

ENSAYOS FUNCIONALES DE UNIDADES TERMINALES PARA AUDITORIAS ENERGÉTICAS DE SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.

Functional Performance Testing procedures for terminal units in VAV systems.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un estudio teórico experimental con el fin de efectuar la guía metodológica para el ensayo de unidades terminales en sistemas de aire variable VAV, de utilidad durante un proceso de auditoria energética en sistemas HVAC.

NÉSTOR FONSECA DIAZ

Profesor Asistente

Universidad Tecnológica de Pereira

Ph.D. University of Liège Belgium

nfonseca@utp.edu.co

PALABRAS CLAVES: Auditoría energética, Experimental

ABSTRACT

This Article presents the results of an experimental theoretical study in order to make the methodological guide for testing terminal units VAV (variable air system) useful for an energy audit process in HVAC systems.

KEYWORDS: Commissioning, Experimental

1. INTRODUCCIÓN

El equipo terminal asociado con un sistema HVAC provee una interfaz entre el proceso HVAC que acondiciona el aire de un local climatizado y los ocupantes y procesos ocurridos dentro del local.

Para que el funcionamiento del sistema HVAC pueda ser percibido como satisfactorio por los usuarios, el equipo terminal debe ser capaz de cumplir con su función principal; de otra maneja el sistema no podrá cumplir con los requerimientos de diseño y rendimiento a nivel del sistema central.

Las funciones más comunes de funcionamiento de un equipo terminal son la temperatura y la calidad del aire interior. Adicionalmente a estas funciones se suman el control de humedad y el sistema de filtración de aire, utilizados por lo general en cuartos limpios como salas de operación en hospitales y algunos procesos industriales.

De muchas formas la eficiencia global y ajustes propios del proceso en las Unidades Manejadoras de Aire (AHU: Air Handling Unit) dependerán de la eficiencia de las unidades terminales

En muchos casos, el equipo terminal controlara directa o indirectamente el flujo de aire y distribuciones de temperatura. Adicionalmente, muchos parámetros de diseño y rendimientos de los sistemas centralizados serán fijados por los requerimientos de las unidades terminales. Por ejemplo, los requerimientos de presión estática de un equipo terminal serán una parte importante de la presión estática de diseño especificada para la Unidad Manejadora de Aire.

Algunos de los sistemas y equipos terminales son interactivos. La cantidad mínima de aire de renovación

exterior será fijada basándose en el nivel de ocupación esperado en varias zonas.

La configuración de caudal mínimo en las unidades terminales se fijan sobre la base de ajuste mínimo del aire exterior del sistema central. Si las unidades terminales están pobremente auditadas o inapropiadamente ajustadas en relación con las cargas reales de diseño del sistema, cantidades significativas de energía se puede desperdiciar.

Las unidades terminales se pueden clasificar en las siguientes categorías:

-Unidades terminales de volumen constante de recalentamiento: utilizado principalmente en sistemas de recalentamiento terminal con soporte para red de conductos de media a alta velocidad

-Unidades terminales VAV con las siguientes posibles configuraciones:

- Unidad de estrangulamiento sin recalentamiento.
- Caja de estrangulamiento con recalentamiento.
- Sistema de inducción o
- Accionadas por el ventilador

La especificación se refiere al primer tipo de terminales VAV, que es el más simple y menos costoso.

2. DATOS PROPORCIONADOS POR LOS FABRICANTES

Datos proporcionados por el fabricante (véanse las figuras 1 y 2) consiste en las hojas de datos que muestran:

- Datos geométricos de la unidad terminal

- Caudal nominal
- Caudal máximo
- Datos acústicos
- Chorros característicos

Problemas a considerar

Puesta en marcha y auditoria energética de un sistema VAV puede llevarse a cabo en dos niveles:

- Nivel "global": el objetivo es comprobar si la operación en su conjunto de todas las cajas VAV ubicadas en el edificio o en una parte de ella es satisfactoria (por ejemplo conectado a una misma AHU).

- Nivel "Individual": el objetivo es comprobar individualmente el funcionamiento de algunas cajas VAV típicas. La selección de las cajas que se probará se basa en el análisis global de las quejas de los ocupantes o cualquier otra observación registrada en algunos locales.

