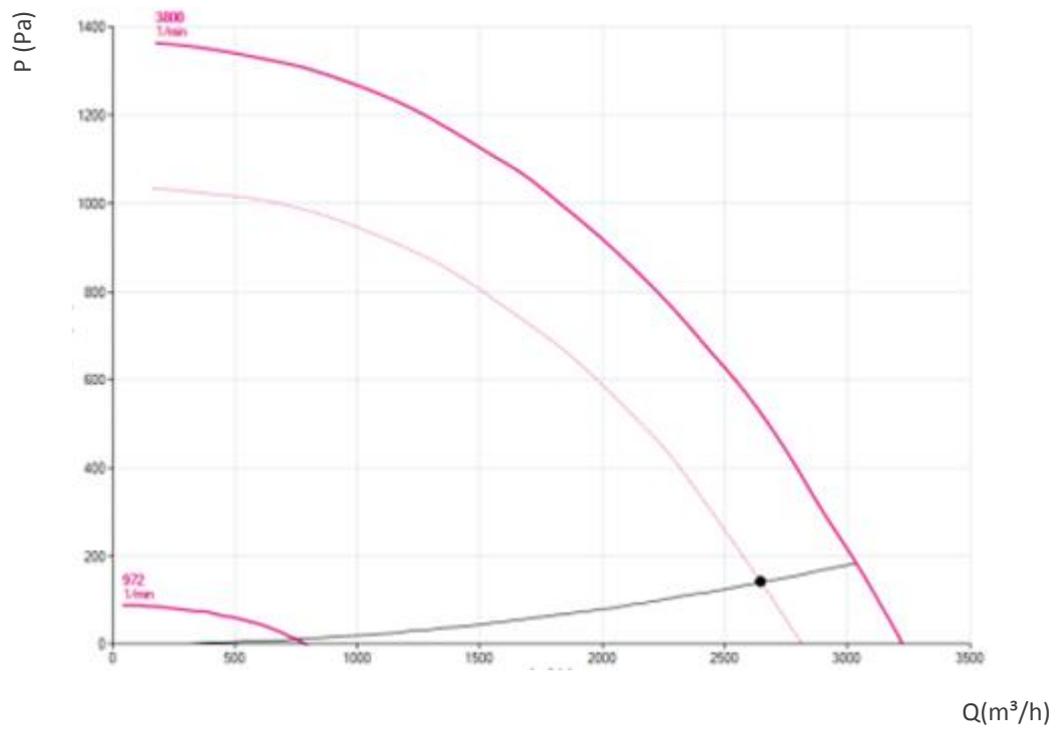


Figura 5.9: Ventilador de extracción de los quirófanos

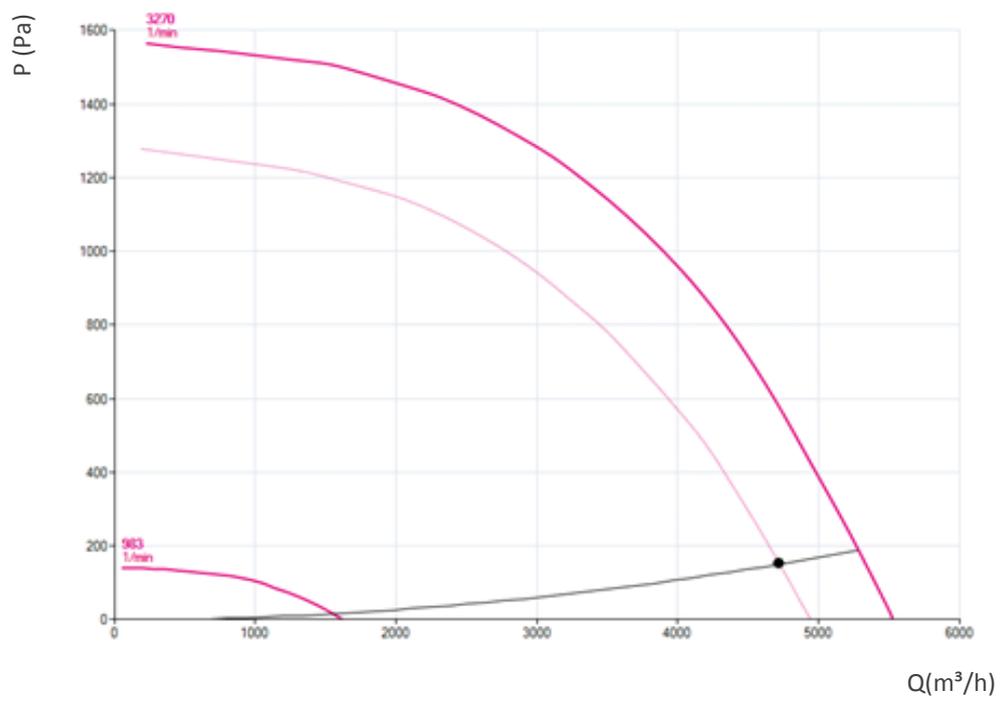


Figura 5.10: Ventilador de extracción del bloque quirúrgico

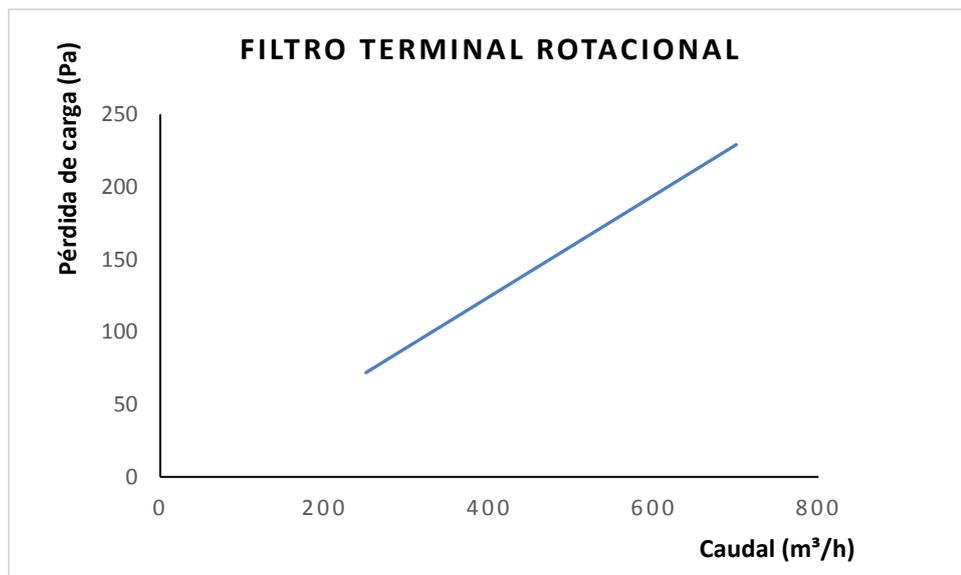
Una vez que se tienen los ventiladores que deben incorporar las climatizadoras del bloque quirúrgico se va a comprobar que se cumple con las exigencias de caudal y presión, por ello se introduce la climatizadora en CONTAM.

Cuando YAHUS calcula el ventilador necesario para una climatizadora, este software supone que los filtros de la climatizadora están a media vida, por ello, se introducen los filtros de la climatizadora (M6 y F9) con la función $Q = C(dP)^n$, mencionada en el apartado 4.5.

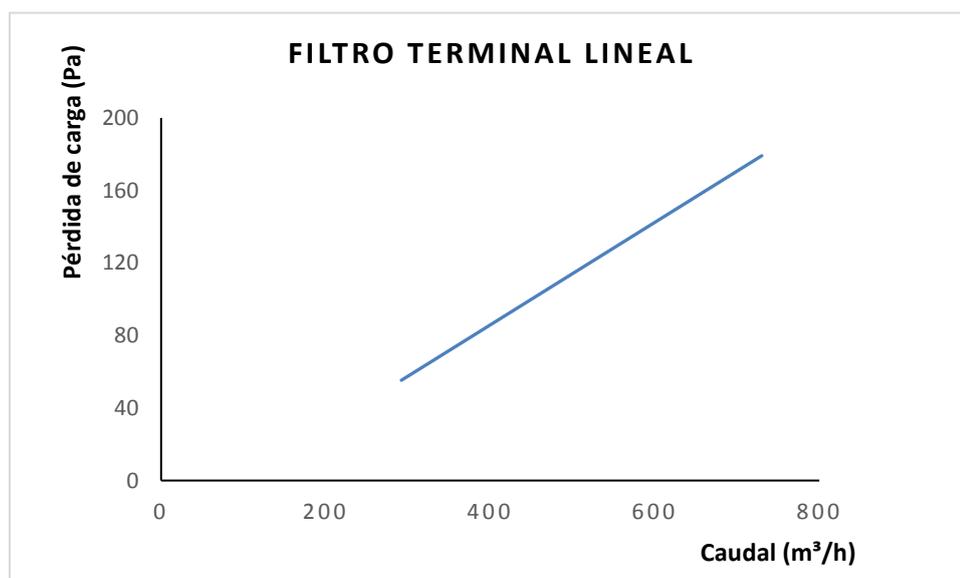
Una vez descrito lo anterior, en CONTAM se introducen los elementos de los que se compone la climatizadora. En la siguiente tabla se recogen los elementos que componen la climatizadora y los difusores de impulsión:

Tabla 5.6: Elementos de la instalación en CONTAM

| Elemento | Nombre | Función | Expresión CONTAM |
|----------------------------------|---------------|---------------|------------------|
| Filtro M6 | M6_TROX | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,068P^{0,5}$ |
| Filtro F9 | F9_TROX | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,057P^{0,5}$ |
| Baterías quirófano | BAT_QUIROFANO | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,097P^{0,5}$ |
| Baterías bloque | BAT_BLOQUE | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,16P^{0,5}$ |
| Recuperador impulsión quirófano | RECU_IMP_BLO | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,058P^{0,5}$ |
| Recuperador impulsión bloque | RECU_IMP_QUI | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,114P^{0,5}$ |
| Recuperador extracción quirófano | RECU_EXTR_QUI | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,064P^{0,5}$ |
| Recuperador extracción bloque | RECU_EXTR_BLO | $Q = C(dP)^n$ | $Q=0,112P^{0,5}$ |
| Difusor rotacional | H13_LIMPIO | P vs Q | Gráfica 5.1 |
| Difusor lineal | H14_LIMPIO | P vs Q | Gráfica 5.2 |



Gráfica 5.1: Curva de pérdida de carga inicial del filtro del difusor rotacional



Gráfica 5.2: Curva de pérdida de carga inicial de filtro del difusor lineal

Se introduce en la *figura 5.4* la climatizadora y se obtiene la imagen que muestra la *figura 5.11*:

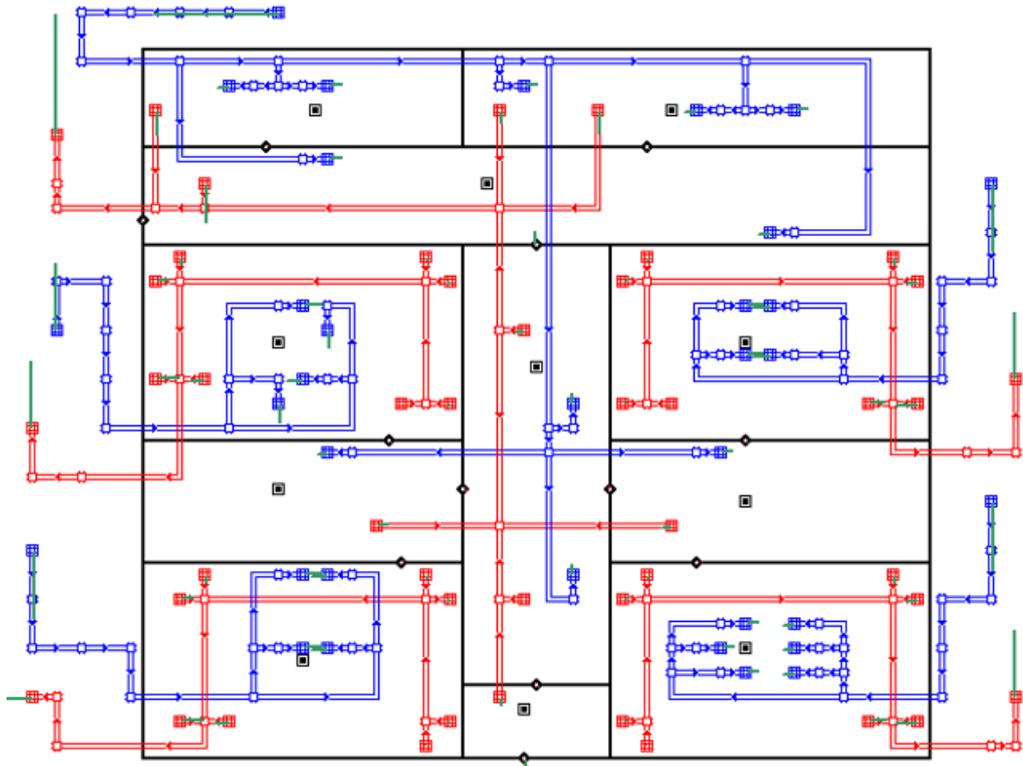


Figura 5.11: Instalación de ventilación de los planos

Una vez introducida la instalación de ventilación en CONTAM, se selecciona la pestaña *simulation* para obtener el caudal de impulsión y la presión interior del bloque:

| | | |
|---|--|---|
| Almacén 2,4 Pa 930 m ³ /h | Local de instalaciones 9 Pa 1375 m ³ /h | |
| Pasillo de limpio 0,05 Pa 985 m ³ /h | | |
| Quirófano tipo B 23 Pa 2650 m ³ /h | Hall de acceso 5,5 Pa 839 m ³ /h | Quirófano tipo B 23 Pa 2650 m ³ /h |
| Zona de preparación 17,3 Pa 374 m ³ /h | | Zona de preparación 17,3 Pa 374 m ³ /h |
| Quirófano tipo B 23,5 Pa 2650 m ³ /h | | Quirófano tipo A 24,4 Pa 2654 m ³ /h |
| Zona de sucio 2,22 Pa 253,3 m ³ /h | | |

Figura 5.12: Presión en bloque quirúrgico con sistema de ventilación teórico

A la vista de los resultados, se sacan las siguientes conclusiones:

- Se cumple con la normativa vigente^[1] en cuanto a caudales de impulsión.
- Se cumple con la normativa vigente ^[1] en cuanto a presión interior, excepto en la zona de sucio.
- Aunque no esté legislado por la norma UNE, la presión en el local de instalaciones alcanza un valor muy elevado.

Con el fin de mejorar la instalación teórica de ventilación, se proponen dos pequeñas modificaciones sobre la instalación anterior:

- En el local de instalaciones, existen tres difusores, lo que hace que, entre una cantidad grande de aire, por ello se propone eliminar dos de estos difusores.
- En la zona de sucio, se presenta el problema de que el conducto de extracción se convierte en conducto de impulsión, debido a la baja presión en esta zona, por ello se propone eliminar este conducto.

Una vez descrito lo anterior, se introducen estas modificaciones en la *figura 5.11*, modificaciones que se pueden apreciar en la siguiente imagen:

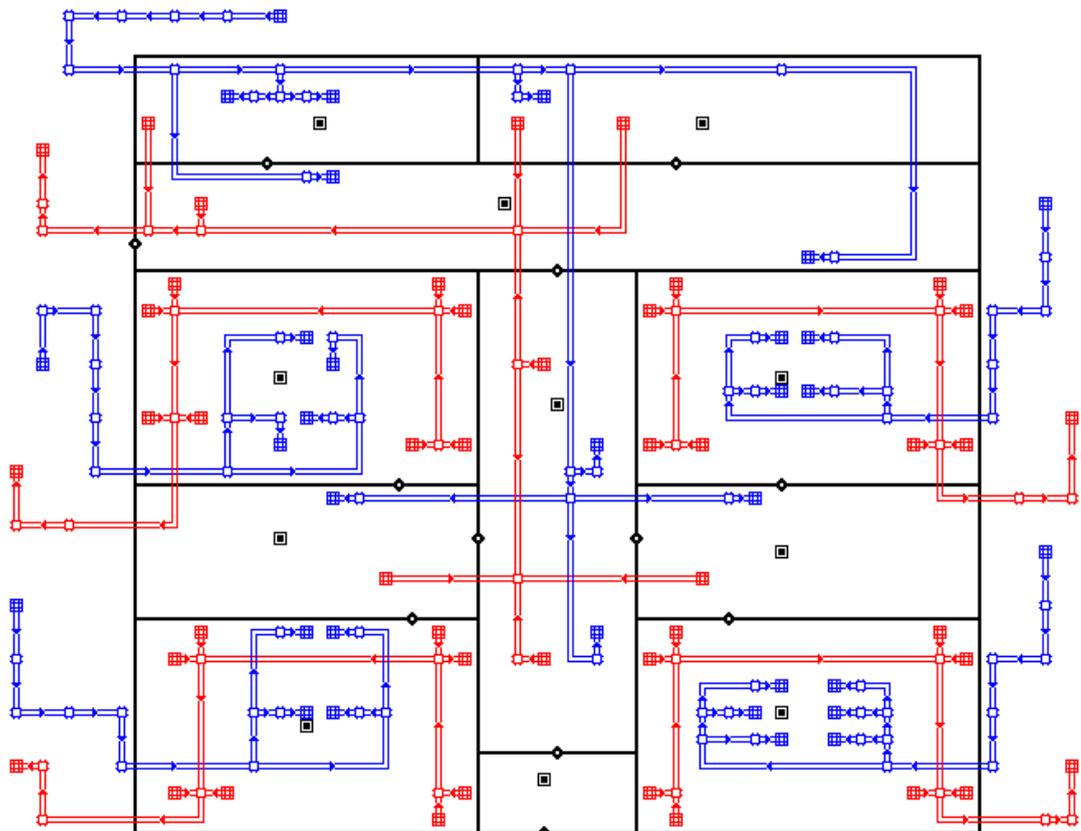


Figura 5.13: Instalación de ventilación real

Si se presiona sobre *simulation* CONTAM genera los siguientes resultados:

5. Cálculo del ventilador

| | | |
|---|---|---|
| Almacén 4,2 Pa 1113 m ³ /h | Local de instalaciones 1,6 Pa 600 m ³ /h | |
| Pasillo de limpio 1,22 Pa 1195 m ³ /h | | |
| Quirófano tipo B 24,3 Pa 2642 m ³ /h | Hall de acceso 6,9 Pa 1016 m ³ /h | Quirófano tipo B 24,4 Pa 2643 m ³ /h |
| Zona de preparación 21,3 Pa 454 m ³ /h | | Zona de preparación 21,3 Pa 454 m ³ /h |
| Quirófano tipo B 24,8 Pa 2643 m ³ /h | | Quirófano tipo A 25,5 Pa 2649 m ³ /h |
| Zona de sucio 0,03 Pa 0 m ³ /h | | |

Figura 5.14: Presión en bloque quirúrgico con la instalación real

Observando la figura 5. 14 se puede ver que el escalonamiento de presión es el deseado, además que los caudales cumplen con la normativa. En el caso de que fuera un proyecto real, esta es la instalación que se montaría en el bloque quirúrgico, por ello ahora se va a estudiar si los ventiladores van a poder trabajar en condiciones distintas a las de diseño.

El software YAHUS proporcionado por TROX cuando genera un ventilador genera tres curvas:

- La curva del ventilador al máximo régimen de giro.
- La curva del ventilador al mínimo régimen de giro.
- La curva del ventilador que necesita la instalación para las condiciones previamente definidas.

Para comprobar que el ventilador seleccionado es válido para las situaciones más extremas que se van a dar en un bloque quirúrgico, se debe conocer las curvas del ventilador a cualquier régimen de giro, para ello se aplica análisis dimensional:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{w'}{w}$$

$$\frac{H'}{H} = \left(\frac{w'}{w}\right)^2$$

Mediante estas dos expresiones y conociendo cualquier curva a la que gira el ventilador, se puede determinar la curva de un ventilador para cualquier régimen.

A continuación, como ejemplo, se obtienen las curvas del ventilador de impulsión de los quirófanos, para ello se parte de la *figura 5.1.5* donde se coge la curva del ventilador al máximo régimen (4700 rpm) y se tabula dicha la curva:

Tabla 5.7: TFP25C-2-1500W, ω_{max}

| Velocidad de giro= 4700rpm | |
|----------------------------|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3500 | 580 |
| 3000 | 1070 |
| 2500 | 1460 |
| 2000 | 1730 |
| 1500 | 1920 |
| 1000 | 2030 |
| 500 | 2090 |

5. Cálculo del ventilador

Partiendo de esta tabla, se aplica el análisis dimensional mencionado anteriormente y se tabulan las curvas del ventilador a distintos regímenes de giro:

Tabla 5.8: TFP25C-2-1500W, 0,95 ω

| Velocidad de giro= 4465rpm (0,95 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3325 | 523,45 |
| 2850 | 965,675 |
| 2375 | 1317,65 |
| 1900 | 1561,325 |
| 1425 | 1732,8 |
| 950 | 1832,075 |
| 475 | 1886,225 |

Tabla 5.9: TFP25C-2-1500W, 0,90 ω

| Velocidad de giro= 4230rpm (0,90 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3150 | 469,8 |
| 2700 | 866,7 |
| 2250 | 1182,6 |
| 1800 | 1401,3 |
| 1350 | 1555,2 |
| 900 | 1644,3 |
| 450 | 1692,9 |

Tabla 5.10: TFP25C-2-1500W, 0,80 ω

| Velocidad de giro= 3760rpm (0,8 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2800 | 371,2 |
| 2400 | 684,8 |
| 2000 | 934,4 |
| 1600 | 1107,2 |
| 1200 | 1228,8 |
| 800 | 1299,2 |
| 400 | 1337,6 |

Tabla 5.11: TFP25C-2-1500W, 0,70 ω

| Velocidad de giro= 3290rpm (0,7 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2450 | 284,2 |
| 2100 | 524,3 |
| 1750 | 715,4 |
| 1400 | 847,7 |
| 1050 | 940,8 |
| 700 | 994,7 |
| 350 | 1024,1 |

Tabla 5.12: TFP25C-2-1500W, 0,6 ω

| Velocidad de giro= 2820rpm (0,6 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2100 | 208,8 |
| 1800 | 385,2 |
| 1500 | 525,6 |
| 1200 | 622,8 |
| 900 | 691,2 |
| 600 | 730,8 |
| 300 | 752,4 |

Tabla 5.13: TFP25C-2-1500W, 0,5 ω

| Velocidad de giro= 2350rpm (0,5 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1750 | 145 |
| 1500 | 267,5 |
| 1250 | 365 |
| 1000 | 432,5 |
| 750 | 480 |
| 500 | 507,5 |
| 250 | 522,5 |

