

ESTUDIO DEL SISTEMAS DE REGULACION DE VENTILACIÓN EN UN EDIFICIOS COMO PARTE DE LA AUDITORIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS HVAC.

Study of the regulation in a ventilation system as a part of commissioning on HVAC systems.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un estudio experimental del sistema de ventilación de un edificio de tipo comercial. Se presenta el resultado de mediciones efectuadas durante un proceso de auditoría energética típico en sistemas de ventilación. Se analizan y presentan las principales alternativas de economía de la regulación tanto en el circuito de suministro como el de extracción y renovación del aire.

PALABRAS CLAVES: Auditoría energética, Experimental

ABSTRACT

This article presents the results of the experimental study of a ventilation system in a commercial building. The aim is to show the experimental results of a typical commissioning procedure of ventilation systems. The principal alternatives of economy in regulation on the air supply, renovation and extraction circuits are shown.

KEYWORDS: Commissioning, Experimental

NÉSTOR FONSECA DIAZ

Ph.D. University of Liège Belgium
Profesor Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
nfonseca@utp.edu.co

JORRE OPDENACKER

Energetic development Consulting
Amsterdam, Holland

1. INTRODUCCIÓN

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].

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].

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 un estudio precedente [1], se han efectuado las mediciones de velocidad del aire, potencia consumida por el ventilador, presión estática y la diferencia de presiones a nivel del grupo de climatización y sistema de suministro de aire del módulo B de un edificio de tipo comercial en Bélgica durante el proceso de auditoría energética.

De forma general la verificación de los flujos de aire es complicada y demanda bastante tiempo y recursos. Las mediciones se efectúan en modo de flujo mínimo (todas las cajas de suministro cerradas) y modo de flujo máximo (todas las cajas abiertas).

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.

En flujo máximo, las sobre presiones observadas en el sistema de suministro son una vez mas 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 (Variable Air Volume) [1].

2. MEDICIONES

Las mediciones de velocidad se efectúan en el circuito de suministro de aire nuevo, de recirculación y suministro a nivel de la unidad de climatización. Los resultados consideran la velocidad promedio ponderada de diferentes mediciones distribuidas en la sección transversal del ducto. Las mediciones de presión estática y de diferencia de presiones se efectúan en diferentes puntos de la unidad de acondicionamiento de aire. Los resultados se muestran en las Figuras 1 a 8 y se resumen en las tablas 1 a 2. La nomenclatura es descrita en la Figura 9.

Fecha de Recepción: 17 de junio de 2010

Fecha de Aceptación: 13 de Agosto de 2010

Modo Flujo mínimo

Aire nuevo
Medición 11 h
Velocidad promedio: 3.36 m/s
 $F=3.36/3.74=0.89$
Velocidad promedio p : 3.36 m/s
Flujo a,p : 1814 m³/h
Distancia libre del ducto antes 2 m

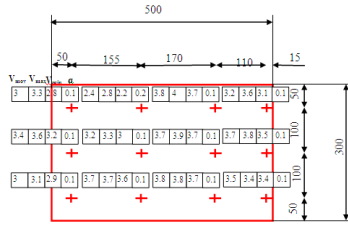
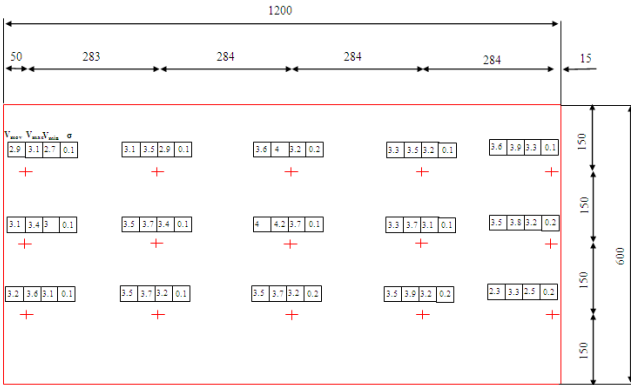
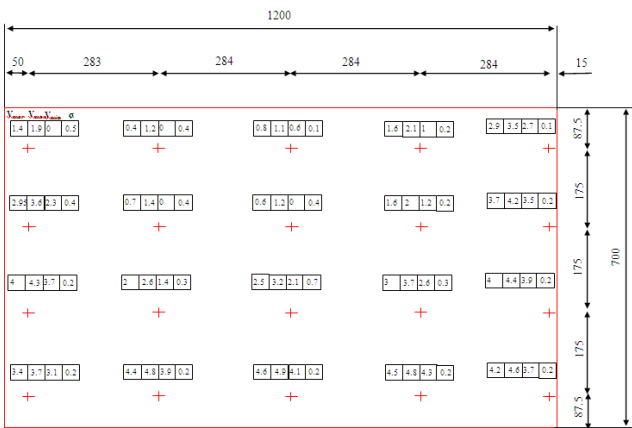


