

VENTILACIÓN CONTROLADA A DEMANDA

REGULACIÓN Y DIFUSIÓN de aire en sistemas **DCV**

Las instalaciones de climatización y ventilación suponen uno de los mayores consumos de energía dentro de los edificios no residenciales. Según distintos informes realizados, este consumo se situaría entre el 40 y el 50% de la energía utilizada anualmente en el edificio. Dentro de esta parte del consumo, el movimiento de aire de ventilación y para acondicionamiento del edificio a través de los ventiladores podría llegar a suponer el 30 al 35% del sistema. No es debido al valor de potencia instalada en los mismos sino a la cantidad de horas de funcionamiento anual, ya que se trata de equipos que funcionan de forma continuada mientras la instalación se encuentra en operación.

Por **Javier Aramburu**
Director técnico de **Trox España**

Básicamente, la función de los ventiladores, habitualmente situados en las Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs), es garantizar el caudal de aire deseado, venciendo la pérdida de carga asociada al sistema. Esta pérdida de carga está provocada por las distintas secciones de tratamiento de aire de la UTA (filtración, recuperación, baterías de tratamiento térmico, humectación y otras posibles secciones), la distribución de conductos de aire con sus elementos asociados (compuertas cortafuego, reguladores de caudal, silenciadores, etcétera) y, finalmente, las unidades terminales de difusión de aire en los locales.

La necesidad de tratamiento del aire en las instalaciones y la de reducir el consumo energético ha llevado a optimizar los sistemas de climatización, actuando sobre la inercia térmica de los edificios (a través de soluciones como los forjados activos), reduciendo las cargas térmicas (gran descenso de las cargas de iluminación y de los consumos de equipos informáticos, fachadas con sistemas de protección de radiación solar, fachadas ventiladas, etcétera) y sistemas mixtos de ventilación y eliminación local de las cargas sensibles (sistemas de inducción con vigas frías activas). Todas estas medidas han reducido el caudal de aire necesario en el edificio, con el objetivo de limitarlo al mínimo necesario para la ventilación de los locales.

Este artículo se centra en la selección de elementos en la distribución de aire de ventilación y en las unidades terminales, con el objetivo de minorar los consumos energéticos en los ventiladores.

La renovación del aire de ventilación, una de las principales necesidades

La renovación de aire es una de las principales necesidades para garantizar una calidad de ambiente interior (IEQ, según su acrónimo inglés). Durante la actividad en los edificios, las propias personas, el mobiliario y los equipos informáticos producen partículas contaminantes y vapor de agua que es necesario eliminar. Habitualmente la eliminación de estas partículas se realiza a través de una renovación de parte del aire del local con aire exterior. En cuanto al consumo de energía

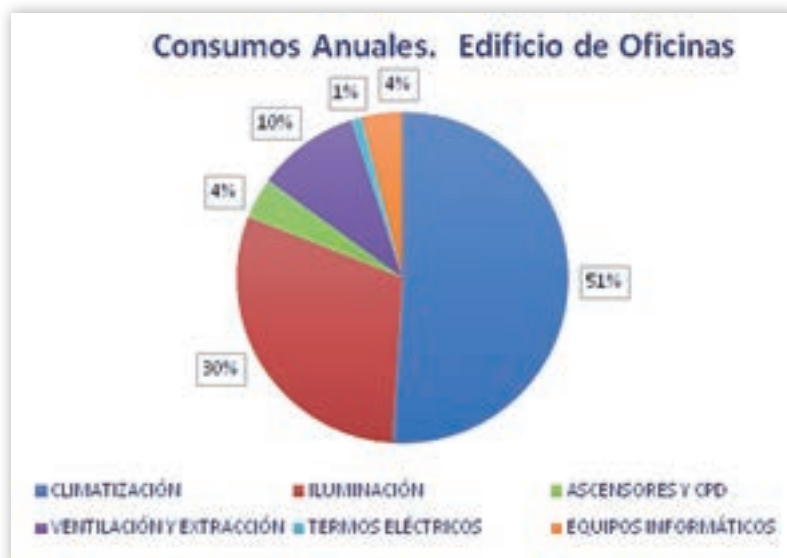


Gráfico 1.

necesario para mover este aire, la variable más importante es la cantidad de aire que se necesita para ventilar adecuadamente los locales.