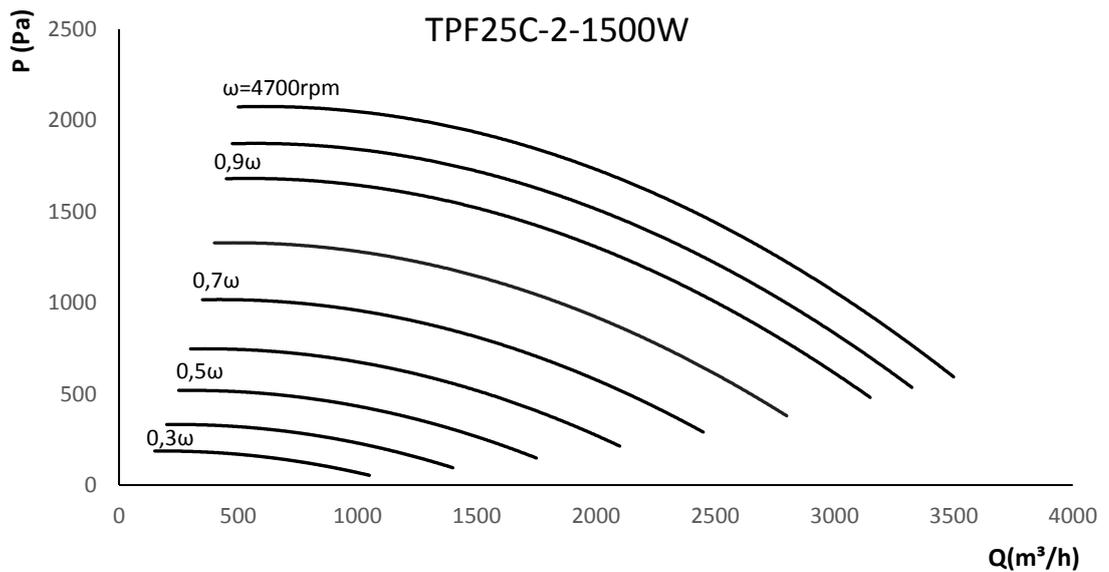
Tabla 5.14: TFP25C-2-1500W, 0,4 ω

| Velocidad de giro= 3760rpm (0,4 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1400 | 92,8 |
| 1200 | 171,2 |
| 1000 | 233,6 |
| 800 | 276,8 |
| 600 | 307,2 |
| 400 | 324,8 |
| 200 | 334,4 |

Tabla 5.15: TFP25C-2-1500W, 0,3 ω

| Velocidad de giro= 1410rpm (0,3 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1050 | 52,2 |
| 900 | 96,3 |
| 750 | 131,4 |
| 600 | 155,7 |
| 450 | 172,8 |
| 300 | 182,7 |
| 150 | 188,1 |

Se grafican las tablas obtenidas por análisis dimensional y se obtiene el siguiente gráfico:



Gráfica 5.3: TPF25C-2-1500W

Véase en anexos este procedimiento realizado para el resto de los ventiladores del bloque quirúrgico.

5.2. CONDICIONES OPERATIVAS. FILTROS NUEVOS

En este apartado se va a plantear el caso para el que todos los filtros del bloque quirúrgico están limpios, es decir, se va a escoger la curva del ventilador necesaria para poner en funcionamiento la instalación. En este caso se comprueba que el ventilador seleccionado para el caso anterior va a ser capaz de adaptarse a las condiciones demandadas por la instalación.

Para comenzar con el estudio se va, en CONTAM, a la instalación diseñada en el caso anterior (*figura 5.13*) y se modifica únicamente los filtros de la climatizadora (F9 y M6). Se sustituyen estos filtros por los filtros limpios:

Tabla 5.16: Elementos modificados en la climatizadora

| Elemento | Nombre | Función | Expresión CONTAM |
|-----------|-----------|---------|------------------|
| Filtro M6 | M6_LIMPIO | P vs Q | Figura 5.15 |
| Filtro F9 | F9_LIMPIO | P vs Q | Figura 5.16 |

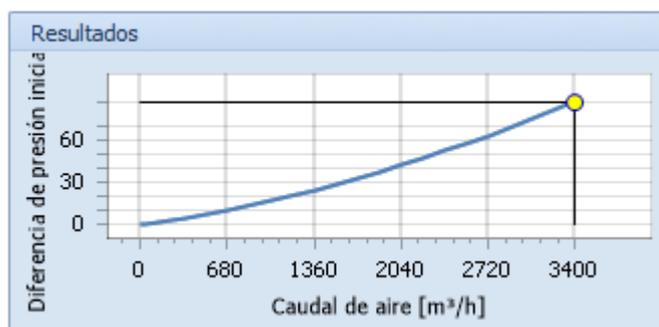


Figura 5.15: Curva filtro M6 limpio

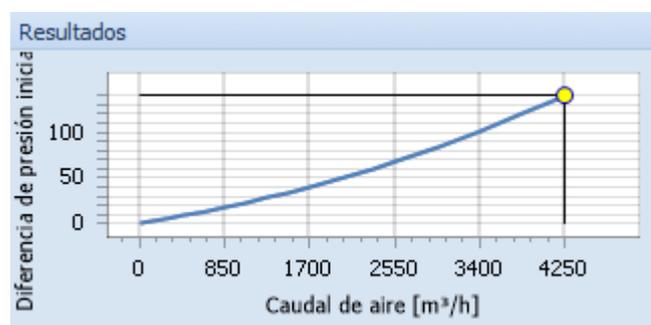


Figura 5.16: Curva filtro F9 limpio

Los filtros H13 y H14, no es necesario que se modifiquen porque en el proceso de selección del ventilador, se introdujeron como limpios, debido a

que no se tenían más datos de ellos.

Una vez que realizada la modificación de la instalación en CONTAM, se conecta un caudal constante en la impulsión al igual que en el caso de diseño, pero en este caso se mantiene el ventilador de extracción, ya que este ventilador al no presentar filtros va a tener un funcionamiento constante. Seleccionado la pestaña *simulation* se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5.17: Presión en sistema de impulsión

| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|---|------------------|------------------|-------------------|
| Caudal (m³/h) | 2650 | 2650 | 4720 |
| Presión en sala (Pa) | 25 | 25 | 0 |
| Pérdida de presión en circuito de impulsión (Pa) | 470 | 593 | 688 |
| Presión deseada sala (Pa) | 25 | 25 | 3 * |
| Presión que vencer por sistema de impulsión (Pa) | 470 | 593 | 691 |

* La presión del bloque quirúrgico esta medida en el pasillo de limpio

Para determinar el régimen al que debe girar el ventilador, es necesario conocer la curva de la instalación del sistema. La curva de la instalación de del sistema de ventilación se rige por la siguiente ecuación:

$$P = K_1 + K_2 Q^2$$

Para el caso que se estudia, se tiene una ecuación y dos incógnitas, así que se deben buscar dos puntos de la curva de la instalación para cada sala:

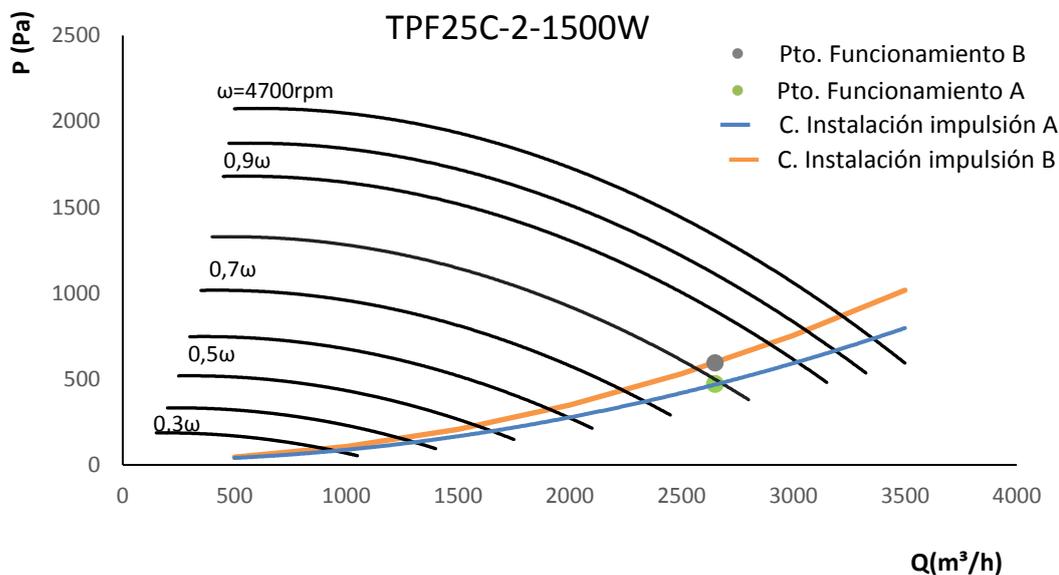
5. Cálculo del ventilador

Tabla 5.18: Curva de la instalación filtros limpios

| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Punto 1 (m ³ /h), Pa | Q=0 P=25 | Q=0 P=25 | Q=0 P=3 |
| Punto 2 (m ³ /h), Pa | Q=2650 P=470 | Q=2650 P=593 | Q=4720 P=691 |
| K ₁ (Pa) | 25 | 25 | 3 |
| K ₂ (Pah/m ⁶) | 0,000063 | 0,000081 | 0,00003 |
| Curva de instalación | $P=25+0,000063Q^2$ | $P=25+0,000081Q^2$ | $P=3+0,00003Q^2$ |

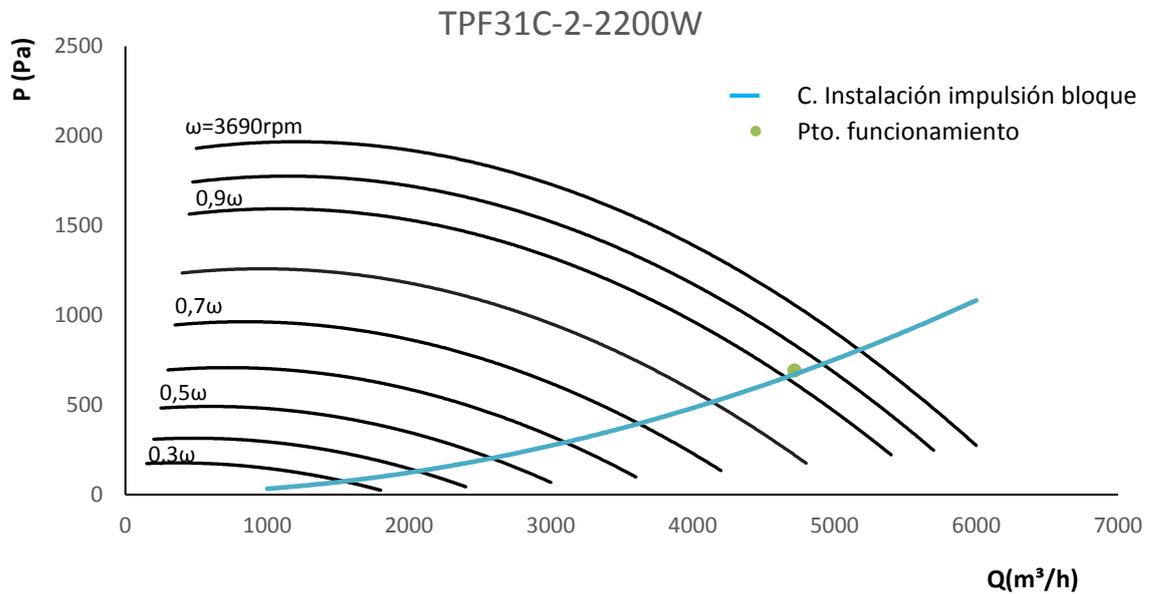
Con la curva de la instalación, se puede conocer el régimen de giro al que debe trabajar cada ventilador de impulsión:

- Quirófano tipo A y B:



Gráfica 5.4: Instalación sistema de impulsión quirófano con filtros limpios

- **Bloque quirúrgico:**



Gráfica 5.5: Instalación sistema de impulsión bloque quirúrgico filtros limpios

A la vista de estas dos gráficas, se puede apreciar que ambos ventiladores se van a acomodar para las nuevas condiciones de la instalación. En la instalación inicial de CONTAM se sustituyen los caudales constantes por los siguientes ventiladores de impulsión:

Quirófano tipo A: TPF25C-2-1500W a $0,8 \omega$

Quirófano tipo B: TPF25C-2-1500W a $0,82 \omega$

Bloque quirúrgico: TPF31C-2-2200W a $0,9 \omega$

Se selecciona la pestaña **simulation** para que el software comience a calcular y se obtienen los siguientes resultados:

5. Cálculo del ventilador

| | | |
|---|--|---|
| Almacén 6,3 Pa 1142 m ³ /h | Local de instalaciones 2,4 Pa 1230 m ³ /h | |
| Pasillo de limpio 3,3 Pa 617 m ³ /h | | |
| Quirófano tipo B 24,5 Pa 2635 m ³ /h | Hall de acceso 8,5 Pa 1980 m ³ /h | Quirófano tipo B 24,5 Pa 2635 m ³ /h |
| Zona de preparación 23 Pa 467 m ³ /h | | Zona de preparación 23 Pa 467 m ³ /h |
| Quirófano tipo B 24,8 Pa 2636 m ³ /h | | Quirófano tipo A 25,3 Pa 2640 m ³ /h |
| Zona de sucio 0,01 Pa 0 m ³ /h | | |

Figura 5.17: Presión en salas con filtros limpios

Se observa que el escalonamiento de presiones se mantiene. Los ventiladores de extracción no ha sido necesario modificarlos ya que en la extracción no tenemos ningún filtro y la pérdida de presión es constante a lo largo de la vida útil de la climatizadora.

