

## ESTUDIO EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN EDIFICIOS COMO PARTE DE LA AUDITORIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS HVAC.

### Experimental study of building ventilation systems as a part of HVAC commissioning.

#### RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de un estudio experimental realizado para evaluar el estado de funcionamiento del sistema de ventilación en un edificio de tipo comercial. El problema se debe a que los ocupantes del edificio consideran que la renovación de aire es insuficiente y no permite asegurar las condiciones de confort en las oficinas. El objetivo de este estudio es dar algunas recomendaciones prácticas sobre "Commissioning" de sistemas de distribución de aire. Esta información y los procedimientos utilizados son de gran utilidad en la auditoria energética de sistemas HVAC.

**PALABRAS CLAVES:** Ventilación, Auditoria, Estudio experimental.

#### ABSTRACT

*This article presents the results of the experimental study performed to evaluate the function condition of a ventilation system in a commercial building. The problem is due to that the occupants of the building consider the air renovation is insufficient for fulfils the comfort conditions at the offices. The main goal of this study is to give some practical recommendations for ventilation system commissioning; this information and the used procedures are very useful for the HVAC commissioning process.*

**KEYWORDS:** Ventilation, Commissioning, Experimental study.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Las ideas desarrolladas aquí son el producto de un estudio efectuado sobre un edificio del sector terciario ubicado en la ciudad de Namur Belgica, equipado con un sistema de acondicionamiento de aire tipo VAV (Variable Air Volume) y de un sistema de calefacción clásico por radiadores equipados con válvulas termostáticas.

Una sola etapa del proceso de commissioning se evoca aquí. Con ella se busca responder a las siguientes preguntas:

- Las diferentes zonas del edificio reciben suficiente aire nuevo?
- Las unidades terminales del sistema VAV son capaces de hacer variar el flujo de aire inyectado en un rango suficientemente amplio para garantizar una regulación satisfactoria de la temperatura ambiente en cada zona?

El problema en el estudio considerado (que no tiene desafortunadamente nada de excepcional) es que se confirma que varios años después del la inauguración del edificio, se registran aún demasiados reclamos relacionados con el funcionamiento de la instalación de acondicionamiento de aire: se soportan ambientes

demasiado calurosos o demasiado fríos (en algunas ocasiones simultáneamente) en diferentes zonas, sobre todo en periodos intermedios entre estaciones cuando la regulación de la temperatura es determinada por el sistema VAV.

Adicionalmente, las "cajas" VAV son percibidas en algunos casos como demasiado ruidosas.

Es evidente que un mejor commissioning inicial hubiera podido contribuir notoriamente a resolver el problema en menor tiempo. Es evidente también que el administrador de la instalación que se encuentra sometido a demasiadas reclamaciones simultáneas, no tiene el tiempo de buscar soluciones óptimas. En el ejemplo considerado, él hace frente a las urgencias diarias, alterando "a ciegas" los parámetros del sistema de regulación y gestión: cambios en las leyes de conversión de sensores, "set points" etc. Casi todos estos parámetros debieron y deben aún verificarse sistemáticamente para clarificar la situación del edificio durante el proceso de commissioning.

#### 2. CONCEPCIÓN Y GESTIÓN

El primer objetivo que se atribuye generalmente al "Commissioning" de un sistema HVAC es el de asegurar que este sistema esté conforme a las directivas del proyecto del edificio [1], [2].

#### NÉSTOR FONSECA DÍAZ

Ingeniero Mecánico, M. Sc.

Profesor Asistente

Universidad Tecnológica de Pereira,  
Colombia

[nfonseca@utp.edu.co](mailto:nfonseca@utp.edu.co)

#### JULES HANNAY

Ingeniero de Investigación

Laboratorio de Termodinámica  
Aplicada.

Universidad de Lieja, Bélgica.

Un segundo objetivo es el de velar para que la instalación pueda ser regulada y administrada conforme a lo que se conceptualizó durante el proyecto [3], [4], [5].

Un tercer objetivo, aún raramente evocado actualmente, es el de suministrar un “retorno” a los diseñadores, fabricantes e instaladores en cuanto a la calidad de su contribución. En otras palabras, el commissioning debería permitir completar, mejorar y eventualmente corregir estas contribuciones.

En el ejemplo considerado, se pueden ver aparecer dos límites inherentes a la concepción inicial del sistema:

1. Aún si el flujo de aire de renovación suministrado al edificio es suficiente, su repartición entre zonas no es siempre satisfactoria (ciertas zonas pueden estar recibiendo muy poco aire fresco, mientras que otras reciben más del necesario).
2. Aún si las cajas VAV son capaces de hacer variar el flujo de aire como estaba previsto inicialmente en la concepción del sistema, esto no garantiza una regulación correcta de la temperatura ambiente en todas las circunstancias: el flujo de aire máximo disponible parece suficiente para hacer frente a las cargas térmicas más elevadas, sin embargo el flujo mínimo puede en algunas ocasiones ser demasiado elevado en estaciones intermedias (otoño y primavera).

En razón de este segundo “límite”, se debe recurrir a compensar algunos excesos de frío por medio del sistema de calefacción por radiadores y aumentar de esta forma artificialmente el periodo de calefacción y consumo de energía del edificio.

### 3. RESULTADOS

#### Resultados obtenidos durante las fases precedentes de “Commissioning”.

Las verificaciones anteriores han permitido confirmar que prácticamente todos los componentes del sistema HVAC estaban técnicamente “en buen estado” y que la mayoría de problemas encontrados se atribuyen a errores de instalación y regulación.

Se pudo observar también los siguientes hechos:

1. Muchos de los termostatos de las cajas VAV se encontraban mal conectados o desajustados.
2. La presión de entrada del sistema de distribución de aire estaba mal regulada (en razón a numerosas alteraciones en los parámetros del sistema: conversión de la señal suministrada por los sensores de presión, set point, rango de funcionamiento autorizado por el variador de frecuencia del ventilador, etc).

3. El flujo de aire nuevo estaba también mal regulado.

#### Modelamiento de un sistema de distribución de aire

En este tipo de instalación, las cajas VAV se suponen capaces de imponer los flujos de aire necesarios requeridos para mantener las condiciones de confort en las diferentes zonas, por lo menos sobre un determinado límite de carga térmica (por debajo de este límite, son las válvulas termostáticas de los radiadores que regulan efectivamente la temperatura). Sin embargo, la regulación por las cajas VAV funciona correctamente solo si los termostatos están bien instalados, bien ajustados y si la presión del aire antes de cada caja permanece dentro de un rango aceptable (por ejemplo entre 250 y 750 Pa).

Fuera de este rango, las cajas VAV pierden toda su eficiencia de regulación:

- Si la presión es demasiado alta, las cajas (incluso completamente cerradas) se comportan como resistencias puras a la circulación del flujo.

En el caso considerado, lo mismo sucede con la regulación de la renovación de flujo de aire de renovación.

- Si la presión es muy baja, el comportamiento de las cajas es impredecible.

Como se muestra en el ejemplo de la Figura 1, este flujo debería poderse ajustar mediante dos registros dispuestos respectivamente sobre el conducto de aire nuevo y el conducto de aire recirculado. Sin embargo esta regulación no puede efectuarse si no se dispone de una depresión suficiente antes de estos registros.

Ahora bien, en el caso considerado, esta depresión es siempre insuficiente debido a que el registro de retorno de aire no se activa por la regulación y por que la frecuencia máxima admitida a nivel del ventilador es demasiado baja.

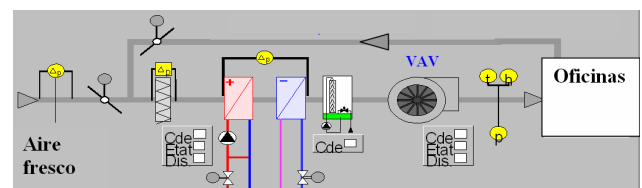


Figura 1. Esquema de un grupo de tratamiento de aire.

El sistema de distribución de aire es un sistema complejo. Un modelo muy simple del sistema seleccionado como ejemplo se presenta en la Figura 2. En realidad se muestra solo un número reducido de zonas y puntos en los que es posible la verificación de flujos y presiones. Este tipo de exploración realizado bajo diferentes condiciones de operación permite identificar las diferentes resistencias al flujo de aire en el sistema, con el objeto de su simulación posterior. Las simulaciones

deberán poder también permitir asistir el proceso de commissioning y la gestión óptima del sistema.

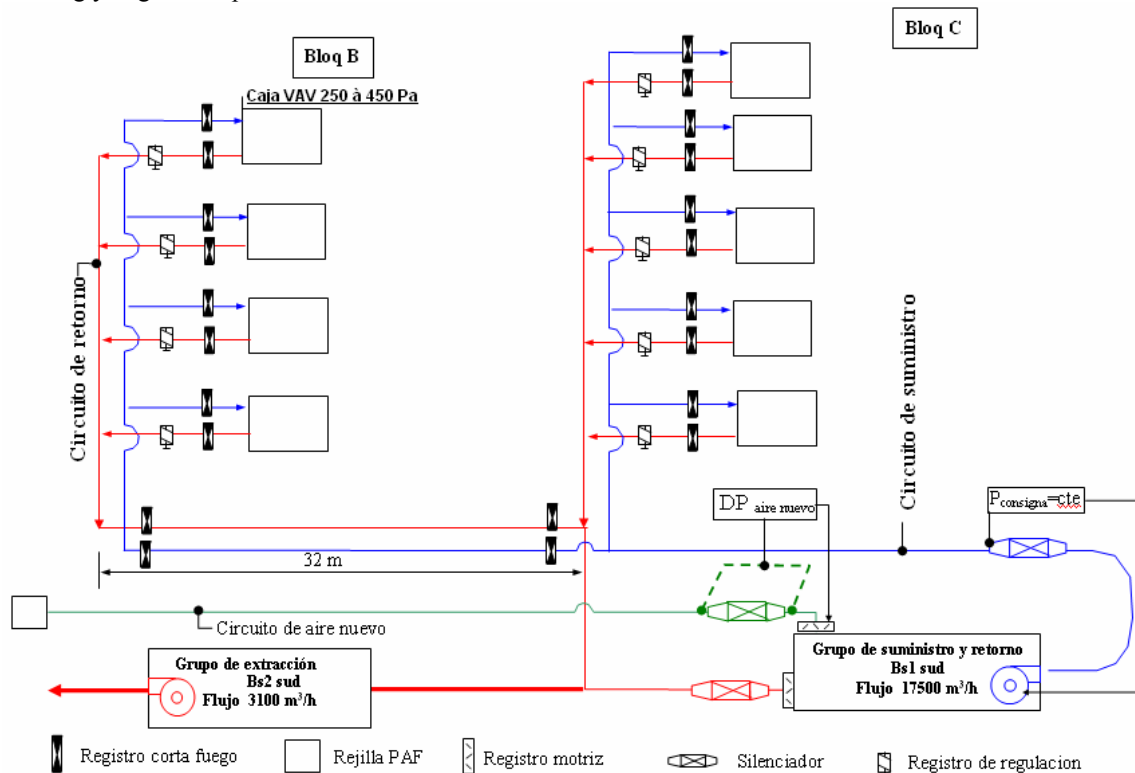


Figura 2. Esquema simplificado de un sistema de distribución de aire.

Los modelos mencionados deben estar disponibles previamente al momento de los ensayos de “Commissioning”.

**Búsqueda de información contenida en los archivos “AS BUILT”**

El sistema de distribución puede ser analizado sobre la base de los archivos “As Built”. Este análisis se describe aquí en cuatro etapas:

1. Cálculo de la distribución de presiones totales sobre la base de datos técnicos disponibles.
2. Dimensionamiento del sistema de tal forma que se alimenten correctamente los locales mas desfavorecidos.
3. Examen comparativo de los resultados precedentes con aquellos efectuados por el instalador del sistema.
4. Examen de resultados (efectivos o hipotéticos) de la regulacion del sistema.

El sistema puede descomponerse en tres subsistemas :

- Sistema de suministro.
- Sistema de retorno
- Sistema de suministro de aire nuevo.

En el ejemplo considerado, cada unidad de tratamiento de aire está ligada a dos bloques; cada uno compuesto por varios pisos de oficinas (4 y 5 pisos en el ejemplo de la Figura 2); cada piso se descompone en varias oficinas y cada oficina es alimentada por una o dos cajas VAV. La segunda caja VAV (eventual) es regulada “como esclava” con respecto a la primera.

**Cálculo de distribución de presiones totales.**

Un ejemplo de cálculo clásico se presenta en la Figura 3.

Al igual que la instalación, se ha decidido “dimensionar” el sistema de manera que la caja VAV mas alejada del grupo de tratamiento de aire (arriba y a la derecha del bloque B en la Figura 2) disponga de una presión total de 250 Pa.

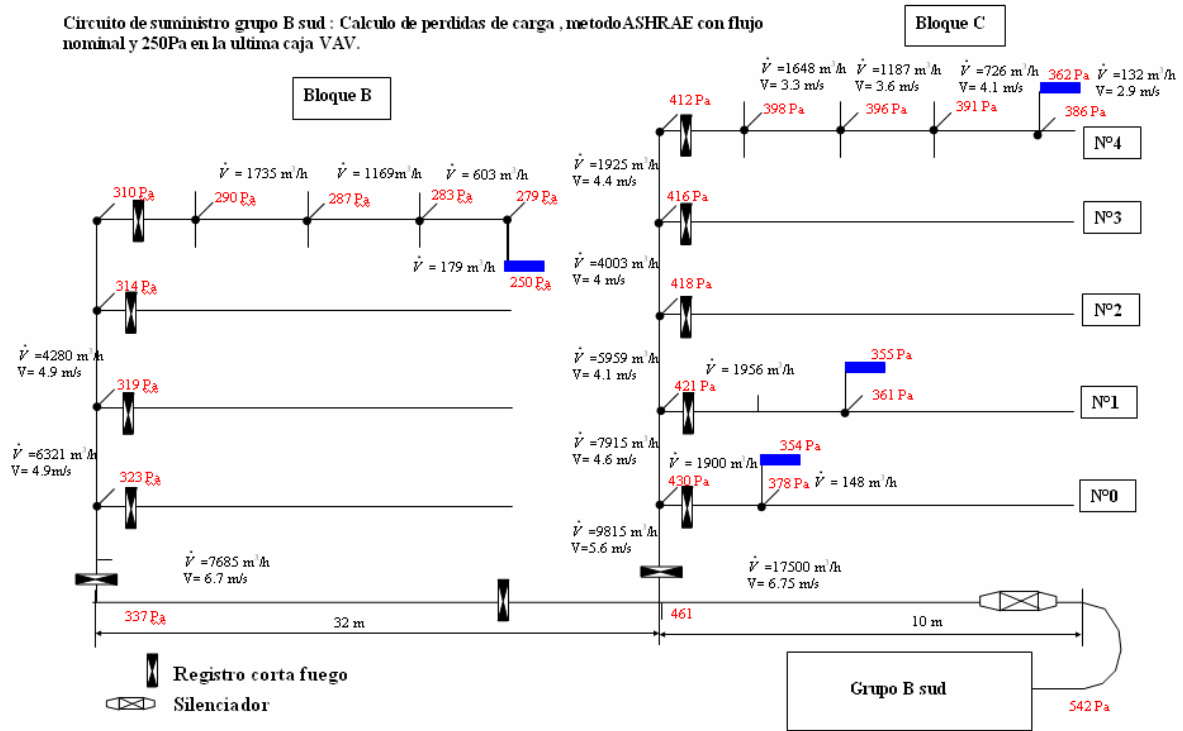


Figura 3. Cálculo de la distribución de flujo y pérdida de presión total del sistema de suministro de aire.

Circuito de retorno grupo B sud : Calculo de perdidas de carga, para la oficina mas alejada.

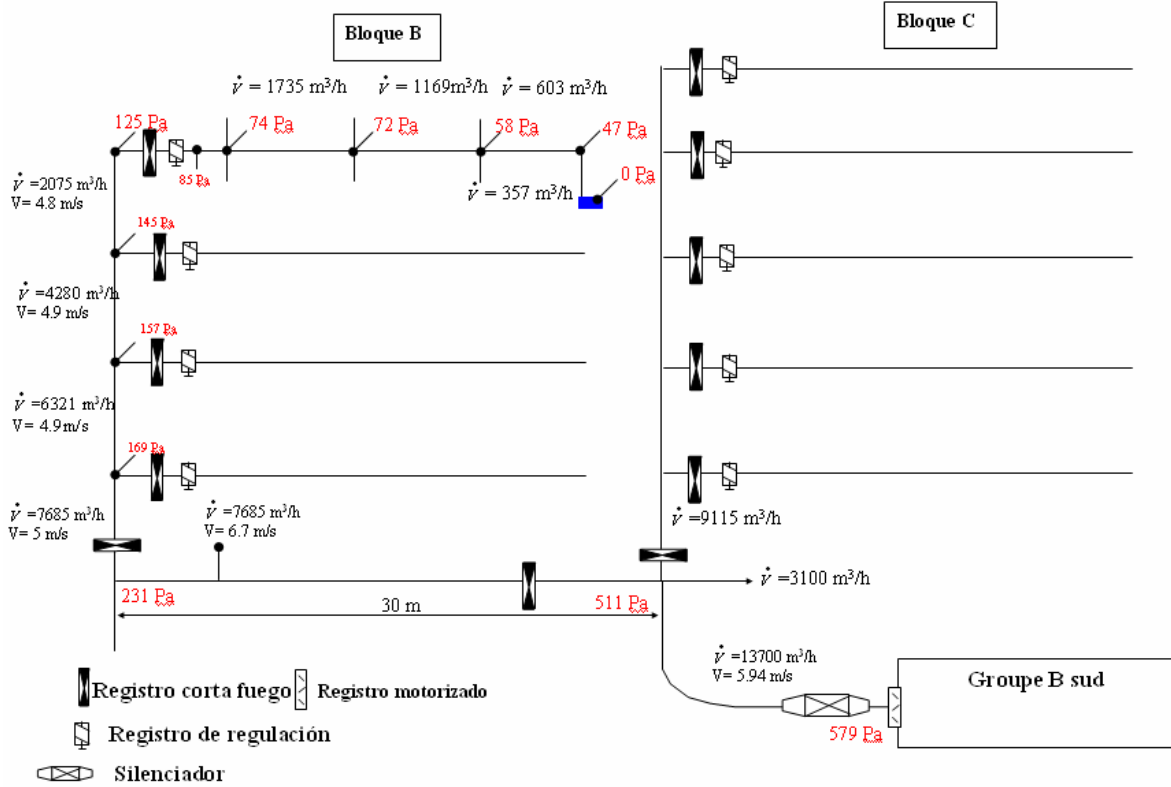


Figura 4. Cálculo de la distribución de flujo y pérdida de presión total del sistema de retorno de aire.

Se puede ver que prácticamente sin regulación la presión total es aceptable a nivel de todas la otra cajas del sistema.

Se puede sin embargo lamentar que la unión entre los bloques B y C no haya sido dimensionada de forma un poco mas generosa; ella por sí sola “consume” 125 Pa de presión total.

Para obtener 250 Pa a nivel de la caja mas alejada, se debe subir a 542 pa la presión a la salida del grupo de tratamiento de aire y cerca de la mitad de la sobre presión requerida se debe a esta sola unión.

Se constata nuevamente que para el circuito de retorno (Figura 4) es el tramo de unión el que mas consume.

El mismo tipo de cálculo aplicado al circuito de aire nuevo (Figura 5) muestra que este debe también funcionar con una caída de presión total importante: esta se estima en 187 Pa, donde la mitad ocurren en el silenciador.

Circuito de aire nuevo grupo B sud : Cálculo de pérdidas de carga

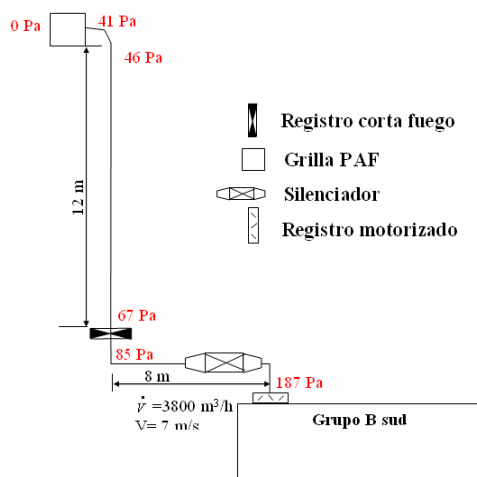


Figura 5. Cálculo de la distribución de flujo y pérdida de presión total del sistema de aire nuevo

#### 4. ANÁLISIS DE CÁLCULOS SUMINISTRADOS POR EL INSTALADOR.

Durante una primera selección de componentes del sistema, el instalador lógicamente introdujo diversos factores de seguridad en su cálculo. Él sobreestima principalmente las pérdidas de carga ocasionadas por los registros corta fuegos, los silenciadores y la grilla de toma de aire nuevo (PAF).

Solo los circuitos mas desfavorables son tomados en cuenta en este cálculo que sobrestima en un 30% la sobre presión total demandada a la entrada del sistema de ventilación.

Una sobre estimación del mismo orden afecta la depresión demandada en la aspiración del grupo y finalmente también sobre la diferencia de presiones en los terminales del ventilador.

Este sobre dimensionamiento no es dramático en si, pero se puede lamentar que no se redujo, considerando que las características reales de los diferentes componentes del sistema fueron suministradas por los fabricantes.

En cambio de eliminar algunos “accesorios” bastante útiles (tales como las tomas de presión previstas sobre los ventiladores para la determinación del flujo de aire) se hubiera podido realizar las mismas reducciones de costo de inversión por la reducción del tamaño de los ventiladores. Lo cual hubiera sido también muy beneficioso para una gestión eficaz del sistema.

#### Regulación del sistema

En el presente caso el sistema de suministro no requiere de regulación; este es automáticamente llevado a cabo por las mismas cajas VAV.

Los registros de regulación han sido previstos sobre el sistema de retorno, sin embargo aparentemente nunca han sido utilizados.

Los problemas de regulación que subsisten hacen que diferencias de presión significativas aparezcan entre los diferentes locales. Se deduce que los locales en depresión son “contaminados” por aquellos que están en sobre presión. Aunque globalmente se llega a suministrar suficiente aire al conjunto del sistema, no se puede evitar una falta recurrente de aire nuevo en ciertos locales.

En el caso presente (que no tiene probablemente nada de excepcional) prácticamente ninguna verificación ha sido efectuada sobre la regulación del flujo de aire nuevo.

Por otro lado, los archivos “As Built” del edificio no contienen ninguna información sobre eventuales ensayos de regulación (no mas que sobre el “Commissioning” inicial requerido en este tipo de instalaciones).

#### Ensayos funcionales realizados y viables en el marco del commissioning del sistema de ventilación

Para responder a las preguntas formuladas previamente, se puede buscar definir los flujos y distribución de presiones totales que corresponden a diferentes regimenes. Estas verificaciones son costosas y una optimización de los recursos necesarios es indispensable. No es necesario por lo tanto medir el flujo de aire en todas las cajas VAV (en la instalación bajo estudio llegan a ser mas de 1500).

Se optará mas bien por determinar los flujos de aire y las presiones en solo algunos puntos del sistema.

La técnica mas extendida para la determinación del flujo de aire consiste en promediar la velocidad del aire al

medirla en diferentes puntos de una misma sección del ducto. Esta técnica se ilustra en la Figura 6.

Las presiones estáticas correspondientes son fácilmente medibles. A estas presiones estáticas se debe ajustar siempre las sobre presiones dinámicas (también calculadas a partir del flujo de la sección del ducto) para estimar las presiones totales que sirven de referencia en el cálculo.

En realidad, estas técnicas son mucho más difíciles en terreno de lo que se puede pensar. Una primera dificultad reside en la localización correcta de las secciones de medición. Estas deben tomarse por lo general (debido a un mal diseño) muy cerca de las zonas de perturbación (codos, cambios de sección y otros “obstáculos”).

En el ejemplo presentado en la Figura 6, debido al diseño del sistema de ductos, ninguna de las secciones seleccionadas está bien localizada y la precisión final de medición no puede ser más que mediocre.

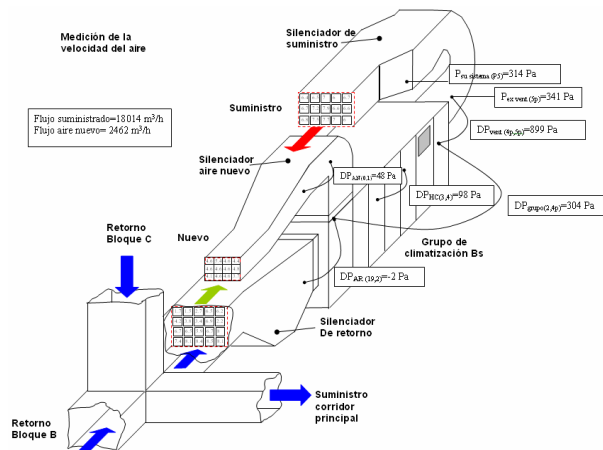


Figura 6. Medición de la velocidad del aire en el grupo.

Lamentablemente:

- Los diseñadores no previeron trayectos favorables para estas mediciones en sus planos.
- Las tomas de medición de velocidad no fueron sistemáticamente (por un costo ínfimo) incluidas en la instalación.
- Con el fin último de reducir costos se eliminan posibilidades interesantes tales como la utilización de los ventiladores para medir el flujo. Esta posibilidad es en efecto propuesta por los fabricantes. Ella implica la medición de la diferencia de presiones (en puntos cuidadosamente seleccionados). Solo basta combinar esta información con otras que están casi siempre disponibles: velocidad de rotación ó frecuencia de alimentación (el deslizamiento es generalmente despreciable) y la potencia consumida por el grupo variador y motor del ventilador.

Ejemplos de resultados de medición de velocidad en diferentes puntos del sistema (parcial) usado como ejemplo se indican en las Figuras 3, 4 y 5.

En flujo máximo, las sobre presiones observadas en el sistema de suministro son una vez más mucho más bajas que los cálculos presentados por los diseñadores. Por el contrario en flujo mínimo, como podía esperarse, las caídas de presión en el sistema son bastante reducidas y debería ser posible reducir la presión en salida del grupo sin comprometer a la autoridad de regulación de las cajas VAV.

## 5. CONCLUSIONES

Se presenta en este artículo la metodología y resultados experimentales para el “Commissioning” de sistemas de ventilación en un edificio como parte de un estudio de caso de un sistema HVAC.

Los resultados experimentales obtenidos siguiendo la metodología propuesta en este trabajo indican que hay inconsistencias significativas entre el estado de funcionamiento del sistema y el concepto inicial de diseño. Se observa por ejemplo que aunque globalmente se llega a suministrar suficiente aire al conjunto del sistema, por problemas de regulación no se puede evitar una falta recurrente de aire nuevo en ciertos locales. Es evidente que un adecuado commissioning del sistema permitiría evitar este tipo de problemas y además optimizar su funcionamiento.

Un mejor diálogo entre las diferentes partes involucradas (diseño, instalación y administración) permitiría reducir los problemas del sistema. El diálogo sería más productivo si las condiciones de diseño fueran más explícitas y si los archivos “As Built” fueran un documento realmente utilizable.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] AuditAC 2006. Successful case Studies in AuditAC. Technical Guides for owner/manager of HVAC systems. Vol 10.
- [2] International Energy Agency (IEA). 2003 “Commissioning of Building and HVAC systems for improve energy performance”. Annex 40 Final report.
- [3] ASHRAE HANDBOOK-HVAC Systems and Equipment. 2004. Chapter 6. Atlanta: American Society of Heating, Air-Conditioning and Refrigeration Engineers, Inc.
- [4] Hannay J. Hannay C. 2004. Building Commissioning results rapport. Laboratoire de thermodynamique applique Université de Liège.
- [5] Fissore A. and Fonseca N. 2007. Experimental study of the thermal balance of a window, design description. Building and Environment. Vol. 47. p.p. 3309-3321.