Durante mucho tiempo en los proyectos de climatización se ha considerado esta cantidad como un valor constante, dependiente del nivel de ocupación del edificio. Para eliminar parte de este consumo ya en el RITE del año 2008 se introdujo la posibilidad de calcular el caudal mínimo de aire exterior de acuerdo a diferentes métodos, siendo parte de ellos métodos de caudal variable con mantenimiento de una consigna (calidad de aire percibido, concentración de CO₂).

Estos dos métodos son una gran aportación a la reducción de consumos, ya que se establece una relación entre la calidad del aire instantánea y el caudal de ventilación que puede optimizar la energía consumida, pero no establecen el caudal mínimo para el cálculo y dimensionamiento de las instalaciones. Por ello, en la mayoría de los casos se acude al método de cálculo del caudal de ventilación por ocupación.

En la norma UNE-EN 15251 (parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido) se establece una fórmula de cálculo del aire de ventilación en función de dos parámetros: superficie climatizada y ocupación.

$$q_{tot} = n \cdot q_p + A \cdot q_B$$

La Fórmula 1 adjunta muestra el cálculo del caudal, donde n es el número de personas previsto para el local y A es la superficie del mismo. Los valores q_p y q_B son los valores unitarios de ventilación correspondientes a las variables anteriores. Esta forma de cálculo de la ventilación de los locales permite asignar un valor mínimo de ventilación (el correspondiente a la superficie) y un valor máximo (el total) sobre los cuales aplicar los criterios de calidad de aire variable a través de un sistema de control de IAQ (CO₂ y/o VOC habitualmente).

En el Standard 62.1 de Ashrae se encuentra una fórmula similar con distintos factores, pero además existe una corrección del caudal de ventilación en función del sistema de difusión de aire utilizado en el local. En la tabla 1 se pueden ver estos factores de corrección sobre el caudal de ventilación.

En función del sistema de difusión seleccionado, el aire de ventilación tiene mayores probabilidades de llegar hasta la zona de ocupación, por lo que una difusión de aire caliente desde el techo se ve penalizada respecto a realizarla por desplazamiento directamente en la zona ocupada. La

Air Distribution Configuration	E _z
Ceiling supply of cool air.	1.0
Ceiling supply of warm air and floor return.	1.0
Ceiling supply of warm air 15°F (8°C) or more above space temperature and ceiling return.	0.8
Ceiling supply of warm air less than 15°F (8°C) above space temperature and ceiling return provided that the 150 fpm (0.8 m/s) supply air jet reaches to within 4.5 ft (1.4 m) of floor level. <i>Note:</i> For lower velocity supply air, E _z = 0.8.	1.0
Floor supply of cool air and ceiling return provided that the 150 fpm (0.8 m/s) supply jet reaches 4.5 ft (1.4 m) or more above the floor. <i>Note:</i> Most underfloor air distribution systems comply with this proviso.	1.0
Floor supply of cool air and ceiling return, provided low-velocity displacement ventilation achieves unidirectional flow and thermal stratification.	1.2
Floor supply of warm air and floor return.	1.0
Floor supply of warm air and ceiling return.	0.7
Makeup supply drawn in on the opposite side of the room from the exhaust and/or return.	0.8
Makeup supply drawn in near to the exhaust and/or return location.	0.5

Tabla 1.

relación entre caudales de ventilación se recoge en la fórmula 2, siendo VOZ el caudal corregido de diseño de ventilación, V_{bz} el caudal inicial de diseño de ventilación y E_z el factor de efectividad de la difusión:

$$V_{oz} = V_{bz} / E_z$$

De aquí que la selección y dimensionamiento de los sistemas de difusión de aire en los locales también influya en el consumo energético asociado a la ventilación.



La renovación de aire es una de las principales necesidades para garantizar una calidad de ambiente interior.