En los ventiladores de impulsión únicamente se ha modificado el régimen al que debe trabajar, es decir, el ventilador seleccionado en la etapa de diseño es adecuado para trabajar en las condiciones operativas de filtros limpios.

5.3. CONDICIONES OPERATIVAS. FILTROS SUCIOS

En este caso, se va a plantear la situación más desfavorable con la que se va a encontrar la instalación, es decir, se supone que los filtros generan la máxima pérdida de carga que pueden generar sin llegar a romperse. A diferencia del caso anterior, que es necesario calcular el ventilador para poner en funcionamiento la instalación, este caso es muy poco probable que se dé, ya que los filtros no se van a colmatar todos al mismo tiempo, pero se debe comprobar si el ventilador va a ser capaz de vencer la sobrepresión que generan los filtros para este caso.

Se procede exactamente igual que en el caso de filtros limpios, para este caso, los elementos que se sustituyen en la instalación de la *figura 5.13* son:

Tabla 5.19: Elementos modificados en la instalación real

| Elemento | Nombre | Función | Expresión CONTAM |
|------------|-----------|---------|------------------|
| Filtro M6 | M6_LIMPIO | P vs Q | P=200 |
| Filtro F9 | F9_SUCIO | P vs Q | P=300 |
| Filtro H13 | H13_SUCIO | P vs Q | P=600 |
| Filtro H14 | H14_SUCIO | P vs Q | P=600 |

Las funciones que se introducen en CONTAM son funciones constantes e iguales al valor de la máxima presión que soporta el filtro antes de su rotura (en pascales).

Se trabaja exactamente igual que en el caso de los filtros limpios, es decir, se introduce un caudal constante en la impulsión y se mantiene el ventilador de extracción obteniendo las siguientes pérdidas de carga en el sistema de impulsión:

Tabla 5.20: Pérdida de carga en sistema de impulsión

| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|--|------------------|------------------|-------------------|
| Caudal (m ³ /h) | 2650 | 2650 | 4720 |
| Presión en sala (Pa) | 25 | 25 | 1 |
| Pérdida de presión circuito de impulsión (Pa) | 1360 | 1350 | 1325 |
| Presión deseada sala (Pa) | 25 | 25 | 3 |
| Presión que vencer por sistema de impulsión (Pa) | 1350 | 1350 | 1327 |

5. Cálculo del ventilador

Con la *tabla 5.20* se calculan las curvas de la instalación del sistema de impulsión:

Tabla 5.21: Curva de la instalación sistema de impulsión filtros sucios

| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Punto 1 (m ³ /h), Pa | Q=0 | Q=0 | Q=0 |
| | P=25 | P=25 | P=3 |
| Punto 2 (m ³ /h), Pa | Q=2650 | Q=2650 | Q=4720 |
| | P=1350 | P=1360 | P=1327 |
| K ₁ (Pa) | 25 | 25 | 3 |
| K ₂ (Pah/m ⁶) | 0,00019 | 0,00019 | 0,000059 |
| Curva de instalación | $P=25+0,00019Q^2$ | $P=25+0,00019Q^2$ | $P=3+0,000059Q^2$ |

Se determina el régimen de giro de los ventiladores:

- Quirófano tipo A y B:

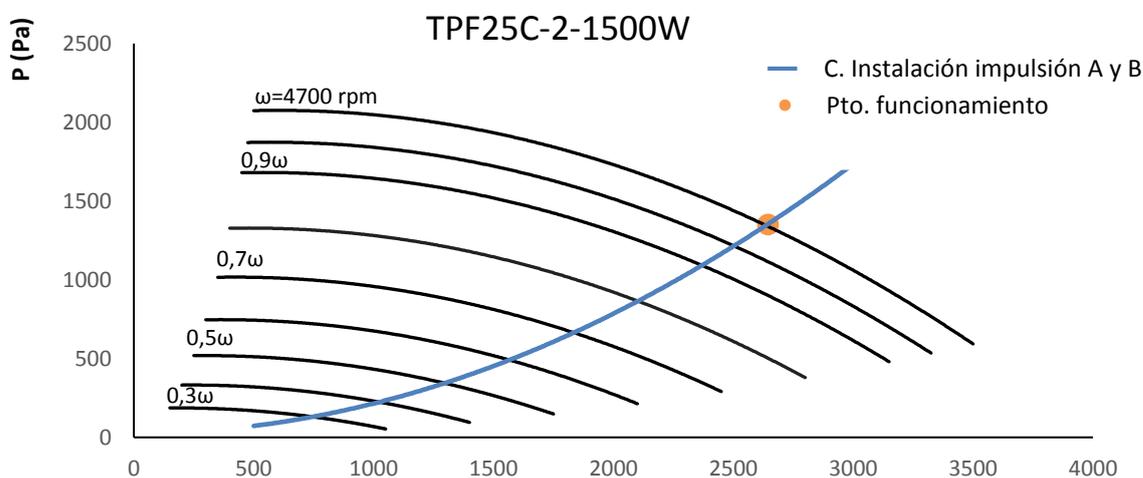


Gráfico 5.6: Instalación de impulsión quirófano filtros sucios

- Bloque quirúrgico:

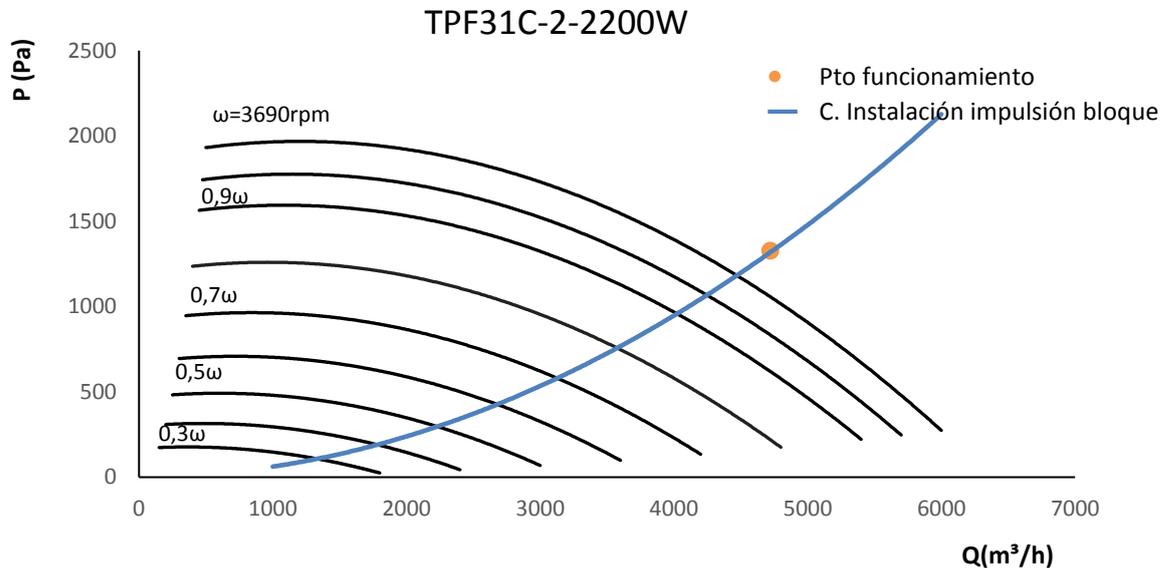
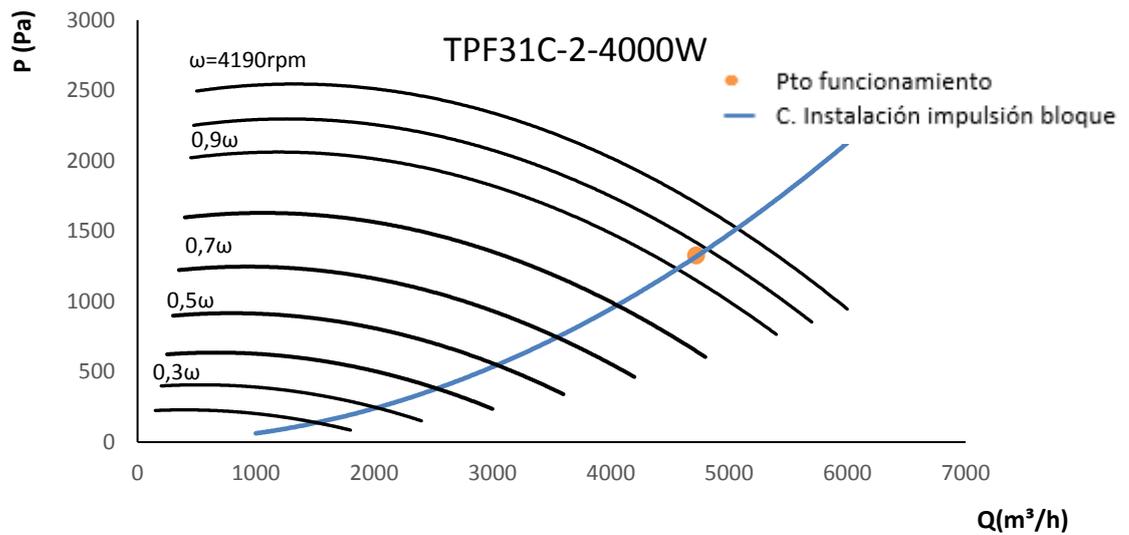


Tabla 5.7: Instalación de impulsión bloque quirúrgico filtros sucios

A la vista de los *gráficos* 5.6 y 5.7, se presenta un problema en la instalación ya que el ventilador del bloque quirúrgico no va a ser capaz de proporcionar el caudal que exige la normativa ^[1] debido a la elevada pérdida de carga que generan los filtros. Para dar una solución a este problema, se va a sustituir el motor que hace girar al ventilador por uno de mayor potencia. Se sustituye el motor actual de 2200W por uno mayor de 4000 vatios.

Para comprobar si este ventilador puede proporcionar el caudal exigido, se observa la *gráfica* 5.8:

5. Cálculo del ventilador



Gráfica 5.8: Instalación sistema de impulsión bloque quirúrgico filtros sucios

Se observa dicha gráfica, y se ve que el ventilador va a ser capaz de superar la pérdida de carga para el caudal establecido.

Para comprobar el funcionamiento de estos ventiladores, al igual que en el caso de filtros limpios, se sustituyen en CONTAM los caudales constantes por los siguientes ventiladores:

- Quirófano tipo A y B: TPF25C-2-1500W a ω_{max} .
- Bloque quirúrgico: TPF31C-2-4000W a $0,95\omega$.