Figura1. Mediciones de velocidad: Aire nuevo. Flujo min.



Aire de suministro
Medición 15:30 h
Vel prom: 3.32 m/s
 $F=3.32/4=0.83$
Vel prom p : 3.41 m/s
Flujo a : 8605 m³/h
Flujo p : 8839 m³/h
Distancia libre del ducto antes 3 m

Figura2. Mediciones de velocidad: Aire suministro Flujo mínimo.



Aire de recirculación
Medición 12:15 h
Vel prom: 2.66 m/s
 $F=2.66/2.5=1.06$
Vel prom p : 2.07 m/s
Flujo a : 8043 m³/h
Flujo p : 6259 m³/h
Distancia libre del ducto 1.5 m

Figura3. Mediciones de velocidad: Aire recirculación Flujo mínimo.

Flujo máximo

Aire nuevo
Medición 12:15 h
Vel prom a: 4.56 m/s
 $F=4.56/4.6=0.99$
Vel prom p: 4.65 m/s
Flujo a : 2462 m³/h
Flujo p : 2511 m³/h
Distancia libre de ducto antes 2 m

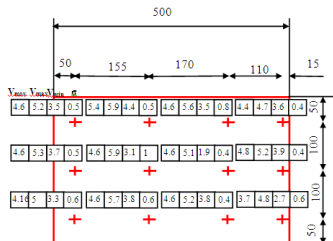
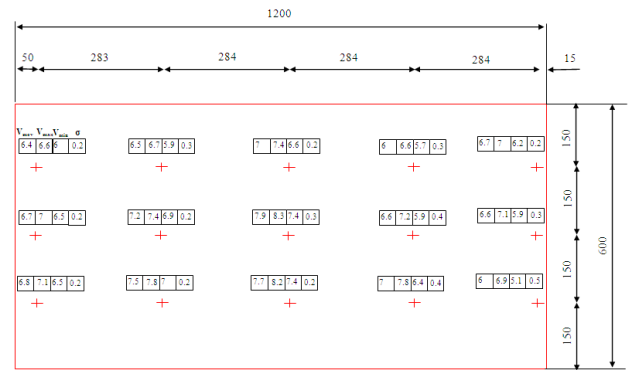
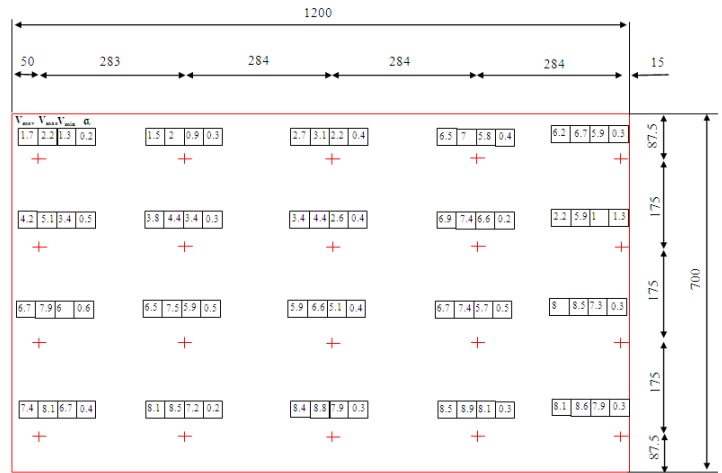


Figura4. Mediciones de velocidad: Aire nuevo. Flujo máximo.