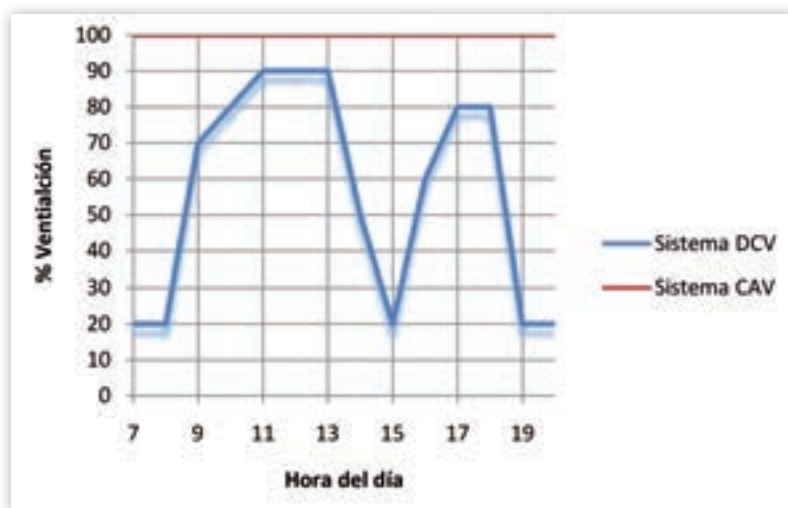


Gráfico 2.

Ambas normas son exclusivamente recomendaciones, no son de obligado cumplimiento, pero pueden utilizarse como soporte técnico de justificación de los proyectos. Su utilización puede llevar a optimizaciones de los sistemas y a establecer criterios adecuados de funcionamiento de las instalaciones de control.

Control de ventilación a demanda (DCV)

Por lo ya comentado, se puede concluir que el modo de operación de las instalaciones de ventilación va a estar definido por una adaptación de los caudales a través de elementos de control. Este tipo de instalaciones se denomina control de ventilación a demanda (DCV, por sus siglas en inglés) y puede significar ahorros energéticos superiores al 50% en los consumos de los ventiladores.

El objetivo del sistema es adecuar la ventilación en cada local a la demanda instantánea de forma

que haya un ahorro en el consumo de ventiladores. También existirá un ahorro en el tratamiento térmico del aire exterior (calefacción o refrigeración). El gráfico 2 muestra de forma más clara esta adaptación entre un sistema a caudal constante (CAV) y uno a caudal variable (DCV). Así, se comprueba que, en función de la hora del día, hay picos de funcionamiento de ventilación, pero hay valles en las horas en las que la ocupación es mínima o la calidad de aire lo permite. También hay que tener en cuenta que de este modo es posible dimensionar la instalación para el caudal de ventilación máximo simultáneo en lugar de la suma de caudales nominales de ventilación por local. De esta forma se produce un ahorro en los equipos de ventilación y en la red de distribución, al mismo tiempo que estos equipos funcionan más cerca de su punto óptimo de funcionamiento. A este respecto es recomendable dimensionar la red de conductos, compuertas de regulación y otros elementos en un intervalo cercano al 60%-70% del caudal máximo de la instalación, ya que será el punto de funcionamiento medio de la instalación. Por supuesto, todos los elementos deben poder dar el 100% del caudal máximo requerido de forma puntual.

Como ya se ha comentado, cada local tendrá una regulación de caudal de ventilación en un rango determinado por los caudales mínimo (a ocupación mínima) y máximo (máxima ocupación). En el intervalo de ambos, la gestión del caudal se realizará en función de la consigna de calidad de aire interior (CO_2 , VOC u otras sustancias), siguiendo el lazo de control del gráfico 3.

La selección de los reguladores de caudal será tal que el rango de caudales del local esté totalmente incluido dentro del rango de caudales del regulador. Por otro lado, el regulador de caudal debe contar con un sistema de medición instantánea de paso de aire con el cual comparar la consigna de caudal y posicionarse de acuerdo a la misma. Los reguladores que no realizan esta medición se ven afectados por variaciones en la presión de la red de conductos debida a modificaciones de caudal en otros locales o en la descarga de la UTA correspondiente. Las imágenes 1 y 2 adjuntas muestran