Se mantiene constante la extracción y se deja que el programa calcule:

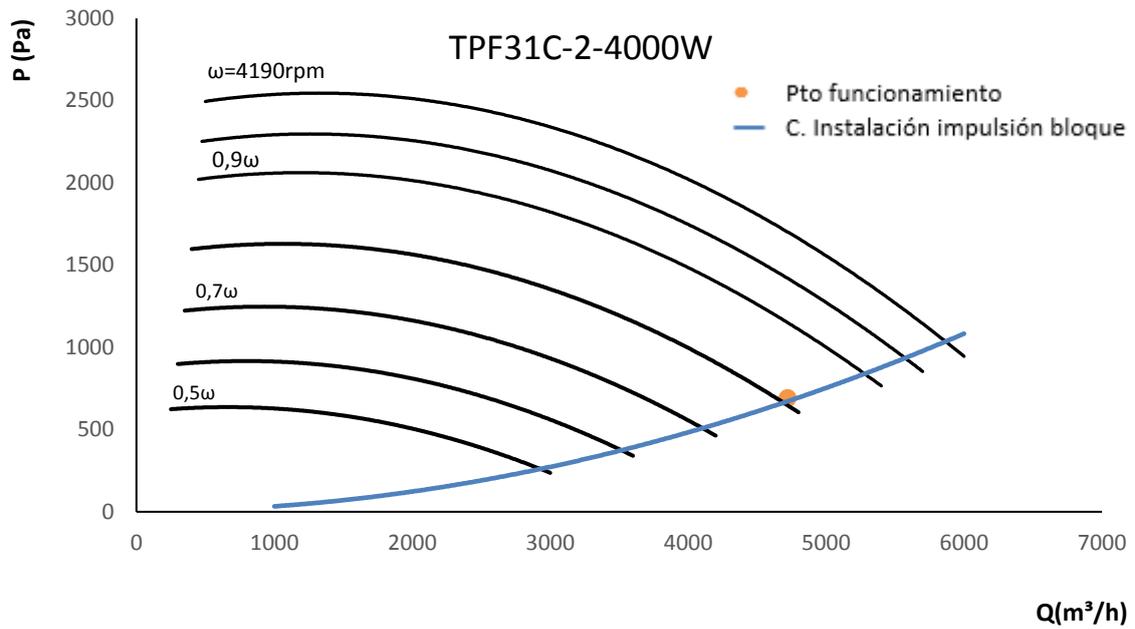
| | | |
|---|---|---|
| Almacén 6,8 Pa 1108 m ³ /h | Local de instalaciones 6,5 Pa 941 m ³ /h | |
| Pasillo de limpio 3,1 Pa 1227 m ³ /h | | |
| Quirófano tipo B 21,2 Pa 2650 m ³ /h | Hall de acceso 9,2 Pa 1363 m ³ /h | Quirófano tipo B 21,3 Pa 2650 m ³ /h |
| Zona de preparación 11,6 Pa 148 m ³ /h | | Zona de preparación 11,6 Pa 147 m ³ /h |
| Quirófano tipo B 21,8 Pa 2651 m ³ /h | | Quirófano tipo A 21,6 Pa 2652 m ³ /h |
| | Zona de sucio 0,1 Pa 0 m ³ /h | |

Figura 5.18: Presión en salas con filtros sucios

A la vista de los resultados se observa que tanto el escalonamiento como el caudal de impulsión es adecuado para un bloque quirúrgico. Se puede ver la presión en el interior del quirófano es ligeramente inferior que en el resto de los casos anteriores, pero esta presión es suficiente para evitar la entrada de corrientes parasitas de salas adyacentes.

Se debe tener en cuenta que, se ha modificado el ventilador de impulsión del bloque quirúrgico, por ello, se debe comprobar que este ventilador va a ser capaz de proporcionar la sobrepresión y el caudal para el caso de filtros limpios, por ello se elabora la *gráfica 5.9*.

5. Cálculo del ventilador



Gráfica 5.9: Instalación sistema de impulsión bloque quirúrgico filtros limpios

A la vista del *gráfico 5.9*, se observa que este ventilador va a ser capaz de acomodarse para las condiciones que tiene el sistema con los filtros nuevos.

Si se sustituye el ventilador de impulsión del bloque quirúrgico por el TPF31C-2-4000W a 0,80 ω , se obtienen los mismos resultados reflejados en la *figura 5.17*.

5.4. CONDICIONES OPERATIVAS. MODO NOCHE

Aunque el quirófano se encuentre en un periodo de inactividad, este debe mantener una sobrepresión interior para evitar la contaminación de todo el instrumental que pueda contener, pero ya no debe cumplir los requisitos que establece la norma *UNE 100713:2005*.

La solución que se plantea actualmente para hacer más sostenible el uso del quirófano es reducir el caudal impulsado a la mitad, consiguiendo así reducir la energía que consume y mantener una pequeña sobrepresión en el interior del bloque quirúrgico.

Por tanto, se debe comprobar que el ventilador puede reducir su caudal de impulsión a la mitad. El modo noche de un quirófano únicamente se va a estudiar para el caso de filtros a media vida por ello se utiliza la instalación de la *figura 5.13*.

Para conocer el régimen de giro al que van a girar los ventiladores se sustituyen los ventiladores de impulsión del bloque por un caudal constante y en este caso se libera la extracción.

En este caso, se procede de la misma manera que en el *apartado 1* de este mismo capítulo, solo que para este caso se reducen los caudales de impulsión a la mitad:

Tabla 5.22: Pérdida de presión sistema impulsión modo noche

| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|---|------------------|------------------|-------------------|
| Caudal (m³/h) | 1325 | 1325 | 2360 |
| Presión en sala (Pa) | 12 | 12 | 2 |
| Pérdida de presión circuito de impulsión (Pa) | 202 | 263 | 243 |
| Presión deseada sala (Pa) | 25 | 25 | 3 |
| Presión que vencer por sistema de impulsión (Pa) | 193 | 254 | 226 |

Tabla 5.23: Pérdida de presión sistema de extracción modo noche

| Circuito de extracción | Bloque quirúrgico | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B |
|---|-------------------|------------------|------------------|
| Pérdida de presión circuito de extracción (Pa) | 15 | 35 | 35 |

5. Cálculo del ventilador

Las tablas 5.22 y 5.23 permiten obtener las curvas de instalación para el sistema de impulsión y de extracción:

Tabla 5.24: Curva de la instalación sistema de impulsión modo noche

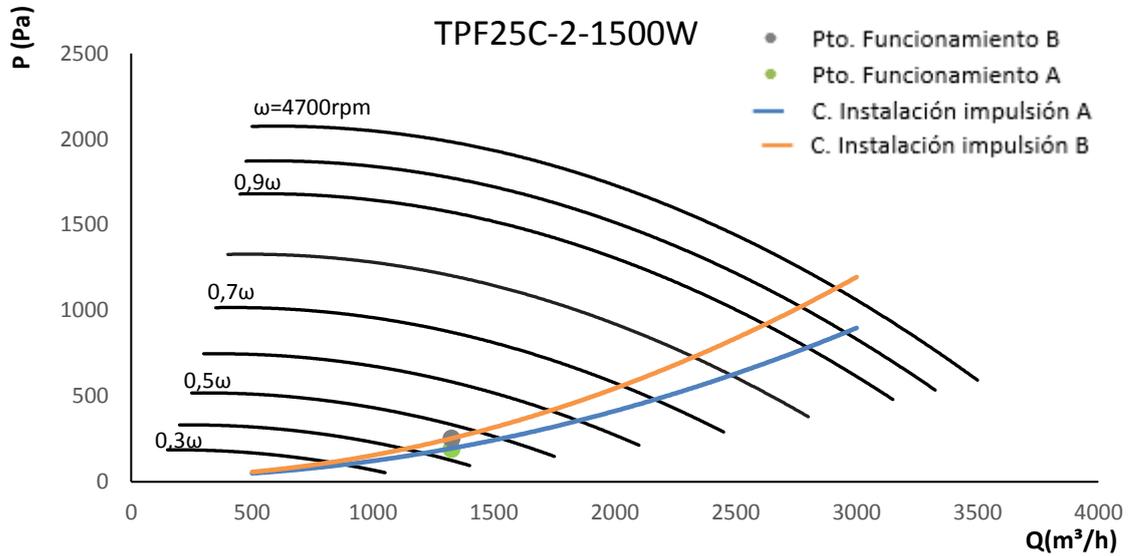
| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Punto 1 (m ³ /h), Pa | Q=0 | Q=0 | Q=0 |
| | P=25 | P=25 | P=3 |
| Punto 2 (m ³ /h), Pa | Q=1325 | Q=1325 | Q=2360 |
| | P=193 | P=254 | P=226 |
| K ₁ | 25 | 25 | 3 |
| K ₂ | 0,000097 | 0,00013 | 0,00004 |
| Curva de instalación | $P=25+0,000097Q^2$ | $P=25+0,00013Q^2$ | $P=3+0,00004Q^2$ |

Tabla 5.25: Curva de la instalación sistema de extracción modo noche

| | Quirófano tipo A | Quirófano tipo B | Bloque quirúrgico |
|------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Punto 1 (m ³ /h), Pa | Q=0 | Q=0 | Q=0 |
| | P=0 | P=0 | P=0 |
| Punto 2 (m ³ /h), Pa | Q=1325 | Q=1325 | Q=2360 |
| | P=35 | P=35 | P=15 |
| K ₁ | 0 | 0 | 0 |
| K ₂ | 0,00002 | 0,00002 | 0,0000027 |
| Curva de instalación | $P=0,00002Q^2$ | $P=0,00002Q^2$ | $P=0,0000027Q^2$ |

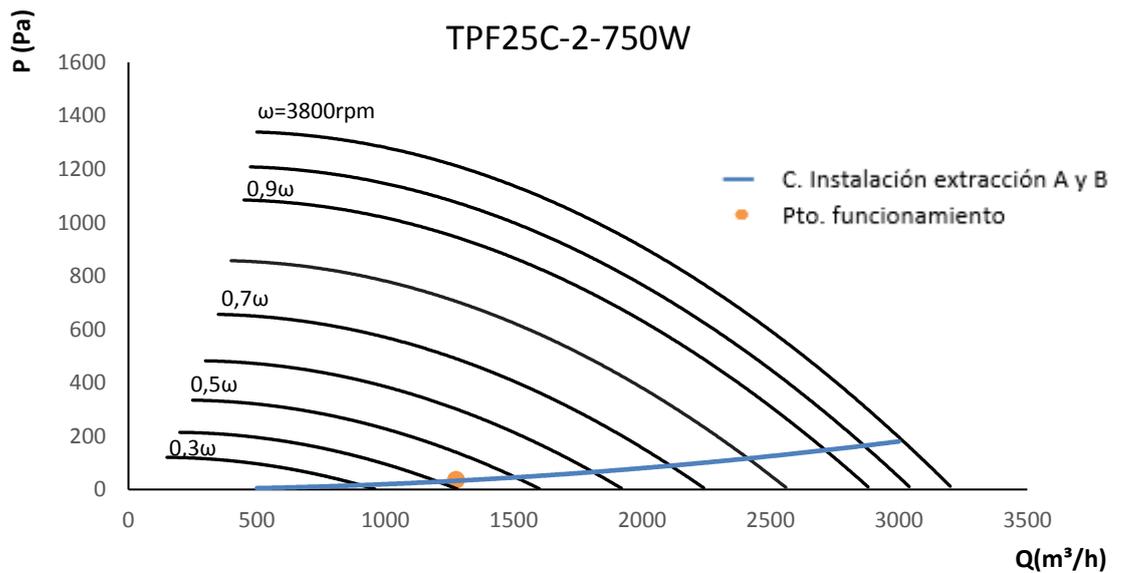
Conociendo las curvas de la instalación para el modo noche y las curvas a distintos regímenes de giro de los distintos ventiladores que incorporan las climatizadoras se puede conocer el régimen de giro de los ventiladores:

- Ventilador de impulsión del quirófano:



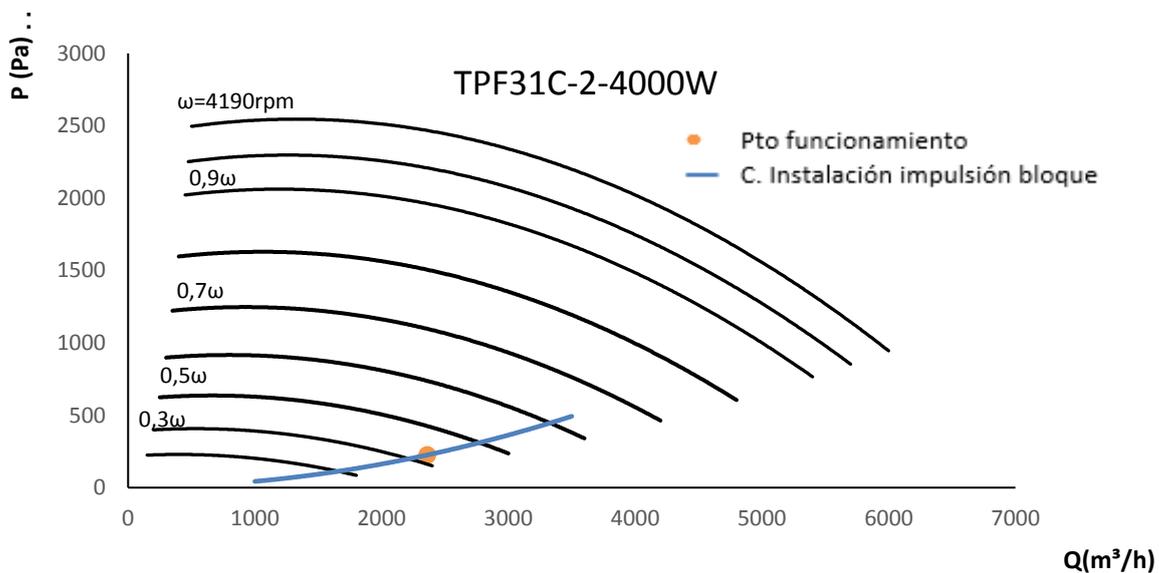
Gráfica 5.10: Sistema de impulsión quirófano modo noche

- Ventilador de extracción del quirófano:



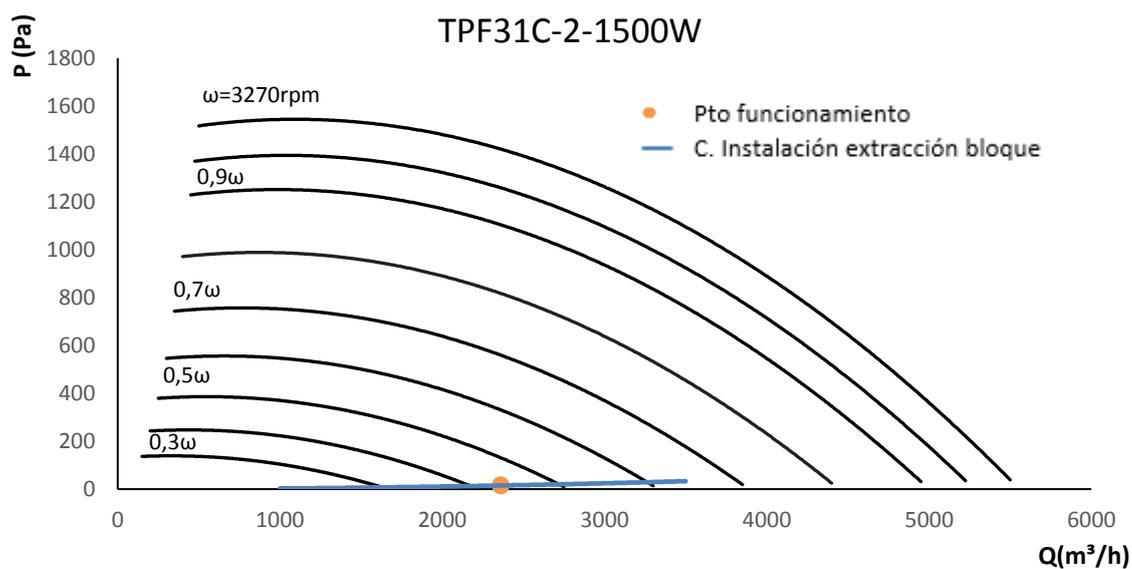
Gráfica 5.11: Sistema de extracción quirófano modo noche

- Ventilador de impulsión bloque quirúrgico:



Gráfica 5.13: Sistema de impulsión bloque quirúrgico modo noche

- Ventilador de extracción bloque quirúrgico:



Gráfica 5.14: Sistema de extracción bloque quirúrgico modo noche

A la vista de las gráficas anteriores, se observa que los ventiladores seleccionados van a poderse acomodar en las condiciones exigidas en modo noche. Para comprobar que se mantiene una pequeña sobrepresión en el bloque quirúrgico se utiliza la instalación del *apartado 5.1* en la que, en CONTAM, se sustituyen regímenes de los ventiladores existentes por los siguientes:

- Ventilador de impulsión quirófano tipo A: $0,42\omega$
- Ventilador de impulsión quirófano tipo B: $0,48\omega$
- Ventilador de extracción quirófano: $0,41\omega$
- Ventilador de impulsión bloque quirúrgico: $0,4\omega$
- Ventilador de extracción bloque quirúrgico: $0,4\omega$

Para comprobar que el sistema funciona adecuadamente se selecciona la función *simulation* y se obtienen los siguientes resultados (entre paréntesis se han puesto los valores obtenidos para el bloque quirúrgico en un periodo de actividad):

5. Cálculo del ventilador

| | | |
|--|--|--|
| Almacén 3,2 (4,2) Pa 500 (1113) m ³ /h | Local de instalaciones 2,7 (1,6) Pa 260 (600) m ³ /h | |
| Pasillo de limpio 0,9 (1,22) Pa 522 (1195) m ³ /h | | |
| Quirófano tipo B 12,9 (24,3) Pa 1438 (2642) m ³ /h | Hall de acceso 4,1 (6,9) Pa 668 (1016) m ³ /h | Quirófano tipo B 12,9 (24,4) Pa 1438 (2643) m ³ /h |
| Zona de preparación 8,8 (21,3) Pa 217 (454) m ³ /h | | Zona de preparación 8,7 (21,3) Pa 216 (454) m ³ /h |
| Quirófano tipo B 13,1 (24,8) Pa 1438 (2643) m ³ /h | | Quirófano tipo A 12 (25,5) Pa 1433 (2649) m ³ /h |
| | | Zona de sucio 0,05(0,03) Pa 0 (0) m ³ /h |

Tabla 5.19: Resultados modo noche

Si se observa la *figura 5.19*, se puede apreciar que los caudales de impulsión se reducen a la mitad manteniendo además de una pequeña sobrepresión, el escalonamiento de presiones desde las zonas más limpias a las menos limpias.

5.5. RESUMEN

Los ventiladores que incorporan las climatizadoras presentes en el bloque quirúrgico de estudio son:

Tabla 5.26: Ventiladores que incorporan las climatizadoras

| Climatizadora | Impulsión/Extracción | Ventilador | ω_{\max} (rpm) | ω_{\min} (rpm) |
|-------------------|----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Quirófano | Impulsión | TPF25C-2-1500W | 4700 | 983 |
| | Extracción | TPF25C-2-750W | 3800 | 978 |
| Bloque quirúrgico | Impulsión | TPF31C-2-4000W | 4190 | 998 |
| | Extracción | TPF31C-2-1500W | 3270 | 983 |

En las siguientes tablas, se recogen los regímenes de giro de cada ventilador para las situaciones estudiadas:

Tabla 5.27: Régimen de giro de ventiladores con filtros a media vida

| Ventilador | Sala | Nomenclatura | Régimen (rpm) | Régimen (ω) |
|------------|-------------------|----------------|---------------|----------------------|
| Impulsión | Quirófano tipo A | TPF25C-2-1500W | 3920 | 0,83 ω |
| Impulsión | Quirófano tipo B | TPF25C-2-1500W | 4048 | 0,86 ω |
| Impulsión | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-4000W | 3445 | 0,83 ω |
| Extracción | Quirófano | TPF25C2-750W | 3387 | 0,8 ω |
| Extracción | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-1500W | 3005 | 0,92 ω |

5. Cálculo del ventilador

Tabla 5.28: Régimen de giro de ventiladores con filtros nuevos

| Ventilador | Sala | Nomenclatura | Régimen (rpm) | Régimen (ω) |
|------------|-------------------|----------------|---------------|----------------------|
| Impulsión | Quirófano tipo A | TPF25C-2-1500W | 3760 | 0,8 ω |
| Impulsión | Quirófano tipo B | TPF25C-2-1500W | 3854 | 0,82 ω |
| Impulsión | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-4000W | 3394 | 0,80 ω |
| Extracción | Quirófano | TPF25C-2-750W | 3387 | 0,89 ω |
| Extracción | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-1500W | 3005 | 0,92 ω |

Gráfica 5.29: Régimen de giro de ventiladores para caso de filtros sucios

| Ventilador | Sala | Nomenclatura | Régimen (rpm) | Régimen (ω) |
|------------|-------------------|----------------|---------------|----------------------|
| Impulsión | Quirófano tipo A | TPF25C-2-1500W | 4700 | ω_{\max} |
| Impulsión | Quirófano tipo B | TPF25C-2-1500W | 4700 | ω_{\max} |
| Impulsión | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-4000W | 3980 | 0,95 ω |
| Extracción | Quirófano | TPF25C-2-750W | 3387 | 0,89 ω |
| Extracción | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-1500W | 3005 | 0,92 ω |

Tabla 5.30: Régimen de giro de ventiladores para caso de modo noche

| Ventilador | Sala | Nomenclatura | Régimen (rpm) | Régimen (ω) |
|------------|-------------------|----------------|---------------|----------------------|
| Impulsión | Quirófano tipo A | TPF25C-2-1500W | 1974 | 0,42 ω |
| Impulsión | Quirófano tipo B | TPF25C-2-1500W | 2256 | 0,48 ω |
| Impulsión | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-4000W | 1676 | 0,4 ω |
| Extracción | Quirófano | TPF25C-2-750W | 1558 | 0,41 ω |
| Extracción | Bloque quirúrgico | TPF31C-2-1500W | 1308 | 0,4 ω |

En el apartado 5 del anexo se muestra un diagrama de flujo que ilustra cual es el proceso para la elección del régimen de giro del ventilador en las situaciones planteadas en este capítulo.

6. CONCLUSIONES

Tras realizar el presente trabajo de fin de grado, se han sacado las siguientes conclusiones:

- Se ha diseñado el sistema de ventilación de un bloque quirúrgico real mediante un modelo zonal.
- Se ha comprobado que la presión y caudal de impulsión se encuentran dentro del intervalo de diseño durante la vida útil de la instalación. Esto se ha comprobado estudiando las situaciones más extremas que se dan durante la vida útil de la instalación (filtros nuevos y filtros sucios).
- El sistema de ventilación es capaz de operar en condiciones distintas a las de diseño.
- En los periodos de inactividad se consigue reducir la energía consumida por el sistema reduciendo el caudal de impulsión a la mitad, además, se puede asegurar que en estos periodos se mantiene una pequeña sobrepresión en el bloque quirúrgico siendo el quirófano la sala con más presión del bloque.
- Se cumple en todo momento con la norma UNE 100713:2005 en lo que atañe a ventilación.