Aire de suministro
Medición 12h
Vel prom: 6.84 m/s
 $F=6.84/7.9=0.86$
Vel prom p : 6.95 m/s
Flujo a : 17729 m³/h
Flujo p : 18014 m³/h
Distancia del ducto libre antes 3 m

Figura 5. Mediciones de velocidad: Aire suministro Flujo máximo.



Aire recirculación
Vel prom: 5.68 m/s
 $F=5.68/5.92=0.95$
Vel prom p : 4.85 m/s
Flujo a : 17176 m³/h
Flujo p : 14666 m³/h
Loncaeur avant 1.5 m

Figura6. Mediciones de velocidad: Aire recirculación Flujo máximo.

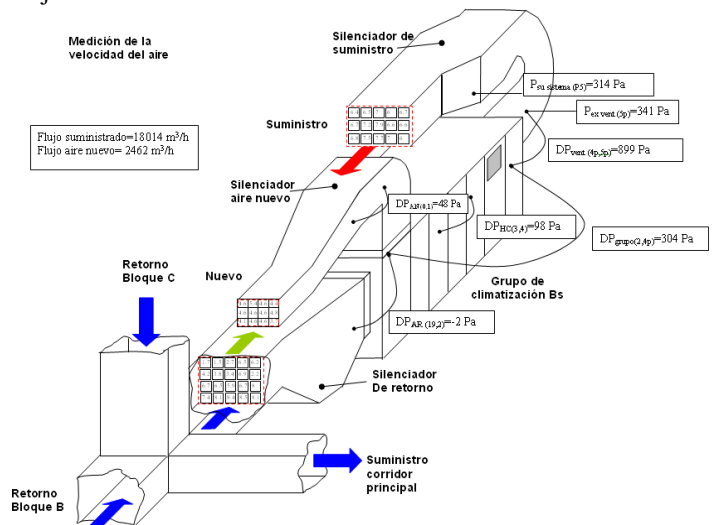


Figura 7. Mediciones de velocidad del aire y presión en la unidad de climatización en flujo mínimo.

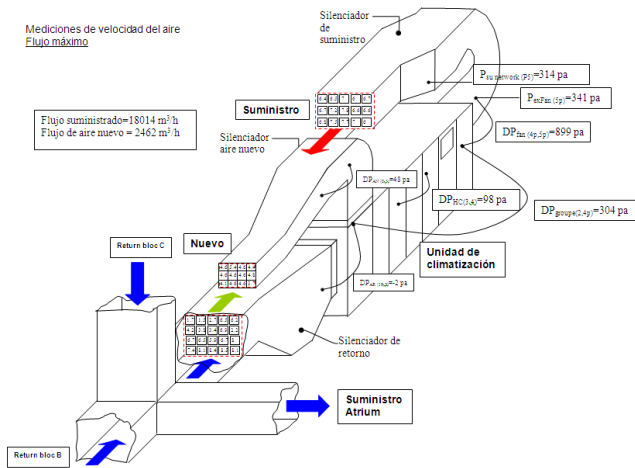


Figura 8. Mediciones de velocidad del aire y presión en la unidad de climatización en flujo máximo.

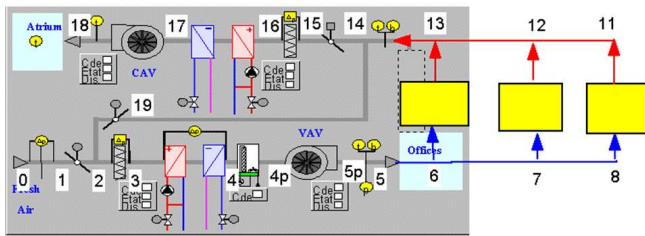


Figure 9 Esquema de distribución de mediciones en la unidad de tratamiento y el edificio.