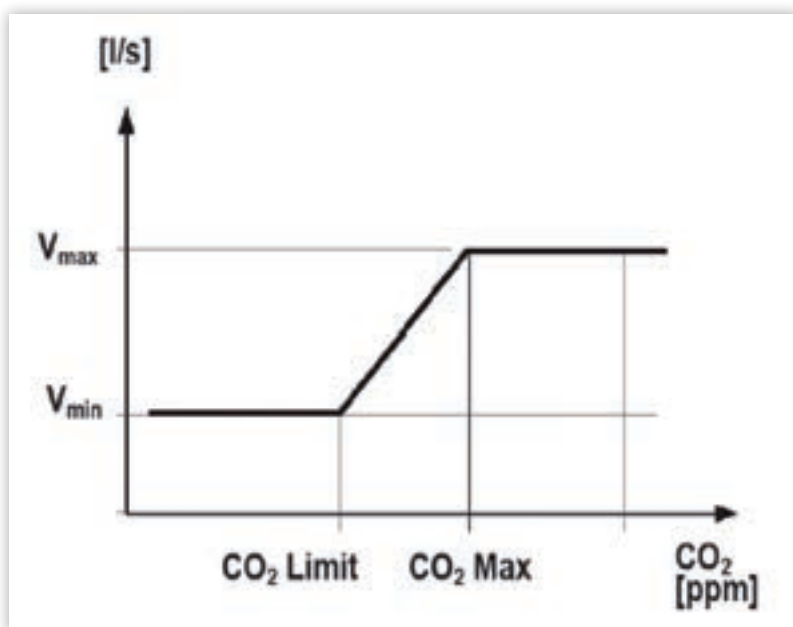


Gráfico 3.



Imagen 1. Regulador de caudal estándar.

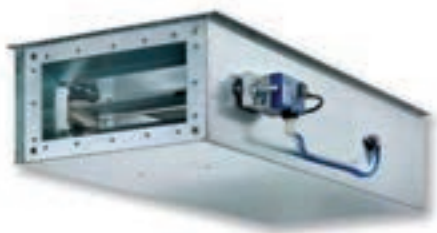


Imagen 2. Regulador con sección atenuadora para reducir la potencia acústica hacia el local.

un regulador de caudal estándar y uno con sección atenuadora para reducir la potencia acústica hacia el local.

Es importante siempre instalar los equipos de acuerdo a las instrucciones del fabricante, especialmente en cuanto a las necesidades de tramos rectos y uniformes en la red de conductos, así como en lo referente a la dirección de aire en los equipos (en estos equipos, siempre la medición de caudal y después la regulación, en la dirección del flujo de aire). Para optimizar la instalación de estos equipos, los sistemas de medida se están pasando de los tubos de pitot a toberas de medición perimetrales. De esta manera se gana en precisión de la medida en todo el rango de caudal y además permite la colocación directa en codos y derivaciones de la red de conductos.

Otro punto importante a asegurar es el control de los caudales de retorno. Así como los caudales de impulsión están directamente vinculados a cada local a través de la ocupación o de la calidad de aire exterior, los retornos no tienen una relación tan directa. Pero sí es importante su control para evitar la existencia de infiltraciones de aire desde zonas no tratadas y la formación de corrientes de aire en los locales. Para ello debe existir un control de los caudales de retorno asociado a los caudales de impulsión para establecer una correlación entre los mismos. Esta correlación debe ser de caudales de aire y no de posicionamiento de reguladores o frecuencia de ventiladores, ya que los comportamientos de las redes de impulsión y retorno son totalmente dispares en cuanto a presiones y curvas de funcionamiento de los ventiladores y de la instalación.

LOS NUEVOS TIPOS DE DIFUSORES ROTACIONALES YA DISPONEN DE UN DISEÑO ADECUADO PARA ESTE TIPO DE APLICACIÓN

Selección de las unidades de difusión

Las unidades terminales a seleccionar para este tipo de instalaciones deben tener en cuenta que van a funcionar en un rango variable de caudales y que, en cualquiera de ellos, deben satisfacer los requisitos de confort (básicamente temperatura y velocidad del aire en la zona ocupada). El problema es que en los sistemas habituales de difusión por mezcla de aire, con la reducción de caudal se produce también una reducción importante de la inducción de aire y de las velocidades y alcances del aire impulsado. Una de las situaciones problemáticas más comunes es la generación de corrientes de aire bajo los difusores a baja velocidad, debido al sobredimensionamiento de los difusores y la selección incorrecta de los mismos. La imagen 3 muestra la secuencia de disminución de caudal desde el 100% al 25%, para un difusor lineal instalado en un sistema de caudal de aire variable.