Las propiedades de las cajas VAV que merecen verificación son:

- Nivel global (que consiste de hecho en la verificación de las caídas de presión en los conductos):
 - Rango de velocidad de flujo de trabajo: ¿La operación de las cajas VAV de la AHU corresponde en todo su rango de operación?
 - Presión de trabajo de la AHU: es el ventilador de la AHU capaz de mantener su presión nominal para todas las configuraciones de las cajas VAV instalado?
 - Nivel individual:
 - Operación del Control de temperatura de cada caja VAV
 - Rango de caudal proporcionado por cada caja VAV
- Este listado de especificaciones es relativo al nivel de verificación de la "persona".

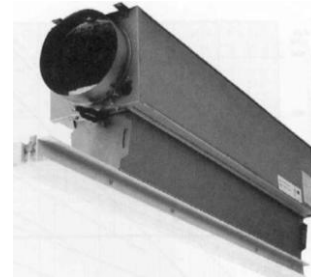


Figura 1: Datos técnicos de una unidad terminal proporcionados por los fabricantes

5.3.2 - Caractéristiques physiques et dimensions

	Taille du plénum	A	B	C	D	E	F	G	H	L
Diffuseur longueur nominale = 1500 mm	178x178	1288	FP - 159	159	181,5	244,5	244,5	127		1475
lg Active plénum = 1200	229x229	1330,5	FP - 159 - 199	199	232,5	265,5	265,5	178	195,5 - 153	
	279x279	1330,5	199 - 249	249	282,5	290,5	290,5	228	**	1500

* Cote A prévue pour une unité ayant un fond plein.

** Cotes dépassement diffuseur prévue avec une unité ayant un fond plein.

FP : fond plein

NOTE :

Les viroles Ø 159 mm sont également disponibles en Ø 149 mm, le débit d'air maxi d'alimentation est alors de 630 m³/h, 175 l/s.

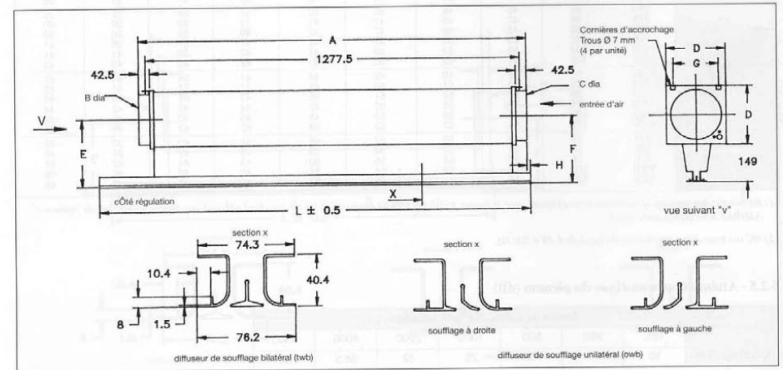


Figura 2: Datos técnicos de una unidad terminal proporcionados por los fabricantes

5.3 - Moduline 37AG
Longueur active de soufflage 1200 mm

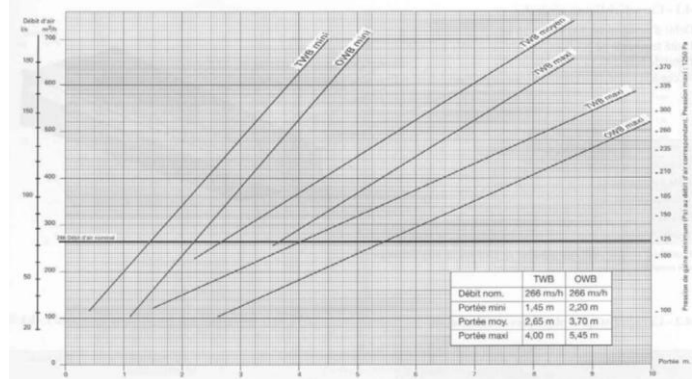
5.3.1 - Caractéristiques générales

- Débit d'air nominal 266 m³/h ; 76 l/s
- Nombre maximum d'unités par régulation : 6
- Débit de fuite : 50 m³/h ; 13 l/s ± 4 l/s
- Accès à la régulation entretien : par le plafond.

Hauteur nominale du plénum	mm	180	230	280
Hauteur hors tout de l'unité	mm	327	378	428
Virole d'alimentation	Ø mm	159	199	249
Débit d'air maxi à l'entrée	m³/h	720	1120	1750
Débit d'air maxi à l'entrée	l/s	200	311	486
Poids *	kg	12	15	19

* Poids basé sur une unité avec diffuseur de 1200 mm de long emballage non compris.