Table1. Mediciones de presión

Nombre	Nomenclatura (ver figura 6)	Flujo mínimo P estática. [Pa]	Flujo máximo P estática. [Pa]
P salida ventilador suministro	P5p	397	342
P entrada	P5	397	314
Delta P ventilador .suministros	P5p- P4p	586	899
Delta P intercambiador	P3-P4	29	98
Delta P aire nuevo	P0-P1	20	48
Delta P recirculación	P19-P2	1.1	2
Delta P unidad	P2-P4p	105	304
Delta P atrium	P18-P out	530	
Delta P ventilador extracción	P18-P17	1150	

Tabla 2. Flujo de aire.

Nombre	Flujo mínimo [m³/h]	Flujo máximo [m³/h]
Aire suministro	8839	18014
Aire nuevo	1814	2462
Aire re circulado	8043	14666

Los resultados de medición de la potencia eléctrica consumida por el ventilador se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Potencia consumida por el ventilador

	Potencia para Flujo mínimo [kW]	Potencia para Flujo máximo [kW]
$\dot{W}_{Supply, Jan, mes}$	2.6	10

La verificación en flujo mínimo se puede hacer a partir de las curvas características del ventilador y las mediciones de potencia eléctrica y velocidad de rotación del ventilador:

$n = 1429 \text{ RPM}$

$\dot{W}_{Supply, Jan, mes} = 2.6 \text{ kW}$

Flujo mínimo = 11000 [m³/h]

Mediciones en los ductos

Se ha efectuado la medición de presión estática para los flujos máximo y mínimo en el corredor y plenum de las cajas de alimentación de tres oficinas diferentes a nivel del bloque C del edificio. Los resultados se muestran en las Figuras 10 y 11 y los resultados se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Medición de presiones en oficinas

	Nomenclatura (ver figure 6)	P estática corredor.[Pa]	P estática plenum[Pa]
	Local a bajo	P6	425
Flujo mínimo	Local interior	P7	420
	Local alto	P8	422
	Local a bajo	P6	260
Flujo máximo	Local interior	P7	275
	Local alto	P8	275

Se puede observar que la variación de la presión estática es muy débil entre los diferentes niveles del edificio, la pérdida de carga más significativa ocurre entre las conexiones de los bloques B y C.

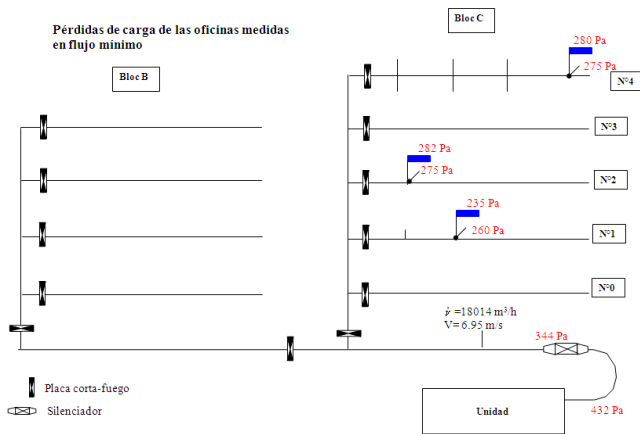


Figura 10. Medición de presión estática para flujo mín.