7. PRESUPUESTO

| UD. | DESCRIPCIÓN | Unidades | Coste (€/ud.) | Total (€) |
|--|--------------------------------------|----------|---------------|-------------------|
| CAPITULO I: MANO DE OBRA | | | | |
| h. | Consulta de normativa | 6 | 41,00 € | 246,00 € |
| h. | Estudio información proporcionada | 8 | 41,00 € | 328,00 € |
| h. | Instalación programas informáticos | 3 | 41,00 € | 123,00 € |
| h. | Selección ventilador | 26 | 41,00 € | 1.066,00 € |
| h. | Planteamiento condiciones operativas | 17 | 41,00 € | 697,00 € |
| h. | Reselección de ventiladores | 2 | 41,00 € | 82,00 € |
| h. | Elaboración memoria | 4 | 41,00 € | 164,00 € |
| TOTAL CAPITULO I: MANO DE OBRA | | | | 2.706,00 € |
| CAPITULO II: VISITAS | | | | |
| P.A. | Número de visitas | 0 | 30,00 € | 0,00 € |
| h. | Tiempo de visitas | 0 | 30,00 € | 0,00 € |
| Km | Kilómetros | 0 | 0,33 € | 0,00 € |
| TOTAL CAPITULO II: VISITAS | | | | 0,00 € |
| CAPITULO III: MEDIOS AUXILIARES | | | | |
| P.A. | Hardware: Ordenador | 1 | 50,00 € | 50,00 € |
| P.A. | Software: Microsoft Office | 1 | 10,00 € | 10,00 € |
| P.A. | Software: CONTAM | 1 | 0,00 € | 0,00 € |
| P.A. | Software: YAHUS | 1 | 0,00 € | 0,00 € |
| P.A. | Consumibles | 1 | 10,00 € | 10,00 € |
| TOTAL CAPITULO III: MEDIOS AUXILIARES | | | | 70,00 € |
| PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL | | | | 2.776,00 € |
| Beneficio Industrial (6%) | | | | 166,56 € |
| TOTAL PRESUPUESTO SIN IVA | | | | 2.942,56 € |
| IVA(21%) | | | | 617,94 € |
| TOTAL PRESUPUESTO | | | | 3.560,50 € |

8. BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA ^[14]

1. Santiago Casado, Pablo de. Estudio de la ventilación en quirófanos y habitaciones de aislados infecciosos [en línea]. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid, 2015. [Fecha de consulta: marzo de 2018]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/15869>
2. Norma UNE 100713:2005. Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales, 7 de septiembre de 2005.
3. Dra. Gloria Cruceta [fecha de consulta: marzo 2018]. Disponible en: <http://congresodeingenieriahospitalaria.com/laspalmasdegrancanaria2017/wp-content/uploads/2017/11/Novedades-Normativas-Europeas-en-climatizaci%C3%B3n-y-calidad-de-aire-en-quir%C3%B3fanos.-Proyecto-de-No.pdf>
4. Consejo superior de investigaciones científicas. Calidad el aire interior. En: *Documento básico HS Salubridad*. [Fecha de consulta: octubre 2017]. pp. 57-73. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>
5. S&P, Manual práctico de ventilación [en línea]. Página web S&P [fecha de consulta: abril 2018]. Disponible en: http://www.solerpalau.mx/pdf/sp_ventilacion_c2.pdf
6. B. de la Fuente, Determinación de la eficacia de ventilación en locales residenciales [en línea]. J. San José, F. Castro, J.M. Villafruela, J. Feijó. España: Universidad de Valladolid [fecha de consulta: octubre 2017]. Disponible en: http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive%5Cclimamed%5C05.pdf
7. Pérez Sheriff, María. *Guía de programación y diseño de centros de salud*. 1ª ed. España, 1987. ISBN 84-505-0770-7.
8. OMS. Infección nosocomial [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2016 [fecha de consulta: Octubre 2017]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Infecci%C3%B3n_nosocomial

9. Norma UNE 1886:2008. Ventilación de edificios. Unidades de tratamiento de aire. Rendimiento mecánico. 22 de octubre de 2008.
10. F. Castro, J. San José, J.M. Villafruela, A. Guijarro, Manual de diseño de la climatización y ventilación de quirófanos y habitaciones en centros hospitalarios de Castilla y León [en línea]. España: Universidad de Valladolid, Marzo de 2011 [fecha de consulta octubre 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Villafruela/publication/260907460_Manual_de_diseno_de_la_climatizacion_y_ventilacion_de_quirofanos_y_habitaciones_en_centros_hospitalarios_de_Castilla_y_Leon/links/0a85e532a043470a7c000000/Manual-de-diseno-de-la-climatizacion-y-ventilacion-de-quirofanos-y-habitaciones-en-centros-hospitalarios-de-Castilla-y-Leon.pdf
11. Lozano Gabarre, Ismael. *Estudio para determinar la contaminación provocada por la apertura de puertas tipo corredera y batiente en quirófanos con difusión de aire turbulenta y laminar*. Trabajo fin de máster inédito, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2015.
12. Sociedad de Ingenieros de Calefacción, refrigeración y aire acondicionado. *ASHARE 2005*. 1ª ed. Atlanta: Tullie Circle, 2005. ISBN 404-636-8400
13. TROX. Serie AH. Rejillas de extracción. Zaragoza, 2017. pp. 23-26.
14. Norma UNE-ISO 690. Citas y referencias bibliográficas. Mayo 2013.
15. Programa informático CONTAM [en línea], enlace de descarga del software: <https://www.nist.gov/el/energy-and-environment-division-73200/nist-multizone-modeling/download-contam>
16. Manual de uso CONTAM [en línea], enlace de descarga: <https://www.nist.gov/publications/contam-user-guide-and-programdocumentation-version-32>
17. Catálogo virtual easy product finder [en línea], enlace de descarga: <https://www.trox.es/herramientas-de-selecci%C3%B3n-y-prescripci%C3%B3n/easy-product-finder-27bd6fc2923550cb>
18. Programa informático YAHUS, programa de uso privado, contacto: PMartin@trox.es

ANEXO

1. Ventilador de impulsión inicial bloque quirúrgico:

Tabla A.1: TPF31C-2-2200W, ω

| Velocidad de giro= 3690rpm | |
|----------------------------|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 6000 | 220 |
| 5000 | 970 |
| 4000 | 1450 |
| 3000 | 1700 |
| 2000 | 1850 |
| 1000 | 1950 |
| 500 | 1980 |

Tabla A.2: TPF31C-2-2200W, 0,9 ω

| Velocidad de giro= 3321rpm(0,90 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 5400 | 178,2 |
| 4500 | 785,7 |
| 3600 | 1174,5 |
| 2700 | 1377 |
| 1800 | 1498,5 |
| 900 | 1579,5 |
| 450 | 1603,8 |

Tabla A.3: TPF31C-2-2200W, 0,8 ω

| Velocidad de giro= 2952rpm(0,8 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 4800 | 140,8 |
| 4000 | 620,8 |
| 3200 | 928 |
| 2400 | 1088 |
| 1600 | 1184 |
| 800 | 1248 |
| 400 | 1267,2 |

Tabla A.4: TPF31C-2-2200W, 0,7 ω

| Velocidad de giro= 2583rpm(0,7 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 4200 | 107,8 |
| 3500 | 475,3 |
| 2800 | 710,5 |
| 2100 | 833 |
| 1400 | 906,5 |
| 700 | 955,5 |
| 350 | 970,2 |

Tabla A.6: TPF31C-2-2200W, 0,5 ω

| Velocidad de giro= 2214rpm(0,6 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3600 | 79,2 |
| 3000 | 349,2 |
| 2400 | 522 |
| 1800 | 612 |
| 1200 | 666 |
| 600 | 702 |
| 300 | 712,8 |

Tabla A.5: TPF31C-2-2200W, 0,6 ω

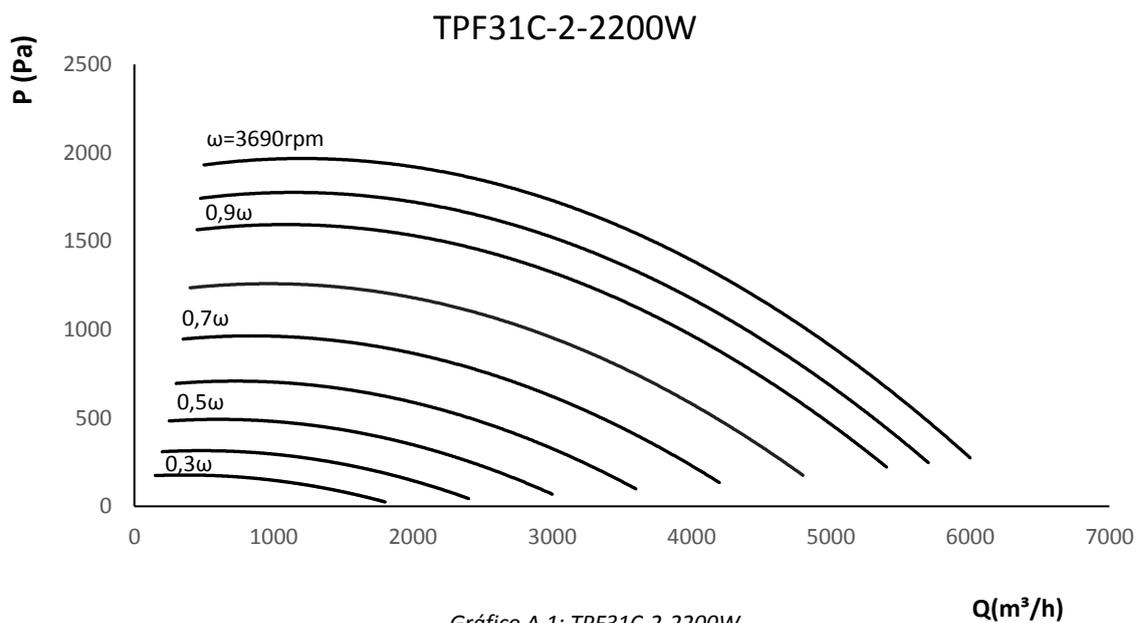
| Velocidad de giro= 1845rpm(0,5 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3000 | 55 |
| 2500 | 242,5 |
| 2000 | 362,5 |
| 1500 | 425 |
| 1000 | 462,5 |
| 500 | 487,5 |
| 250 | 495 |

Tabla A.7: TPF31C-2-2200W, 0,4 ω

| Velocidad de giro= 1476rpm(0,4 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2400 | 35,2 |
| 2000 | 155,2 |
| 1600 | 232 |
| 1200 | 272 |
| 800 | 296 |
| 400 | 312 |
| 200 | 316,8 |

Tabla A.8: TPF31C-2-2200W, 0,3 ω

| Velocidad de giro= 1107rpm(0,3 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1800 | 19,8 |
| 1500 | 87,3 |
| 1200 | 130,5 |
| 900 | 153 |
| 600 | 166,5 |
| 300 | 175,5 |
| 150 | 178,2 |



2. Ventilador real del bloque quirúrgico:

Tabla A.9: TPF31C-2-4000W, ω

| Velocidad de giro= 4190rpm | |
|----------------------------|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 6000 | 920 |
| 5000 | 1570 |
| 4000 | 2070 |
| 3000 | 2350 |
| 2000 | 2450 |
| 1000 | 2500 |
| 500 | 2550 |

Tabla A.10: TPF31C-2-4000W, 0,9 ω

| Velocidad de giro= 3771rpm(0,90 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 5400 | 745,2 |
| 4500 | 1271,7 |
| 3600 | 1676,7 |
| 2700 | 1903,5 |
| 1800 | 1984,5 |
| 900 | 2025 |
| 450 | 2065,5 |

Tabla A.11: TPF31C-2-4000W, 0,8 ω

| Velocidad de giro= 3352rpm(0,8 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 4800 | 588,8 |
| 4000 | 1004,8 |
| 3200 | 1324,8 |
| 2400 | 1504 |
| 1600 | 1568 |
| 800 | 1600 |
| 400 | 1632 |

Tabla A.12: TPF31C-2-4000W, 0,7 ω

| Velocidad de giro= 2933rpm(0,7 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 4200 | 450,8 |
| 3500 | 769,3 |
| 2800 | 1014,3 |
| 2100 | 1151,5 |
| 1400 | 1200,5 |
| 700 | 1225 |
| 350 | 1249,5 |

Tabla A.13: TPF31C-2-4000W, 0,6 ω

| Velocidad de giro= 2514rpm(0,6 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3600 | 331,2 |
| 3000 | 565,2 |
| 2400 | 745,2 |
| 1800 | 846 |
| 1200 | 882 |
| 600 | 900 |
| 300 | 918 |