5.3.3 - Portées des Modulines type 37AG longueur active 1200 mm



5.3.4 - Puissances acoustiques des Modalines type 37AG longueur active 1200 mm

Débit d'air V/s	Pression de fonctionnement Pa	mm CE	Puissances acoustiques (dB sur base 10 - 12 W) Centre de bande d'octave, fréquence (Hz)								NC (2)
			125	250	500	1000	2000	4000	8000		
25	93	250	25	35	28	24	20	16	14	14	15
		375	38	35	30	26	22	20	18	19	18
		500	50	39	32	28	25	24	24	21	20
		750	75	37	36	33	28	27	27	27	23
		1000	100	39	38	34	33	32	33	38	26
1250	125	39	39	36	35	34	35	38	39	29	
51	180	250	25	41	34	33	28	26	23	18	25
		375	38	41	36	36	30	28	26	23	28
		500	50	42	39	37	31	30	28	27	30
		750	75	43	42	38	37	32	30	32	30
		1000	100	44	44	41	41	39	35	36	32
1250	125	45	44	41	41	39	35	36	40	34	
78	266	250	25	44	43	41	36	34	29	21	34
		375	38	45	44	43	38	34	29	26	35
		500	50	46	45	43	39	36	33	35	36
		750	75	46	45	43	38	36	33	35	36
		1000	100	47	46	45	40	37	36	39	37
1250	125	48	50	46	45	39	37	41	39		
101	358	250	25	46	46	45	40	37	33	22	39
		375	38	47	46	47	41	38	37	35	40
		500	50	48	50	47	43	40	39	35	40
		750	75	49	53	48	43	41	39	35	41
		1000	100	50	54	49	45	42	40	41	41
1250	125	51	55	49	45	42	40	41	41		
125	452	250	25	48	49	49	44	41	34	24	41
		375	38	49	51	50	45	42	37	31	42
		500	50	50	53	51	46	43	39	35	43
		750	75	51	55	52	47	44	40	42	44
		1000	100	52	56	53	48	45	42	46	45
1250	125	54	57	55	48	46	43	46	45		
150	545	250	25	50	50	50	45	42	35	25	42
		375	38	52	53	53	48	45	40	33	45
		500	50	53	55	54	49	46	42	37	46
		750	75	54	57	55	50	48	44	47	47
		1000	100	55	58	56	51	49	45	48	48
1250	125	56	59	56	52	50	47	48	48		

(1) Basées sur des mesures acoustiques en conformité avec la norme ASHRAE 368-63 supportée à un air standard utilisant une source acoustique de référence ASHRAE sans interférence locale.
(2) NC sur base d'une atténuation du local de 4 dB à 500 Hz.

5.3.5 - Atténuation acoustique du plénum (dB)

Module 37AG	Centre de bande d'octave, fréquence (Hz)							
	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Module 37AG	10	11	16,5	25	32	35,5	38	

Figura 2: Datos técnicos de una unidad terminal proporcionados por el fabricante

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

3.1 Resumen de las especificaciones de prueba

3.1.1 Los objetivos y la secuencia de la prueba

Verificación del funcionamiento de las cajas de VAV, en los dos niveles descritos anteriormente.

3.1.2 Lista de las condiciones operativas para poner a prueba

Dos condiciones deben ser observadas:

- Condiciones de caudal máximo
- Condiciones de caudal mínimo

3.1.3 Requisito previo

Ninguno

3.1.4 Material necesario

Manómetro diferencial portable

Sensor de temperatura / sensor de velocidad del aire portátiles

Equipos de prueba de CO2 (botella de CO2 y el sensor) para estimar el nivel de infiltraciones.

3.1.5 Tiempo requerido para la ejecución de la prueba

Corto si solo se verifica la presión, la temperatura y la velocidad del aire se miden

Durante un intervalo de tiempo mayo, por lo menos 2 ... 3 horas, si se realiza una prueba de CO2.