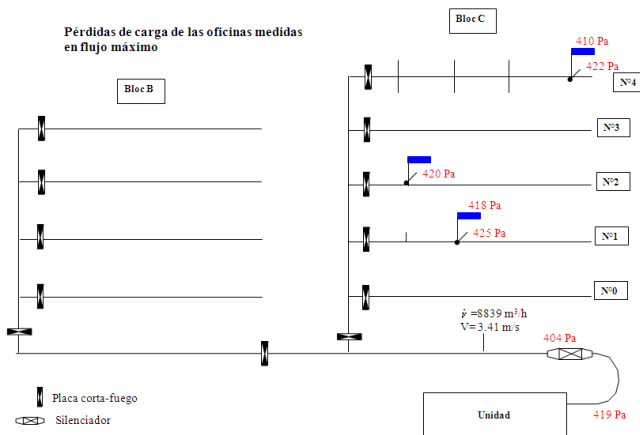


Figura 11. Medición de presión estática para flujo max.

Regulación del sistema

En este caso, se debe hacer la regulación del circuito de retorno en cada piso y oficina, para encontrar una buena repartición del aire nuevo en el sistema de ventilación (no es el caso actualmente). Es para esto que los registros de regulación se instalaron pero no son utilizados. Este proceso debería efectuarse durante el proceso de “commissioning” inicial del edificio.

Si la regulación no se efectúa correctamente, existe también un riesgo de encontrar algunas oficinas o locales en depresión y otros en sobrepresión. Es decir que puede haber pérdidas de calor con el ambiente exterior y corrientes de aire exterior molestas.

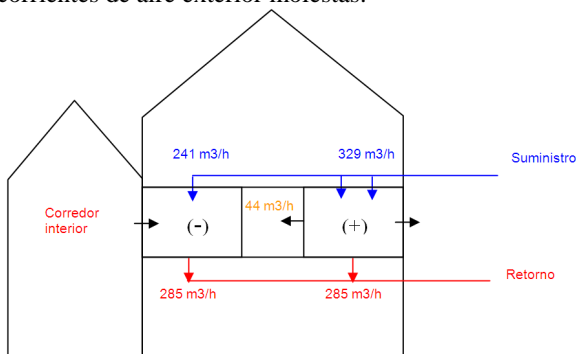


Figura 12. Regulación del sistema de ventilación.

Como muestra la Figura 12, para el flujo nominal, en un mismo piso del edificio y un área de piso similar, existen locales en los cuales el flujo es inyectado por dos cajas VAV y otros en los cuales solo se utiliza una. Por lo tanto si el retorno no está regulado, existe un exceso de flujo de aire en las oficinas con dos cajas VAV, un flujo de aire que pasa al corredor y/o al exterior (en las fichas técnicas del edificio no existe información sobre el tipo de regulación efectuado). Como se debe entregar un mínimo de aire nuevo a cada local, los locales con dos VAV presentan un déficit de aire nuevo causado por las pérdidas por exfiltración.

4 DATOS SUMINISTRADOS POR FABRICANTES E INSTALADORES

El manual de operación del edificio hace referencia a las características de los ventiladores. Sin embargo los códigos de identificación de los diferentes ventiladores son imposibles de indescifrables.

Para evitar errores, se debe referir a sus características dimensionales (ellas son identificables gracias a sus códigos).

Al examina resta información se observa que el ventilador de suministro no corresponde plenamente con lo indicado por el constructor del sistema. Existe por lo tanto una duda en razón de la mediocre presentación del archivo. Falta también una descripción de verificaciones anteriores y/o modificaciones del sistema.

Existe otro problema en virtud que la instalación cambia continuamente por modificaciones diversas y estas no son registradas. Finalmente, los silenciadores no cuentan con ninguna información técnica.

5. ECONOMIA DE LA REGULACION

En un sistema VAV, el consumo de energía de solo los ventiladores alcanza el 45% del consumo total del edificio, se comprende por que se busca por todos los medios reducir su consumo de energía [1].

La Figura 13 muestra la evolución de la potencia eléctrica consumida por las unidades de tratamiento de aire (GPBs1 et GP Bs2) de los módulos Bs y Cs, durante seis meses (abril a septiembre). El periodo de funcionamiento del sistema es de 6h a 22h de lunes a viernes.

