

Eficiencia en sistemas “VRF” con recuperación de calor para CPD’s integrados en edificios generales

POR¹ MICAH SWEENEY, MIEMBRO DE ASHRAE; MUKESH KHATTAR, DOCTOR, ACADÉMICO/ MIEMBRO VITALICIO DE ASHRAE; RON DOMITROVIC, DOCTOR, MIEMBRO DE ASHRAE

©2018 ASHRAE.

Este artículo ha sido traducido y publicado con la debida autorización de ASHRAE. La traducción fue realizada por Ignacio Gómez-Cornejo, miembro y colaborador del ASHRAE Spain Chapter.

Este documento es un artículo traducido del original aparecido en el ASHRAE JOURNAL del mes de febrero de 2019. El ASHRAE Spain Chapter y el traductor NO se hacen responsables de las manifestaciones, contenidos u opiniones de los artículos publicados.

Los CPD alojan equipamientos de tecnología de la información (IT) que proveen a nuestro mundo actual. Esta clase de instalaciones suele diferir en dimensión. Desde pequeños bastidores con infraestructura de red hasta naves de almacenamiento a gran escala operadas por los gigantes de Internet. Si bien el debate en torno a CPD se focaliza a menudo en los del último tipo, expertos en la industria calculan que sólo en Estados Unidos los pequeños y medianos CPD albergan el 40% de todos los servidores (NRDC, 2014), los cuales se hallan a su vez integrados dentro de edificios de oficinas, colegios, bancos, hospitales y una extensa tipología de instalaciones terciarias. Se calcula que tales centros comportan el 49% de la energía consumida en la industria CPD, que en su conjunto acarrió en torno a 70.000 millones de kWh en 2014 (LBNL, 2016). Con una cifra estimada— sólo en EE.UU.— de 2,5 millones de tales mini CPD—unas 10 veces el número de restaurantes de comida rápida—, dichas instalaciones presentan una interesante oportunidad para obtener ahorro energético, el cual a menudo es pasado por alto.

¹ Micah Sweeney es ingeniero investigador/científico en el Electric Power Research Institute (EPRI) en Knoxville, Tenn. Mukesh Khattar, Ph.D., es director técnico de EPRI en Palo Alto, Calif. Ron Domitrovic, Ph.D., es gestor del programa de investigación de EPRI para la eficiencia del uso a término de la energía y de la respuesta a la demanda en Knoxville, Tenn.

Climatización en salas IT y CPD's integrados en edificios generales

Los CPD de pequeña escala—que se definen como los de potencia IT inferior a 30 kW—suelen arrojar una eficiencia energética más baja que la de los grandes CPD. En buena medida esto obedece al hecho de que muchas de las buenas prácticas y el estado del arte de la eficiencia no pueden llevarse a la práctica en instalaciones pequeñas: véase por ejemplo la disposición o el encapsulamiento de los denominados pasillos calientes o pasillos fríos, o bien el propio enfriamiento gratuito en sí. Asimismo los CPD de tamaño pequeño no suelen contar con personal especializado que pueda aplicar en la práctica la eficiencia operativa. De hecho, buen número de pequeños CPD se ubican en edificios que no fueron en su origen concebidos para uso CPD, y que a la postre son mantenidos por personal general con una experiencia muy limitada en CPD.

En numerosos casos, el presupuesto no muy boyante de IT debe destinarse ante todo a la seguridad, la confiabilidad y la disponibilidad de los recursos IT, mientras que el personal de instalaciones es responsable de la infraestructura (energía y refrigeración) y del coste de energía acarreado. Esto conlleva un incentivo dispar con respecto a la implementación de la eficiencia energética, puesto que el personal de IT no advierte que pudiera ser ventajoso lograr el anhelado ahorro, mientras que el de instalaciones tiene vedado el control y acceso sobre la operativa en el CPD. (NRDC, 2012).

Una causa típica de ineficiencia deviene cuando un CPD pequeño se ubica dentro de un edificio terciario cuyo sistema de producción de refrigeración es de tipo centralizado con agua enfriada. Dicha configuración es bastante común en universidades, hospitales y otros edificios terciarios, suponiendo una solución eficiente y que encaja en costes para el caso de explotación durante el horario laboral. No obstante, y como es natural, en franja nocturna el edificio casi siempre se encuentra desocupado, quedando entonces el CPD como la única y solitaria demanda de refrigeración. Esto supone que la producción de

agua enfriada trabaje a baja carga parcial— el modo de operación menos eficiente—, durante aproximadamente un tercio del tiempo; lo que entraña una sugerente oportunidad con vistas a implementar el ahorro energético.

Posibilidad para la recuperación de calor

Un extremo muy propio de la operación en los CPD es su demanda permanente de refrigeración durante todas las horas del día y a lo largo de todo el ciclo anual. Por otro lado, los espacios ocupados pueden demandar calefacción o refrigeración dependiendo de las condiciones exteriores, de las cargas internas y de la ganancia solar térmica, así como del mero hecho de que sólo operen en determinada franja horaria.

Esto hace que los sistemas de climatización para CPD se exploten, significativamente, un mayor número de horas al año que los espacios ocupados, incluso en climas cálidos. En climas fríos la carga para calefacción en espacios ocupados puede prevalecer en cuanto a las necesidades anuales de HVAC. Cuando se enclaustra un CPD pequeño en un gran edificio puede ser preciso durante multitud de horas anuales la simultaneidad de la calefacción del espacio ocupado con la refrigeración del CPD. No obstante, para sistemas de enfriamiento convencional, la praxis habitual es expeler el calor hacia el exterior al margen de otras solicitudes de acondicionamiento interior. Si por el contrario tal calor expulsado pudiera ser recuperado y reaprovechado para el acondicionamiento de espacios ocupados, esto podría traer una notable mejora en la eficiencia de tales edificios.

Sistemas “VRF” para CPD pequeños e integrados en otros edificios

Un tipo de sistemas que proporciona refrigeración eficiente bajo carga parcial y con visos de obtener la recuperación de calor es el de caudal variable de refrigerante (VRF por sus siglas en inglés, “Variable Refrigerant Flow”), también conocido como volumen variable de refrigerante, o VRV. Esta clase de sistemas de ordinario se significa por disponer de variabilidad en la capacidad, con una tipología de sistema “Split”, para multi-zona, y que puede instalarse

con unidades interiores por conductos o bien sin ellos, las cuales se conectan a un único circuito de refrigerante merced a unidades exteriores compartidas. Algunos fabricantes ofrecen productos VRF avanzados que son capaces de entregar simultáneamente frío y calor (a la postre con recuperación de calor).

Tales productos son bastante comunes en Europa y en los mercados asiáticos, y durante la última década han ido cobrando pujanza en Estados Unidos. Dichos sistemas son capaces de ahorrarse con precisión a la demanda de acondicionamiento de cada espacio interior, proporcionando un confort óptimo mientras a su vez se logra mejorar la eficiencia a carga parcial debido a su diseño concebido ex profeso para capacidad variable.

Para los CPD pequeños integrados en terceros edificios, que son objeto de este artículo, el sistema VRF puede ofrecer enfriamiento eficiente y recuperación de calor. Como se señaló más arriba, las pequeñas salas de servidores pueden revertir en harto ineficiente el a priori eficiente sistema de climatización central del edificio durante las horas de no ocupación y bajo operación a carga parcial. La elevada eficiencia de los sistemas VRF en condiciones de baja carga ofrece una posibilidad para el ahorro energético con funcionamiento de sólo frío.

Un nutrido elenco de fabricantes americanos ofrece productos VRF capaces de funcionar en modo de recuperación de calor.

Enfoque técnico

El principal propósito del presente análisis vino siendo el de poder calificar la eficiencia de los sistemas VRF cuando son implementados en mini CPD alojados en otros edificios. Los resultados de tal tentativa ofrecieron cierta visión sobre el potencial de ahorro energético de tales sistemas para la climatización de CPD, proveyendo recuperación de calor hacia otros espacios ocupados. Además, el estudio propicia una mejor comprensión de la madurez de la tecnología VRF a la vez que desvela sutilezas que deberían ser consideradas para llevar a cabo en CPD. De tal modo, los resultados pretenden ofrecer visión sobre la adopción de VRF en CPD, y en particular con vistas a que los servicios de suministro de energía puedan contemplar el poder ofrecer

incentivos según se instalen sistemas eficientes como el aquí sometido a análisis.

Para lograr esto, se evaluó un sistema VRF en un edificio ocupado con su pequeño CPD, y se cotejó contra una parametrización de referencia de un sistema preexistente por bomba de calor (que denominaremos línea base de referencia). El VRF fue puesto en funcionamiento en diversos modos de operación, a fin de entender sin equívoco su capacidad para dar enfriamiento eficiente con recuperación de calor a lo largo de todo el año. Si bien, a todos los efectos, el presente artículo no deja de centrar su mira en el rendimiento de la recuperación de calor del propio sistema VRF.