3.2 Fase de preparación

3.2.1 Evaluación de la información disponible

Tratamiento de datos

Inspección visual antes de la ejecución de prueba

3.2.2 Instrumentación adicional a ser instalada

Ninguno

3.3 Fase de ejecución

2.3.1 Resumen del método de ensayo.

Dos métodos de prueba se pueden realizar:

- Pruebas a nivel de la unidad terminal
- Pruebas a nivel de la sala

3.3.2 Método experimental

Las pruebas a nivel de la unidad terminal según su tipo de modelo:

Para cada unidad de prueba:

i. El termostato está en la posición de verano (VAV abierta de par en par). Verificar:

1. Nivel de ruido de la VAV
2. Velocidad del aire cerca de la salida (por lo general con un anemómetro portátil o simplemente con la mano)
3. Presión estática en el pleno de la VAV

ii. Ponga el termostato en el extremo de la escala en la posición de "invierno" (el más alto punto de consigna de

temperatura). Las cajas VAV entonces deben llegar a su apertura mínima. Esto se puede comprobar por:

1. Reducción del ruido VAV
2. Aire a más baja velocidad
3. Mayor presión estática en el pleno.

iii. Si no hay cambios significativos en el funcionamiento de terminales VAV, se puede concluir que el termostato está mal conectado o deficiente.

Las pruebas a nivel del local

En las oficinas afectadas por la verificación, se efectúan las siguientes acciones:

- Carga de algunas habitaciones con sistema de calefacción auxiliar (radiadores o sistema eléctrico) o mediante la reducción del punto de ajuste (para generar la respuesta del sistema VAV).
- ensayo de CO₂ para medir la tasa de ventilación (inyección de CO₂ y medición de la concentración correspondiente).

3.3.3 Contenido del informe de ensayo

Reportes que contengan los valores medidos, gráficas y cifras que muestran el comportamiento de las cajas VAV analizadas.

Ejemplo de ilustración (Edificio CA-MET: Ministerio Belga de transporte).

3.4.1 VAV instalado en el edificio CAMET.

El edificio CAMET está equipado con 1.248 cajas de VAV, que se dividen en dos tipos:

El tipo 1 es el más utilizado en el edificio y es el VAV estudiados en este trabajo. Normalmente, cuando la caja VAV está completamente cerrada hay un flujo de fuga de aire de 68 m³/h [1], [2], [3], [4], [5]

Principio de funcionamiento de la VAV: El aire procedente de la AHU se inyecta en el pleno del difusor de aire (A) y pasa a través de la chapa perforada (b) hacia el camino de salida formada por el fuelle (c) y el fuelle de parada (d), véase la Figura 3. El área transversal de la ruta de salida es modificada por el cambio la presión de control de la unidad de controladora que se expanden y contraen el fuelle.

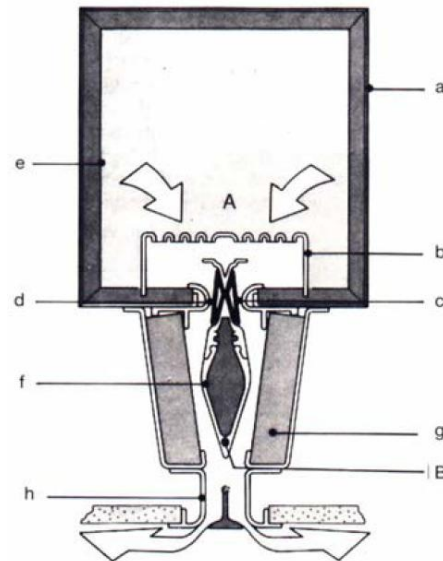


Figura 3: Vista en sección transversal de un difusor VAV

El difusor de aire es esencialmente autor regulable. La presión del aire que es la fuerza que se auto controla es a su vez derivada de la toma de aire primario. Esta presión actúa sobre el fuelle el cual se expanden y contrae para regular la velocidad de la corriente de aire de la unidad. El control está compuesto por: una purga y filtro de aire (1), un regulador de caudal (2) y un termostato (3), véase la Figura 4.

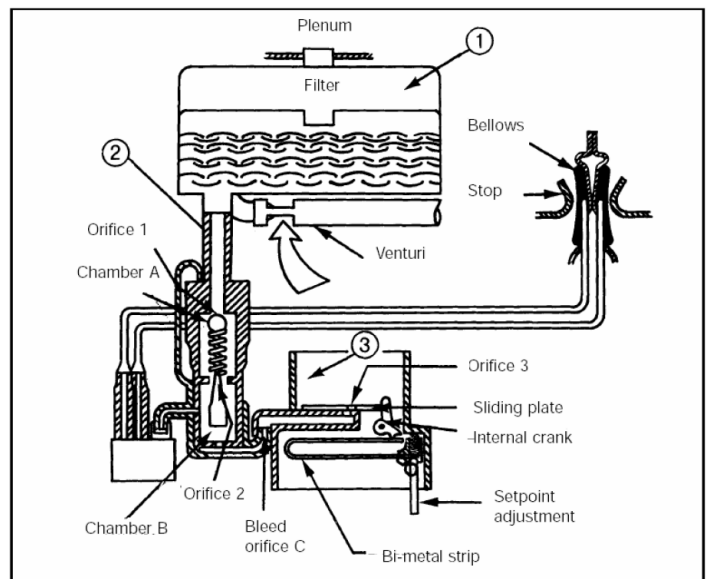


Figura 4. Esquema de control de una unidad VAV.

En primer lugar la purga de aire pasa a través del filtro que permite el suministro de aire limpio al sistema de control. A continuación, el aire pasa a través del orificio de sección variable 1, el cual cambia con los cambios de presión en el controlador de entrada. El tamaño del orificio de 2, se fija manualmente girando un mango de sierra, calibrado

que determina el máximo flujo de aire suministrado por la unidad.

Por último, el termostato mantiene la temperatura constante mediante el control de la tasa de fuga de aire a través del orificio variable 3. La placa deslizante se mueve por una manivela interna unida a una tira bimetalica. La tira bimetalica está constantemente expuesta a la corriente de aire ambiente por medio de un Venturi que crea una depresión en el interior del termostato.

Las cajas VAV son capaces de regular la temperatura ambiente, entre 18 y 28 ° C gracias a la palanca de regulación del punto de ajuste que es totalmente accesible para los ocupantes. Figura 5 (a) muestra la VAV de prueba durante la campaña de medición y la posición del punto de ajuste de la palanca de regulación. Figura 5 (b) muestra el ajuste de la temperatura ambiente. De acuerdo con el fabricante de la posición central corresponde a una temperatura ambiente de 23 ° C.

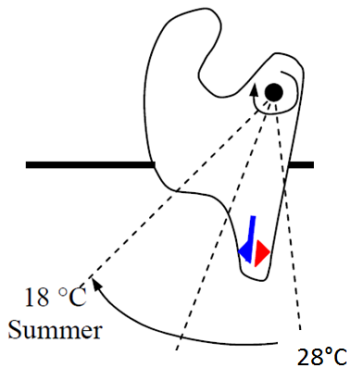
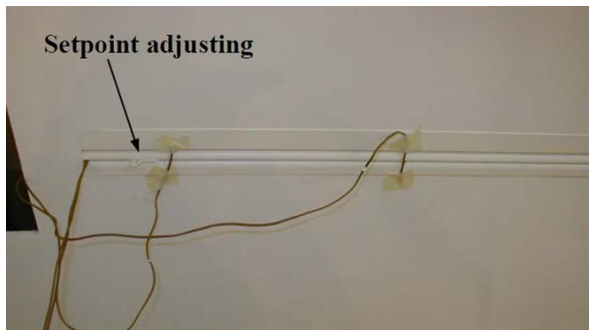


Figura 5: Posición del punto de ajuste de la palanca de regulación

La ley de control que se supone rigen el funcionamiento de las cajas VAV se muestra en la Figura 6.

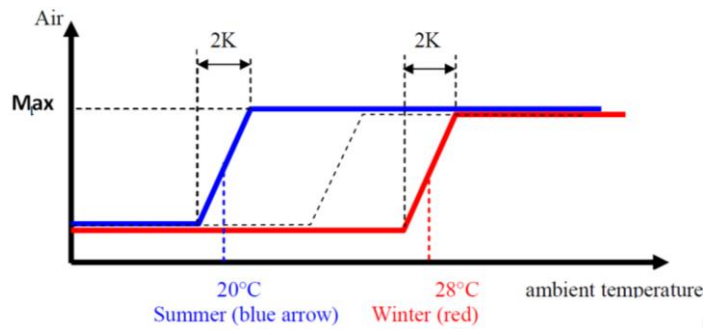


Figura 6: Estrategia de control de una VAV.

Según el fabricante, se requiere una presión de alimentación mínima de 250 Pa para garantizar un buen desempeño de la VAV. A esta presión la VAV cubre toda la gama de flujo de aire de 68 m³ / h (fugas de flujo de aire) hasta el máximo fijado por el regulador de caudal. La presión máxima en el pleno de la VAV se limita a 1250 Pa.

Con el fin de estudiar el comportamiento de las cajas VAV, se realizaron algunas mediciones en dos oficinas ubicadas en el tercer piso del edificio bajo estudio. Estas oficinas fueron sometidas a una carga de calor artificial con el fin de estimular el sistema de enfriamiento.

3.4.2 Flujo de tasa de verificación (pruebas de CO₂).

Se realizó una prueba de CO₂ con el fin de determinar la tasa de flujo de aire suministrado por el sistema VAV en las oficinas.

La renovación del aire se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{X - X_0}{X_\infty - X_0} = 1 - e^{-\tau/\tau_0} \tag{1}$$

Donde:

X₀: es la concentración inicial, en ppm

X_∞: es la concentración final, en ppm

τ: es el tiempo, en s

τ₀: constante de tiempo (inversa de la renovación de aire), s

La ecuación 1 se puede expresar como:

$$\ln(X - X_{\infty}) = \ln(X_0 - X_{\infty}) - n \cdot \tau \quad (2)$$

Con n como la renovación de aire, L / s .

La tasa de flujo de aire nominal de cada VAV es de 200 m³/h. En cada oficina hay dos VAV, por lo que la tasa nominal de flujo de aire suministrado a cada oficina debe ser de 400 m³/h.

Durante el ensayo, las oficinas se calentaron con los radiadores y una fuente de calor adicional de 1.500 W en la oficina B3508 y 1575 W en la oficina B3708. De acuerdo con los resultados en este caso la VAV se abrieron completamente para un suministro de 445 m³/h hasta la oficina B3508 y 485 m³/h para la B3708 (ver Figura 7). Las temperaturas del aire se mantuvieron a 22 °C en ambas oficinas.

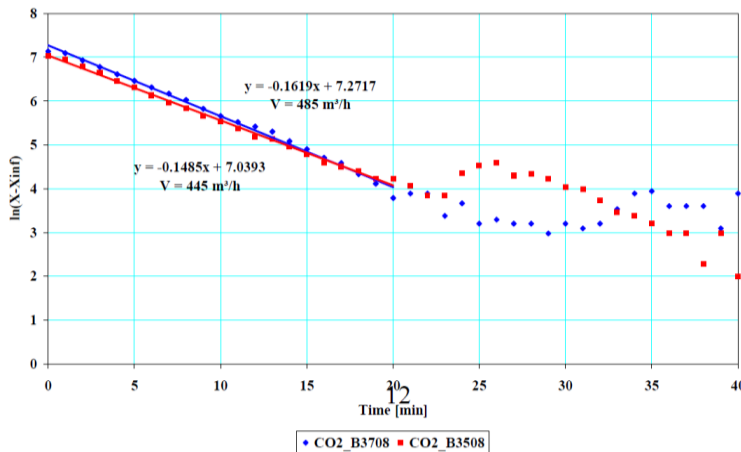


Figura 7: Tasa de flujo de aire suministrado a las oficinas

4. CONCLUSIONES

Se presenta una guía metodológica para la implementación de ensayos funcionales de sistemas VAV durante una auditoria energética del sistema de acondicionamiento de aire.

Un método avanzado para detectar y diagnosticar fallas en los terminales VAV de un sistema de aire acondicionado ha sido desarrollada por Qin y Wang [6]. Se basa en un método híbrido que utiliza reglas de expertos, los índices de rendimiento y modelos estadísticos de control de procesos para hacer frente a una lista de 10 fallos predefinidos. Las pruebas demuestran que la estrategia FDD desarrollados puede detectar fallas en los sistemas de VAV eficaz.

Este método se demuestra que es computacionalmente eficiente. Esta estrategia automática FDD puede proporcionar una herramienta sencilla y eficaz para una auditoria energética automática de sistemas de VAV.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cuevas C., Lacôte P., Lebrun J., 'Recommissioning of an Air Handling Unit', IEA Annex 40 working document, University of Liège, May 2002.
- [2] Cuevas C., Lacôte P., Lebrun J., Andre P., 'Recommissioning of VAV Boxes', CA-MET: AHU Performance, University of Liège, September 2002.
- [3] Sellers D., Friedman H., Haasl T., Bourassa N., Piette M.A., May 2003, HPCBS – High Performance Commercial Building Systems: Functional Testing Guide for Air Handling Systems, Chapter 14: Terminal Equipment, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA.
- [4] CARRIER catalogue, Modulines- Serie 37A
- [5] ASHRAE, Handbook of Systems and Equipment, chapter 2: Building air distribution, 2000.
- [6] Qin, J.; Wang, S. A fault detection and diagnosis strategy of VAV air-conditioning systems for improved energy and control performances. Energy and Buildings, in press, 2005.