En la figura 23 se puede observar que durante el primer periodo (A), las cajas de distribución VAV están cerradas (invierno), el set-point de presión estática es de 400 Pa, este periodo está bien regulado u el consumo es de 9kW.

A partir del 20/06 (verano)(periodo B) las cajas VAV se abren, pese al aumento de velocidad del ventilador se produce menos esfuerzo y el consumo disminuye en 1kW.

Durante el periodo de mediciones (agosto) (periodo C), existe una modificación en la frecuencia de 37Hz a 50Hz, es por esto que se consume 11kW. Finalmente durante septiembre (periodo D) se presenta un cambio del set-

point de la presión de 400Pa a 350pa y se consume 1kW menos.

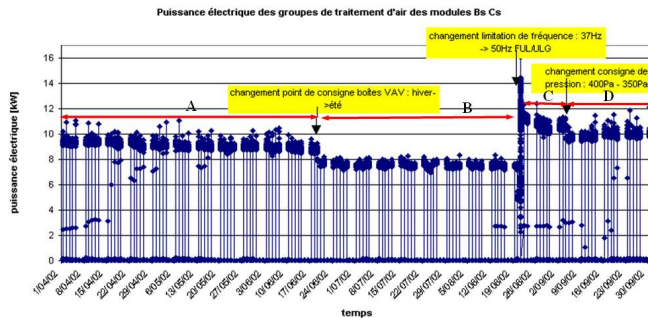


Figura 13. Potencia eléctrica unidades de tratamiento.

En la Figura 14 se puede observar el acumulativo de frecuencia de ocurrencia de consumo de potencia eléctrica del conjunto de unidades de las unidades GPBs1 y GPBs2 durante los seis meses de mediciones. Se puede observar que durante el funcionamiento del sistema el consumo mínimo es de 8 kW y el máximo de 16.2 kW.

Monotone de puissance électrique des groupes de traitement d'air GPBs1 et GP Bs2

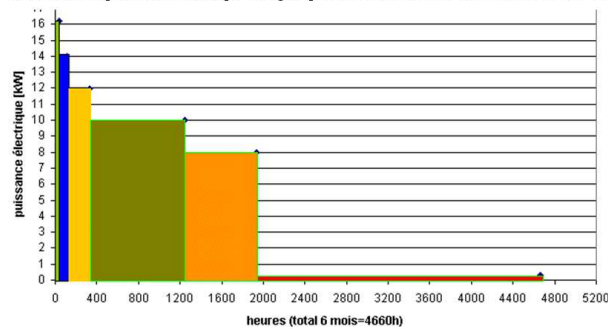


Figura 14. Frecuencia de ocurrencia de consumo de potencia

A partir de mediciones de flujo de aire y potencia consumida máxima y mínima se puede calcular la evolución de flujo en función de la potencia (de abril a septiembre) a partir de las siguientes relaciones:

$$\frac{\dot{M}_{\min imum}}{\dot{M}_{\max imum}} = \left(\frac{\dot{W}_{\min imum}}{\dot{W}_{\max imum}} \right)^n \quad (1)$$

Se encuentra n= 0.52

$$\dot{M}_i = \dot{M}_{\max imum} \left(\frac{\dot{W}_i}{\dot{W}_{\max imum}} \right)^{0.52} \quad (2)$$

Como se conoce la potencia y la diferencia de presiones entra la entrada y la salida del ventilador (DP [Pa]) para el flujo máximo y mínimo, se puede también calcular el rendimiento global del ventilador (η_i) para estas condiciones mediante la siguiente relación:

$$\dot{W}_i = \dot{M}_i * v * \left(\frac{DP}{\eta_i} \right) \quad (3)$$

Con:

V : volumen específico del aire [m^3/kg]

El rendimiento global del ventilador corresponde también al producto del rendimiento del ventilador (η_v), del motor eléctrico (η_m), del variador de frecuencia (η_{vf}) y de la transmisión (η_t):

$$\eta_i = \eta_v * \eta_m * \eta_{vf} * \eta_t \quad (4)$$

El rendimiento del ventilador (η_v) puede ser estimado mediante las ecuaciones polinómicas [5] identificadas gracias a datos de catalogo suministradas por los fabricantes.