Tabla A.14: TPF31C-2-4000W, 0,5 ω

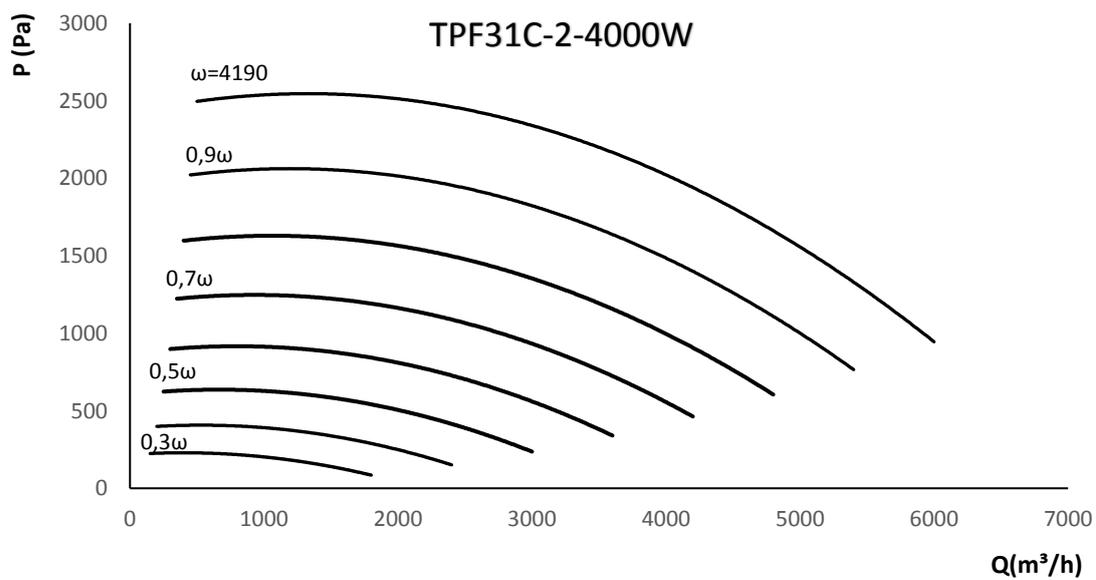
| Velocidad de giro= 2095rpm(0,5 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3000 | 230 |
| 2500 | 392,5 |
| 2000 | 517,5 |
| 1500 | 587,5 |
| 1000 | 612,5 |
| 500 | 625 |
| 250 | 637,5 |

Tabla A.15: TPF31C-2-4000W, 0,4 ω

| Velocidad de giro= 1676rpm(0,4 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2400 | 147,2 |
| 2000 | 251,2 |
| 1600 | 331,2 |
| 1200 | 376 |
| 800 | 392 |
| 400 | 400 |
| 200 | 408 |

Tabla A.16: TPF31C-2-4000W, 0,3 ω

| Velocidad de giro= 1257rpm(0,3 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1800 | 82,8 |
| 1500 | 141,3 |
| 1200 | 186,3 |
| 900 | 211,5 |
| 600 | 220,5 |
| 300 | 225 |
| 150 | 229,5 |



Gráfica A.2: TPF31C-2-4000W

3. Ventilador de extracción del quirófano:

Tabla A.17: TPF25C-2-750W, ω

| Velocidad de giro= 3800rpm | |
|----------------------------|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3200 | 0 |
| 3000 | 200 |
| 2500 | 610 |
| 2000 | 920 |
| 1500 | 1120 |
| 1000 | 1270 |
| 500 | 1350 |

Tabla A.18: TPF25C-2-750W, 0.9 ω

| Velocidad de giro= 3420rpm(0,90 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2880 | 0 |
| 2700 | 162 |
| 2250 | 494,1 |
| 1800 | 745,2 |
| 1350 | 907,2 |
| 900 | 1028,7 |
| 450 | 1093,5 |

Tabla A.19: TPF25C-2-750W, 0.8 ω

| Velocidad de giro= 3040rpm(0,8 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2560 | 0 |
| 2400 | 128 |
| 2000 | 390,4 |
| 1600 | 588,8 |
| 1200 | 716,8 |
| 800 | 812,8 |
| 400 | 864 |

Tabla A.20: TPF25C-2-750W, 0.7 ω

| Velocidad de giro= 2660rpm(0,7 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2240 | 0 |
| 2100 | 98 |
| 1750 | 298,9 |
| 1400 | 450,8 |
| 1050 | 548,8 |
| 700 | 622,3 |
| 350 | 661,5 |

Tabla A.21: TPF25C-2-750W, 0.6 ω

| Velocidad de giro= 2280rpm(0,6 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1920 | 0 |
| 1800 | 72 |
| 1500 | 219,6 |
| 1200 | 331,2 |
| 900 | 403,2 |
| 600 | 457,2 |
| 300 | 486 |

Tabla A.22: TPF25C-2-750W, 0.5 ω

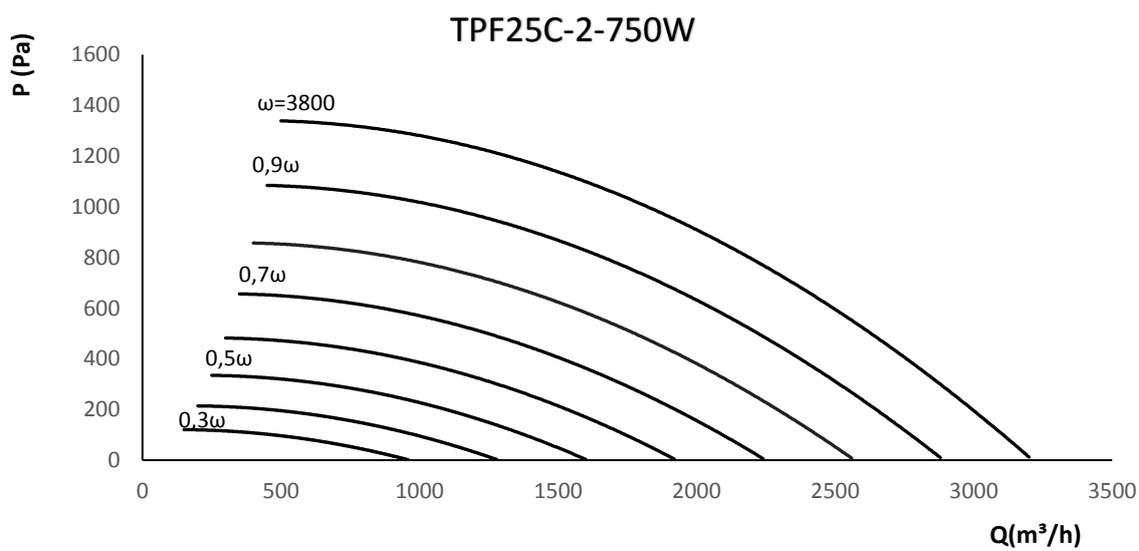
| Velocidad de giro= 1900rpm(0,5 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1600 | 0 |
| 1500 | 50 |
| 1250 | 152,5 |
| 1000 | 230 |
| 750 | 280 |
| 500 | 317,5 |
| 250 | 337,5 |

Tabla A.23: TPF25C-2-750W, 0.4 ω

| Velocidad de giro= 1520rpm(0,4 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1280 | 0 |
| 1200 | 32 |
| 1000 | 97,6 |
| 800 | 147,2 |
| 600 | 179,2 |
| 400 | 203,2 |
| 200 | 216 |

Tabla A.24: TPF25C-2-750W, 0.3 ω

| Velocidad de giro= 1140rpm(0,3 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 960 | 0 |
| 900 | 18 |
| 750 | 54,9 |
| 600 | 82,8 |
| 450 | 100,8 |
| 300 | 114,3 |
| 150 | 121,5 |



Gráfica A.3: TPF25C-2-750W

4. Ventilador de extracción bloque quirúrgico:

Tabla A.25: TPF31C-2-1500W, ω

| Velocidad de giro= 3270rpm | |
|----------------------------|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 5500 | 0 |
| 5000 | 395 |
| 4000 | 920 |
| 3000 | 1260 |
| 2000 | 1450 |
| 1000 | 1520 |
| 500 | 1550 |

Tabla A.26: TPF31C-2-1500W, 0.9 ω

| Velocidad de giro= 2973rpm(0,90 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 4950 | 0 |
| 4500 | 319,95 |
| 3600 | 745,2 |
| 2700 | 1020,6 |
| 1800 | 1174,5 |
| 900 | 1231,2 |
| 450 | 1255,5 |

Tabla A.27: TPF31C-2-1500W, 0.8 ω

| Velocidad de giro= 2616rpm(0,8 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 4400 | 0 |
| 4000 | 252,8 |
| 3200 | 588,8 |
| 2400 | 806,4 |
| 1600 | 928 |
| 800 | 972,8 |
| 400 | 992 |

Tabla A.27: TPF31C-2-1500W, 0.7 ω

| Velocidad de giro= 2289rpm(0,7 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3850 | 0 |
| 3500 | 193,55 |
| 2800 | 450,8 |
| 2100 | 617,4 |
| 1400 | 710,5 |
| 700 | 744,8 |
| 350 | 759,5 |

Tabla A.28: TPF31C-2-1500W, 0.6 ω

| Velocidad de giro= 1962rpm(0,6 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 3300 | 0 |
| 3000 | 142,2 |
| 2400 | 331,2 |
| 1800 | 453,6 |
| 1200 | 522 |
| 600 | 547,2 |
| 300 | 558 |

Tabla A.29: TPF31C-2-1500W, 0.5 ω

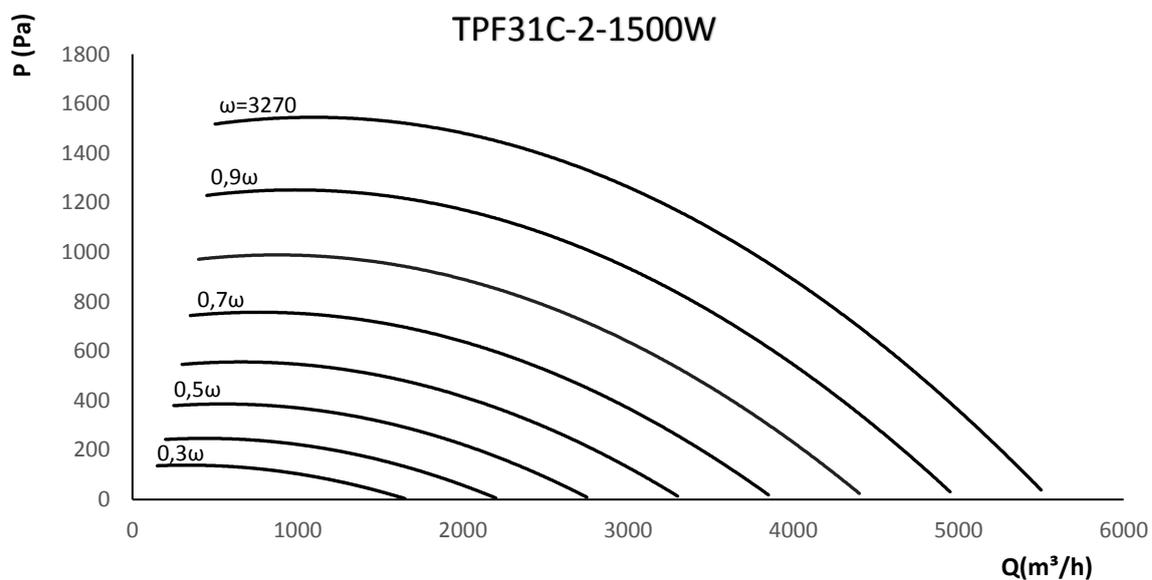
| Velocidad de giro= 1635rpm(0,5 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2750 | 0 |
| 2500 | 98,75 |
| 2000 | 230 |
| 1500 | 315 |
| 1000 | 362,5 |
| 500 | 380 |
| 250 | 387,5 |

Tabla A.30: TPF31C-2-1500W, 0.4 ω

| Velocidad de giro= 1308rpm(0,4 ω) | |
|---|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 2200 | 0 |
| 2000 | 63,2 |
| 1600 | 147,2 |
| 1200 | 201,6 |
| 800 | 232 |
| 400 | 243,2 |
| 200 | 248 |

Tabla A.31: TPF31C-2-1500W, 0.3 ω

| Velocidad de giro= 981rpm(0,3 ω) | |
|--|--------------|
| Caudal (m ³ /h) | Presión (Pa) |
| 1650 | 0 |
| 1500 | 35,55 |
| 1200 | 82,8 |
| 900 | 113,4 |
| 600 | 130,5 |
| 300 | 136,8 |
| 150 | 139,5 |



Gráfica A.4: TPF31C-2-1500W

5. Diagrama de flujo:

