



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**Modelado numérico del sistema de  
ventilación del edificio Aulario IndUVA  
mediante un modelo zonal**

**Autor:**

**González Gutiérrez, Juan**

**Tutor:**

**Méndez Bueno, César  
Dpto: Ingeniería Energética y  
Fluidomecánica**

**Valladolid, Septiembre 2019.**



## **RESUMEN**

El sistema de ventilación es el encargado de mantener una calidad del aire interior aceptable, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado con los contaminantes producidos. Por otro lado, el sistema de ventilación permite mantener unas propiedades del aire similares en todas las zonas.

En este trabajo se estudia el sistema de ventilación del edificio Aulario IndUVa para realizar un estudio paramétrico utilizando un método de cálculo de tipo zonal. La metodología empleada permite estudiar el comportamiento del sistema de ventilación en diferentes situaciones en función de su utilización.

## **PALABRAS CLAVE**

Aulario IndUVa, Ventilación, Pérdida de carga, Flujo de aire, CONTAM

## **ABSTRACT**

The ventilation system is responsible for maintaining acceptable indoor air quality, providing sufficient outdoor air flow and ensuring the extraction and ejection of the stale air with the pollutants produced. On the other hand, the ventilation system allows to maintain similar air properties in all areas.

In this work the ventilation system of the Aulario IndUVa building is studied to perform a parametric study using a zonal type calculation method. The methodology used allows to study the behavior of the ventilation system in different situations depending on its use.

## **KEYWORDS**

Classrooms IndUVa, Ventilation, Head losses, Air flow, CONTAM

# ÍNDICE

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Metodología	2
<b>2. Descripción de la instalación</b>	<b>3</b>
2.1 Situación	3
2.2 Descripción y distribución del edificio	4
2.3 Sistema de ventilación	6
2.2.1 Ventiladores	8
2.2.2 Conductos	9
2.2.3 Difusores y Rejillas	10
2.2.4 Filtros	10
2.2.5 Regulación	10
<b>3. Ventilación en zonas de enseñanza</b>	<b>11</b>
3.1 Concepto y tipos de ventilación	11
3.1.1 Ventilación	11
3.1.2 Sistemas de ventilación	11
3.2 Parámetros de diseño	12
3.2.1 Caudal de aire	12
3.2.2 Renovación	13
3.2.3 Eficiencia de la ventilación	13
3.3 Elementos de una instalación de ventilación	13
3.3.1 Climatizadora y conductos	13



5.3 Compuerta de una planta cerrada	50
5.4 Horario lectivo. Puertas aulas abiertas y puertas de emergencia abiertas	52
5.5 Variación del caudal en función de las aulas abiertas	54
5.6 Transitorio	55
5.7 Pozos canadienses	58
5.8 Apertura de puertas	60
<b>6. Conclusiones</b>	<b>65</b>
<b>7. Bibliografía referenciada</b>	<b>67</b>
<b>Anexos</b>	
1. Implementación de los ventiladores	1
2. Implementación de los difusores	8
3. Implementación de los ranuras	10
4. Implementación de los conductos	10
5. Resultados Caso realizado 1º	12
6. Resultados Caso realizado 2º	15

# 1. Introducción y objetivos

## 1.1 Justificación

Este trabajo de fin de grado estudia el comportamiento del sistema de ventilación del edificio IndUVa de la Universidad de Valladolid en distintas situaciones, para conocer el procedimiento de ajuste y equilibrado de los sistemas de distribución y difusión del aire.

El edificio Aulario IndUVa es considerado un edificio de alta eficiencia, sostenibilidad y consumo de energía casi nulo. Por estas razones es necesario garantizar un ambiente saludable en su interior manteniendo los objetivos de ahorro energético.

La calidad del aire interior se clasifica en función de la utilización del edificio, especificando los límites de concentración que se aplicarán en los contaminantes indicados en el aire interior tales como CO<sub>2</sub> o COV.

El objeto de la ventilación de espacios interiores es renovar y extraer el aire interior de un recinto y sustituirlo por aire nuevo limpio con el fin de evitar su enrarecimiento, eliminando el calor, el polvo, el vapor, los olores y cuanto elemento perjudicial o impureza contenga el aire ambiental encerrado dentro del local. Esta renovación del aire interior permite que la respiración de los seres vivos que ocupan el local sea fluida y constante.

Las personas producen CO<sub>2</sub> durante la respiración por ello se pueden tener elevadas concentraciones de contaminante si el caudal que se aporta no es suficiente.

El sistema de ventilación debe aportar suficiente caudal de aire exterior que evite, en los locales en los que se realice alguna actividad humana, la formación de elevadas concentraciones de contaminante. Consecuencia de este objetivo es fundamental la adaptación a la ocupación de alumnos, variable e intermitente en cuanto a horario y cantidad.

Se pretende conocer el funcionamiento de los flujos de aire en distintas zonas del edificio y situaciones del horario lectivo, para tratar de establecer pautas para la optimización del sistema de ventilación.

## 1. Introducción

### 1.2 Objetivo

El objetivo de este trabajo de fin de grado, es avanzar en el conocimiento y manejo de nuevas herramientas de software para la simulación de movimientos de fluidos. En este caso se utilizará el software de simulación zonal denominado CONTAM. Dicho software se ha aplicado al caso práctico de estudio del sistema de ventilación del edificio IndUVa de la escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

El edificio que ha entrado en servicio en septiembre de 2018, se considera un edificio de consumo energético casi nulo, por sus buenas condiciones de aislamiento y la incorporación de elementos pasivos además de los sistemas activos como el de ventilación/climatización.

El sistema de ventilación del edificio se ha diseñado para suministrar los flujos necesarios en cada momento y zona del edificio en función de la ocupación de personas de cada una, que resulta ser variable, para proporcionar un ambiente saludable en su interior y cumplir con la normativa vigente.

### 1.3 Metodología

Para la simulación del sistema de ventilación se ha seguido el siguiente procedimiento:

- Estudiar el funcionamiento y las capacidades del nuevo software CONTAM
- Conocer los elementos que componen una instalación de ventilación en general (conductos, filtros, terminales, etc.) y la del edificio IndUVa en particular.
- Implementar todos los conductos y diferentes espacios delimitados de las 6 plantas en el software y calcular las pérdidas de carga de la instalación mediante un modelo zonal (CONTAM).
- Conocer los requisitos del sistema de ventilación de edificios de docencia establecidos en la normativa y en las recomendaciones.
- Tratar de simular las condiciones de funcionamiento estándar y plantear posibles situaciones a las que se tiene que enfrentar el sistema de ventilación durante el periodo de vida útil de la instalación.

## 2. Descripción de la instalación

### 2.1 Situación

El edificio aulario IndUva se encuentra en el paseo Prado de la Magdalena, Valladolid. Es sede de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

El edificio se encuentra dentro de la sede Mergelina, conectado a los demás edificios e instalaciones del campus que albergan talleres y laboratorios.

Es un edificio de nueva construcción que está conectado con un antiguo edificio que actualmente se encuentra en fase de rehabilitación, por lo que las puertas de conexión en cada planta se encuentran cerradas y la única conexión existente es por la planta baja.

Tiene una superficie construida de 5845 m<sup>2</sup> en 6 plantas con un total de 34 aulas y con una capacidad variable de 0 a 2500 alumnos con un horario intermitente.



*Figura 2.1. Edificio IndUva.*

El edificio Aulario IndUVA es considerado un edificio de alta eficiencia, sostenibilidad y consumo de energía casi nulo. Por estas razones es necesario

## 2. Descripción de la instalación

garantizar un ambiente saludable en su interior manteniendo los objetivos de ahorro energético.

Consecuencia de este objetivo es fundamental la adaptación a la ocupación de alumnos, variable e intermitente en cuanto a horario y cantidad. [10]

### 2.2 Descripción y distribución del edificio

El edificio consta de 6 plantas conectadas mediante escaleras y ascensores. [7]

La planta Baja cuenta con 3 entradas al edificio, dos vestíbulos principales, conserjería, zona de vending, zona de reciclaje y aseos. Además cuenta con 4 aulas: 3 aulas grandes y 1 aula mediana.



*Figura 2.2. Pasillo de la planta baja.*

La Primera planta cuenta con aseos, pasillo y 6 aulas. Estas aulas son 3 aulas grandes, 1 mediana y 2 pequeñas.

## 2. Descripción de la instalación



Figura 2.3. Plano de la 1ª Planta.

La Segunda Planta cuenta con aseos, pasillo y 6 aulas. Estas aulas son 3 aulas grandes, 1 mediana y 2 pequeñas.

La Tercera Planta es de igual distribución a la planta baja pero además, cuenta con dos aulas pequeñas, que no tiene la planta baja por estar el espacio ocupado por las instalaciones comunes del edificio.

La Cuarta Planta es de igual distribución y dimensiones a la Primera Planta.

La Quinta Planta es de igual distribución y dimensiones a la Segunda Planta.

En el sótano cuenta con una sala de recepción del aire proveniente de los pozos canadienses.

Los pozos canadienses son sistemas de climatización geotérmica, consisten en una serie de tuberías ubicadas en el subsuelo exterior del edificio, conectados a él y que trabajan bajo el principio de la inercia térmica para ajustar la temperatura del aire que se emplea en la vivienda.

La altura de cada planta es de 2,9 m y la altura de los falsos techos es de 1,2 m.

Todas las plantas se comunican a través de escaleras y dos ascensores.

## 2. Descripción de la instalación



*Figura 2.4. Pasillo de la planta baja y escaleras.*

Las aulas grandes son de 130 m<sup>2</sup>, mientras que las aulas medianas son de 95 m<sup>2</sup> y las aulas pequeñas son de 55 m<sup>2</sup>.



*Figura 2.5. Aula.*

### 2.3 Sistema de ventilación

En los espacios de docencia (aulas) la ocupación se mantiene constante por tramos de una hora y con ocupación de alumnos variable entre el 10 y el 80% siendo más frecuente un valor intermedio del 50 o 60% de ocupación. El 100% de ocupación del edificio es una situación difícil que ocurra, pero para la cual se ha de dimensionar el sistema de ventilación.

## 2. Descripción de la instalación

El caso de los distribuidores o pasillos es distinto al de las aulas. Los picos de ocupación entre clases son elevados (equivalentes a la ocupación completa del conjunto de todas las aulas), pero con duraciones muy reducidas en el tiempo.

El objetivo de instalar un sistema de ventilación centralizado es poder controlar la calidad de aire interior. Puesto que el control de la calidad del aire interior se realiza de manera permanente el sistema se clasifica como IDA-C1.

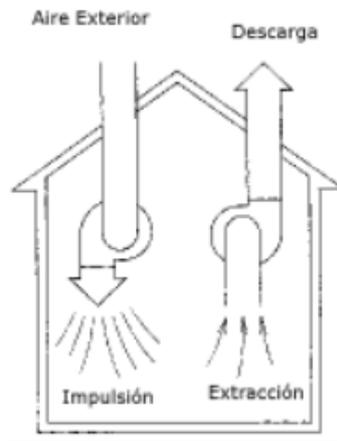


Figura 2.3. Sistema de ventilación centralizado.

El sistema de ventilación centralizado unifica tanto la entrada de aire desde el exterior como la salida del aire expulsado. Un ventilador impulsa aire fresco a través de una red de conductos a las diferentes plantas y zonas, mientras que el extractor aspira a través de otra red de conductos el aire viciado.

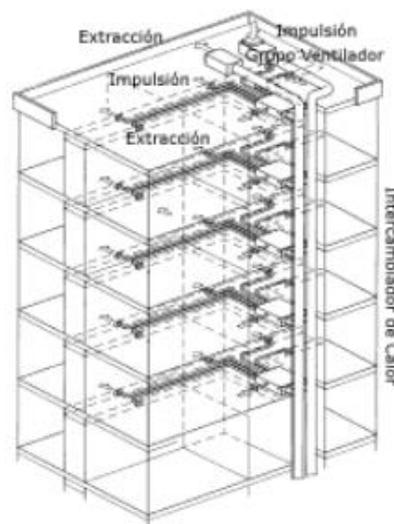


Figura 2.4. Sistema de ventilación centralizado.

## 2. Descripción de la instalación

Este método permite instalar un recuperador de calor de flujo cruzado entre placas que intercambia energía térmica del aire viciado extraído con el aire exterior frío impulsado hacia dentro.

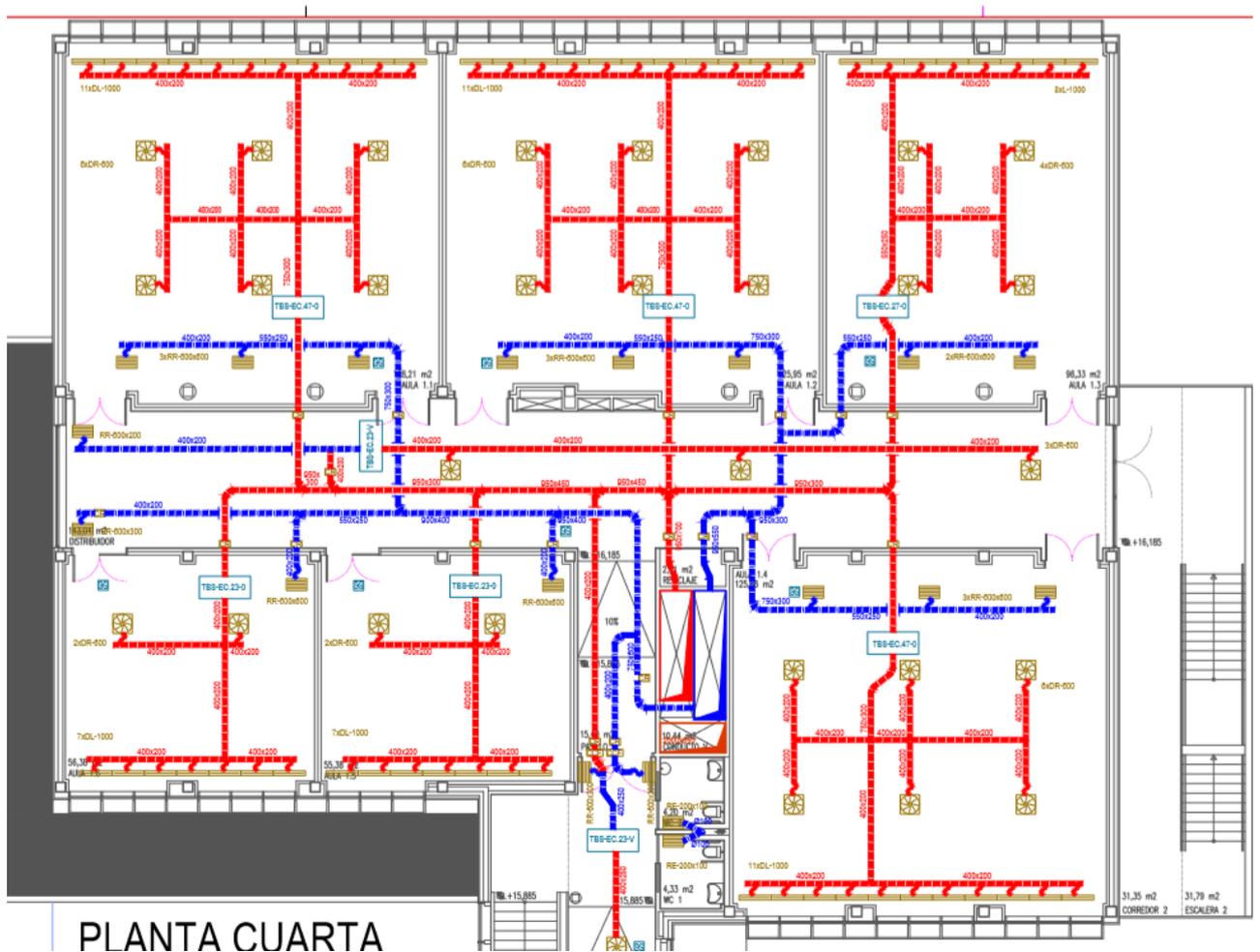


Figura 2.5. Plano del sistema de ventilación de la 4ª Planta.

### 2.3.1 Ventiladores

El caudal de ventilación se introduce a través de una unidad de tratamiento de aire primario o aire exterior sin recirculación, el climatizador regula el caudal de ventilación por presión diferencial constante, de forma que se consigue en todo momento el aporte de aire exterior en función de la suma de demandas de cada una de las plantas del edificio.

## 2. Descripción de la instalación

Este climatizador de aire primario, que se encuentra en la cubierta del edificio, cuenta con ventiladores de caudal variable a través de un rotor síncrono con variador de frecuencia, uno en la impulsión y otro en el retorno que son los encargados de impulsar y retornar el caudal de aire demandado por el edificio en cada momento. El climatizador cuenta con distintos filtros y pre filtros para la eliminación de partículas.

Algunas de las unidades de tratamiento de aire de baja silueta, es decir, las que se encargan de tratar el aire antes de entrar en las aulas y pasillos, cuentan con ventilador, es el caso de las situadas en los pasillos. Estas unidades de tratamiento adecuan la temperatura exacta que se demanda en cada zona.

Para los aseos se utiliza un sistema de extracción particular situado en la cubierta dotado de un ventilador particular para la extracción de los aseos de todas las plantas.

Todos los ventiladores instalados, incluyendo los de los fancoils (ventilador con batería de intercambio térmico) de los distribuidores y los propios de los climatizadores, son de la máxima eficiencia y trabajan variando el caudal de ventilación en cada momento.

El ventilador utilizado en la impulsión es un ventilador plenum de alta eficiencia con rodete de acero y álabes aerodinámicos curvados hacía atrás.

El ventilador utilizado en la extracción es un ventilador plenum de alta eficiencia con rodete de acero y álabes aerodinámicos curvados hacía atrás.

### 2.3.2 Conductos

El aire tratado en la unidad de tratamiento de aire primaria que se encuentra en la cubierta, se distribuye entre las distintas plantas y aulas a través de conductos. Estos conductos son de distinta sección de paso en función de su posición y el caudal de aire a transportar. Los conductos se disponen por todas las zonas por el interior de los falsos techos y las bajantes comunes.

Los conductos son de chapa de acero galvanizada de diferentes espesores, y aislados exteriormente mediante aislamiento termo acústico de manta de lana de vidrio con barrera de vapor.

Los conductos utilizados para la extracción de los aseos son conducto helicoidal de pared lisa de chapa de acero galvanizada de espesor 0,5 mm.

La velocidad de circulación de aire máxima en el interior del conducto nunca sobrepasará los 10 m/s, de acuerdo con la norma UNE-EN 12237.

## 2. Descripción de la instalación

### 2.3.3 Difusores y Rejillas

El aire es vertido a las distintas zonas del edificio a través de distintos terminales. Estos terminales pueden ser difusores rotacionales o rejillas. En las aulas y pasillos se utilizan ambos tipos de terminales, mientras que, en las zonas en las cuales la ventilación no está sujeta ningún horario concreto se utilizan solo difusores lineales.

Los difusores cuentan con deflectores para un mayor control de la dirección del aire de impulsión. Tanto los difusores lineales como los rotacionales crean una elevada inducción que provoca una rápida reducción de la diferencia de temperatura y de la velocidad del aire.

Para la extracción del aire de las zonas se cuenta con rejillas de extracción. Estas rejillas son de simple de deflexión con compuerta de regulación.

En el siguiente capítulo se explica con más detalle el funcionamiento de un difusor y una rejilla.

### 2.3.4 Filtros

Tanto el climatizador como las unidades de tratamiento particulares cuentan con distintos filtros para la eliminación de partículas. Estos sistemas de filtración son multietapa, es decir, con el objetivo de proteger los filtros de gran eficiencia se anteponen otros con menor calidad para alargar la vida útil de los más costosos. Estos filtros se clasifican en función del tamaño de las partículas en suspensión y la concentración de polvo en el aire. En esta instalación se utilizan filtros para polvo fino y grueso.

### 2.3.5 Regulación

En las aulas, dependientes de la ocupación, el sistema de ventilación consta de un medidor de CO<sub>2</sub> situado en la parte posterior a una altura de 1,5 m. Además consta de dos controladores de volumen variable de aporte de aire exterior tanto en la impulsión como en el retorno, vinculados a la medición de dicha sonda. Para el control de la ventilación trabajaran de forma automática en función de la demanda de aire fresco, manteniendo en todo caso un mínimo de apertura del 30%.

Para las estancias con necesidades de ventilación constantes, no dependientes de la ocupación, el sistema de ventilación consta de controladores de caudal de aire constante, que garantizan el caudal de ventilación independientemente del funcionamiento del resto del sistema.

## **3. Ventilación en zonas de enseñanza**

### **3.1 Concepto y tipos de ventilación**

#### **3.1.1 Concepto de ventilación**

El objeto de la ventilación de espacios interiores es renovar y extraer el aire interior de un recinto y sustituirlo por aire nuevo limpio con el fin de evitar su enrarecimiento, eliminando el calor, el polvo, el vapor, los olores y cuanto elemento perjudicial o impureza contenga el aire ambiental encerrado dentro del local. Esta renovación del aire interior permite que la respiración de los seres vivos que ocupan el local sea fluida y constante. [4]

#### **3.1.2 Sistemas de ventilación**

Los sistemas de ventilación se pueden clasificar en función de la forma en que se lleva a cabo la ventilación, por extracción, impulsión o bien extracción e impulsión reunidas en la misma instalación:

- Sistema de extracción de aire: Consiste en disponer una serie de ventiladores en los conductos de extracción, en ciertos lugares del local que extraigan el aire sucio. Los ventiladores aspiran el aire interior con la carga contaminante y lo expulsan al exterior. Para que se pueda llevar a cabo la renovación y entrar aire limpio del exterior es necesario que exista un sistema de admisión. Este sistema de admisión suele ser rendijas existentes en puertas y ventanas localizadas de manera pertinente para acometer la ventilación.

- Sistema de impulsión de aire: Los ventiladores impulsan el aire exterior hacia el interior del recinto, creando una sobrepresión dentro del local que obliga a la salida del aire viciado por las rejillas de extracción. Permite controlar la entrada de aire exterior, flujo y distribución del aire en diferentes locales según demanda de los mismos.

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

- Sistema de extracción-impulsión: Combina las técnicas de impulsión y extracción asegurando una distribución adecuada del aire limpio y una eficacia alta de ventilación. Utiliza ventiladores para impulsar el aire limpio y para extraer el aire viciado. Existirán zonas en depresión próximas a los extractores de aire y otras en sobrepresión próximas a los ventiladores de impulsión. Es importante que los impulsores aporten más aire que el eliminado por los extractores para garantizar una sobrepresión y se eviten filtraciones incontroladas de aire.

Además podemos clasificar los sistemas de ventilación en función de si se realiza por un medio natural o un medio mecánico:

- Ventilación natural: En este caso no existen ventiladores. La renovación de aire se produce por la acción del viento, la existencia de un gradiente de temperaturas entre la entrada y la salida, la diferencia de presión, la diferencia de altura o la carga térmica.

- Ventilación mecánica controlada: Con extracción del aire mecánica, que presenta una gran estabilidad de caudal, gracias a los difusores y retornos del aire que pueden ser regulables. El sistema consta de un ventilador, rejillas de entrada y salida del aire con compuertas.

- Ventilación mecánica controlada de doble flujo: Con impulsión y extracción mecánica, resulta muy interesante para reducir las pérdidas energéticas. La reducción es debida al uso de recuperador de calor. [6]

## 3.2 Parámetros de diseño

### 3.2.1 Caudal de aire

Se define el caudal de aire en un conducto como el producto de la velocidad media de circulación en una sección normal al eje del conducto por el área de dicha sección.

$$Q = v \cdot A$$

El RITE, reglamento de instalaciones térmicas establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones necesarias para atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria. En edificios estima un caudal de 8 l/s por persona para aulas.

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

#### 3.2.2 Renovación

Se define una renovación de aire de un local como la cantidad de aire necesaria para renovar por completo el aire que ocupa el volumen de dicho local. Para mantener unas condiciones saludables y de bienestar es necesario renovar todo el aire de un local periódicamente.

El número de renovaciones por hora depende de las dimensiones y características del local, actividad a la que se destina y carga térmica.

El RITE considera los valores indicados en la norma UNE 100-011.

En el caso de aulas se estima entre 4-6 renovaciones de aire a la hora.

#### 3.2.3 Eficiencia de la ventilación

La eficiencia de la ventilación, es una característica importante del sistema de distribución del edificio y las necesidades de ventilación.

La eficiencia de ventilación se define como:

$$\varepsilon_v = \frac{C_e - C_i}{C_z - C_i}$$

Se conoce como sustancia contaminante toda aquella sustancia presente en el ambiente que pueda tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.

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

$C_i$ : Concentración de una sustancia contaminante en el aire de impulsión.

$C_z$ : concentración de una sustancia contaminante en la zona ocupada.

### 3.3 Elementos de una instalación de ventilación

#### 3.3.1 Unidad de tratamiento de aire y conductos

El sistema de climatización utilizado es un sistema de caudal variable que regula las condiciones térmicas del local variando el caudal de aire frío que se introduce, manteniendo su temperatura constante. Cuando la carga térmica disminuye, el aire

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

impulsado entra a la misma temperatura, pero con caudal menor. La regulación del caudal se realiza utilizando compuertas accionadas automáticamente en función de la temperatura de consigna del local, controlada mediante un termostato.

Debido a elevada cantidad de aire que se precisa, originada por la cantidad de personas que se concentran en las aulas, en general se plantea el siguiente sistema de climatización:

Se dota al edificio de un climatizador de aire primario (todo aire exterior), que tome aire bien del exterior únicamente, bien mezclado con aire procedente de los pozos canadienses y lo atempere hasta los 22°C (temperatura neutra). El aire atemperado se lleva hasta las unidades de tratamiento interior (unidades de tratamiento de aire con doble batería o 4 tubos, sin ventilador), donde el aire se lleva hasta la temperatura necesaria para calentar o enfriar el local. Se dispone para ello de una sonda de temperatura y una sonda de CO<sub>2</sub> por local. Tras pasar por la unidad de tratamiento de aire, se lleva hasta las unidades terminales.

En los pasillos, debido a que la necesidad de aire es menor, se han colocado unidades de tratamiento de aire dotadas de ventilador.

En los aseos se ha instalado una sola extracción de aire viciado, entrando el aire climatizado de los pasillos con los que comunica.

Una compuerta motorizada se ha colocado en cada uno de los locales que funciona de manera proporcional tanto en la entrada de aire como en la extracción de aire. Además se colocan compuertas generales en las derivaciones a cada planta. El aporte de aire al aula se hace en función de lo que indique la sonda de CO<sub>2</sub>.

Los conductos de aire son elementos estáticos de la instalación, a través de los cuales circula el aire en el interior del edificio, conectando todo el sistema: aspiración, unidades de tratamiento de aire, aulas, retorno y evacuación del aire viciado. Para el transporte del aire se utilizan conductos de chapa.



Figura 3.1. Unidad de tratamiento de aire DAIKIN.

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

#### 3.3.2 Ventiladores

La ventilación mecánica utiliza ventiladores y/o extractores para conseguir la renovación necesaria del aire interior en las aulas y el resto de salas.

El ventilador provoca una depresión a su entrada y una sobrepresión a su salida, que permite el movimiento del aire a través de los conductos.

En este caso se utiliza una ventilación sin recirculación con impulsión y retorno; y con variador de velocidad.



*Figura 3.2. Ventilador helicocentrífugo.*



*Figura 3.3. Ventilador helicocentrífugo.*

### 3.3.3 Terminales. Rejillas y Difusores

Un sistema de ventilación cuenta con distintos dispositivos en su sistema de impulsión y extracción para la introducción del caudal de aire de la manera más apropiada, es decir suministrando el caudal de aire en varias direcciones y planos.

El sistema de impulsión cuenta con terminales tipo difusor rotacional de techo para impulsión de aire en instalaciones de climatización. Permiten mover elevados caudales de aire, reduciendo rápidamente la velocidad del aire y el gradiente de temperatura entre el aire impulsado y el aire de la sala, resultando una adecuada ventilación con escasa turbulencia en el aula.

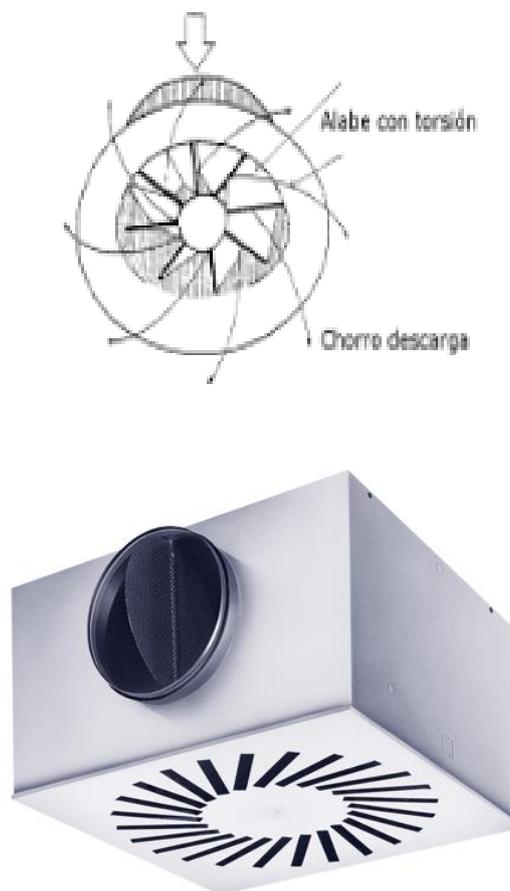


Figura 3.4. Difusor rotacional.

Además de los difusores rotacionales, y para dotar de una adecuada distribución a la impulsión del aire en las aulas, el sistema de impulsión cuenta con difusores lineales, que al igual que los rotacionales cuentan con una inducción de un elevado

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

caudal en la sala que provoca la rápida reducción de la velocidad del aire y de la diferencia de temperatura entre el aire impulsado y el existente.

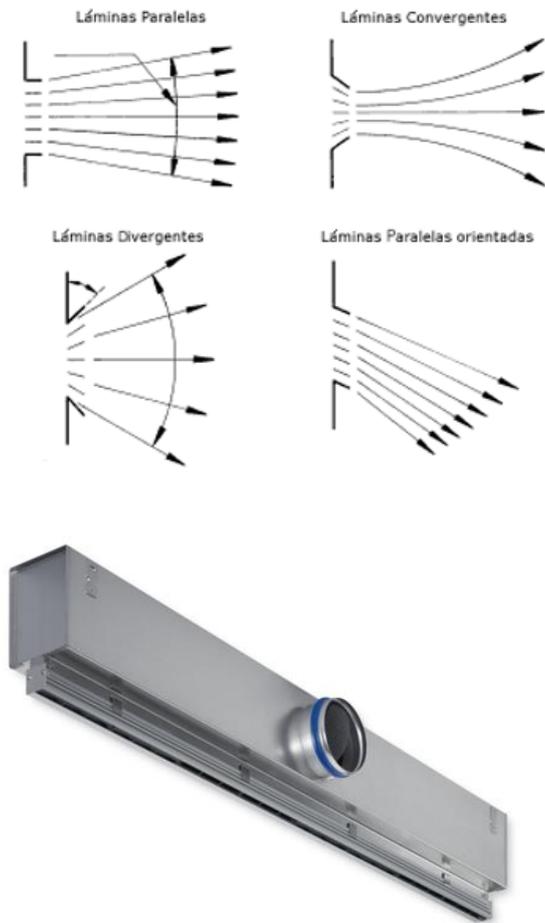


Figura 3.5. Difusor lineal.

El sistema de retorno cuenta con terminales tipo rejilla a través de los cuales se retorna el aire de la sala. Dispuestas de manera adecuada en aulas y pasillos proporcionan una buena cobertura para el retorno del aire.

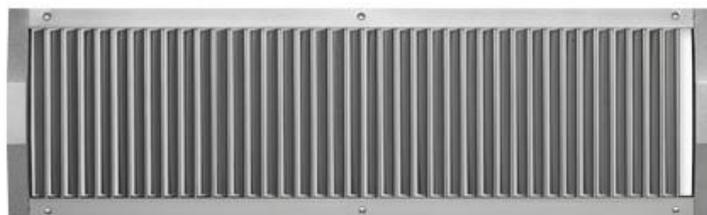


Figura 3.6. Rejilla.

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

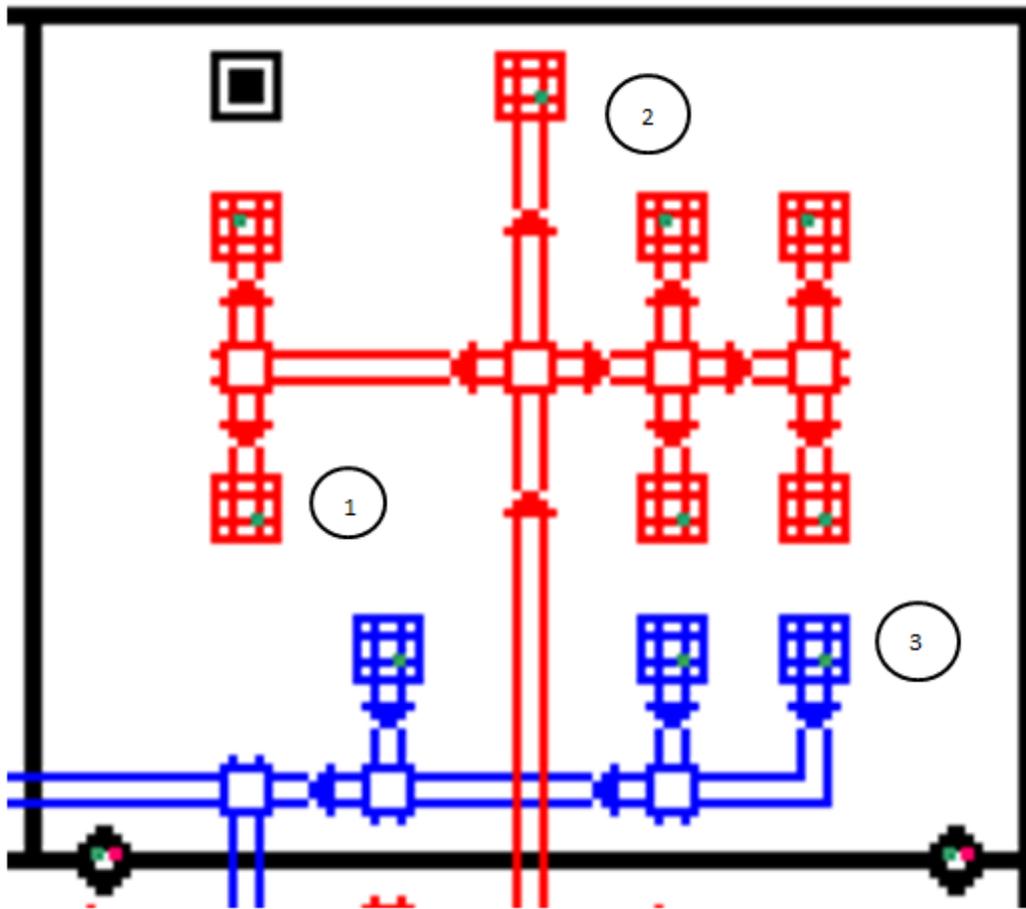


Figura 3.7. Distribución de terminales en un aula.

Impulsión: (1) difusores rotacionales, (2) difusores lineales

Extracción: (3) rejillas

#### 3.3.4 Filtros

Los filtros en un sistema de ventilación se introducen para realizar una limpieza del aire cuando pasa por el sistema de ventilación.

Los filtros se introducen para capturar partículas que se encuentran en suspensión en el aire, lo pueden hacer mediante obstrucción, impacto, interceptación, difusión y atracción electrostática. La elección del filtro se realiza en base a su eficacia o capacidad de acumular partículas, su pérdida de carga y el nivel requerido de pureza de aire y del tamaño de las partículas a separar. Se utilizan sistemas de filtración de múltiples etapas en serie, para alargar la vida útil de los filtros más eficaces y reducir el mantenimiento.

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

Los filtros utilizados son de media eficacia o prefiltros, que retienen partículas superiores a 10  $\mu\text{m}$ , como son el prefiltro F4. Además se utilizan filtros de alta eficacia como son los filtros F6, F7 y F9 que retienen partículas con tamaño menor a 10  $\mu\text{m}$ .



Figura 3.8. Filtros.

#### 3.3.5 Presurización del bloque

El bloque toma unos valores de presión de modo que no exista un gradiente de presión significativo entre las distintas aulas y pasillos que conforman el edificio.

El caudal de ventilación se introduce a través de un climatizador de aire primario o aire exterior sin recirculación, el climatizador regula el caudal de ventilación por presión diferencial constante, de forma que se consigue en todo momento el aporte de aire exterior en función de la suma de demandas de cada una de las plantas del edificio.

### 3.4 Exigencias técnicas. Calidad del aire.

Las instalaciones térmicas deben cumplir las exigencias técnicas de bienestar e higiene, eficiencia energética y seguridad que establece el reglamento de instalaciones térmicas en edificios.

En este caso nos centraremos en la calidad del aire interior y su cumplimiento de los requisitos:

Calidad térmica del ambiente: las instalaciones térmicas permitirán mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

de valores determinados con el fin de mantener unas condiciones ambientales confortables para los usuarios de los edificios.

Calidad del aire interior: las instalaciones térmicas permitirán mantener una calidad del aire interior aceptable, en los locales ocupados por las personas, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los mismos, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado. Además, las instalaciones térmicas permitirán mantener unas propiedades del aire similares en todas las zonas tratando de eliminar los gradientes de presión y temperatura entre las distintas zonas. Nos centraremos en estudiar los valores de presión diferencial que se producen entre las distintas zonas.

#### **3.4.1 Exigencias de calidad térmica del ambiente**

La instalación térmica se diseñó de modo que permite mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo determinado para garantizar unas condiciones ambientales confortables para los usuarios del edificio.

Los parámetros que se han fijado para el confort térmico son:

Temperatura interior en invierno: 21°C

Temperatura interior en verano: 25°C

Humedad relativa interior en verano: 60 %

Datos climáticos en el exterior:

Temperatura exterior en invierno: -5°C

Temperatura exterior en verano: 32,20°C

Humedad relativa exterior en verano: 28,18 %

#### **3.4.2 Exigencias de calidad del aire interior**

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

#### 3.4.2.1 Generalidades

El sistema de ventilación debe aportar suficiente caudal de aire exterior que evite, en los locales en los que se realice alguna actividad humana, la formación de elevadas concentraciones de contaminante. Las personas producen CO<sub>2</sub> durante la respiración por ello se pueden tener elevadas concentraciones de contaminante si no se aporta suficiente caudal.

A efectos del cumplimiento de este apartado se considera válido lo establecido en el procedimiento de la UNE-EN 13779, el cual clasifica la calidad del aire exterior, el caudal de aire de impulsión y su calidad y la calidad del aire interior en función de los contaminantes que alberga.

#### 3.4.2.2 Categoría de calidad del aire interior en función del uso de los edificios

La calidad del aire interior se clasifica en función de la utilización del edificio, especificando los límites de concentración que se aplicarán en los contaminantes indicados en el aire interior tales como CO<sub>2</sub> o COV. El aire puede tener desde una categoría IDA 1 hasta una categoría IDA 4.

IDA 2 (aire de buena calidad): oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza, asimilables y piscinas.

#### 3.4.2.3 Caudal mínimo de aire exterior de ventilación

El caudal mínimo de aire exterior necesario para conseguir la categoría de calidad de aire interior se calcula de acuerdo al método:

##### Método directo por calidad del aire percibido

Basado en el método olfativo, que se recoge en el informe CR 1752 y la UNE-EN 13779.

Este método es aplicable en los recintos ocupados sin riesgo de contaminantes peligrosos y no perceptibles del aire, como es este caso.

El caudal de ventilación requerido para el bienestar se calcula:

$$Q_c = 10 * \frac{G_c}{C_{c,i} - C_{c,o}} * \frac{1}{\varepsilon_v}$$

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

Donde tenemos los siguientes parámetros:

$Q_c$ : Caudal de ventilación (l/s)

$G_c$ : Carga contaminante sensorial (olf). Se calcula en función de los ocupantes, la actividad realizada y la carga del edificio. (0,5 olf/m<sup>2</sup> suelo por ocupante y 0,1 olf/m<sup>2</sup> suelo). Un olf es la tasa de emisión de contaminantes producidos por una persona estándar.

$C_{c,i}$ : Calidad de aire interior percibida deseada (decipol = olf/(l/s)).

Calidad del aire percibido (decipols) para categoría IDA 2: 1,2

$C_{c,o}$ : Calidad de aire exterior percibida entrada del aire (decipol = olf/(l/s)).

Calidad del aire exterior percibida en la entrada del aire (decipols) para categoría ODA 1: Nula.

$\varepsilon_v$ : Efectividad ventilación. Depende de la posición de las rejillas de impulsión y retorno de la temperatura del aire impulsado.

La ocupación máxima estimada es de 2.500 personas y la superficie climatizada es de 5845 m<sup>2</sup> lo que supone una media de 0,43 personas/(m<sup>2</sup> de suelo).

-Humedad del aire interior: Acerca de la humedad relativa del aire interior solo se tiene en cuenta la ocupación humana, el aire de impulsión y el de infiltración. (40-50%)

-Cargas internas: En este caso se considera solo la carga térmica causada por las personas. Para ello se considera que la producción de calor se produce durante actividad sedentaria (Met = 1,2), solo se tendrá en cuenta el calor sensible. (Calor sensible = 75 W/persona).

Un Met es el calor generado en la unidad de tiempo por metro cuadrado de superficie de piel de cuerpo humano desnudo. Se conoce como calor generado, la diferencia entre la actividad metabólica y el trabajo generado por el cuerpo humano.

La resistencia térmica de la ropa se asume de 1 clo en invierno y 0,5 clo en verano. La resistencia térmica de del aislamiento de la vestimenta se miden en clo.

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

LOCAL	Sup. m2	Person	Aire ext. m3/h
1 Bº- AULA B.1	130,68	97	3525
2 Bº- AULA B.2	92,67	61	2272
3 Bº- AULA B.3	125,64	97	3499
4 Bº- AULA B.4	125,38	97	3497
5 Bº DISTRIBUIDOR+PASILLO	109,30	0	575
6 Bº ASEO 1	4,61	0	54
7 Bº ASEO 2	4,61	0	54
8 Bº ELECTRICIDAD	15,83	0	114
9 Bº TELECOMUNICACIONES	7,74	0	56
10 Bº FONTANERÍA	25,24	0	182
11 Bº CLIMATIZACIÓN	54,18	0	390
12 Bº CONSERJERÍA	7,78	1	70
13 Bº VESTIBULO+GALERIA	190,78	0	1004
14 Bº CORREDOR+ESCALERA	83,31	0	439
15 1º AULA 1.1	125,66	97	3499
16 1º AULA 1.2	123,78	97	3489
17 1º AULA 1.3	94,71	61	2283
18 1º AULA 1.4	125,38	97	3497
19 1º DISTRIBUIDOR+PAS	159,95	0	842
20 1º ASEO 1	4,61	0	54
21 1º ASEO 2	4,61	0	54
22 1º CORREDOR+ESCALERA	78,85	0	415
23 1º AULA 1.5	54,73	41	1487
24 1º AULA 1.6	54,70	41	1487
25 2º AULA 2.1	93,90	61	2279
26 2º AULA 2.2	123,81	97	3489
27 2º AULA 2.3	125,62	97	3499
28 2º AULA 2.4	125,38	97	3497
29 2º DISTRIBUIDOR+PAS	159,95	0	842
30 2º ASEO 1	4,61	0	54
31 2º ASEO 2	4,61	0	54
32 2º CORREDOR+ESCALERA	78,85	0	415
33 2º AULA 2.5	54,73	41	1487
34 2º AULA 2.6	54,70	41	1487
35 3º AULA 3.1	125,62	97	3499
36 3º AULA 3.2	92,67	61	2272
37 3º AULA 3.3	125,64	97	3499
38 3º AULA 3.4	125,38	97	3497
39 3º DISTRIBUIDOR+PAS	159,95	0	842
40 3º ASEO 1	4,61	0	54
41 3º ASEO 2	4,61	0	54
42 3º CORREDOR+ESCALERA	78,85	0	415
43 3º AULA 3.5	54,73	41	1487
44 3º AULA 3.6	54,70	41	1487

### 3. Ventilación en zonas de enseñanza

LOCAL		Sup. m <sup>2</sup>	Person	Aire ext. m <sup>3</sup> /h
45	4º AULA 4.1	125,66	97	3499
46	4º AULA 4.2	123,78	97	3489
47	4º AULA 4.3	94,71	61	2283
48	4º AULA 4.4	125,38	97	3497
49	4º DISTRIBUIDOR+PAS	159,95	0	842
50	4º ASEO 1	4,61	0	54
51	4º ASEO 2	4,61	0	54
52	4º CORREDOR+ESCALERA	78,85	0	415
53	4º AULA 4.5	54,73	41	1487
54	4º AULA 4.6	54,70	41	1487
55	5º AULA 5.1	93,90	61	2279
56	5º AULA 5.2	123,81	97	3489
57	5º AULA 5.3	125,62	97	3499
58	5º AULA 5.4	125,38	97	3497
59	5º DISTRIBUIDOR+PAS	159,95	0	842
60	5º ASEO 1	4,61	0	54
61	5º ASEO 2	4,61	0	54
62	5º CORREDOR+ESCALERA	78,85	0	415
63	5º AULA 5.5	54,68	41	1487
64	5º AULA 5.6	54,70	41	1487
	TOTAL	5110,74	2523	101262

Figura 3.9. Caudales de ventilación para cada zona.

### 3.5 Normativa

ASHRAE 62-2004. Cálculo de los caudales mínimos de ventilación para una calidad del aire interior aceptable.

UNE1 100-011. Cálculo de los caudales mínimos de ventilación para una calidad del aire interior aceptable. Criterios de calidad del aire aceptable y valores máximos de sustancias contaminantes.

UNE 100-101. Conductos para transporte de aire. Dimensiones y tolerancias

CEN 1752. Cálculo de los caudales mínimos de ventilación para una calidad del aire interior aceptable.

CR 1752 / UNE-EN 13779. Cálculo de los caudales mínimos de ventilación para una calidad del aire interior aceptable.

UNE-EN 12237. Conductos para transporte de aire. Velocidades de transporte.

## 4. Modelado con Software

### 4.1 Introducción del software

CONTAM es un programa informático de análisis de ventilación zonal y calidad del aire interior. Es un programa de dominio público, que utiliza la normativa ASHARE y fue desarrollado por empleados del gobierno estadounidense.

CONTAM permite estudiar:

- Propiedades de los flujos de aire: infiltración, flujos de aire de sala a sala en edificios impulsados por medios mecánicos, presiones de viento que actúan en el exterior del edificio y diferencia de temperatura entre el aire interior y exterior.
- Concentraciones de contaminantes: concentración de los contaminantes dispersos en el aire y transportados por flujos de aire, además de su generación en el interior del edificio debida a una serie de mecanismos.
- Exposición personal: exposición a los contaminantes por parte de los ocupantes y evaluación del riesgo.

En nuestro estudio se utilizó CONTAM debido a su capacidad para calcular los flujos de aire del edificio y las presiones relativas entre las zonas del edificio, para evaluar la idoneidad de los flujos de ventilación en un edificio, para determinar la variación en los flujos de ventilación a lo largo del tiempo y para determinar la distribución del aire de ventilación dentro de un edificio.

### 4.2 Realización del modelo

#### 4.2.1 Plantas

Para la realización del estudio del sistema de ventilación del edificio IndUVa, dividiremos el edificio entre sus 6 plantas y realizaremos la distribución de cada planta. Puesto que el programa trabaja con una altura común para todas las

#### 4. Modelado con software

plantas, elegimos la altura del aula que es 2,9m que es la altura común sin considerar los falsos techos.

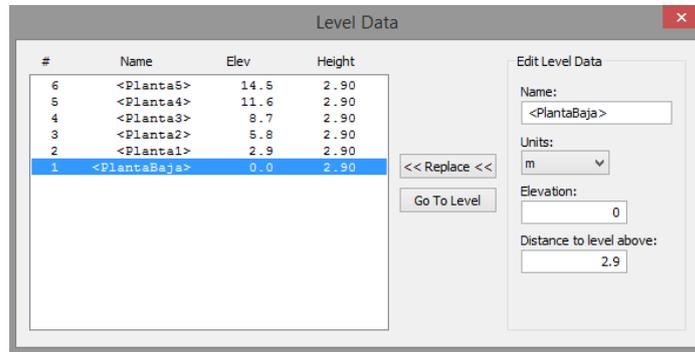


Figura 4.1. Propiedades de cada planta.

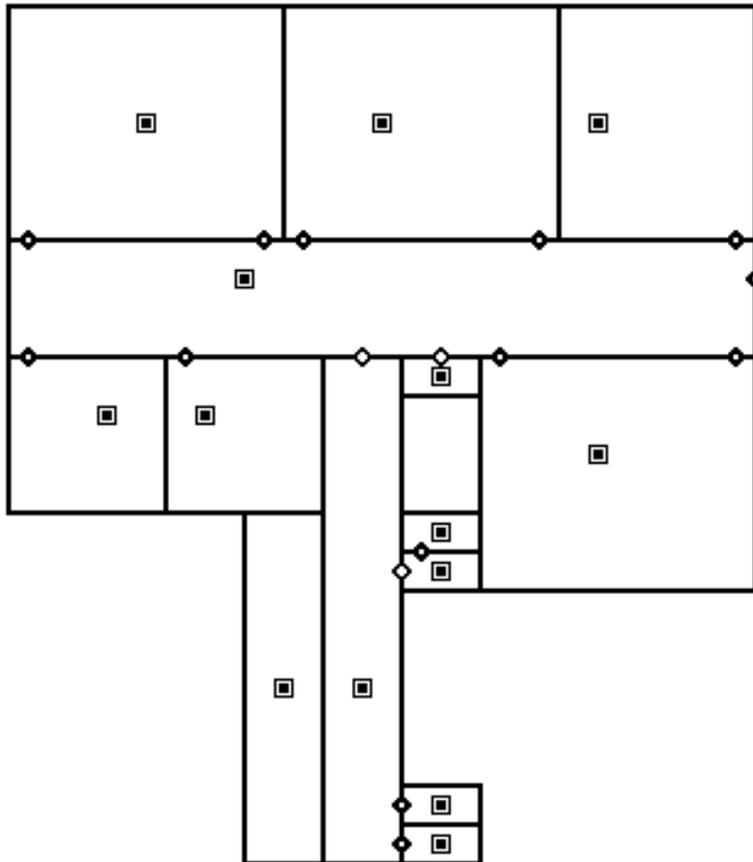


Figura 4.2. Esquema de la planta 1ª y 4ª.

#### 4. Modelado con software

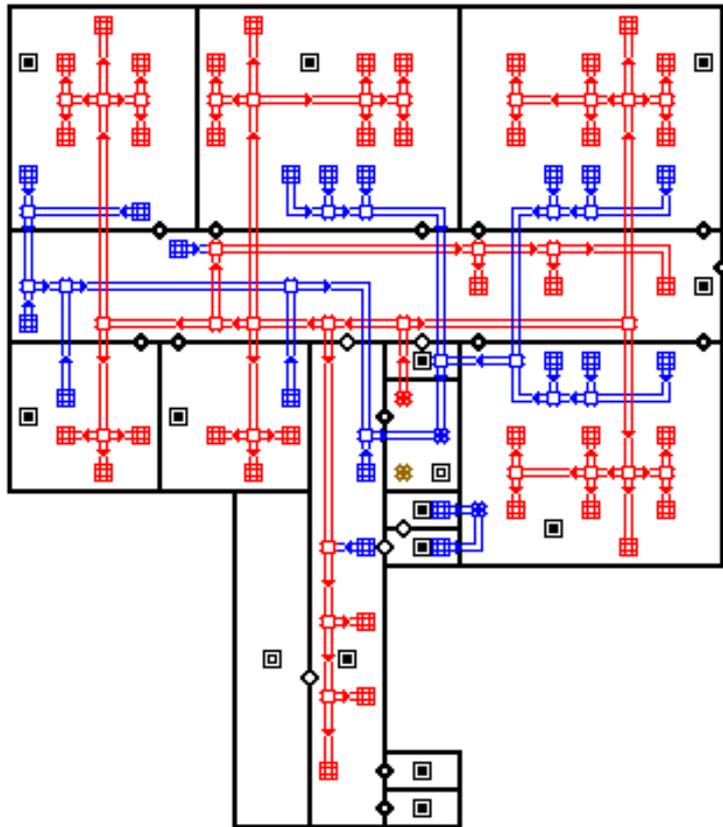


Figura 4.3. Esquema de la planta 1ª y 4ª con los conductos implementados.

#### 4.2.2 Zonas

La distribución de cada planta se realiza de manera zonal, dividiendo la planta entre los diferentes compartimentos.

Para la definición correcta de una zona hemos de introducir:

-Área/Volumen: Para todos los niveles se fija una altura común, por tanto basta con introducir el volumen o el área para cada zona.

-Temperatura: El software permite definir una temperatura para cada zona. Esta puede ser constante o variable.

-Presión: El software permite definir una presión para cada zona. Esta puede ser constante o variable.

#### 4. Modelado con software

-Datos contaminantes: Permite conocer los contaminantes con los que se trabaja y determinar una concentración inicial en cada zona.

Las zonas que son comunes a distintas plantas se modelan como *phantom zones* (zonas fantasmas). Estas zonas toman las medidas, parámetros de la planta inferior pero se toma la altura de varias plantas consiguiendo así el volumen total. Las zonas de las escaleras han sido definidas mediante zonas fantasmas.

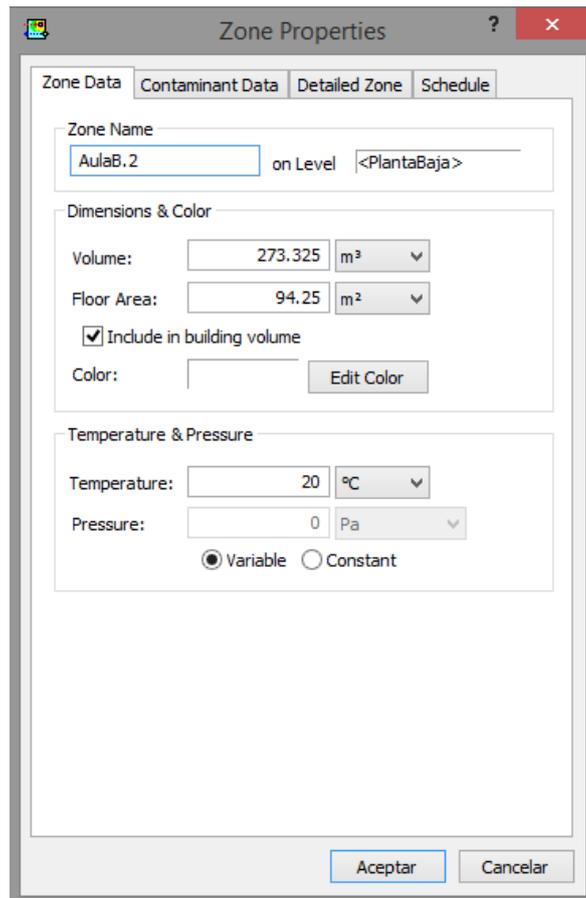


Figura 4.4. Ventana de propiedades de cada zona.

#### 4.2.3 Fugas de aire

El edificio IndUVa se ha diseñado sin ventanas, las pocas que se encuentran en vestíbulos se encuentran siempre cerradas con cierre estanco. De modo que su única comunicación entre el exterior y entre sus propias aulas es a través de las puertas, las cuales están dotadas de un cierre estanco, es decir, sin interacción posible con el exterior del edificio. Este cierre estanco consiste en una pestaña a lo

#### 4. Modelado con software

largo de todo el ancho de la puerta que al cerrar la puerta salta inhabilitando la interacción a través de ella.

Para la interacción de pequeños habitáculos que se encuentran conectados al pasillo se modelan las ranuras u orificios, a través de las cuales puede pasar una pequeña cantidad de aire.

Mediante el comando *Airflow Element Models*, eligiendo la opción *Oríifice Área Data* definimos los distintos canales a través de los cuales se producirá la interacción entre zonas.

-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 que recomienda CONTAM se suele encontrar entre 0,6 y 0,7 por lo que nosotros vamos a utilizar 0,65 para realizar el estudio.

-Coeficiente de descarga (C): Atendiendo las indicaciones de CONTAM, 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:

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

*A*: Área de la sección

*P*: Perímetro

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

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

Con  $\rho$ : Densidad del fluido

$v$ : Velocidad media de fluido

$D$ : Diámetro de la tubería por la que circula el fluido o longitud característica

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido

#### 4. Modelado con software

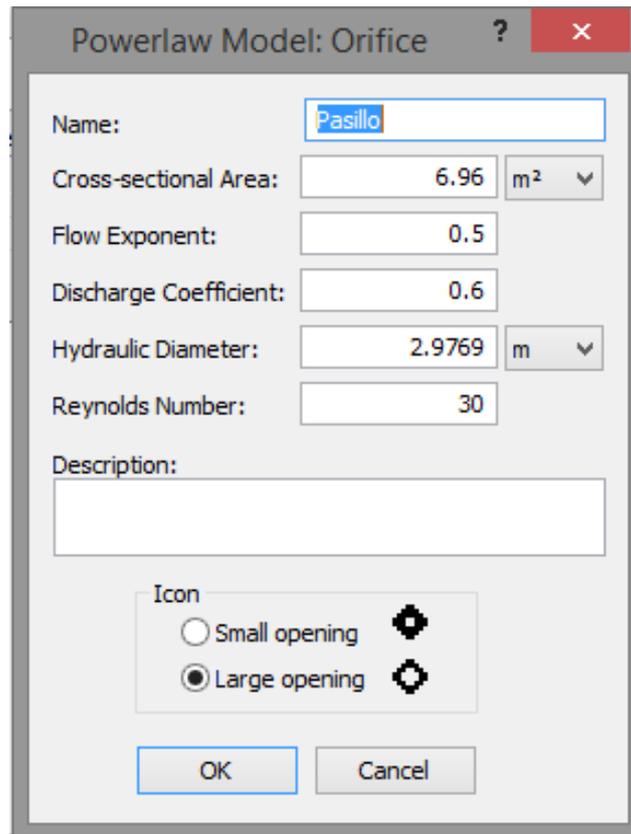


Figura 4.5. Ventana de propiedades de cada orificio.

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.

#### 4. Modelado con software

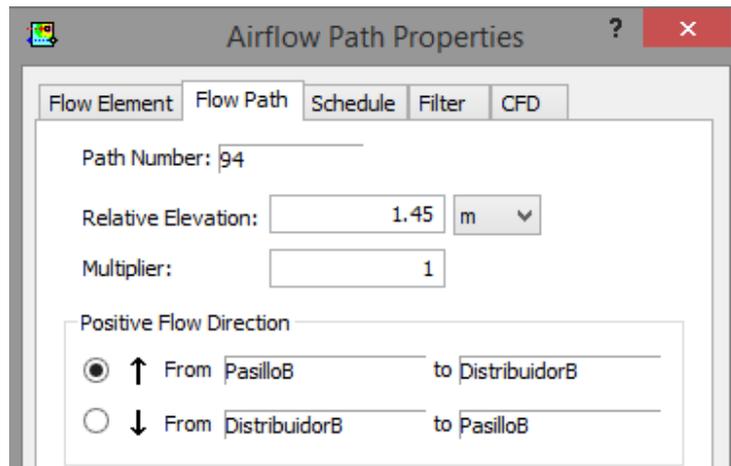


Figura 4.6. Ventana de propiedades de cada orificio.

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.

#### 4.2.4 Conductos

Se comienza dibujando los conductos de ventilación en el plano, de modo que se representa su posición en las distintas zonas y se termina situando su terminal de comienzo y terminal final o finales. Para mejor distinción de los conductos se dibujan de distintos colores en función de su propósito.

##### · Conductos *Darcy-Colebrook Model*

Para definir un conducto que solamente transporte aire se utiliza el comando *Darcy-Colebrook Model* en el cual debemos introducir los siguientes datos para definir sus pérdidas de carga:

- Nombre: Indicamos un nombre para cada conducto.
- Rugosidad: Introducimos la rugosidad del material de cada conducto.
- Dimensiones: en la pestaña *Shape, Size and Leakage* definimos la forma del conducto y las dimensiones transversales.
- Fugas: en la pestaña *Shape, Size and Leakage* se puede definir las fugas que podría tener el conducto. En este caso no se va a utilizar.

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:

#### 4. Modelado con software

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7D_h} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Para la definición del conducto de manera longitudinal se realiza en la pestaña *Duct Segment Properties* donde introducimos los parámetros que nos resultan necesarios:

- Longitud del conducto: Se define la longitud de un conducto concreto.
- Coeficientes de pérdidas: Se introduce el sumatorio de las pérdidas locales que tiene un conducto concreto debidas a codos, bifurcaciones, variación de anchura, etc.
- Dirección positiva del flujo: Se define un sentido positivo para la dirección del flujo en el conducto.

Para la definición de un conducto cuyo objetivo sea el suministro de un flujo a volumen constante se utiliza el comando *Constant Mass Flow Model* en el cual se distingue del comando de *Darcy-Colebrook Model* en que en vez de introducir la rugosidad del conducto se introduce:

- Flujo máximo de diseño: Se introduce el flujo máximo que va a suministrar el conducto en unidades másicas.

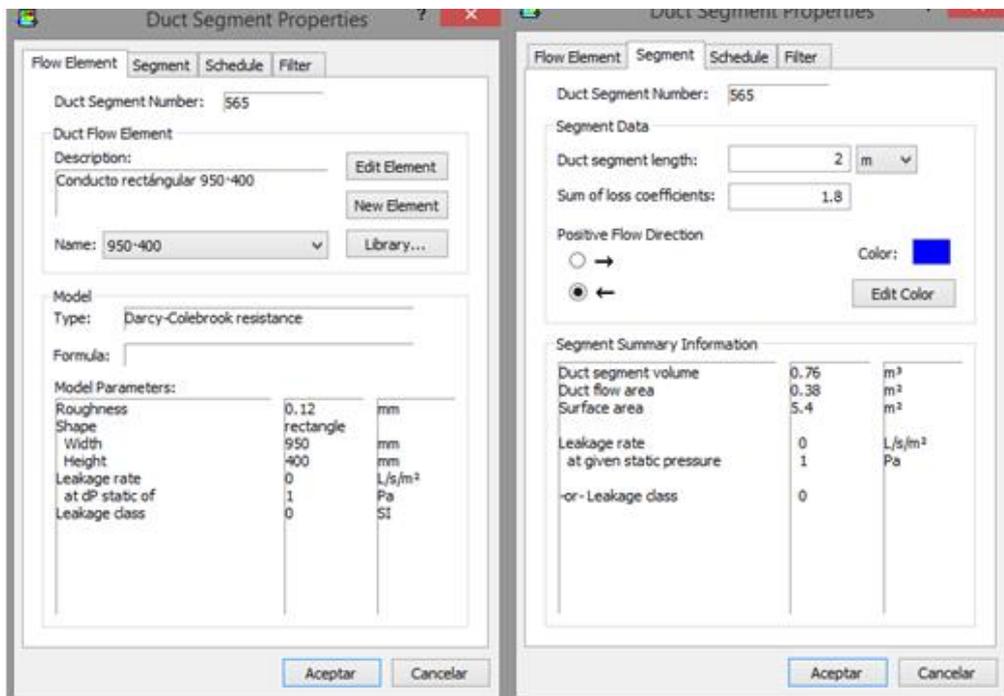


Figura 4.7. Ventana de propiedades de cada conducto.

#### 4. Modelado con software

##### - Conductos *Orifice Resistance Model*

Para definir un conducto que provoca una pérdida de carga se utiliza el comando *Orifice Resistance Model* en el cual debemos introducir los siguientes datos:

- Área del orificio: área por donde fluye la corriente de una zona a otra.
- Diámetro hidráulico: en el caso de conductos rectangulares, introducimos la raíz cuadrada del área.
- Coeficiente 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.
- 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 por lo que nosotros vamos a utilizar 0,65 para realizar el estudio.

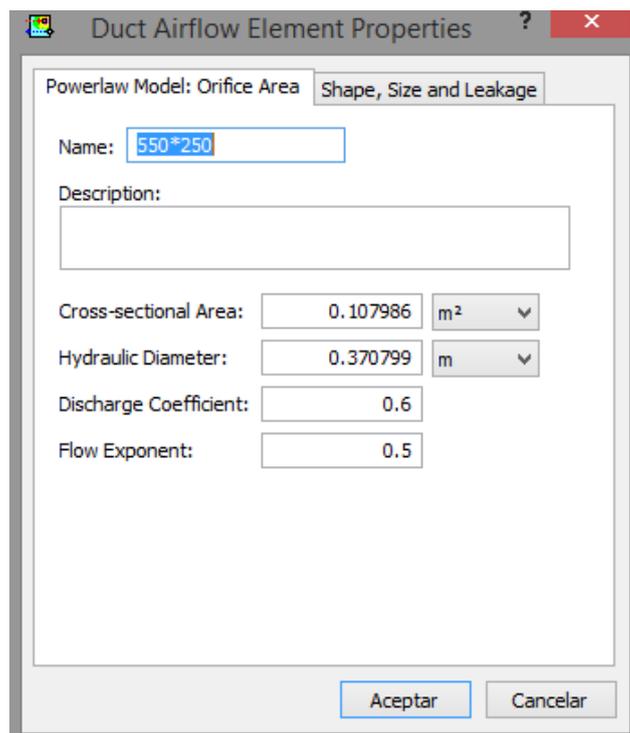


Figura 4.8. Ventana de propiedades de cada conducto.

#### 4. Modelado con software

##### - Conductos *Performance Curve*

Para definir un conducto que simula un ventilador se utiliza el comando *Performance Curve* en el cual debemos introducir los siguientes datos:

- Puntos de la curva del ventilador: introducimos el valor correspondiente de presión y caudal para al menos cuatro puntos de la curva del ventilador.

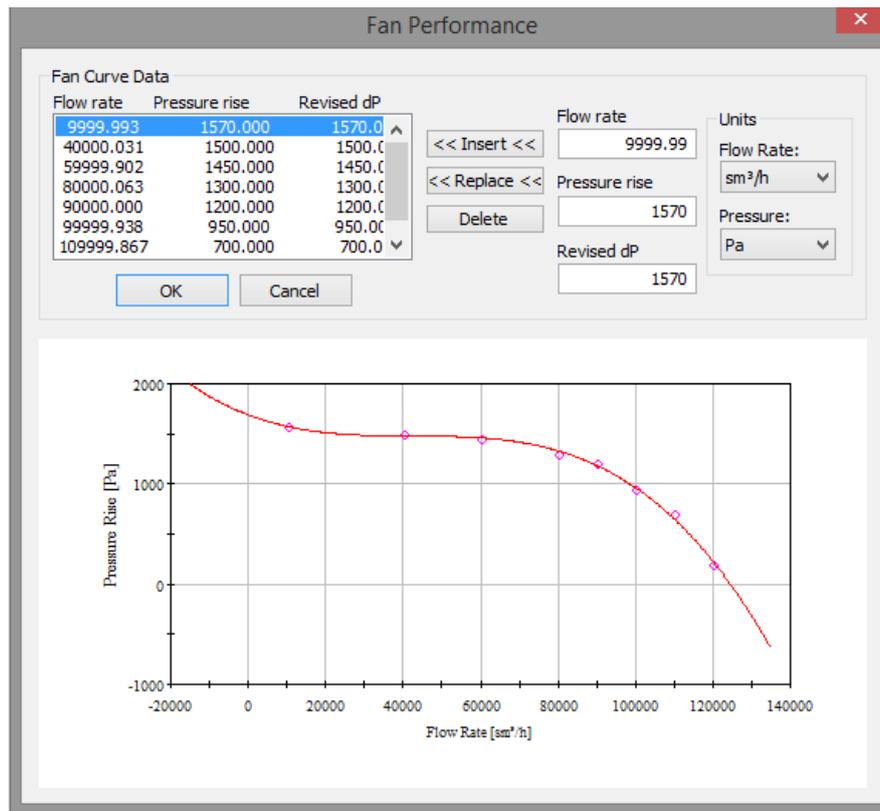


Figura 4.9. Ventana de propiedades del ventilador.

#### 4.2.5 Terminales

Cuando se dibuja un conducto, el programa obliga a definir sus extremos. Si se selecciona un extremo de un conducto aparecerá la ventana *Duct Junction Properties*:

En la pestaña *Junction*, se puede indicar si el terminal es un extremo libre o bien se encuentra conectado a un conducto. También se puede indicar si el conducto se encuentra en esa misma altura o conecta desde el nivel superior o inferior.

#### 4. Modelado con software

Otras opciones que permite el programa es asignar una temperatura al terminal durante la simulación y situar el terminal a una altura relativa respecto de la altura del nivel.

En la pestaña *Terminal Data* podemos modificar los siguientes parámetros:

-Coeficiente 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 salida: 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 adicional a la entrada/salida de este con el fin de que salga/entre el mismo aire por cada terminal. Para el estudio de esta instalación, no se utiliza esta herramienta.

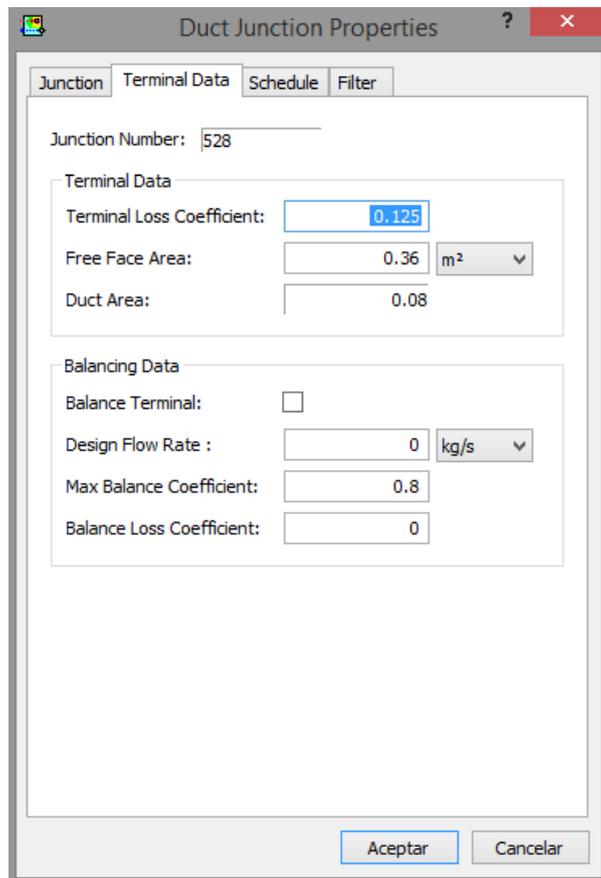
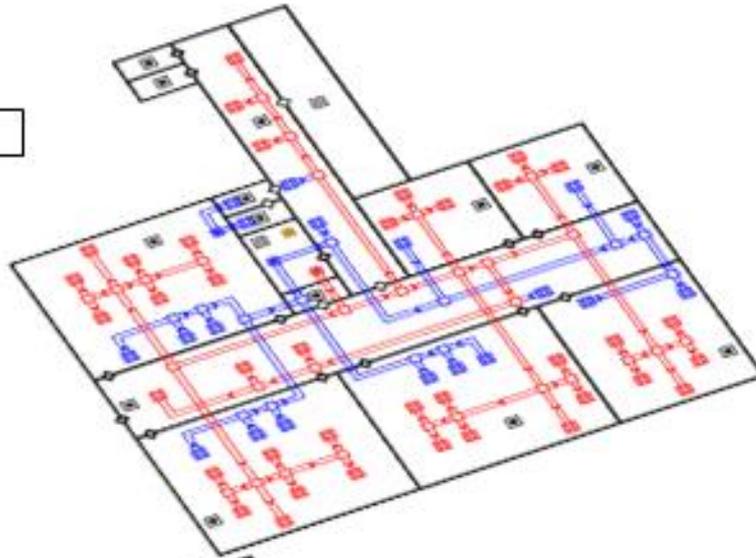


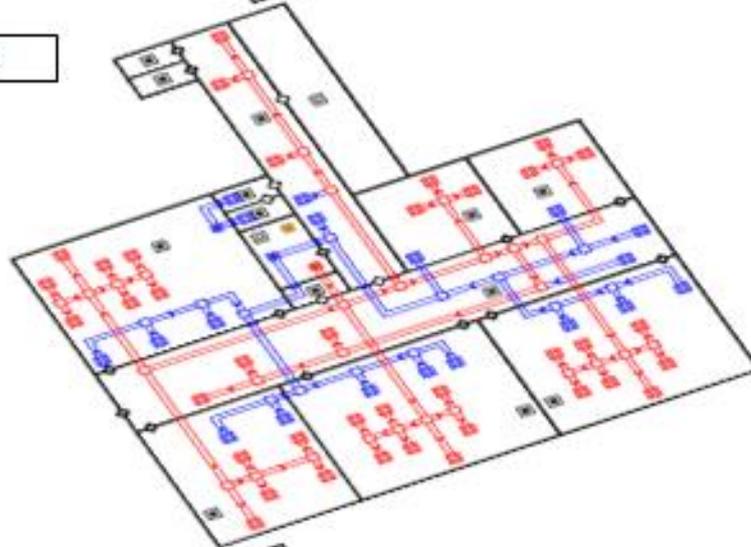
Figura 4.10. Ventana de propiedades de cada unión/terminal.

4. Modelado con software

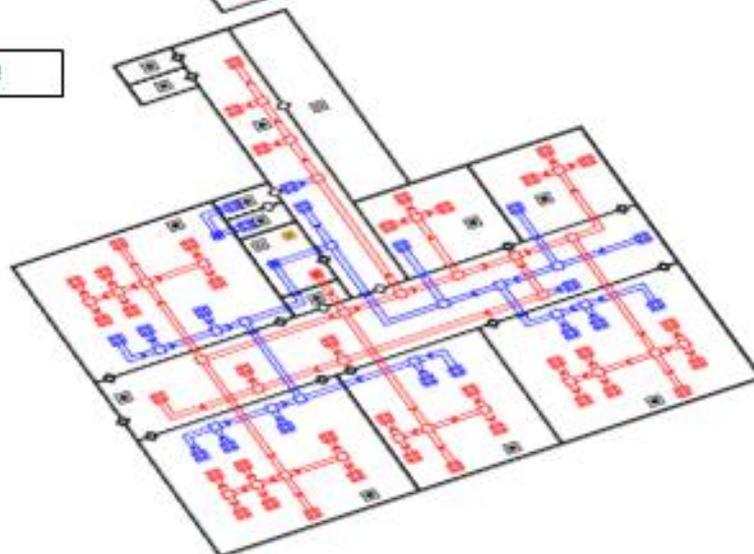
Planta 5ª



Planta 4ª



Planta 3ª



#### 4. Modelado con software

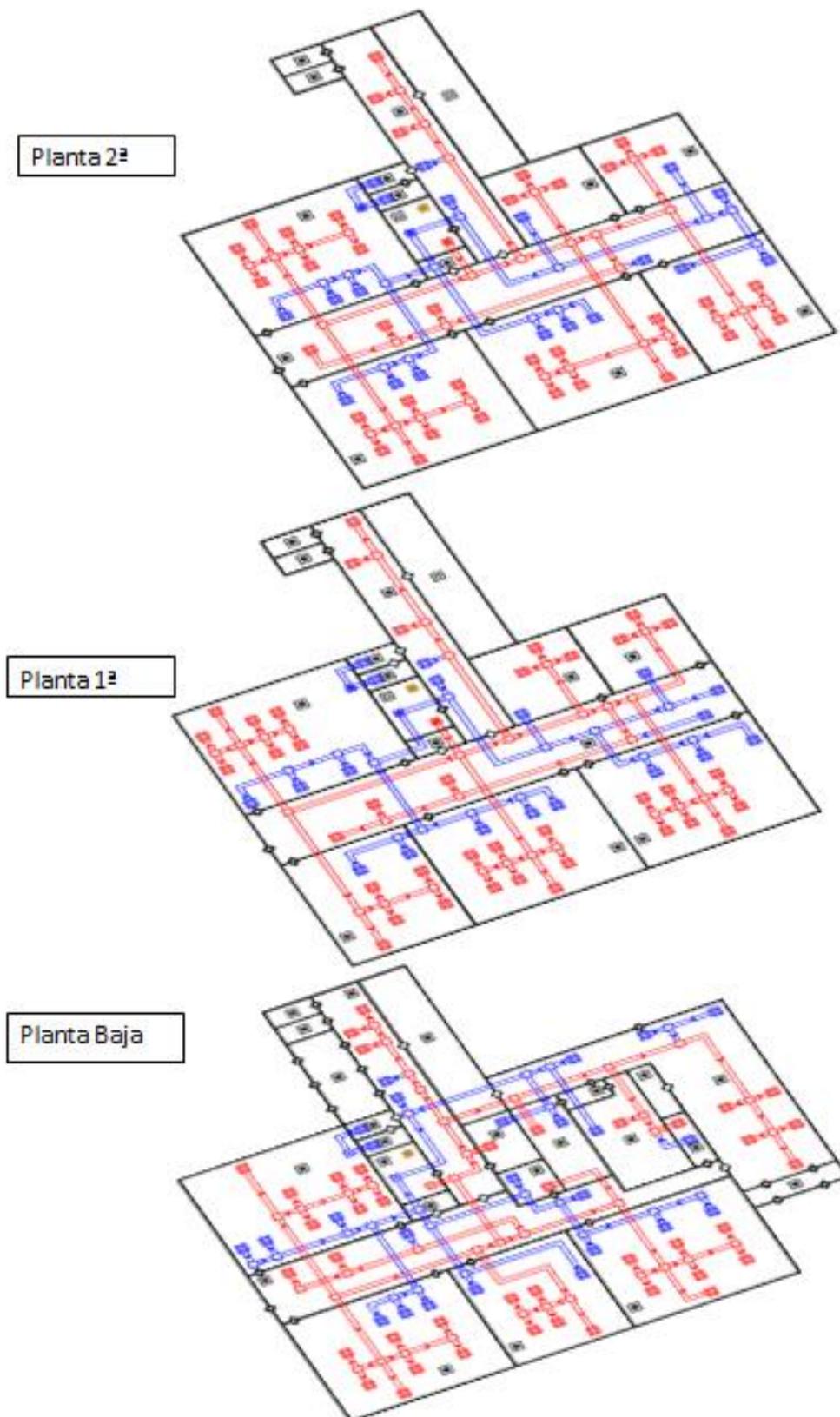


Figura 4.11. Secuencia de la implementación de las distintas plantas del edificio.

#### 4.2.6 Programaciones

Las *schedules* o programaciones permiten implementar una variación de un parámetro en función del momento de la simulación. El parámetro se regula en función del grado programado en la simulación el cual varía de 1 a 0 siendo un el valor máximo introducido por ese parámetro.

En el caso de los conductos con compuerta (*Orifice Resistance Model*), la *schedule* permite abrir o cerrar esta en función del valor introducido para cada momento de la simulación.

En el caso de los conductos determinados como ventilador (*Performance Curve*), el parámetro a introducir es el ratio entre el régimen de giro máximo y el régimen de giro actual, ya que el ventilador se define para una relación de velocidad de 1.

Para la implementación de estas programaciones se definen el valor de la regulación (de 0 a 1), para cada momento del día. A continuación se conforma una programación de una semana a partir de los días determinados.

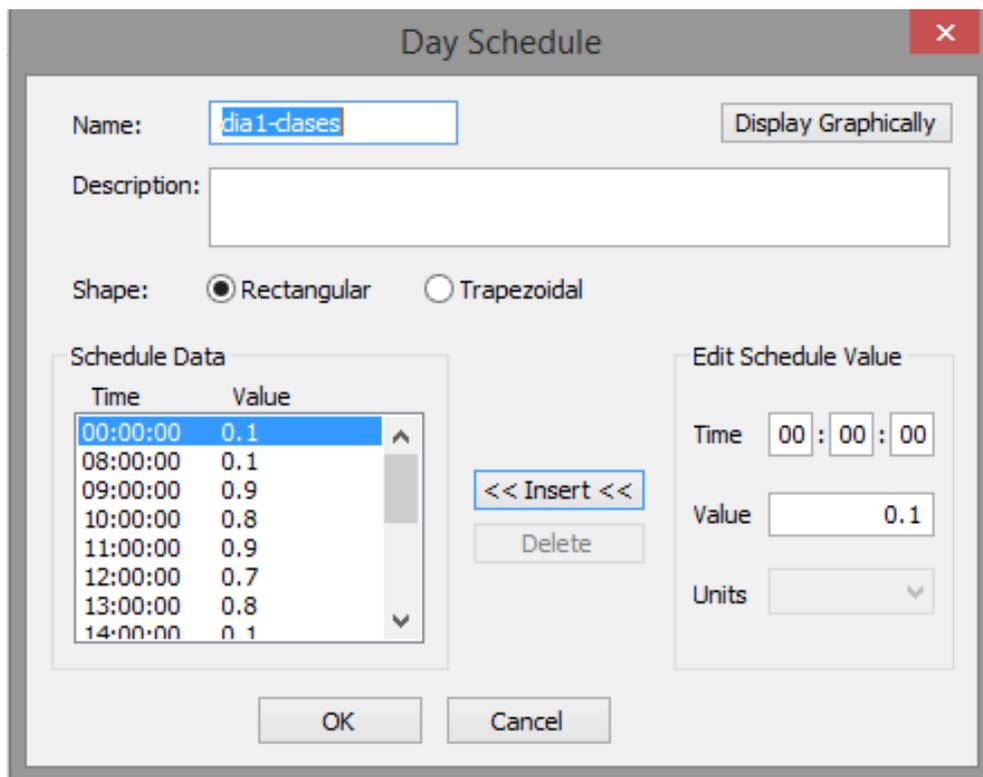


Figura 4.11. Ventana de propiedades de la schedule diaria.

#### 4. Modelado con software

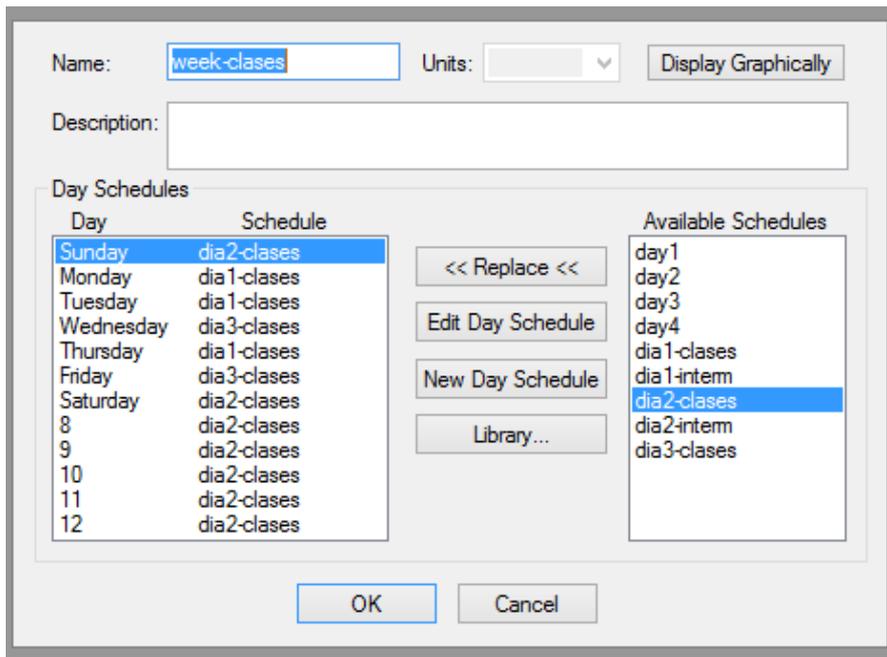


Figura 4.12. Ventana de propiedades de la schedule semanal.

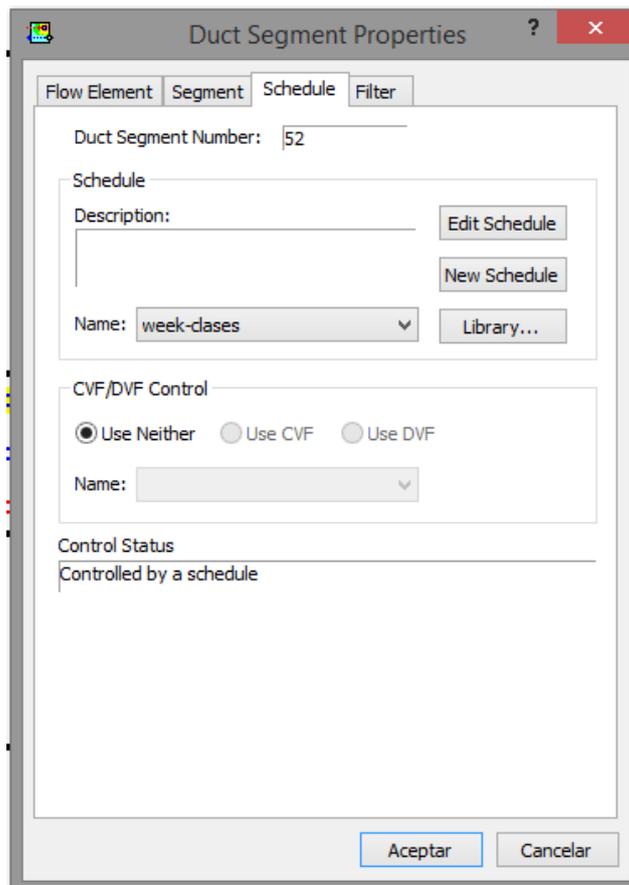


Figura 4.13. Ventana de implementación de Schedule para conducto.

## 4. Modelado con software

### 4.2.7 Simulación

Para implementar una simulación determinamos ciertos parámetros en función de la simulación que vayamos a realizar:

**Run Control:** En esta ventana implementamos el tipo de simulación, la presencia de contaminantes, los tiempos de duración y el intervalo.

**Weather:** Permite implementar las condiciones ambientales.

**Outputs:** Permite implementar la forma en que el programa nos presenta los resultados tras la simulación.

**Airflow numerics:** Permite implementar el modo de resolución de las ecuaciones lineales y no lineales.

**Contaminant numerics:** Permite implementar el modo de resolución de las ecuaciones de los contaminantes.

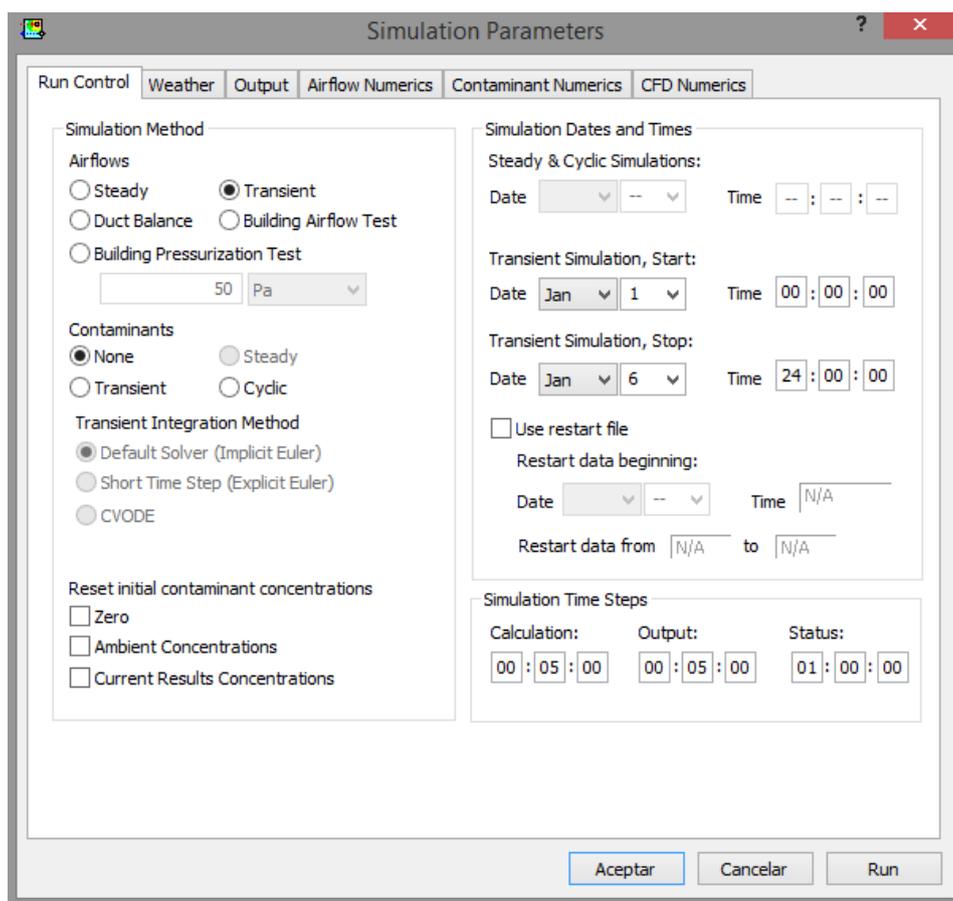


Figura 4.14. Ventana de implementación de la simulación

## 5. Casos Realizados

En este capítulo se realiza la simulación de distintas situaciones con el objetivo de estudiar los resultados y compararlos con lo registrado sobre el edificio.

Se realiza un estudio de presiones y caudales en las zonas del aula, centrándonos en los resultados obtenidos en las aulas.

Estas simulaciones se realizarán durante un periodo semanal, lo que conlleva distintos horarios y configuraciones.

Para estas simulaciones trataremos de mantener la diferencia de presiones que se produce entre la entrada y salida del ventilador de impulsión (100 Pa) y del ventilador de extracción (170 Pa). Para ello implementaremos la variación del régimen de giro que nos permita mantener estos valores de presión diferencial.

Se ha fijado una temperatura interior constante de 20°C en todas las zonas del edificio.

Las simulaciones serán implementadas con las siguientes condiciones ambientales exteriores.

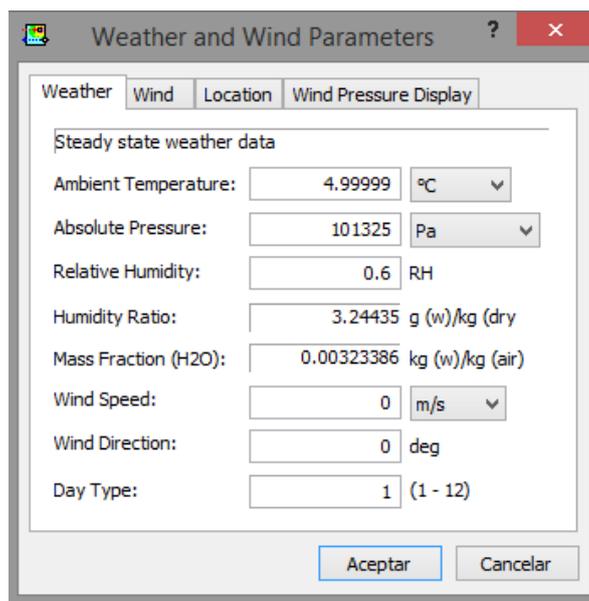


Figura 5.1. Ventana de implementación de los parámetros del tiempo.

## 5. Casos Realizados

Para comprobar las pérdidas de carga de la instalación se ha simulado con un caudal constante y se ha determinado la diferencia de presiones que debe tener el ventilador. De esta manera se han comparado esos resultados con los obtenidos al impulsar ese mismo caudal con el ventilador y las diferencias de presiones son prácticamente iguales.

### **Simulación-1 Horario lectivo. Puertas aulas cerradas**

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación con aporte de aire a todas las plantas del edificio. Las puertas de las aulas se encuentran cerradas simulando un momento durante el horario lectivo. El edificio se encuentra con las puertas al exterior cerradas.

Las compuertas en la impulsión están abiertas en todas las plantas, al igual que todas las compuertas de las aulas, por tanto todas las plantas reciben un caudal de aire de la impulsión. Todas las plantas están conectadas a la extracción porque no existen compuertas en el sistema de retorno.

El estudio se centra en las pérdidas de carga producidas en las puertas de las aulas y los flujos de aire en los conductos y secciones de fuga de aire.

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtenga una presión diferencial entre su salida y entrada de aproximadamente 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de aproximadamente 170 Pa entre su salida y entrada.

En esta situación, el caudal impulsado por el ventilador de impulsión es de 43644,9 m<sup>3</sup>/h, mientras que el caudal de extracción es de 44655,9 m<sup>3</sup>/h, por tanto el edificio se encuentra en depresión.

En cada planta se introduce un caudal entre 8012 m<sup>3</sup>/h y 7396 m<sup>3</sup>/h, exceptuando la planta baja en la que el caudal introducido es menor, de 5417 m<sup>3</sup>/h.

Los caudales de extracción por planta varían entre 9480 m<sup>3</sup>/h y 6660 m<sup>3</sup>/h, exceptuando la planta baja en la que el caudal introducido es menor, de 4920 m<sup>3</sup>/h.

Dentro de cada aula se da una depresión entre los 170 Pa y 145 Pa dependiendo del aula. Los valores de depresión son prácticamente iguales en cada aula.

En los pasillos de cada planta el valor de la depresión es de 158,5 Pa. Por tanto, existirá una presión mayor con respecto a la mayoría de las aulas de esa planta.

Entre estas aulas y el pasillo, las puertas del aula se encuentran cerradas por tanto existirá una pérdida de carga. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entre 6 Pa y 13 Pa. Y el caudal a través de la puerta es aproximadamente 18 m<sup>3</sup>/h.

Sin embargo, en cada planta hay dos aulas que tienen una presión mayor que el pasillo. Las aulas 1 y 6 correspondientes en cada planta. El valor de la pérdida de

## 5. Casos realizados

carga entre estas aulas y el pasillo es entre 2 Pa y 7 Pa. Y el caudal a través de la puerta ronda los 11 m<sup>3</sup>/h.

Las puertas de incendio que conectan los pasillos con el exterior, también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entre 158 Pa. Y el caudal a través de la puerta ronda los 66 m<sup>3</sup>/h.

Las puertas exteriores de la planta baja que conectan los pasillos con el exterior, se encuentran cerradas y también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas puertas y el pasillo es de 79 Pa. Y el caudal a través de la puerta ronda los 45 m<sup>3</sup>/h. Estos valores son los mismos para la puerta exterior como para la contrapuerta.

La velocidad media del aire a través de la sección del conducto no supera los 10 m/s en ningún conducto.

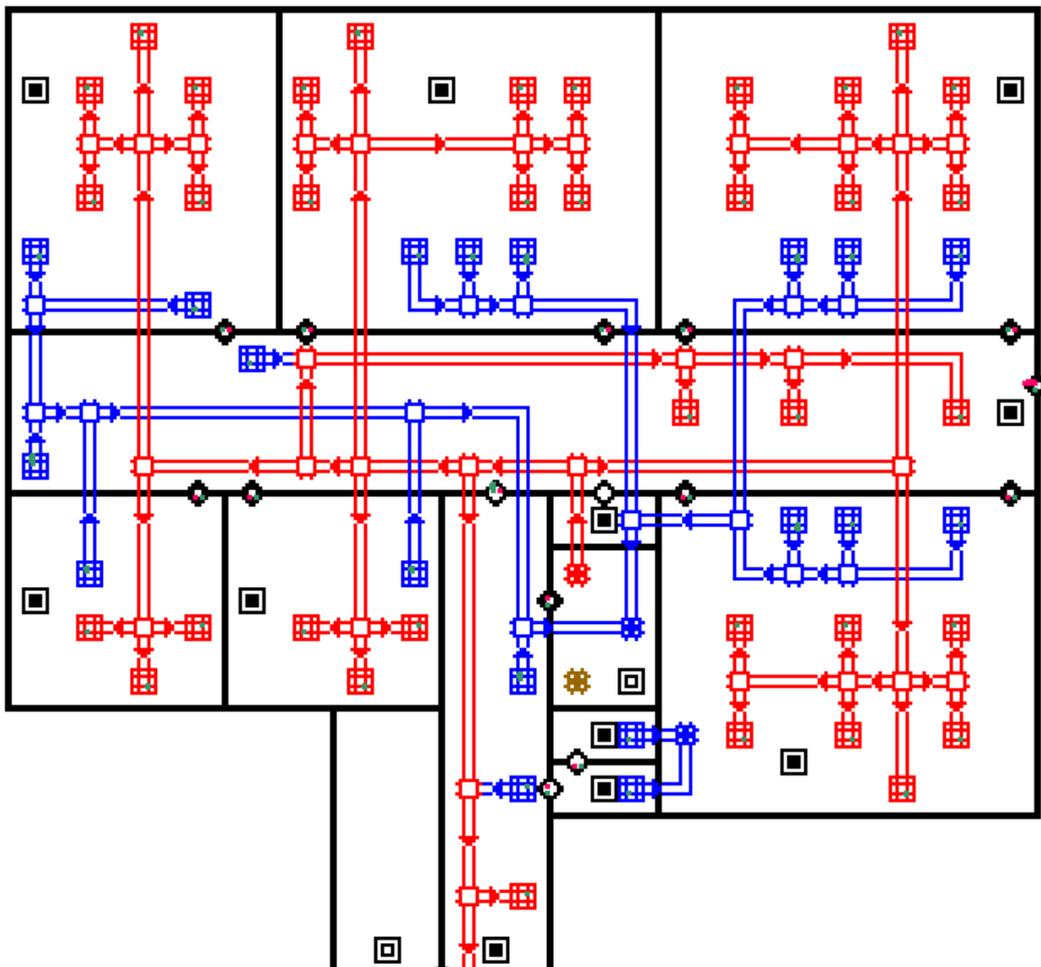


Figura 5.2. Planta 5 con la representación de los flujos y pérdidas de carga entre las distintas zonas.

## 5. Casos realizados

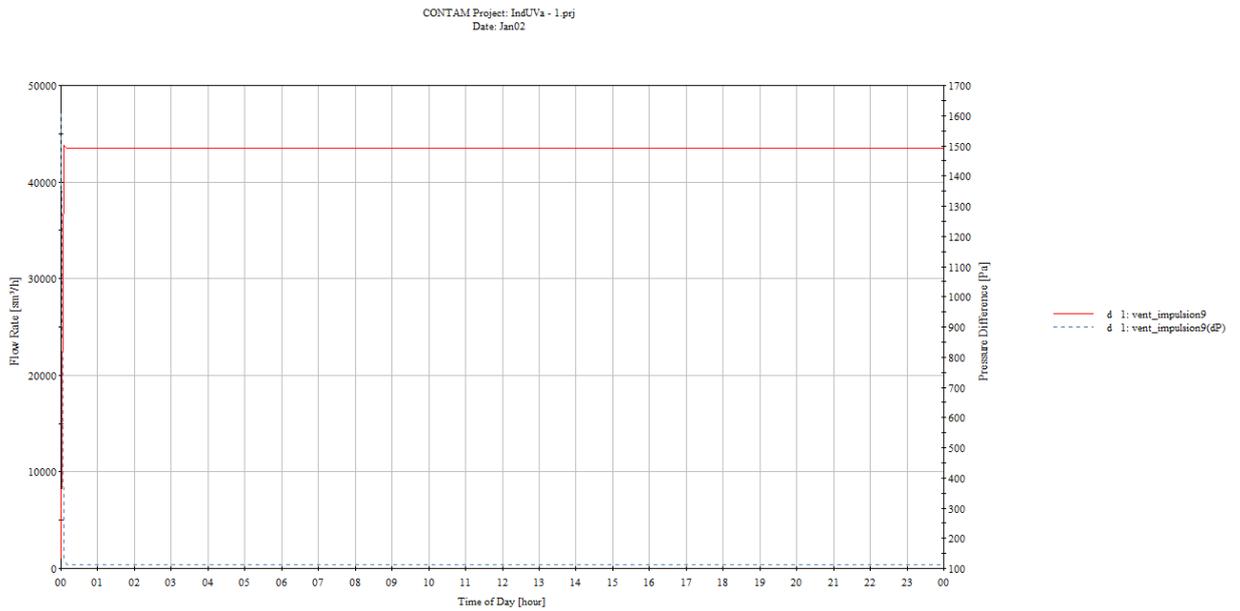


Figura 5.3 Gráfico del ventilador de impulsión, caudal y diferencia de presión.

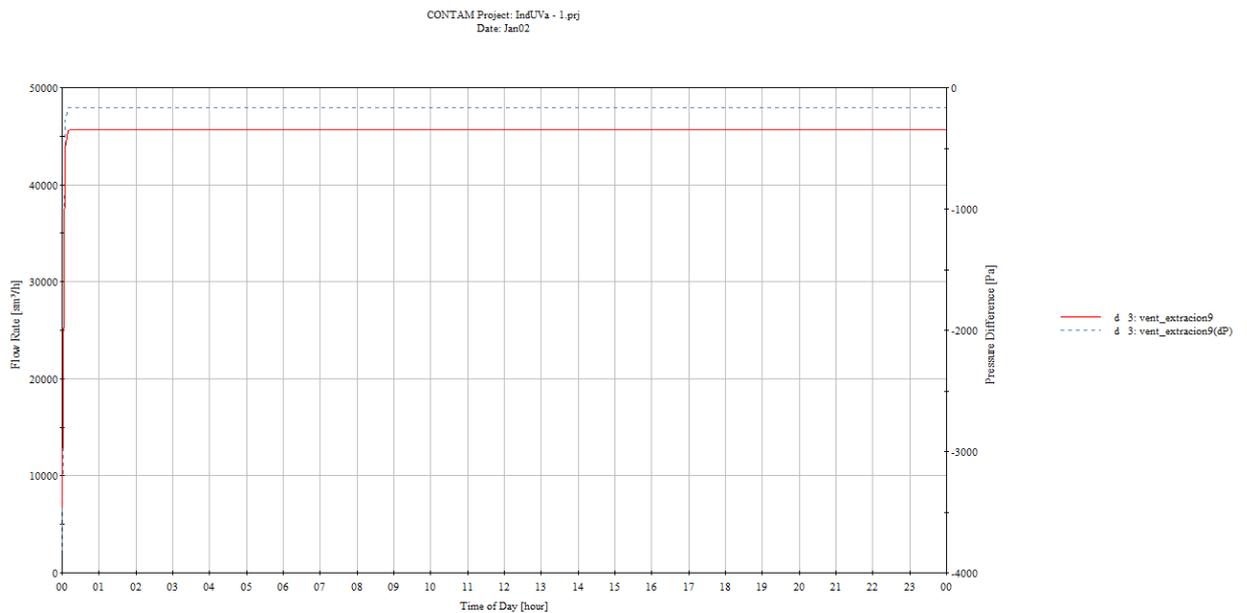


Figura 5.4. Gráfico del ventilador de extracción, caudal y diferencia de presión.

De los resultados obtenidos de la simulación, conocemos que el edificio se encuentra en depresión durante un instante del horario como el simulado. Esta depresión se da tanto en las zonas comunes como las aulas.

Las aulas tienen una mayor depresión que los pasillos exceptuando algún aula que tiene valores muy cercanos o mayores de presión con respecto al pasillo.

## 5. Casos realizados

Estos valores de depresión son debidos a que se extrae más caudal de aire del que se impulsa. El ventilador de impulsión introduce menos caudal que el que extrae el ventilador de extracción funcionando cada uno en su punto de funcionamiento.

En la situación simulada es condición que todas las aulas se encuentran operativas, es decir, se está simulando una situación extrema dentro de las condiciones de diseño.

Esta simulación, se ha utilizado para la comprobación del correcto dimensionamiento de la instalación. Se han podido conocer las pérdidas de carga de cada conducto de la instalación y la diferencia de presiones en los ventiladores necesaria. Esto se comprobó impulsando un caudal constante con el ventilador, y así poder comprobar que el caudal que llega a cada zona y la pérdida de carga de cada conducto es la calculada.

### **Simulación-2 Horario lectivo. Puertas aulas abiertas**

Esta simulación trata el comportamiento del sistema durante un periodo de tiempo como puede ser un descanso o cambio de clase. Por esta razón las puertas de las aulas se encuentran abiertas. Las puertas al exterior del edificio se encuentran cerradas.

El estudio se centra en las pérdidas de carga en las puertas de las aulas así como los flujos de aire.

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtengan en presión diferencial entre su salida y entrada de aproximadamente 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de aproximadamente 170 Pa entre su salida y entrada.

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación con aporte de aire a todas las plantas del edificio. Las puertas de las aulas se encuentran abiertas simulando un momento durante el horario lectivo. El edificio se encuentra con las puertas al exterior cerradas.

Las compuertas en la impulsión están abiertas en todas las plantas, por tanto todas las plantas reciben un caudal de aire de la impulsión. Todas las plantas están conectadas a la extracción porque no existen compuertas en el sistema de retorno.

En esta situación, el caudal impulsado por el ventilador de impulsión 29501,1 m<sup>3</sup>/h, mientras que el caudal de extracción es de 30554,4 m<sup>3</sup>/h, por tanto el edificio se encuentra en depresión.

## 5. Casos realizados

En cada planta se introduce un caudal entre 5485 m<sup>3</sup>/h y 4800 m<sup>3</sup>/h, exceptuando la planta baja en la que el caudal introducido es menor, de 3300 m<sup>3</sup>/h.

Los caudales de extracción por planta varían entre 7890 m<sup>3</sup>/h y 3900 m<sup>3</sup>/h, exceptuando la planta baja en la que el caudal introducido es menor, de 3030 m<sup>3</sup>/h.

Dentro de cada aula se da una depresión entorno a los 173 Pa y 164 Pa dependiendo del aula. Los valores de depresión son prácticamente iguales en cada aula.

En los pasillos de cada planta el valor de la depresión es de entre 173 Pa y 164 Pa. Por tanto, toda la planta se encontrará a la misma presión.

Entre estas aulas y el pasillo, las puertas del aula se encuentran abiertas por tanto existirá una pérdida de carga mínima. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es del orden de 10<sup>-3</sup> Pa y 10<sup>-4</sup> Pa. Y el caudal a través de la puerta se encuentra entre los 475 m<sup>3</sup>/h y 150 m<sup>3</sup>/h.

En cada planta hay algún aula que tienen una presión levemente mayor que el pasillo. Las aulas 1 y 6 correspondientes en cada planta. En este caso las aulas se encuentran con una leve sobrepresión respecto al pasillo del orden de 10<sup>-2</sup>. El resto de las aulas se encuentran en depresión respecto al pasillo con valores del orden 10<sup>-2</sup>.

Las puertas de incendio que conectan los pasillos con el exterior, también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entre 170 Pa. Y el caudal a través de la puerta ronda los 70 m<sup>3</sup>/h.

Las puertas exteriores de la planta baja que conectan los pasillos con el exterior, se encuentran cerradas y también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas puertas y el pasillo se encuentra entre los 85 Pa y 81 Pa. Y el caudal a través de la puerta ronda los 48 m<sup>3</sup>/h. Estos valores son de 81 Pa para la puerta exterior y de 81 Pa para la contrapuerta.

La velocidad media del aire a través de la sección del conducto no supera los 10 m/s en ningún conducto.

## 5. Casos realizados

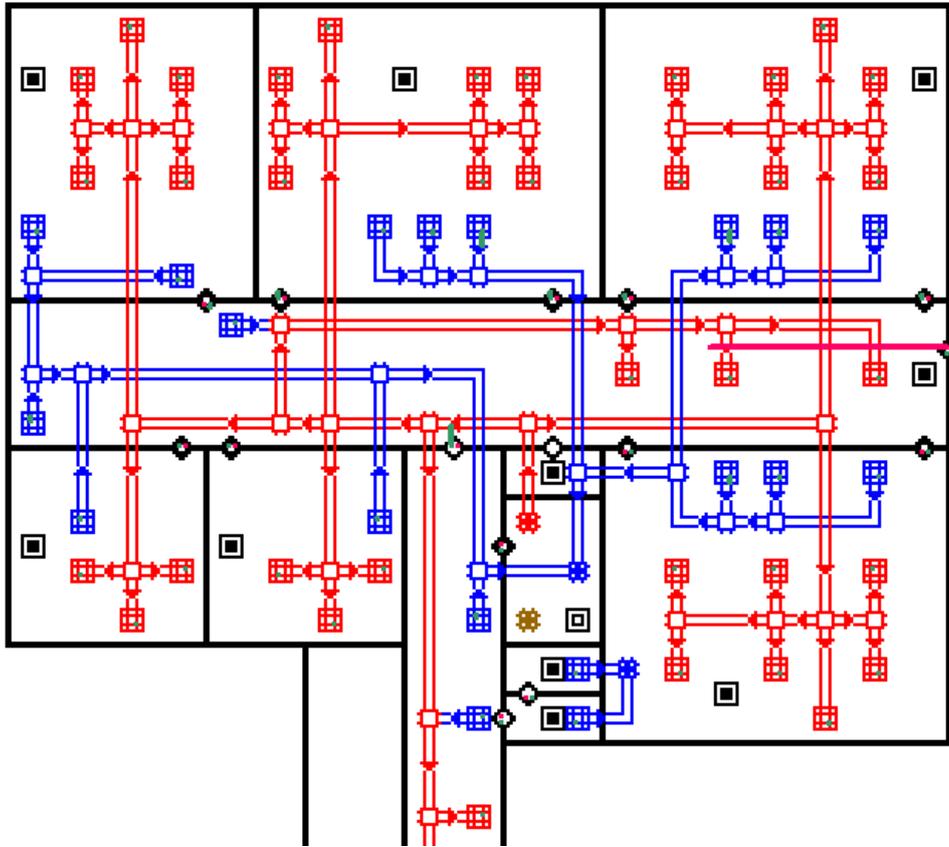


Figura 5.5. Planta 5 con la representación de los flujos y pérdidas de carga entre las distintas zonas.

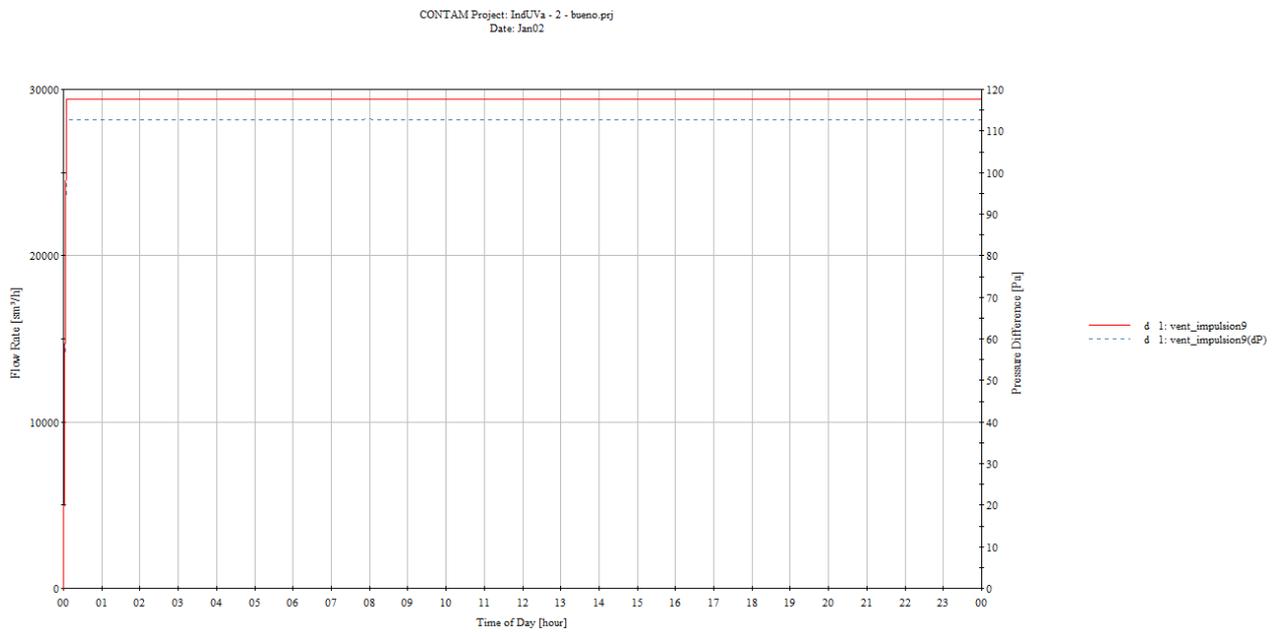


Figura 5.6. Gráfico del ventilador de impulsión, caudal y diferencia de presión.

## 5. Casos realizados

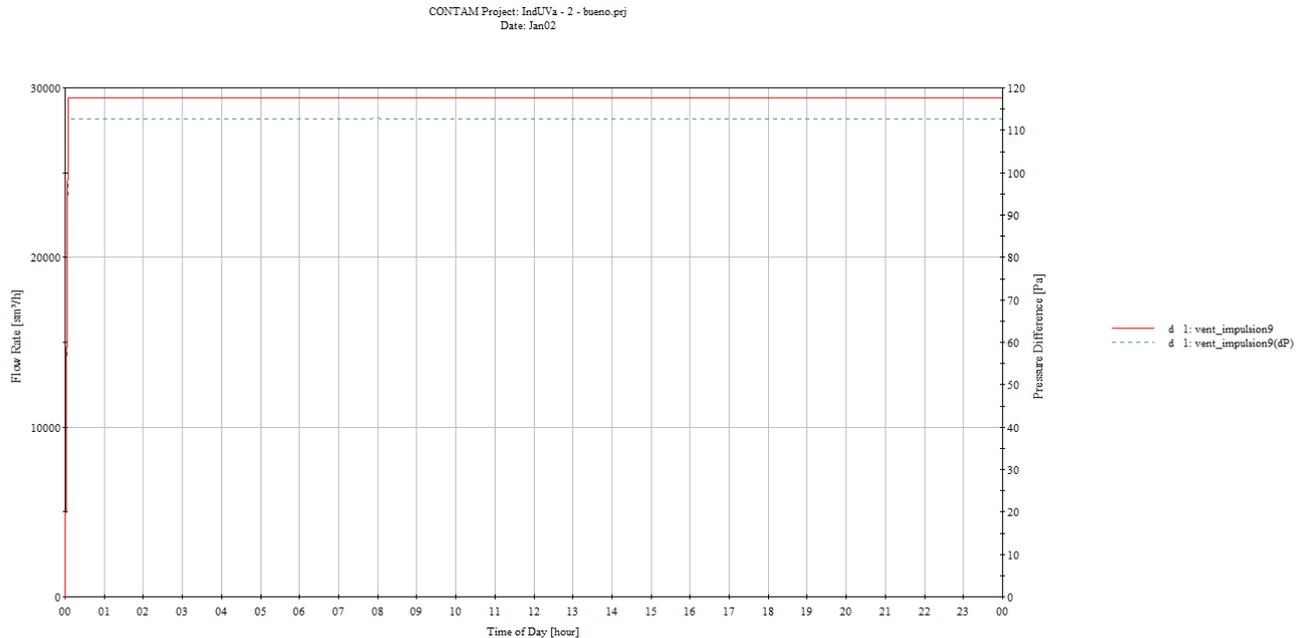


Figura 5.7. Gráfico del ventilador de extracción, caudal y diferencia de presión

De los resultados obtenidos de la simulación, conocemos que el edificio se encuentra en depresión durante un instante del horario como el simulado. Esta depresión se da tanto en las zonas comunes como las aulas.

Las aulas tienen una mayor depresión que los pasillos exceptuando algún aula que tiene valores muy cercanos o mayores de presión con respecto al pasillo.

Estos valores de depresión son debidos a que se extrae más caudal de aire del que se impulsa. El ventilador de impulsión introduce menos caudal que el que extrae el ventilador de extracción funcionando cada uno en su punto de funcionamiento.

En comparación con la simulación 1, los caudales tanto de impulsión, como de retorno son menores para la misma condición de presión estática, por esta razón ambos ventiladores están trabajando a un régimen de giro menor.

También en comparación con la simulación 1, las pérdidas de carga en las secciones de las puertas de las aulas al pasillo son menores, prácticamente nulas. Sin embargo los flujos de aire a través de estas puertas son mucho mayores.

En la situación simulada es condición que todas las aulas se encuentran operativas, es decir, se está simulando una situación extrema dentro de las condiciones de diseño.

## 5. Casos realizados

En el caso de esta simulación, se ha utilizado para la comprobación del correcto dimensionamiento de la instalación. Se han podido conocer las pérdidas de carga de la instalación y la diferencia de presiones en los ventiladores necesaria. Esto se comprobó impulsando un caudal constante con el ventilador, y así poder comprobar que el caudal que llega a cada zona y la pérdida de carga de cada conducto es la calculada.

### **Simulación-3 Compuerta de una planta cerrada**

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación para su posterior comparación. En esta simulación se estudia la posibilidad de cerrar la compuerta de una planta en horas lectivas con poca ocupación, debido a que así se podrían reorganizar en un número determinado de aulas.

Se estudia la posibilidad de cerrar una de las plantas superiores como es la 5ª planta y la posibilidad de cerrar una de las plantas inferiores como puede ser la 1º planta. Una vez realizadas las simulaciones se compararan las ventajas y desventajas de ambas posibilidades.

Nos centramos en el estudio de las pérdidas de carga en las puertas de las aulas así como los flujos de aire.

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación con aporte de aire a todas plantas del edificio exceptuando una. Las aulas se encuentran cerradas simulando un momento durante el horario lectivo. El edificio se encuentra con las puertas al exterior cerradas.

#### - Compuerta 5ª planta cerrada

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtengan en presión diferencial entre su salida y entrada de aproximadamente 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de aproximadamente 170 Pa entre su salida y entrada.

En esta situación, el caudal impulsado por el ventilador de impulsión 21030 m<sup>3</sup>/h, mientras que el caudal de extracción es de 21390 m<sup>3</sup>/h, por tanto el edificio se encuentra en depresión.

En cada planta se introduce un caudal entre 5024 m<sup>3</sup>/h y 4382 m<sup>3</sup>/h, exceptuando la planta baja en la que el caudal introducido es menor, de 2190 m<sup>3</sup>/h.

Los caudales de extracción por planta varían entre 4758 m<sup>3</sup>/h y 2664 m<sup>3</sup>/h, siendo el de la planta cerrada 900 m<sup>3</sup>/h.

## 5. Casos realizados

Dentro de cada aula se da una depresión entorno a los 40 Pa y 185 Pa dependiendo del aula. Los valores de presión son distintos en cada aula, pero similares entre aulas con la misma posición pero distinto aula.

En los pasillos de cada planta el valor de la depresión es de entre 170 Pa y 160 Pa. En las aulas de la planta cerrada se alcanza una depresión de 170 Pa.

Las puertas de incendio que conectan los pasillos con el exterior, también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entre 170 Pa y 160 Pa, aumentando a medida que se descienden plantas del edificio. Y el caudal a través de la puerta es del orden de  $10^{-6}$ .

Las puertas exteriores de la planta baja que conectan los pasillos con el exterior, se encuentran cerradas y también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas puertas y el pasillo se encuentra entre los 82 Pa y 86 Pa. Y el caudal a través de la puerta ronda los 42 m<sup>3</sup>/h. Estos valores son de 82 Pa para la puerta exterior y de 86 Pa para la contrapuerta.

Entre estas aulas y el pasillo, las puertas del aula se encuentran cerradas por tanto existirá una pérdida de carga. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entre 10 Pa y 60 Pa. Y el caudal a través de la puerta se encuentra entre los 50 m<sup>3</sup>/h y 20 m<sup>3</sup>/h.

Es significativo que el menor valor de pérdida de carga se produce en la planta baja donde la presión entre el pasillo y las aulas es muy similar y solo difiere en 7 Pa. En el resto de plantas exceptuando la que se encuentra cerrada, el valor de la pérdida de carga varía en 60 Pa, que es la diferencia de presiones entre el pasillo y las aulas.

### - Compuerta 1ª planta cerrada

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtengan en presión diferencial entre su salida y entrada de 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de 170 Pa entre su salida y entrada.

En esta situación, el caudal impulsado por el ventilador de impulsión 13320 m<sup>3</sup>/h, mientras que el caudal de extracción es de 14460 m<sup>3</sup>/h, por tanto el edificio se encuentra en depresión.

En cada planta se introduce un caudal entre 3180 m<sup>3</sup>/h y 2640 m<sup>3</sup>/h, exceptuando la planta baja en la que el caudal introducido es menor, de 2010 m<sup>3</sup>/h.

## 5. Casos realizados

Los caudales de extracción por planta varían entre 3390 m<sup>3</sup>/h y 2070 m<sup>3</sup>/h. En la planta cerrada el valor del caudal es de 900 m<sup>3</sup>/h.

Dentro de cada aula se da una presión entorno a los 215 Pa y 160 Pa dependiendo del aula. Los valores de presión son distintos en cada aula, pero similares entre aulas con la misma posición pero distinto aula. En la planta cerrada los valores de depresión son de 225 Pa, al igual que el pasillo.

En los pasillos de cada planta el valor de la depresión es de entre 220 Pa y 215 Pa.

Las puertas de incendio que conectan los pasillos con el exterior, también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entorno 215 Pa y 220 Pa, aumentando a medida que se descienden plantas del edificio. Y el caudal a través de la puerta es del orden de 80 m<sup>3</sup>/h.

Las puertas exteriores de la planta baja que conectan los pasillos con el exterior, se encuentran cerradas y también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas puertas y el pasillo se encuentra entre los 108 Pa y 114 Pa. Y el caudal a través de la puerta ronda los 57 m<sup>3</sup>/h. Estos valores son de 108 Pa para la puerta exterior y de 114 Pa para la contrapuerta.

Entre estas aulas y el pasillo, las puertas del aula se encuentran cerradas por tanto existirá una pérdida de carga. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entre 5 Pa y 50 Pa. Y el caudal a través de la puerta se encuentra entre los 9 m<sup>3</sup>/h y 36 m<sup>3</sup>/h.

En comparativa de ambas simulaciones se deduce que es más económico el cerrar la compuerta de la 1ª planta en vez de la 5ª planta porque se produce un ahorro de aproximadamente 7000 m<sup>3</sup>/h.

Sin embargo, en la simulación del cierre de la compuerta de la 1ª planta las aulas se encuentran en mayor depresión con respecto al cierre de la 5ª planta. Esto se debe a que es mayor la diferencia entre el caudal de impulsión y el de extracción.

### **Simulación-4 Horario lectivo. Puertas aulas abiertas y puertas de emergencia abiertas**

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación ante un momento de intercambio de clase pero añadiendo la apertura de las puertas de emergencia de todas las aulas.

## 5. Casos realizados

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtengan en presión diferencial entre su salida y entrada de 100 Pa.

En el caso del ventilador de extracción no fue posible conseguir una diferencia de presión de 170 Pa. La diferencia de presión conseguida fue de 3 Pa.

En esta situación, el caudal impulsado por el ventilador de impulsión 56220 m<sup>3</sup>/h, mientras que el caudal de extracción es de 50490 m<sup>3</sup>/h. En cada planta se introduce un caudal entre 10530 m<sup>3</sup>/h y 9630 m<sup>3</sup>/h, exceptuando la planta baja en la que el caudal introducido es menor, de 6810 m<sup>3</sup>/h.

Los caudales de extracción por planta varían entre 13290 m<sup>3</sup>/h y 11820 m<sup>3</sup>/h, siendo el de la planta baja de 5400 m<sup>3</sup>/h.

Dentro de cada aula se da una presión de entre 3 Pa y -3 Pa dependiendo del aula. Los valores de presión son distintos en cada aula, similares en aulas de la misma planta. El valor de la presión va descendiendo a medida que descendemos plantas teniendo depresión en las 3 plantas más bajas.

En los pasillos de cada planta el valor de la presión es de entre 3 Pa y -3 Pa. El comportamiento del pasillo es similar al comportamiento de las aulas de su planta.

Las puertas de incendio que conectan los pasillos con el exterior, también tienen una pequeña pérdida de carga. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es entre 3 Pa y -3 Pa, aumentando a medida que se descienden plantas del edificio. Y el caudal a través de la puerta es de entre 8610 m<sup>3</sup>/h y 23610 m<sup>3</sup>/h.

Las puertas exteriores de la planta baja que conectan los pasillos con el exterior, se encuentran cerradas y también tienen una pérdida de carga debido a que el edificio se encuentra en depresión. El valor de la pérdida de carga entre estas puertas y el pasillo se encuentra 2 Pa. Y el caudal a través de la puerta es de 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/h.

Entre estas aulas y el pasillo, las puertas del aula se encuentran abiertas por tanto existirá una mínima pérdida de carga. El valor de la pérdida de carga entre estas aulas y el pasillo es del orden de 10<sup>-5</sup> Pa. Y el caudal a través de la puerta es del orden de 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/h.

En esta simulación no se han podido alcanzar las condiciones de diseño del ventilador de extracción, es decir, no se han podido alcanzar la diferencia de presión de 170 Pa. Esto es debido a la igualdad de presiones entre el exterior y el interior del edificio debido a que se encuentran abiertas todas las puertas de emergencia.

### Simulación-5 Variación del caudal en función de las aulas abiertas

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación ante la posibilidad de cerrar la compuerta de las aulas en horas con pocas clases. Se estudia la posibilidad de cerrar la compuerta de una serie de aulas para así poder conocer como varía el caudal impulsado en función de las aulas que se encuentran abiertas. Nos centramos en el estudio de las pérdidas de carga en las puertas de las aulas.

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación con aporte de aire a un número determinado de aulas que se modificará para el estudio del caudal. Las aulas se encuentran cerradas simulando un momento durante el horario lectivo. El edificio se encuentra con las puertas al exterior cerradas.

Una vez realizadas las simulaciones se compararan las ventajas y desventajas de ambas posibilidades.

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtengan en presión diferencial entre su salida y entrada de 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de 170 Pa entre su salida y entrada.

Para todas las compuertas de las aulas abiertas, un total de 34, se obtuvo un caudal de impulsión de 43620 m<sup>3</sup>/h y un caudal de extracción de 44640 m<sup>3</sup>/h.

Para un total de 22 compuertas de aulas abiertas, permaneciendo cerradas las de las plantas superiores, se obtuvo un caudal de impulsión de 38400 m<sup>3</sup>/h y un caudal de extracción de 39900 m<sup>3</sup>/h.

Para un total de 16 compuertas de aulas abiertas, permaneciendo cerradas las de las plantas superiores, se obtuvo un caudal de impulsión de 29190 m<sup>3</sup>/h y un caudal de extracción de 30000 m<sup>3</sup>/h.

Para un total de 4 compuertas de aulas abiertas, permaneciendo cerradas todas las plantas excepto la baja, se obtuvo un caudal de impulsión de 16590 m<sup>3</sup>/h y un caudal de extracción de 17550 m<sup>3</sup>/h.

Esta simulación ha permitido conocer los valores de caudal para distintos números de clase abiertas lo que se puede relacionar con la relación con la potencia obtenida.

$$\dot{W} = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

Siendo:

## 5. Casos realizados

$\dot{W}$ : Potencia de la bomba (vatios)

$\rho$ : Densidad ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$g$ : Gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$Q$ : Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H$ : Altura (m)

$\eta$ : Rendimiento

De esta manera conocemos que para el total de las aulas abiertas, la potencia es el 100%. Por tanto para un total de 22 aulas abiertas se utiliza el 88% de la potencia total, mientras que para un total de 16 aulas abiertas la potencia es de 68% y para un total de 4 aulas abiertas es de 38%.

### Simulación-6 Respuesta transitoria

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación y su respuesta ante variaciones debidas modificaciones en el propio sistema. En esta simulación se trata la respuesta transitoria de los ventiladores al cerrar la compuerta de un aula.

Por esta razón se programa el cierre de la compuerta de impulsión al aula 5.3 de la 5ª planta.

Las aulas se encuentran cerradas simulando un momento durante el horario lectivo. El edificio se encuentra con las puertas al exterior cerradas.

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtengan en presión diferencial entre su salida y entrada de aproximadamente 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de aproximadamente 170 Pa entre su salida y entrada.

El estudio se centra en la respuesta transitoria de los ventiladores de impulsión y extracción.

El ventilador de impulsión impulsa un caudal de 43620  $\text{m}^3/\text{h}$  antes del cierre de la compuerta, y un caudal de 41610  $\text{m}^3/\text{h}$  después del cierre de la compuerta.

El ventilador de extracción retorna un caudal de 44670  $\text{m}^3/\text{h}$  antes del cierre de la compuerta, y un caudal de 42600  $\text{m}^3/\text{h}$  después del cierre de la compuerta.

## 5. Casos realizados

El ventilador de impulsión debe retomar una diferencia de presión de 100 Pa después del cierre de la compuerta para adaptarse a la modificación en el circuito.

El tiempo que tarda en adaptarse a la modificación del circuito es menor de 10 minutos.

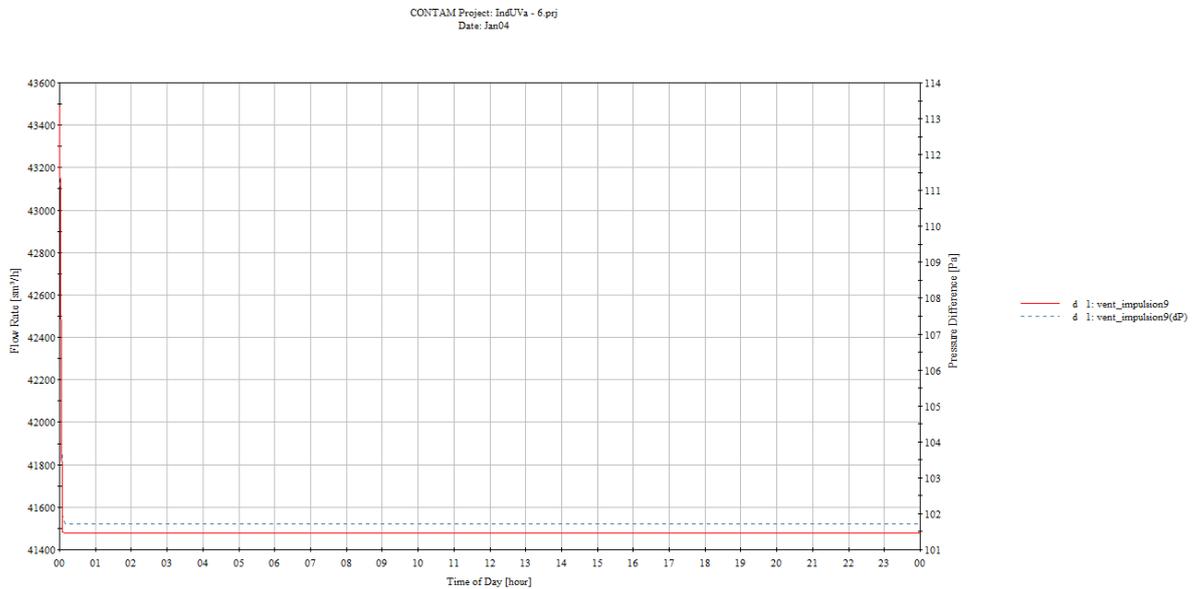


Figura 5.8. Respuesta transitoria del caudal y diferencia de presión en la impulsión

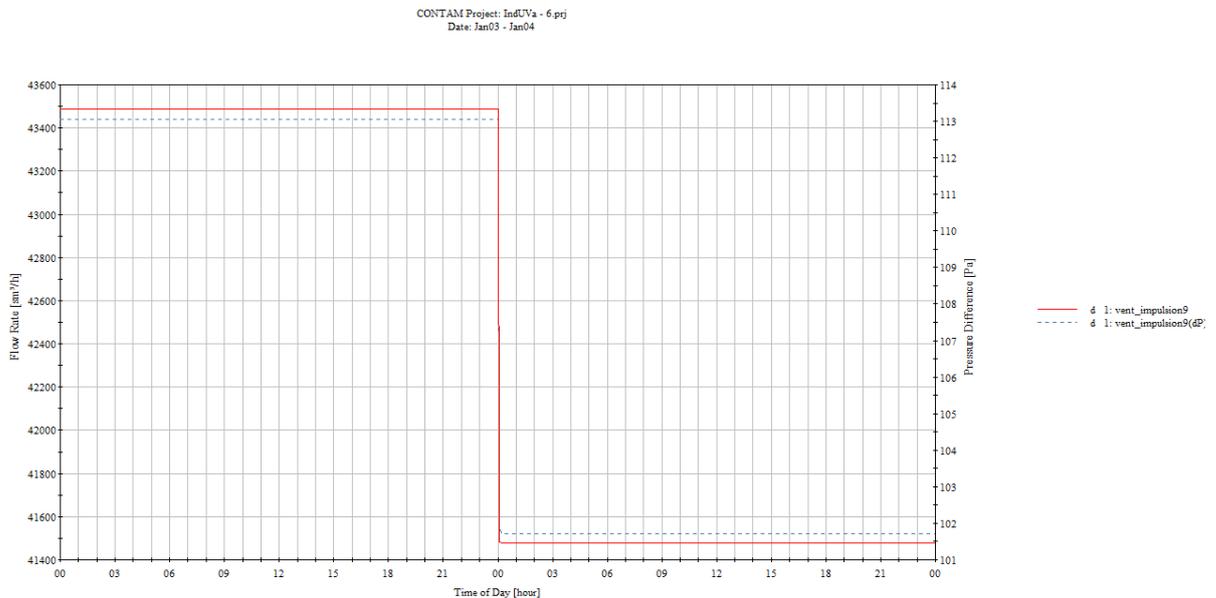


Figura 5.9. Respuesta transitoria del caudal y diferencia de presión en la impulsión

## 5. Casos realizados

El ventilador de extracción debe retomar una diferencia de presión de 170 Pa después del cierre de la compuerta para adaptarse a la modificación en el circuito.

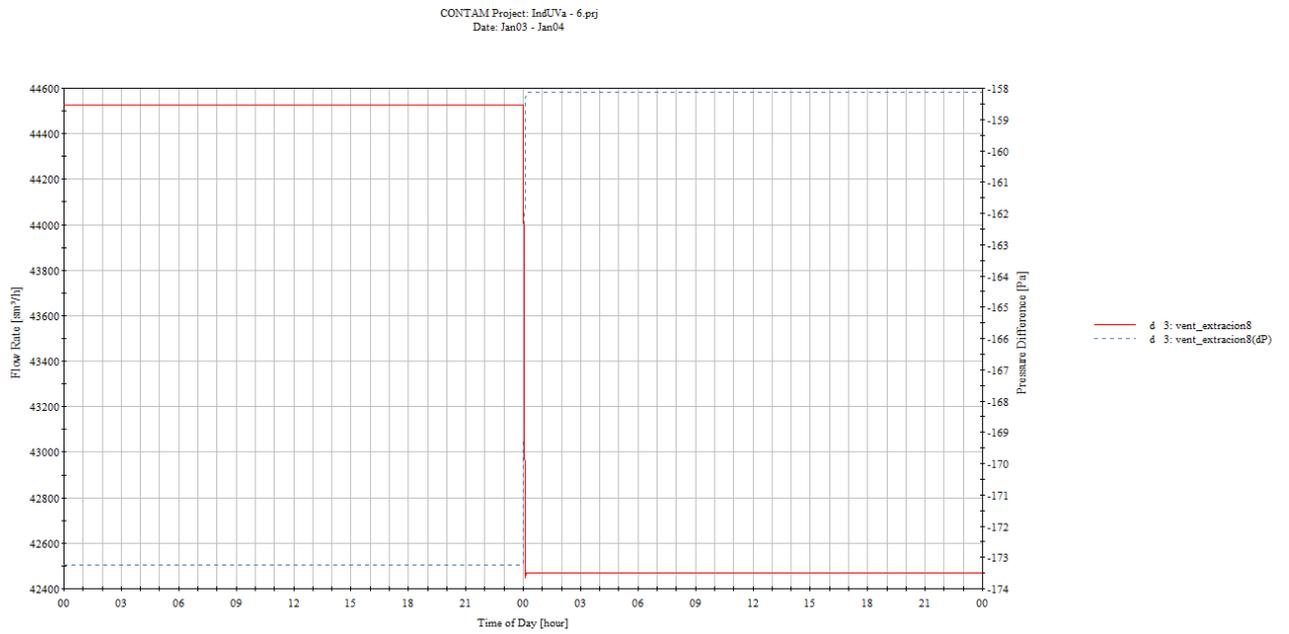


Figura 5.10. Respuesta transitoria del caudal y diferencia de presión en la extracción

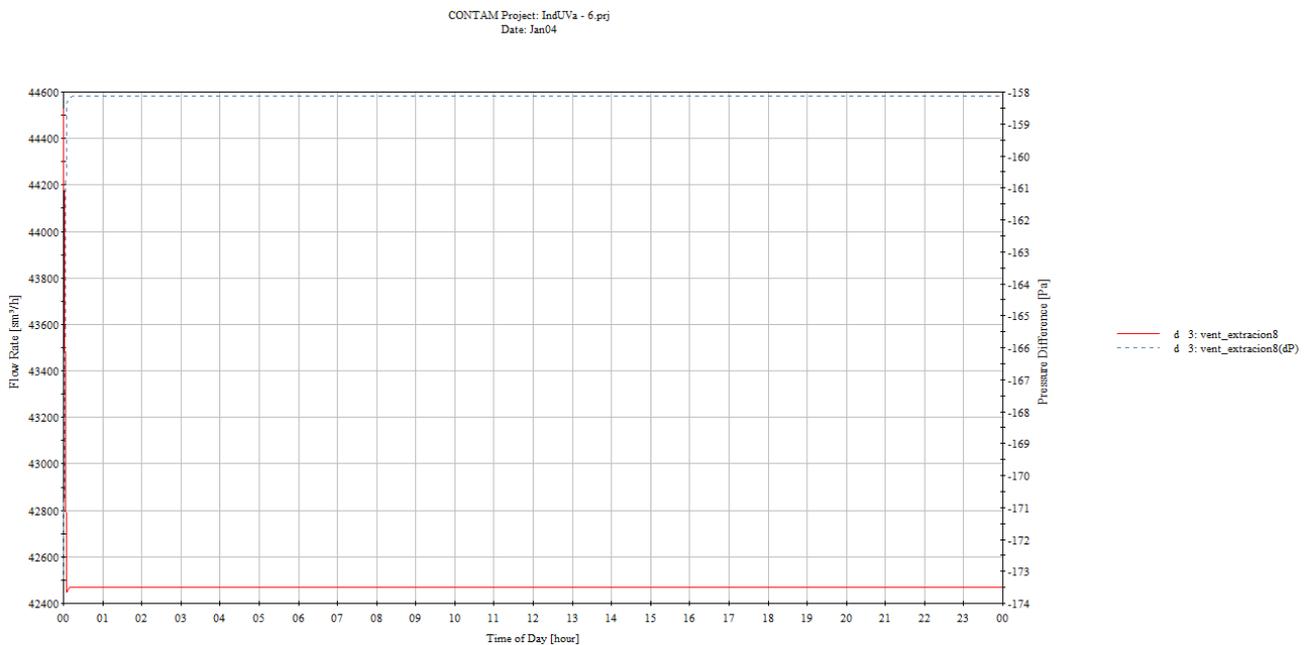


Figura 5.11. Respuesta transitoria del caudal y diferencia de presión en la extracción

## 5. Casos realizados

La respuesta obtenida al realizar la simulación con otras aulas grandes como la aula 5.3, pero situadas en otras plantas ha sido la misma. También se ha obtenido una respuesta similar con aulas de otro tamaño como son aulas pequeñas y medianas.

### **Simulación-7 Pozos canadienses**

Esta simulación se realiza para comparar los caudales de aire necesarios en función de la procedencia del aire, si procede de los pozos canadienses o de la toma situada de la climatizadora en la cubierta.

Esta simulación trata el comportamiento del sistema de ventilación con aporte de aire a todas las plantas del edificio. Las aulas se encuentran con sus puertas abiertas. El edificio se encuentra con las puertas al exterior cerradas.

Las compuertas en la impulsión están abiertas en todas las plantas, por tanto todas las plantas reciben un caudal de aire de la impulsión. Todas las plantas están conectadas a la extracción porque no existen compuertas en el sistema de retorno.

El estudio se centra en los caudales de aire y su procedencia.

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtenga una presión diferencial entre su salida y entrada de 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de 170 Pa entre su salida y entrada.

La ventilación mediante aire procedente de la toma de la climatizadora situada en la cubierta requiere un caudal de impulsión de 23670 m<sup>3</sup>/h y un caudal de retorno de 24780 m<sup>3</sup>/h.

## 5. Casos realizados

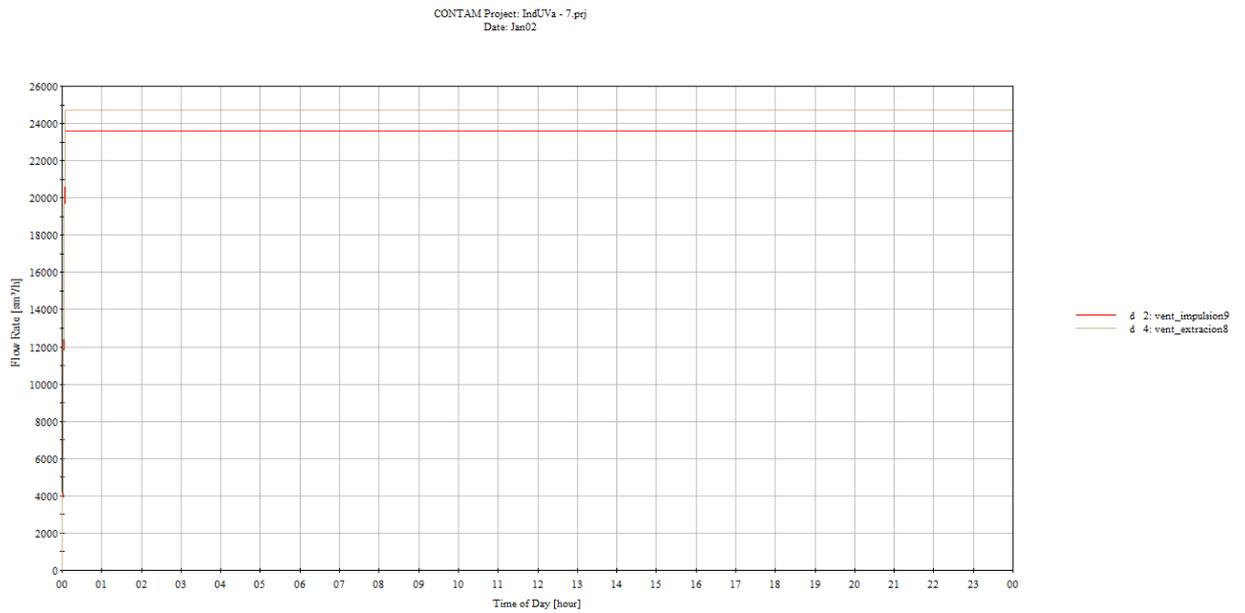


Figura 5.12. Caudales de impulsión y retorno procedentes de la cubierta

La ventilación mediante aire procedente de los pozos canadienses requiere un caudal de impulsión de 29430 m<sup>3</sup>/h y un caudal de retorno de 30540 m<sup>3</sup>/h.

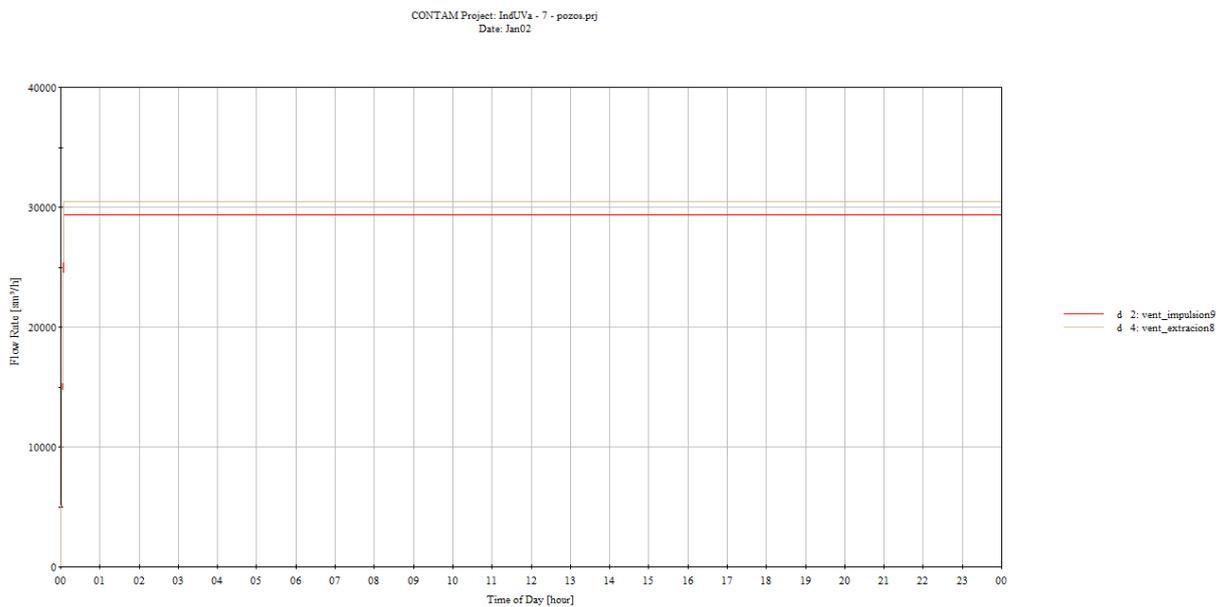


Figura 5.13. Caudales de impulsión y retorno procedentes de los pozos canadienses

## 5. Casos realizados

Los valores de presión obtenidos en las plantas son similares para ambas simulaciones y se encuentran alrededor de los 195 Pa en depresión.

En el caso de la impulsión de aire obtenido de la cubierta se mueve un menor caudal de aire, tanto en la impulsión como en la extracción, con respecto al caso de impulsión de aire obtenido de los pozos canadienses.

Desde este punto de análisis resulta más económica la impulsión del aire desde la cubierta. Sin embargo en ciertos momentos durante el curso es muy importante tener en cuenta que el aire procedente de los pozos canadienses proviene ya atemperado.

Por esta razón lo más eficiente resulta combinar ambas impulsión con un porcentaje adecuado para obtener las ventajas de ambas.

### **Simulación-8 Apertura de puertas**

Esta simulación estudia la respuesta del sistema de ventilación y un aula ante la apertura de una de las puertas del aula. Se trata de simular la apertura de un aula en mitad de una clase. El edificio se encuentra con las puertas al exterior cerradas.

Las compuertas en la impulsión están abiertas en todas las plantas, al igual que todas las compuertas de las aulas, por tanto todas las plantas reciben un caudal de aire de la impulsión. Todas las plantas están conectadas a la extracción porque no existen compuertas en el sistema de retorno.

Nos centramos en el estudio de las pérdidas de carga producidas en las puertas del aula y los flujos de aire a través de esta.

Para realizar esta simulación, el ventilador de impulsión se configuró para que se obtengan en presión diferencial entre su salida y entrada de 100 Pa.

Del mismo modo, el ventilador de extracción se configura de modo que se obtiene una diferencia de presiones de 170 Pa entre su salida y entrada.

Realizamos el caso sobre el aula 5.2. Esta aula tiene dos puertas, por tanto trataremos la apertura de una de ellas, y posteriormente la apertura de ambas de manera simultánea.

Realizando esta simulación con la apertura de ambas puertas del aula, el ventilador de impulsión impulsa un caudal de 29697 m<sup>3</sup>/h y el ventilador de retorno extrae un caudal de 30710 m<sup>3</sup>/h. Estos caudales son los mismos antes y después de apertura de las puertas del aula.

## 5. Casos realizados

La presión en aula antes de la apertura del aula es de -154,4 Pa y la del pasillo es de -149,9 Pa. El caudal de impulsión al aula por el sistema de ventilación es de 1200 m<sup>3</sup>/h y el de extracción de 1230 m<sup>3</sup>/h.

La presión en aula después de la apertura del aula es de -151,5 Pa y la del pasillo es de -151,5 Pa. El caudal de impulsión al aula por el sistema de ventilación es de 1101 m<sup>3</sup>/h y el de extracción de 3369 m<sup>3</sup>/h.

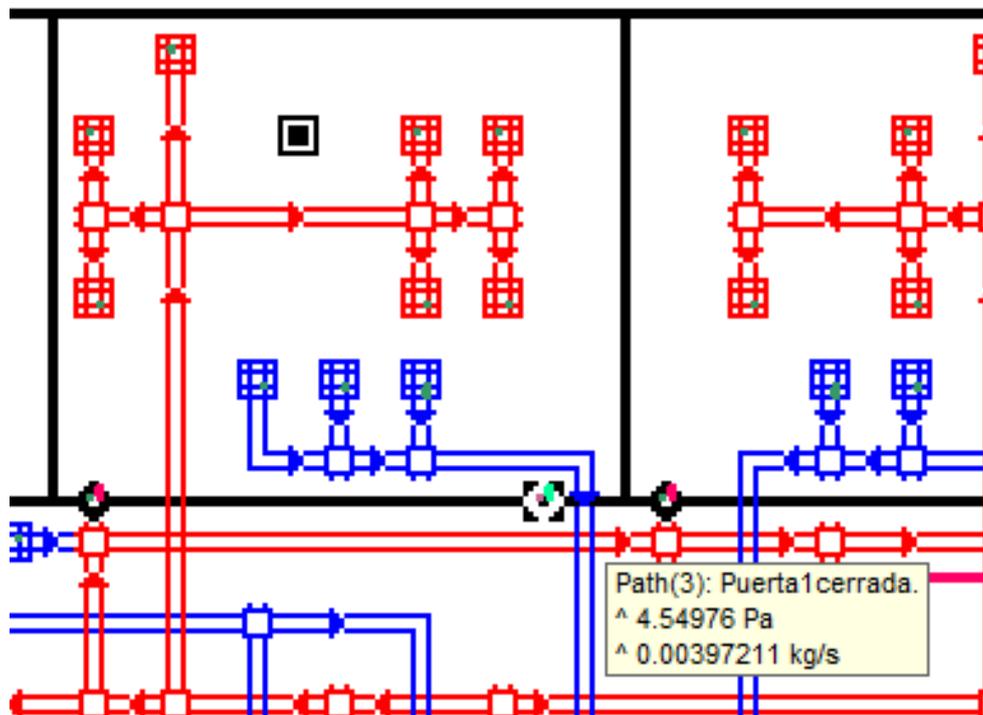


Figura 5.14. Valores de pérdida de carga y flujo de aire en puerta

## 5. Casos realizados

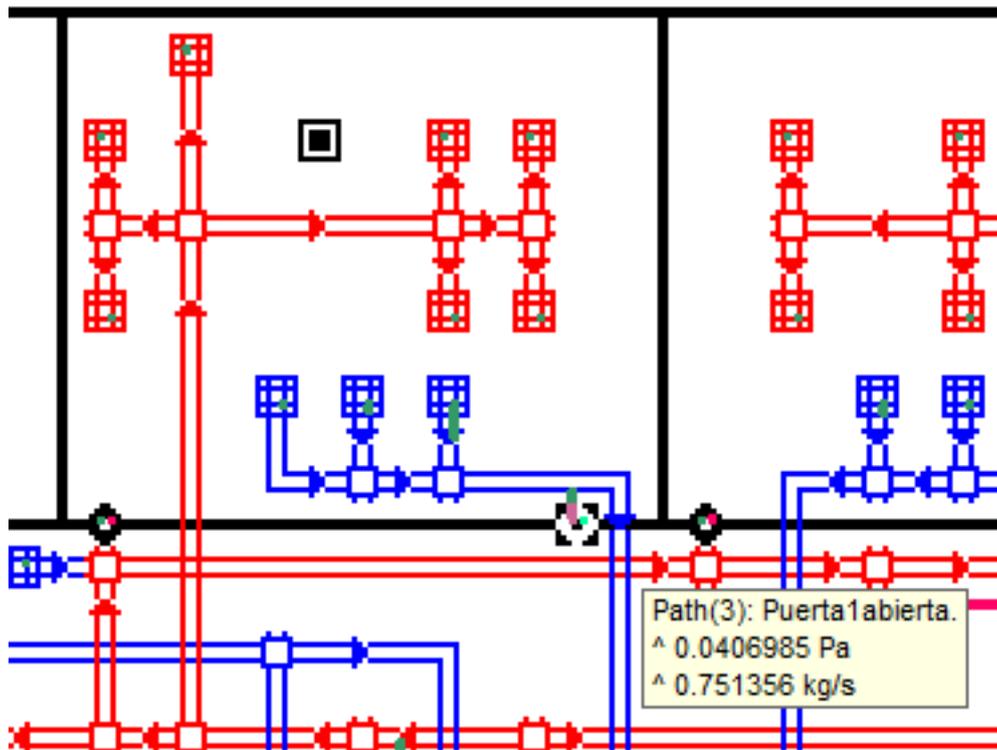


Figura 5.15. Valores de pérdida de carga y flujo de aire en puerta

Realizando esta simulación con la apertura de ambas puertas del aula, el ventilador de impulsión impulsa un caudal de 29697 m<sup>3</sup>/h y el ventilador de retorno extrae un caudal de 30710 m<sup>3</sup>/h. Estos caudales son los mismos antes y después de apertura de las puertas del aula.

La presión en aula antes de la apertura del aula es de -154,4 Pa y la del pasillo es de -149,9 Pa. El caudal de impulsión al aula por el sistema de ventilación es de 1200 m<sup>3</sup>/h y el de extracción de 1230 m<sup>3</sup>/h.

La presión en aula después de la apertura del aula es de -151,5 Pa y la del pasillo es de -151,5 Pa. El caudal de impulsión al aula por el sistema de ventilación es de 1101 m<sup>3</sup>/h y el de extracción de 3369 m<sup>3</sup>/h.

## 5. Casos realizados

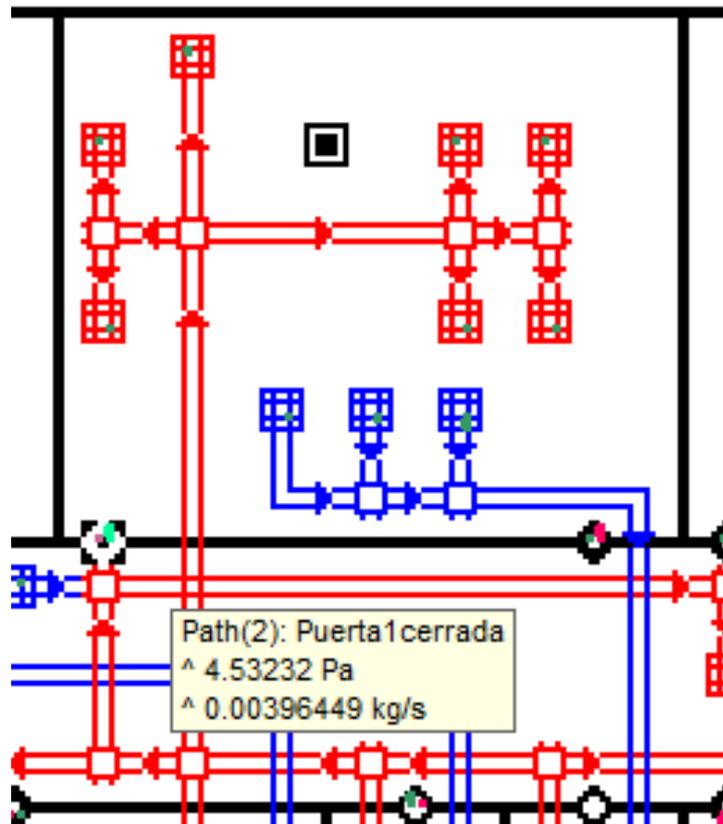


Figura 5.16. Valores de pérdida de carga y flujo de aire en puerta

## 5. Casos realizados

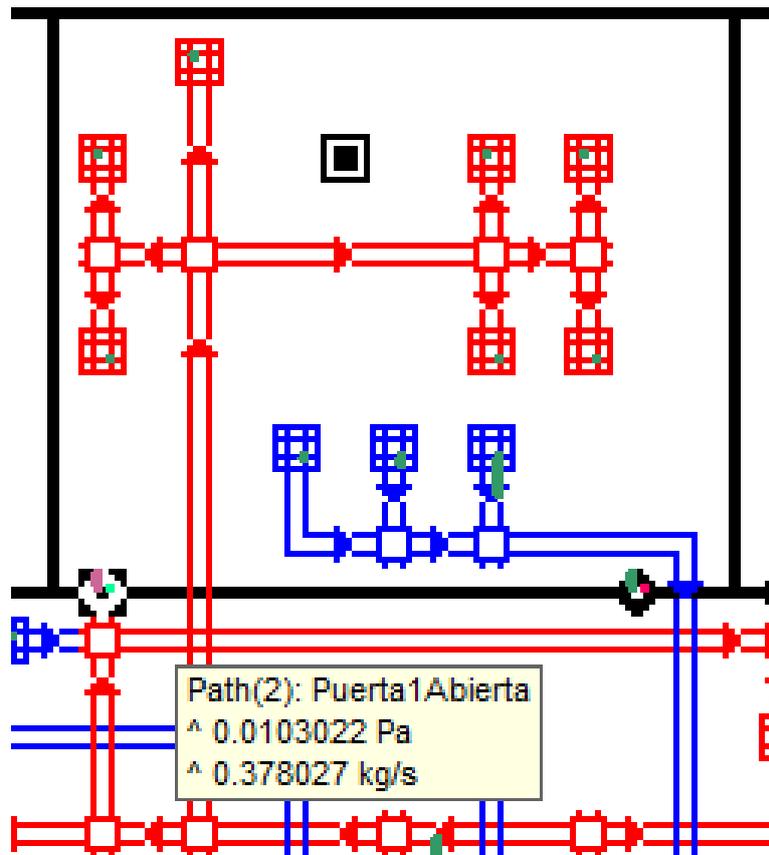


Figura 5.17. Valores de pérdida de carga y flujo de aire en puerta

Los resultados esperados han sido iguales ante la apertura de una puerta, así como la apertura de ambas puertas. Esto se debe a que el pasillo y el aula igualan sus presiones con igual rapidez en ambos casos.

En ambos casos, antes de la apertura de la puerta, la pérdida de carga debida al paso del aire a través de ella es mayor, no así el caudal de aire que la atraviesa el cual es muy pequeño.

Tras la apertura de la puerta o puertas, la pérdida de carga se reduce y el caudal de aire que atraviesa la puerta aumenta.

## 6. Conclusiones

Una vez realizado el presente trabajo de fin de grado, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Se ha modelado el sistema de ventilación del edificio Aulario IndUVA de la Universidad de Valladolid mediante un modelo zonal. Se han realizado simulaciones de la renovación de aire manteniendo la temperatura constante.
- Se han podido calcular las pérdidas de carga de la instalación utilizando la simulación de todos sus conductos mediante la expresión de Colebrook.
- Se ha profundizado en el conocimiento del funcionamiento del sistema de ventilación del edificio para distintas situaciones dentro del horario lectivo, observándose por ejemplo, que con el edificio al 100% de ocupación y todas las puertas de las aulas cerradas, las pérdidas de carga globales son mayores y por tanto, para los mismos requerimientos de ventilación, la cantidad de aire necesaria resulta mayor.
- Se ha comprobado que bajo situación de máxima ocupación, puertas de las aulas abiertas y puertas al exterior abiertas el caudal de impulsión requerido es el máximo. Por tanto se estima que en el caso de dejar las puertas al exterior cerradas el ahorro que se produce con respecto al sistema de ventilación es significativo.
- Se ha estudiado la respuesta transitoria del sistema de ventilación ante variaciones en el mismo. Se ha observado que el sistema tarda aproximadamente 10 minutos en alcanzar el estacionario de nuevo.
- Se ha comprobado que se produce un ahorro en la potencia consumida por los ventiladores al cerrar un número determinado de compuertas de aula, e igualmente en el caso de cierre de compuertas de plantas. Este ahorro podría llegar al 32% en el caso de utilización de la mitad del edificio.
- Se estudiado el funcionamiento del sistema cuando se utiliza solamente el aire que pasa a través de los pozos canadienses, observándose que para el mismo incremento de presión en los ventiladores se requiere un mayor aporte de caudal debido a la mayor pérdida de carga de los tubos. No obstante la ventaja en la

utilización de los pozos canadienses radica en el aspecto térmico, que no ha sido objeto de este trabajo.

- El sistema de ventilación está dimensionado para poder abarcar un amplio rango de condiciones de ocupación. Se ha observado que los ventiladores trabajan con mejor rendimiento cuando funcionan siempre ambos en paralelo, tanto en impulsión como en extracción.
- Se ha comprobado que con los parámetros de trabajo fijados, se cumple lo establecido por la normativa utilizada respecto a las condiciones de ventilación del edificio.

## 7. Bibliografía referenciada

[1] 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>

[2] Manual de uso CONTAM [en línea], enlace de descarga:

<https://www.nist.gov/publications/contam-user-guide-and-program-documentation-version-32>

[3] (2010) Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). Marcombo.

[4] F.J. Rey Martínez, E. Velasco Gómez (2007). Calidad de ambientes interiores. THOMSON.

[5] Catálogo virtual de productos TROX TECHNIK [en línea], enlace de descarga:

<https://www.trox.es/productos-c9bb7ba0a6956fa0>

[6] S&P, Manual práctico de ventilación [en línea]. Página web S&P [fecha de consulta: abril 2019]. Disponible en:

<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventilacion-natural/>

[7] Proyecto de ejecución Torre Aulario. Sede Mergelina de la Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid.

[8] DAIKIN, Catálogo de ventilación [en línea]. Página web daikin [fecha de consulta: Mayo 2019]. Disponible en:

[https://www.daikin.es/es\\_es/productos/D-AHU-Professional.html](https://www.daikin.es/es_es/productos/D-AHU-Professional.html)

[9] COMEFRI, Catálogo de ventilación [en línea]. Página web comefri [fecha de consulta: Mayo 2019]. Disponible en:

<https://www.comefri.com/NPA-NPA-ALU-series>

[10] Página web Escuela de Ingenierías Industriales Valladolid:  
<https://www.eii.uva.es/>

# Anexos

## Implementación de los ventiladores

-Ventilador primario impulsión y ventilador primario de extracción

Los ventiladores situados en el climatizador y utilizados para la impulsión y extracción son ventiladores COMEFRI de la serie NPA.

Los conos de entrada están diseñados para brindar el mejor rendimiento aerodinámico y alta eficiencia posibles para los diferentes tipos de ruedas. Es fundamental que el cono de entrada y el impulsor estén alineados con precisión. Los impulsores NPA se aseguran al eje a través de un cubo de acero. El orificio del cubo está maquinado con precisión e incorpora un chavetero y un tornillo de bloqueo.

El ventilador utilizado en la impulsión primaria es un COMEFRI NPA 900 utilizado como ventilador helicocentrífugo, de presión media.

El ventilador utilizado en la extracción primaria es un COMEFRI NPA 800 utilizado como ventilador helicocentrífugo, de presión media.



*Figura 1. Ventilador COMEFRI serie NPA.*

NPA 800											
[RPM]	Speed / Dirección / Velocidad	[m <sup>3</sup> /h]	Volume Flow / Volumenstrom / Débit / Portada	L <sub>total</sub>							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
500	7596	71	68	60	56	54	53	50	46	61	73
	9108	68	65	60	61	58	55	51	47	63	71
	9648	68	64	60	61	58	55	51	47	63	71
	11556	68	64	61	61	58	56	51	47	63	71
	13464	69	66	62	62	59	56	51	46	64	72
	14796	71	68	63	62	60	57	52	46	65	74
	16308	73	70	64	63	61	57	52	47	66	76
750	11376	84	82	76	68	64	61	61	57	73	87
	13644	78	79	73	70	68	65	63	58	74	82
	14508	73	80	73	70	69	65	63	58	74	82
	17352	72	80	74	71	69	66	63	58	74	82
	20196	75	81	75	72	70	66	63	58	75	83
	22176	76	82	77	72	71	67	64	58	76	85
	24444	78	84	78	73	72	68	65	59	77	86
1000	15156	84	89	81	76	73	70	69	65	80	91
	18180	77	87	78	75	75	72	70	65	80	88
	19332	76	87	78	75	75	72	69	65	80	88
	23112	79	90	80	76	75	72	70	64	81	91
	26892	81	92	82	77	76	73	71	64	82	93
	29556	83	91	83	78	77	74	72	65	83	93
	32580	87	93	86	80	78	75	73	66	85	95
1200	18180	87	91	81	80	78	75	73	70	86	95
	21816	80	86	91	79	79	76	74	69	86	93
	23184	80	84	91	80	79	76	74	69	86	93
	27756	83	86	93	81	80	76	74	69	87	95
	32292	85	88	96	82	81	77	75	69	89	97
	35460	86	90	95	83	81	78	76	70	89	97
	39096	88	92	96	84	82	79	77	71	90	98
1300	19692	89	93	93	83	81	77	75	72	88	97
	23652	82	86	92	82	81	78	76	71	88	94
	25128	82	84	92	82	81	78	76	71	88	94
	30360	85	86	94	84	82	78	76	70	89	96
	34992	87	87	96	85	83	79	77	71	90	98
	38412	88	89	97	86	84	80	78	72	91	99
	42372	89	92	97	87	84	81	79	72	92	99
1500	22752	93	93	97	86	84	82	80	76	92	100
	27288	85	84	95	85	84	82	80	76	91	97
	28980	86	83	95	85	84	81	80	76	91	97
	34668	89	84	96	86	85	82	80	76	92	98
	40356	90	87	98	88	87	83	81	76	93	100
	44352	91	90	99	89	88	84	82	77	94	101
	48888	92	93	100	90	89	85	83	78	95	102
1600	24264	96	93	100	87	86	85	82	78	94	102
	29124	87	82	95	87	86	83	82	78	92	97
	30924	88	82	95	87	86	83	82	78	92	97
	36972	91	84	95	88	87	83	82	78	92	98
	43056	92	87	97	90	89	84	83	79	94	100
	47304	93	90	99	91	90	85	84	79	95	101
	52164	95	93	101	93	91	87	85	81	97	103
1800	27288	100	95	101	90	88	87	85	82	96	105
	32760	90	85	97	89	88	86	85	82	94	99
	34776	91	85	97	89	88	86	85	81	94	99
	41616	94	87	97	90	90	86	85	82	95	100
	48420	95	90	99	92	91	87	86	82	96	102
	53208	96	92	101	93	92	88	87	83	98	104
	58680	98	95	103	95	94	90	88	84	100	106

NPA 900											
[RPM]	Speed / Dirección / Velocidad	[m <sup>3</sup> /h]	Volume Flow / Volumenstrom / Débit / Portada	L <sub>total</sub>							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
400	8640	71	66	57	56	55	55	52	51	62	73
	9936	68	62	56	55	54	55	52	51	61	70
	10900	67	60	56	54	54	55	52	51	61	69
	13176	69	61	57	55	54	53	51	49	60	70
	15552	70	63	59	56	54	53	50	49	60	71
	17280	71	65	60	58	54	53	50	48	61	73
	19008	72	68	61	59	56	53	50	48	62	74
600	12960	83	80	70	65	64	64	63	61	72	85
	14904	78	77	69	65	63	64	63	61	71	81
	16200	76	77	69	65	63	64	63	61	71	80
	19764	76	79	70	66	63	63	61	59	71	81
	23328	79	81	72	67	64	62	61	58	72	84
	25984	80	81	73	68	65	62	61	58	72	84
	28476	81	82	75	69	67	63	61	58	73	85
750	16200	87	87	79	71	69	68	65	65	78	90
	18612	81	85	75	70	69	68	65	65	76	87
	20232	79	84	74	70	68	68	65	65	76	86
	24696	79	86	75	71	68	68	66	64	76	87
	29124	83	87	78	72	70	67	66	63	77	89
	32364	84	88	80	74	71	68	66	63	78	90
	35604	85	89	82	75	73	69	66	63	80	91
1000	21600	91	95	87	79	78	75	72	69	85	97
	24940	83	94	84	76	76	74	72	69	83	95
	26964	83	94	84	77	76	74	72	69	83	95
	32904	86	96	85	78	77	73	72	69	84	97
	38944	88	97	88	80	78	74	72	69	86	98
	43164	89	98	89	81	80	76	73	69	87	99
	47484	90	99	91	83	82	78	73	69	88	100
1200	25984	94	100	94	84	82	80	77	74	90	102
	29772	87	94	94	83	80	79	76	74	89	98
	32364	87	91	94	83	81	78	76	74	89	97
	39492	89	90	96	85	82	78	76	73	90	98
	46620	91	93	98	86	83	78	76	73	92	100
	51804	92	95	99	88	85	80	77	73	93	101
	56988	93	98	100	90	87	83	78	74	95	103
1380	29772	95	107	99	87	85	83	80	77	95	108
	34272	91	98	96	87	85	82	80	77	92	101
	37224	90	93	96	88	85	82	80	77	92	99
	45432	92	89	97	89	87	81	79	77	93	100
	53604	96	93	99	91	88	81	79	76	94	102
	59580	95	96	101	92	90	84	80	77	96	104
	65520	97	98	103	93	92	87	82	77	98	106
1500	32364	97	106	103	90	87	85	82	79	97	108
	37224	93	96	99	89	87	84	82	79	94	102
	40464	92	92	98	89	87	84	82	79	94	101
	49392	94	90	99	90	88	83	81	79	94	101
	58284	97	95	101	92	90	84	81	79	96	104
	64764	97	97	102	94	92	86	82	79	98	105
	71244	99	99	105	95	94	89	85	80	100	107
1600	34524	99	105	107	92	88	86	84	81	100	110
	39708	95	96	101	91	88	86	84	81	96	104
	43164	94	92	99	91	89	85	83	81	95	102
	52668	96	92	100	92	90	85	83	80	96	103
	62172	99	96	102	94	92	86	83	80	98	105
	69084	99	98	104	95	93	88	84	80	99	107
	75996	101	100	106	97	95	91	86	81	101	109

Figura 2. Características del ventilador COMEFRI.



NPA 900		
Max Wheel RPM / Max Laufradgeschwindigkeit / Vitesse de rotation maximale de la turbine / Massima velocità di rotazione della girante	[min <sup>-1</sup> ]	1600
Number of Blades / Schaufelanzahl / Nombre d'aubes / Numero di pale	z	10

©-2000 January 2014

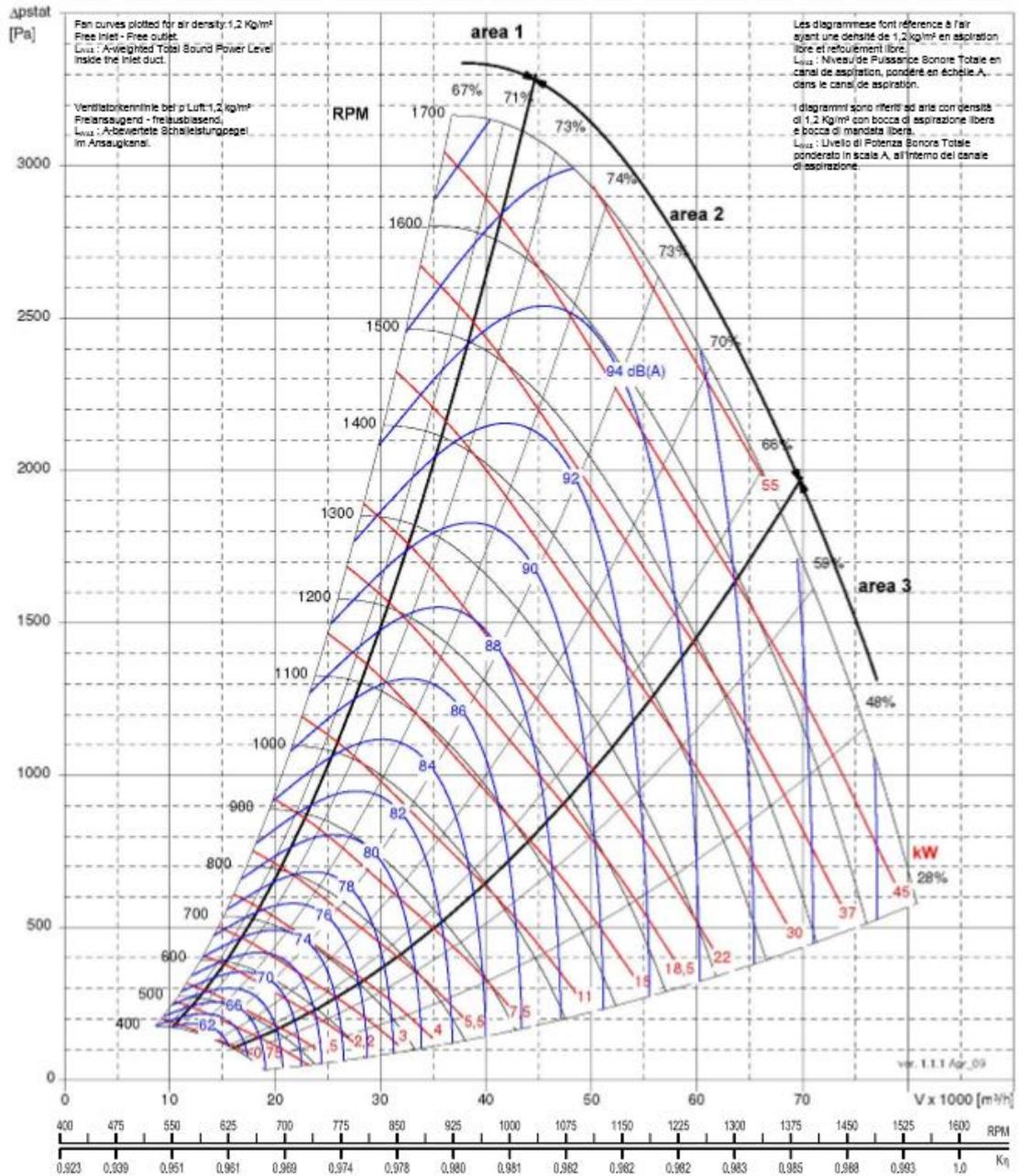


Figura 3. Curva característica ventilador COMEFRI NPA 900.



NPA 800		
Max Wheel RPM / Max Laufradgeschwindigkeit / Vitesse de rotation maximale de la turbine / Massima velocità di rotazione della girante	[min <sup>-1</sup> ]	1800
Number of Blades / Schaufelanzahl / Nombre d'aubes / Numero di pale	z	10

©2000 January 2014

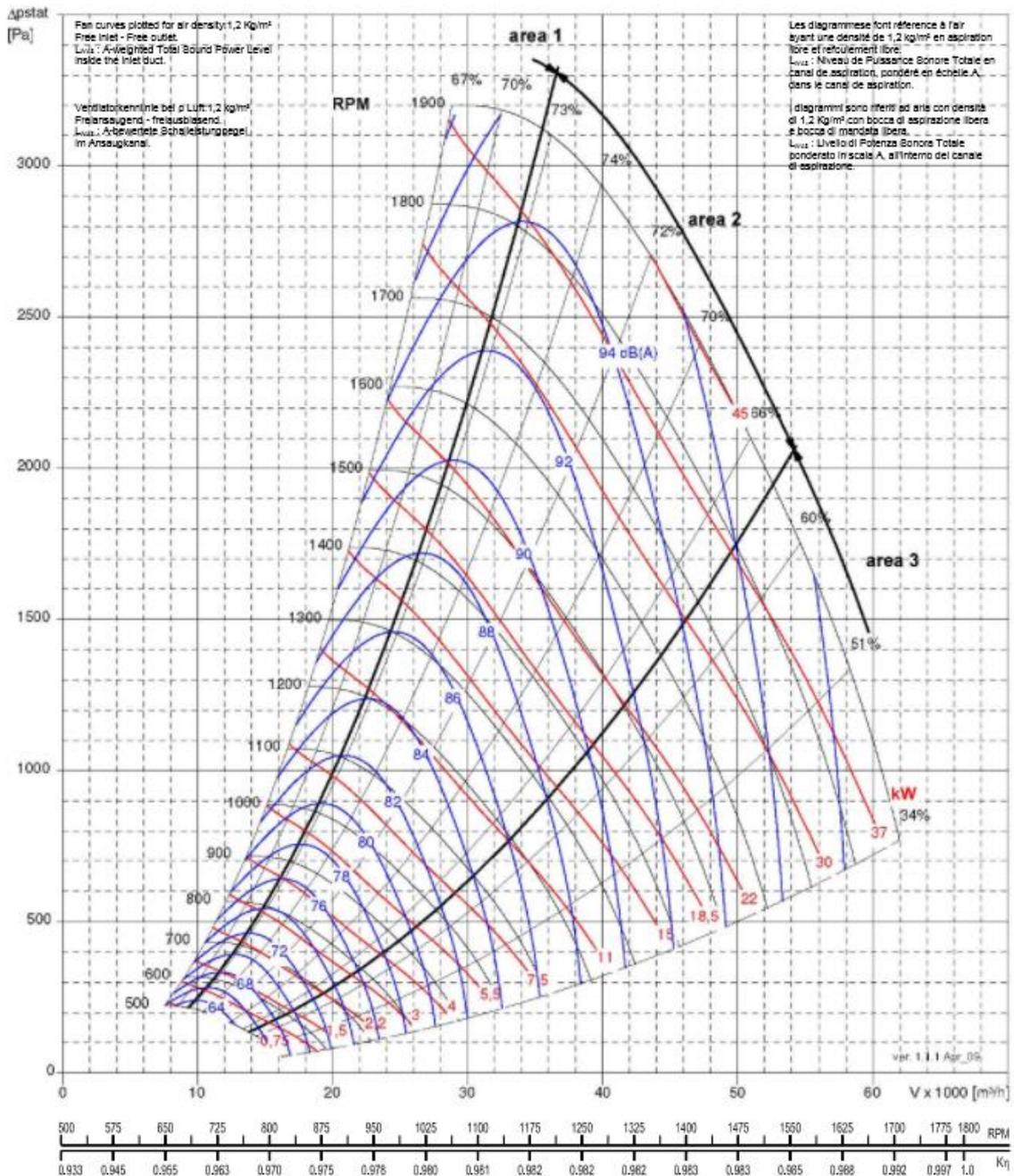


Figura 4. Curva característica ventilador COMEFRI NPA 800.

En base a los puntos de funcionamiento de los ventiladores durante las simulaciones, se deduce que los ventiladores implementados en la impulsión y la extracción, fueron sobredimensionados ya que en sus condiciones habituales de trabajo su punto de funcionamiento no es adecuado dentro de su curva característica.

### -Ventilador Aseos

El ventilador de extracción de los aseos es un ventilador helicocentrífugo de tejado modelo TH-800N 3V de la marca S&P.

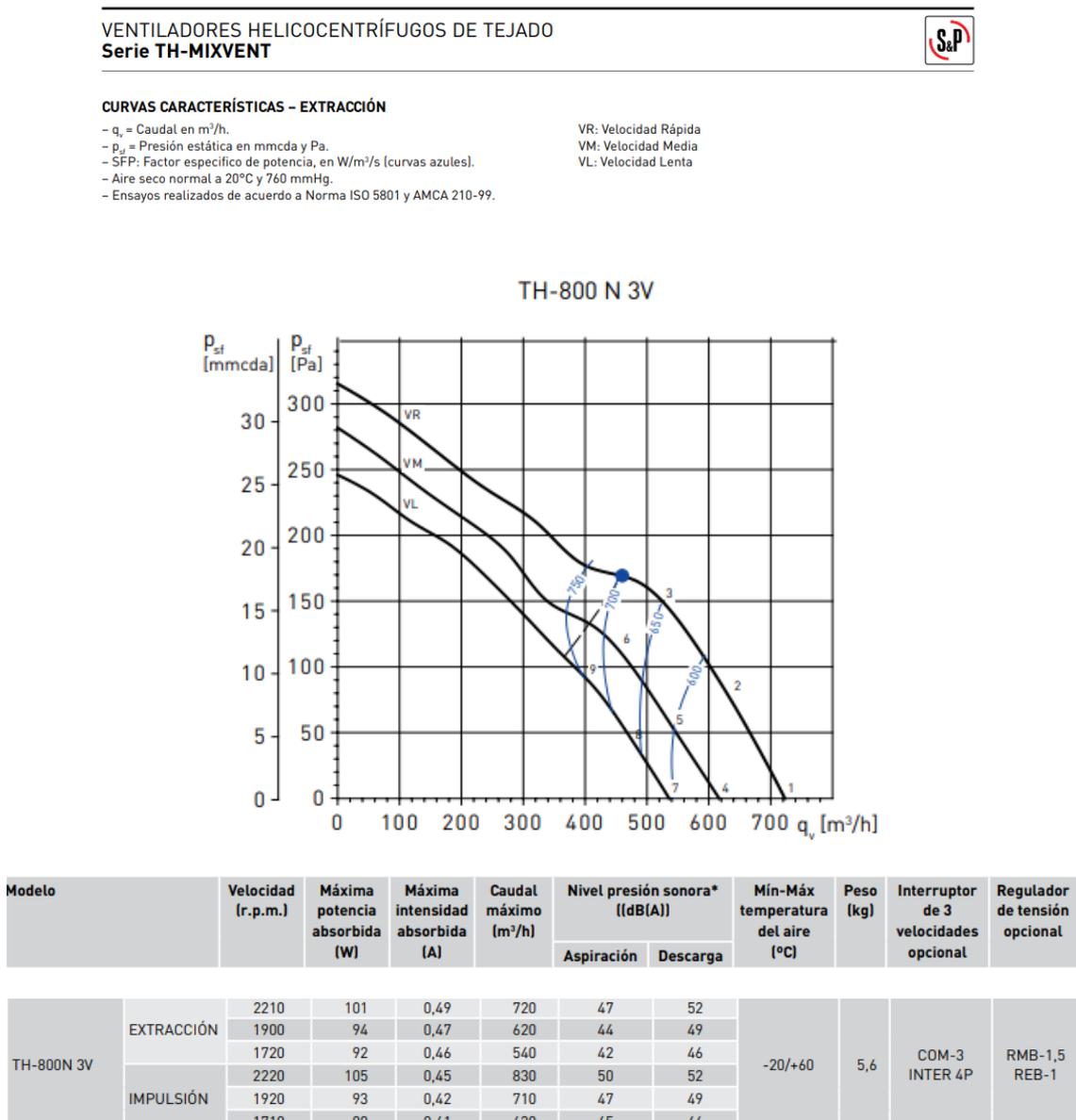


Figura 5. Curva característica y propiedades del ventilador de extracción de los baños.

Para implementarlo en el modelo, definimos el ventilador como tipo Fan (*Performance Curve*) y definimos la curva del ventilador.

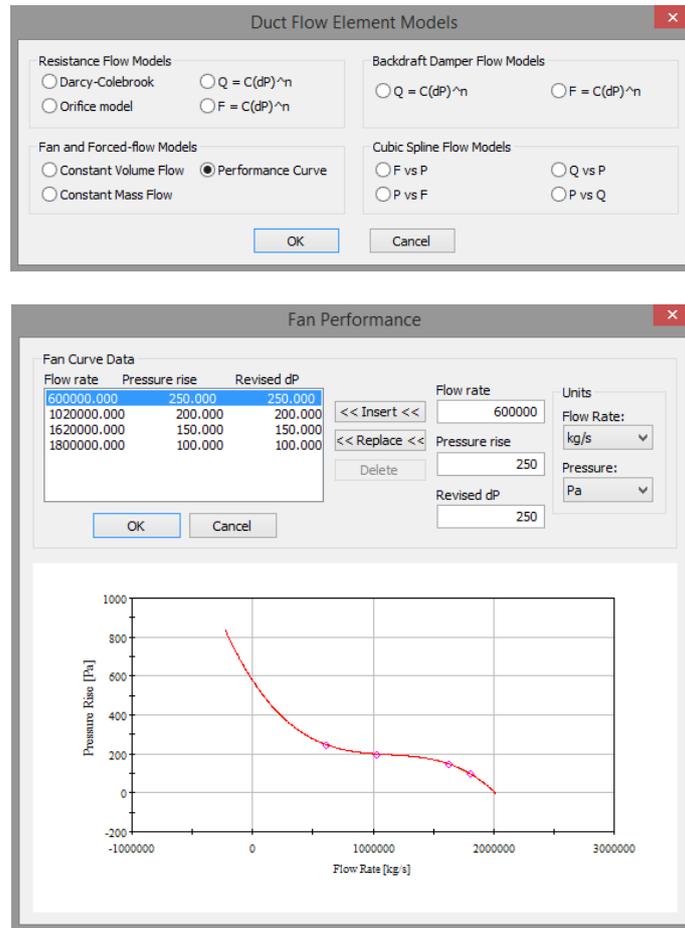


Figura 6. Implementación del ventilador de los baños en CONTAM.

#### -Ventiladores unidades de tratamiento

Los ventiladores instalados son tipo plug-fan, sin envolvente y con motores EC (electrónicamente conmutados) directamente acoplados. Los TBS-EC de los tamaños 9 y 23 incorporan un solo ventilador, los de los tamaños 18 y 47 incorporan dos ventiladores, los del tamaño 27 incorporan tres. Los ventiladores son regulables 0 - 100%.

Presiones estáticas proporcionadas por los ventiladores						
TBS-EC 9						
Q aire m³/h	500	700	900			
ΔP Estática Pa	455	367	272			
TBS-EC 18						
Q aire m³/h	900	1.200	1.500	1.800		
ΔP Estática Pa	480	407	345	272		
TBS-EC 23						
Q aire m³/h	1.000	1.500	2.000	2.500		
ΔP Estática Pa	745	610	435	190		
TBS-EC 27						
Q aire m³/h	1.800	2.100	2.400	2.700		
ΔP Estática Pa	410	365	325	272		
TBS-EC 47						
Q aire m³/h	2.500	3.000	3.500	4.000	4.500	5.000
ΔP Estática Pa	685	610	530	435	325	190

Figura 7. Presiones estáticas proporcionadas por el ventilador.

Para implementarlo en el modelo, definimos el ventilador como tipo Fan (*Performance Curve*) y definimos la curva del ventilador.

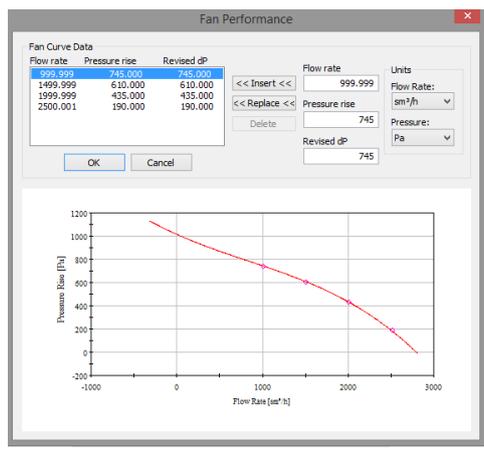
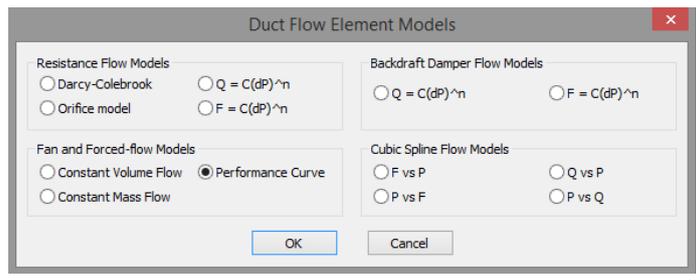
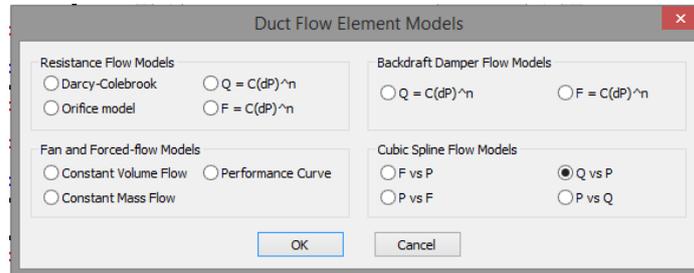


Figura 8. Implementación del ventilador de los baños en CONTAM.

## Implementación de los difusores

-Difusor rotacional

El difusor rotacional se define como un modelo tipo P vs Q (*cubic spline flow models*). Dentro del cual introducimos la curva P vs Q.

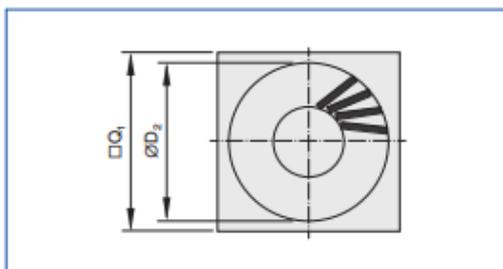


Difusor rotacional	
Q (m³/h)	Perdidas de cargas compuerta (Pa)
145	3
432	24,5
720	68
1008	133,5

### VDW-\*-Z-V (impulsión de aire), potencia sonora y pérdida total de carga

Tamaño	V̇ l/s	V̇ m³/h	Posición de la lama de la compuerta					
			0°		45°		90°	
			Δp <sub>t</sub> Pa	L <sub>WA</sub> dB(A)	Δp <sub>t</sub> Pa	L <sub>WA</sub> dB(A)	Δp <sub>t</sub> Pa	L <sub>WA</sub> dB(A)
600 × 48	40	145	1	<15	2	<15	4	<15
	120	432	10	22	16	26	39	31
	200	720	27	38	43	44	109	48
	280	1008	53	50	85	58	214	63

### Perfil frontal VDW-Q



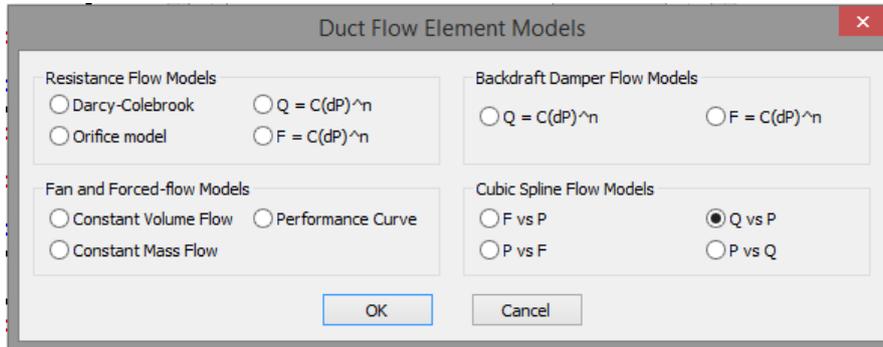
### VDW-Q

Tamaño	Q <sub>1</sub> mm	ØD <sub>2</sub> mm	n	A <sub>eff</sub> m²
300 × 8	298	269	8	0,0070
400 × 16	398	352	16	0,0140
500 × 24	498	440	24	0,0210
600 × 24	598	546	24	0,0295
600 × 48	598	568	48	0,0390
625 × 24	623	546	24	0,0295
625 × 54	623	594	54	0,0470
825 × 72	825	773	72	0,0730

Figura 9. Propiedades del difusor rotacional.

-Difusor lineal

El difusor lineal se define como un modelo tipo P vs Q (*cubic spline flow models*). Dentro del cual introducimos la curva P vs Q.



Difusor lineal	
Q (m <sup>3</sup> /h)	Perdidas de cargas compuerta (Pa)
180	23
270	50,5
378	98,5
486	163

VSD35-4, impulsión de aire, descarga de aire alternativa horizontal, potencia sonora y pérdida total de carga

Longitud nominal	V	V	Posición de la lama de la compuerta											
			0°				45°				90°			
			D = 158		D = 198		D = 158		D = 198		D = 158		D = 198	
			$\Delta p_t$	$L_{WA}$	$\Delta p_t$	$L_{WA}$	$\Delta p_t$	$L_{WA}$	$\Delta p_t$	$L_{WA}$	$\Delta p_t$	$L_{WA}$	$\Delta p_t$	$L_{WA}$
	l/s	m <sup>3</sup> /h	Pa	dB(A)	Pa	dB(A)	Pa	dB(A)	Pa	dB(A)	Pa	dB(A)	Pa	dB(A)
1050	50	180	8	22	5	18	18	22	9	18	38	23	17	19
1050	75	270	17	33	11	28	40	34	21	29	84	35	39	30
1050	105	378	33	42	22	38	78	44	40	39	164	45	75	40
1050	135	486	54	50	36	45	128	51	66	46	272	54	124	48

Figura 10. Propiedades del difusor lineal.

## Implementación de ranuras

Los Flow Paths definidos para el edificio presentan las siguientes características:

Flow Path	Área de flujo (m <sup>2</sup> )	Exponente de flujo	Coefficiente de descarga	Diámetro Hidráulico (m <sup>2</sup> )	Número de Reynolds
Pasillo	6,96	0,5	0,6	2,976	30
Pasillo2	5,22	0,5	0,6	2,578	30
Pasillo3	8,41	0,5	0,6	3,2723	30
Reciclaje	7,45	0,5	0,6	3,0799	30
Vending	12,93	0,5	0,6	4,0575	30
Baño Abierto	4	0,5	0,6	2,2568	30
Baño Cerrado	0,119	0,5	0,6	0,38925	30
Ascensor Abierto	3	0,5	0,6	1,9544	30
Ascensor Cerrado	0,06	0,5	0,6	0,2764	30
Puerta 1 Abierta	4	0,5	0,6	2,2568	30
Puerta 1 Cerrada	0,0019	0,5	0,6	0,04918	30
Puerta 2 Abierta	1,4	0,5	0,6	1,3351	30
Puerta 2 Cerrada	0,0008	0,5	0,6	0,03191	30

Figura 11. Propiedades de los flowpath implementados.

## Implementación de conductos

Los conductos definidos para el edificio presentan las siguientes características:

La rugosidad absoluta se determinó teniendo en cuenta que el material es acero galvanizado y la norma ASHRAE 2005.

Conducto	a (mm)	b (mm)	Rugosidad (mm)
Rectangular	1000	300	0,12
Rectangular	1000	350	0,12
Rectangular	1350	950	0,12
Rectangular	1750	950	0,12
Rectangular	2000	650	0,12
Rectangular	2000	950	0,12
Rectangular	2300	950	0,12
Rectangular	2500	950	0,12
Rectangular	2800	950	0,12
Rectangular	3000	950	0,12
Rectangular	3400	950	0,12
Rectangular	3500	950	0,12
Rectangular	4000	950	0,12
Rectangular	150	150	0,12

Rectangular	200	200	0,12
Rectangular	250	150	0,12
Rectangular	350	200	0,12
Rectangular	300	200	0,12
Rectangular	200	250	0,12
Rectangular	400	250	0,12
Rectangular	550	250	0,12
Rectangular	650	250	0,12
Rectangular	650	600	0,12
Rectangular	750	300	0,12
Rectangular	750	350	0,12
Rectangular	750	600	0,12
Rectangular	800	350	0,12
Rectangular	800	500	0,12
Rectangular	800	700	0,12
Rectangular	850	950	0,12
Rectangular	900	400	0,12
Rectangular	950	300	0,12
Rectangular	950	400	0,12
Rectangular	950	450	0,12
Rectangular	950	550	0,12
Rectangular	950	600	0,12
Rectangular	950	700	0,12
Circular	100		0,12
Circular	200		0,12

Figura 12. Propiedades de los conductos implementados.

## Resultados del caso realizado 1

		Presión (Pa)	Pérdida carga puerta (Pa)	Gasto puerta (kg/s)
Planta Baja	AulaB.1	-170,3	1,03	0,00179
	AulaB.2	-178,7	9,36	0,00541
	AulaB.3	-181,8	12,46	0,00623
	AulaB.4	-181,9	12,6	0,00627
	PasilloB	-169,33		
Planta 1ª	Aula1.1	-162,4	5,03	0,00396
	Aula1.2	-174,6	7,19	0,00474
	Aula1.3	-173,6	6,18	0,00439
	Aula1.4	-178,4	10,93	0,00584
	Aula1.5	-172,2	4,73	0,00384
	Aula1.6	-161,7	5,71	0,00422
	Pasillo1	-167,43		
Planta 2ª	Aula2.1	-167,5	1,9	0,00243
	Aula2.2	-178,5	12,85	0,00633
	Aula2.3	-177,8	12,27	0,00619
	Aula2.4	-176,6	11,05	0,00587
	Aula2.5	-170,6	5,07	0,00397
	Aula2.6	-170,3	4,75	0,00385
	Pasillo2	-165,5		
Planta 3ª	Aula3.1	-158,1	5,54	0,00416
	Aula3.2	-167,8	4,14	0,00359
	Aula3.3	-169,85	6,21	0,0044
	Aula3.4	-173,7	10,07	0,0056
	Aula3.5	-166,2	2,55	0,00282
	Aula3.6	-157,2	6,45	0,00448
	Pasillo3	-163,64		
Planta 4ª	Aula4.1	-84,953	5,13	0,004
	Aula4.2	-130,361	7,18	0,00473
	Aula4.3	-127,26	6,15	0,00438
	Aula4.4	-146,46	10,96	0,00584
	Aula4.5	-120,131	4,69	0,00382
	Aula4.6	-80,84	5,83	0,00426
	Pasillo4	-106,846		
Planta 5ª	Aula5.1	-109,25	1,53	0,0109

Aula5.2	-155,269	12,9	0,00634
Aula5.3	-152,971	12,32	0,0062
Aula5.4	-147,61	11,08	0,00588
Aula5.5	-122,272	5,01	0,00395
Aula5.6	-121,28	4,68	0,00382
Pasillo5	-106,85		

Impulsión	Dif. Presión (Pa)	Caudal (m3/h)
	113	43636

Extracción	Dif. Presión (Pa)	Caudal (m3/h)
	173	44676

## Resultados del caso realizado 2

		Presión (Pa)	Pérdida carga puerta (Pa)	Gasto puerta (kg/s)
Planta Baja	AulaB.1	-173,1	0,000191	0,0516
	AulaB.2	-173,1	0,000478	0,0814
	AulaB.3	-173,1	0,000318	0,0664
	AulaB.4	-173,1	0,000441	0,0782
	PasilloB	-173,1		
Planta 1ª	Aula1.1	-171,26	0,00129	0,0133
	Aula1.2	-171,26	0,00000274	0,0061
	Aula1.3	-171,26	0,0001	0,0377
	Aula1.4	-171,26	0,0005	0,085
	Aula1.5	-171,26	0,0000303	0,0205
	Aula1.6	-171,26	0,00122	0,1304
	Pasillo1	-171,26		
Planta 2ª	Aula2.1	-169,43	0,0017	0,00174
	Aula2.2	-169,43	0,00612	0,00612
	Aula2.3	-169,43	0,00167	0,0016
	Aula2.4	-169,43	0,0001121	0,00011
	Aula2.5	-169,43	0,0000518	0,000052
	Aula2.6	-169,43	0,0000731	0,0318

	Pasillo2	-169,43		
Planta 3 <sup>a</sup>	Aula3.1	-167,56	0,00135	0,137
	Aula3.2	-167,56	0,000875	0,11
	Aula3.3	-167,56	0,0000414	0,0075
	Aula3.4	-167,56	0,000426	0,0769
	Aula3.5	-167,56	0,0000436	0,025
	Aula3.6	-167,56	0,0013	0,1343
	Pasillo3	-167,56		
Planta 4 <sup>a</sup>	Aula4.1	-165,71	0,0012	0,129
	Aula4.2	-165,71	0,0000136	0,0137
	Aula4.3	-165,71	0,0044	0,247
	Aula4.4	-165,71	0,000718	0,0998
	Aula4.5	-165,71	0,0000139	0,01393
	Aula4.6	-165,71	0,001144	0,126
	Pasillo4	-165,71		
Planta 5 <sup>a</sup>	Aula5.1	-163,9	0,0000684	0,154
	Aula5.2	-163,9	0,00655	0,301
	Aula5.3	-163,9	0,00182	0,159
	Aula5.4	-163,9	0,000134	0,0432
	Aula5.5	-163,9	0,0000448	0,00249
	Aula5.6	-163,9	0,0000649	0,03
	Pasillo5	-163,9		

Impulsión	Dif. Presión (Pa)	Caudal (m3/h)
	112	29502

Extracción	Dif. Presión (Pa)	Caudal (m3/h)
	165	30556