El rendimiento del motor (η_m) (ver Figura 15) y variador de frecuencia (η_{vf}) pueden ser estimados gracias al análisis efectuado por la NEMA (National Electrical Manufacturer's Association) [6]:

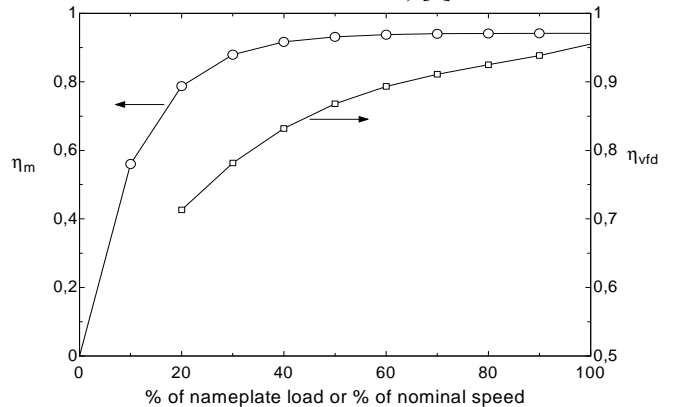


Figura 15. Curvas rendimiento del motor eléctrico.

$$\eta_{m,f} = \eta_{m,nom,f} * (1 - \exp(-0.0904 * X)) \quad (5)$$

Con X definido como la relación (en %) entre la velocidad de funcionamiento y la velocidad nominal suministrada en el catalogo ($rpm_{cat,f}$):

$$rpm_f = rpm_{cat,f} * X * 0.01 \quad (6)$$

El rendimiento nominal del motor puede ser definido como:

$$\eta_{m,nom,f} = 1 - a * \dot{W}_{m,nom,f}^b \quad (7)$$

Donde $\dot{W}_{m,nom}$ es la potencia eléctrica del motor y los coeficientes a y b son estimado [2] en función del número de polos y la velocidad del motor

$$a = 0.184$$

$$b = -0.236$$

El rendimiento del variador de frecuencia puede también ser estimado en función de X como [2]:

$$\eta_{vfd,r} 100 = 50.87 + 1.283 * X - 0.0142 * X^2 + 5.834 * 10^{-5} * X^3 \quad (8)$$

Para encontrar una correspondencia con los valores del rendimiento global medido para el flujo máximo y mínimo, se estima finalmente el rendimiento de la transmisión η_t al rededor de 0.9 (este rendimiento puede justificarse por el inadecuado nivel de tensión de la correa detectado durante el periodo de mediciones.

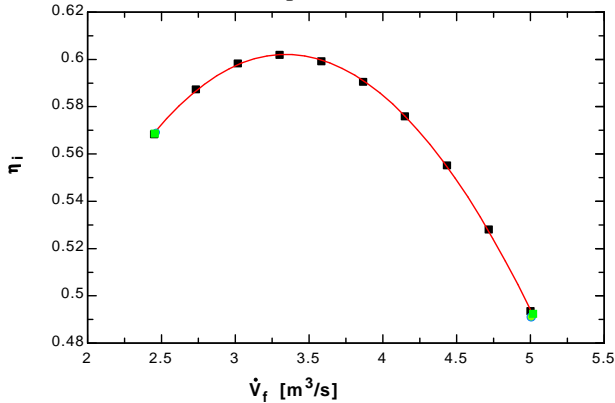


Figura 16. Curva de rendimiento global del ventilador.

En la figura 16 se puede ver la curva de rendimiento global del ventilador en función del flujo para una velocidad de rotación de 1650 rpm (registrada durante el último periodo de mediciones, para un set-point de presión estática de 400Pa). Se puede observar los valores de rendimiento global medidos para un flujo máximo y mínimo.

Calculo de la presión de retorno

Para el flujo máximo se tiene un set-point de presión estática de 400 Pa, esto significa un set point de presión total ($P_{t,consigne}$) de 431 Pa. Como se debe tener una presión total de 250 Pa en la última caja VAV, la presión total de retorno ($P_{r,i}$) es de 181 Pa. Se puede también calcular la presión de retorno para cada nivel de potencia consumida entregada en la Figura 14 mediante la siguiente ecuación.

$$P_{r,i} = (P_{t,consigne,i} - 250) * \left(\frac{\dot{M}_i}{\dot{M}_{max\,inum}} \right)^{1/n} \quad (9)$$

En la Figura 17 se puede observar la evolución de la presión total y de retorno, con el sistema de regulación actual, para cada nivel de potencia consumida por el ventilador (ver Figura 14).

Se puede observar, que la diferencia entre el set-point de la presión total y la presión total de retorno varía entre 250 y 335 Pa.

Si se pudiera regular el retorno con el fin de suministrar siempre 250 Pa en cada caja VAV, se podría reducir el consumo eléctrico del ventilador. En la Figura 18 se puede observar la evolución de la presión de retorno con el sistema de regulación actual y el caso ideal en el cual se puede tener siempre 250 Pa en cada caja VAV (puntos azules).

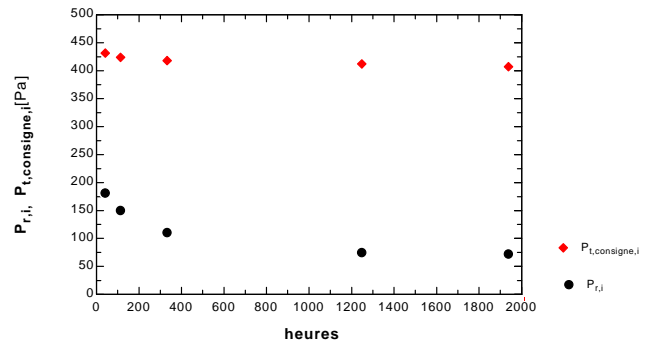


Figura 17. Evolucion de la presión total y de retorno

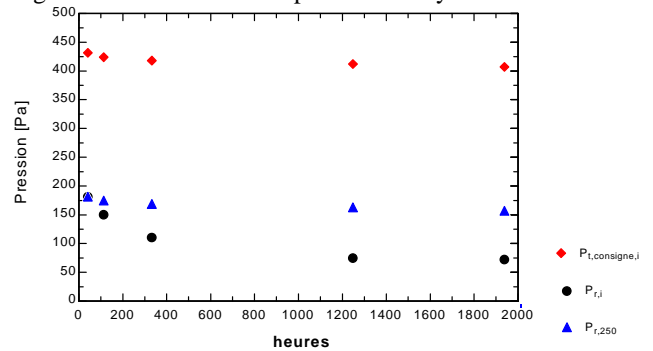


Figura 18. Evolucion de la presión total y de retorno con regulacion

5. CONCLUSIONES

Se presenta en este artículo la metodología para el “Commissioning” de sistemas de ventilación en un edificio (sistema HVAC). Se observa 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 y pérdidas de calor por la exfiltración.

Los resultados experimentales obtenidos siguiendo la metodología propuesta indican que se puede lograr una reducción significativa del consumo de energía de los ventiladores solo con el hecho de mejorar la regulación del sistema de ventilación en el edificio.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] N. Fonseca. J. Hannay. 2008. Estudio experimental de sistemas de ventilación en edificios como parte de la auditoria energética de sistemas HVAC. Revista UTP.
 [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] F. Trebilcock, Jean Lebrun and Eric Winandy, 2002 Variable speed pumps and variable air volume fans, Université de Liège, Belgium.
 [6] Heinz E. Steinacher, 1985 Installations de climatisation à volume d’air variable, pyc édition, Paris.