La solución para estos casos pasa por la utilización de difusores lineales o radiales con plenums especialmente diseñados para trabajar en sistemas de volumen variable, o la utilización de otros tipos de difusores, como los de tipo rotacional, con mayores factores de inducción que no se ven tan afectados por la reducción de caudal. En cualquier caso, y como se ha indicado anteriormente, en el dimensionamiento del difusor también se debe considerar que el caudal habitual de trabajo va a estar en el entorno del 60% - 70% del caudal máximo. Por tanto no se deben seleccionar con valores bajos de pérdida de carga al 100% del caudal. Los nuevos tipos de difusores rotacionales ya disponen de un diseño adecuado para este tipo



Imagen 3. Secuencia de disminución de caudal desde el 100% al 25% para un difusor lineal instalado en un sistema de caudal de aire variable.



Imágenes 4 y 5. En el diseño de los difusores rotacionales es importante la forma de los álabes o lamas en forma tridimensional.

de aplicación. En este diseño es importante la forma de los álabes, que va variando desde el centro del difusor al extremo. Son diseños con los álabes o lamas en forma tridimensional, difícilmente realizables en chapa de acero o aluminio, pero que pueden ser fabricados con nuevos materiales plásticos. El rango de variación de caudal que pueden permitir es del 25% al 100% del caudal máximo del difusor, es importante no confundir este valor con el caudal máximo del local. Ver imágenes 4 y 5.

Muchas veces estos difusores deben cumplir también con un requisito estético y de adaptación a la arquitectura del edificio. En esos casos es posible que, respetando las prestaciones de los mismos, se puedan diseñar de forma que esta adaptación sea posible. Esto se logra con el ensayo de unidades de difusión rotacional ocultas asociadas a placas de diseño. Cada una de estas soluciones debe estar ensayada expresamente porque no sólo el área efectiva de salida de aire sino también la posición y tamaño de estas salidas influyen en el comportamiento del difusor. Ver imágenes 6 y 7.

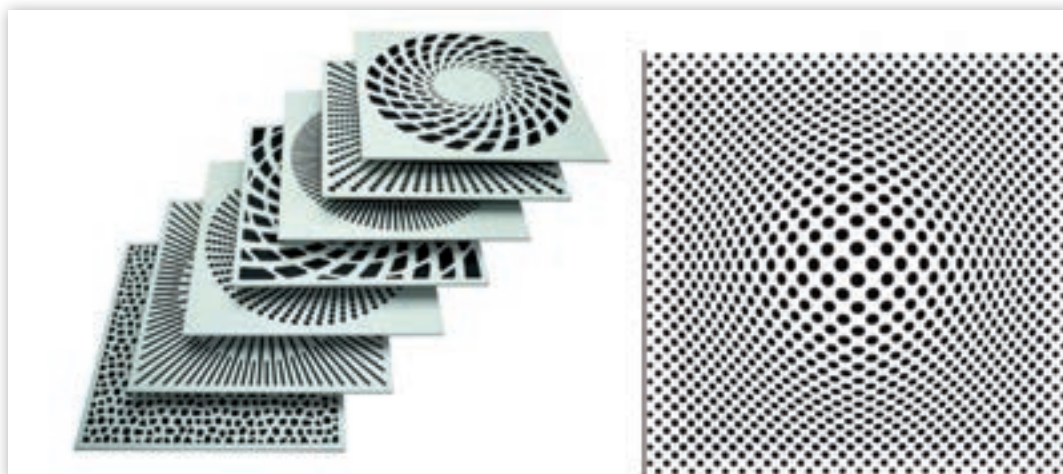
Control con unidades terminales

La variación de caudal en función de la calidad de aire no sólo puede realizarse en instalaciones con difusores como salida del mismo sino también en aquellas en las que la ventilación se realice a través de unidades terminales como son fancoils e inductores (vigas frías activas).

En estos casos el procedimiento de regulación será similar al indicado en los apartados anteriores pero se deben tener en consideración diversos aspectos que se describen a continuación.

En los fancoils que estén regulando el caudal de aire impulsado (velocidad) en función de la carga térmica, será necesario que se controle que ese caudal sea superior siempre al caudal de ventilación demandado por la calidad de aire del local. Para ello se debe enviar el dato de caudal real y establecer una condición en el lazo de control del fancoil, o en los casos de sistemas de regulación más simples, asegurarse que el caudal del fancoil a la velocidad mínima de funcionamiento sea superior al caudal máximo de ventilación del local.

En los sistemas de inductores, se debe tener en cuenta al establecer el rango de caudales de ven-



Imágenes 6 y 7. La adaptación de los difusores a la arquitectura del edificio puede lograrse con el ensayo de unidades de difusión rotacional ocultas asociadas a placas de diseño.

tilación, que la aportación térmica del inductor se ve muy afectada por la reducción de aire primario. Por ello desde proyecto se calculará el caudal mínimo de ventilación para asegurar un rendimiento mínimo del inductor. También es posible que el regulador de caudal de aire variable funcione con una doble consigna: calidad de aire interior y temperatura local (a partir de que la válvula de regulación de agua ya esté abierta al 100%).

Para el tratamiento de las fachadas del edificio se suelen utilizar salidas de caudal constante por la necesidad de barrer toda la superficie. En estos casos trabajar con aire tratado en la UTA es doblemente costoso por el consumo en ventiladores y por el tratamiento térmico del aire. Para ello es recomendable contar con equipos perimetrales dotados de un ventilador auxiliar a caudal constante y una entrada de aire de ventilación variable en función de la calidad de aire. En todos los casos anteriormente descritos la regulación y equilibrado de caudal de aire son críticos para garantizar la calidad de ambiente en los locales. Por tanto, aunque el sistema se definiera como ventilación a caudal constante, el equilibrado mediante reguladores de caudal constante sería necesario.

Tendencias de mercado

La estrategia actual de mejora de prestaciones y consumos energéticos no se basa tanto en las mejoras de prestaciones de los equipos instalados (enfriadoras, bombas, calderas, UTAs, etcétera) sino en el control y operación de los sistemas de forma más eficiente para garantizar las condiciones de confort e higiene. El potencial de ahorro en energía consumida es mucho mayor con la correcta gestión de estos sistemas. A este respecto ya se está trabajando en caudales variables de agua y aire, temperaturas de consigna diferentes según modos de operación, cargas u ocupación y en la aportación de sistemas de recuperación o energías renovables.

Para definir y controlar una estrategia correcta todos los elementos que componen el sistema deben estar controlados y ser capaces de medir, comunicar y modificar sus prestaciones. Todo ello a través de un BMS (Building Management System) que optimice el funcionamiento en común de todos los componentes del sistema de HVAC. En cuanto a los sistemas DCV esta necesidad está directamente relacionada con los reguladores de caudal de aire, las UTAs y la medición de las condiciones de confort e IAQ de los locales.

Para ayudar a las estrategias de control del BMS y visualizar la relación entre los distintos componentes del sistema se están introduciendo en el mercado tecnologías de diseño BIM (Building



Imagen 8. Es recomendable contar con equipos perimetrales dotados de un ventilador auxiliar a caudal constante y una entrada de aire de ventilación variable en función de la calidad del aire.

Information Modeling) que a futuro pueden llegar a ser la base para herramientas de gestión predictivas en la instalación y para el control instantáneo de consumos y prestaciones de los sistemas. De este modo se convierte en una herramienta ideal para la operativa y mantenimiento de los edificios. Para garantizar esta funcionalidad de los sistemas, cada vez está tomando más fuerza en el mercado la realización de una profunda puesta en servicio o *commissioning* de las instalaciones. Para facilitarla es necesario que el acceso a todos los equipos y la forma de medición de los distintos parámetros (consumos, caudales, presiones, etcétera) estén garantizados. En el caso de los sistemas DCV se puede acceder a los valores de los reguladores de caudal y de las UTAs desde el BMS del sistema.

Los sistemas de control de ventilación a demanda anteriormente descritos contribuyen en gran manera a obtener mejores clasificaciones y certificaciones energéticas. Concretamente en la certificación LEED con los sistemas dedicados de aire exterior (DOAS) y el control de ventilación a demanda (DCV) se pueden obtener hasta 21 puntos, en función de los equipos y los materiales utilizados. Si bien los puntos directos por la utilización de estos sistemas serían.

Fuentes utilizadas

ASHRAE. *Standard 62.1*.

AENNE-EN 15251.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

Energy design resources. Demand Controlled Ventilation.

TROX TECHNIK. *Manual de diseño AIRFLOWCONTROL*.

DOAS (*Dedicated Outdoor Air Systems*).

Leed Green Building.

Tom Lawrence Ph.D., *Demand Controlled Ventilation and Sustainability (ASHRAE Journal, Dec 2004)*.

TROX TECHNIK. *Curso estándar Difusión de Aire en TROX Academy*. ●