Sistema bajo evaluación

Los autores se inclinaron por un equipo VRF avanzado—el cual está disponible en el mercado americano—para calificar su eficiencia cuando se monta para un pequeño CPD más los espacios aledaños con ocupantes. El sistema VRF fue montado en los espacios del laboratorio de pruebas que disponen los autores del presente artículo—el cual está ubicado en Knoxville (Tenn)—a fin de ser sometidos a ensayo bajo ambiente cuasicontrolado. Este laboratorio dispone de diferentes espacios en el interior de una nave en altura (tipo nave de almacenaje en altura): comprende dos salas separadas por una pared, ambas adyacentes a un CPD de 93 m² (que viene a ser un tercer espacio, separado de las zonas ocupadas). Dicho pequeño CPD es un volumen para pruebas construido específicamente para replicar cualquier CPD al uso dotado de falso suelo, falso techo de placas, disposición de pasillo caliente / pasillo frío, y equipamiento IT refrigerado por aire con 20 kW de potencia frigorífica.

El espacio ocupado, de más o menos tres veces el tamaño del CPD, está compartimentado en dos salas (cuyas puertas se mantienen cerradas), con relativa escasa ocupación (apenas 1 a 2 ocupantes para los 93 m²) entre las 8:00 a.m. y las 5:30 p.m. Las características constructivas del laboratorio son de tipo sencillo con paredes en bloque de hormigón, techo metálico aislado y suelo en losa de hormigón.

El sistema de climatización de línea base de referencia empleado para la comparativa es en mayor medida de tipo compacto unitario, con

unidades roof-top tipo bomba de calor (RTUs), que ya preexistían en casi todo el edificio. La más pequeña de ambas zonas ocupadas está equipada con una bomba de calor tipo VRF (sin recuperación de calor), que da exclusivamente climatización a esta zona simple. La tabla 1 enumera las especificaciones para el equipamiento de la línea base de referencia.

El nuevo sistema VRF, con recuperación de calor mediante distribución por tres tuberías de refrigerante entre las unidades interiores y las exteriores (el conocido como “sistema a 3 tubos”), fue proyectado con el apoyo del equipo técnico del fabricante con objeto de igualar la capacidad de los equipos existentes en los espacios acondicionados.

Cierta capacidad extra fue instalada en el CPD para permitir su ampliación a término en un futuro. Como se detalla mas adelante en este artículo, sólo la mitad de la capacidad instalada del CPD fue arrancada en la prueba para permitir un mejor análisis comparativo contra el sistema de línea base de referencia. La tabla 2 enumera las especificaciones para el nuevo sistema VRF instalado, mostrando la capacidad nominal en kW y el caudal nominal de aire proporcionado por cada unidad interior. Adviértase que el sistema de 77 kW está compuesto por dos unidades exteriores, una de 35 kW y otra de 42 kW, que trabajan a la par según comando y control del sistema. Además téngase en cuenta que la capacidad total de las unidades interiores sobrepasa la capacidad de las exteriores.

Esto viene dado por diseño, tal y como recomienda el fabricante, conectando al sistema entre el 70% y el 130% de la capacidad de las unidades exteriores.

La Figura 1 muestra la configuración de los sistemas según la línea de base y del VRF probados en el laboratorio, con cifras que indican

TABLA 2 Especificaciones para equipamiento VRF

ZONA	NUMERO DE UNIDADES	CAPACIDAD NOMINAL	CAUDAL NOMINAL POR U. I (A/M/B)
Unidad e. (Sistema completo)	2	17,5 kW Total	N/A
1: Ocupado	2	7 kW c /u	1169/1050/877 m3/h
2: Ocupado	4	8,8 kW c/u	1859/1619/1380 m3/h
3: CPD	4	10,5 kW c/u	1920/1619/1380 m3/h

la capacidad nominal (en kW) para cada unidad. (Obsérvese que las unidades exteriores VRF han de quedar en el exterior del edificio).

Evaluación de laboratorio del sistema VRF

El nuevo sistema VRF se instaló en diciembre de 2015, y las pruebas se llevaron a cabo desde enero de 2016 hasta bien entrado el invierno de 2017. Los sistemas VRF y de línea base fueron operados alternativamente durante plazos de varias semanas para dar consistencia a la comparativa de rendimiento operativo a través de un rango de condiciones exteriores.

Método de ensayo

La carga del CPD fue suministrada merced a seis bastidores con servidores de última generación que permanecieron encendidos e inactivos, manteniendo una carga de unos 13 kW durante el tiempo de pruebas. Esto se corresponde con una carga de refrigeración de 13,2 kW, aproximadamente el 75% de la capacidad nominal de la bomba de calor de referencia. Ya que los servidores permanecieron en estado inactivo, hubo apenas fluctuación en la carga. Sin embargo, debido al sensor de presencia del alumbrado interior, y a algún que otro fallo del hardware (sobre todo de fuentes de alimentación de servidores), la carga en el CPD fue medida durante la prueba con variaciones de entre 300 y 500 W. A fin de mantener una carga comparable entre los sistemas de los espacios acondicionados, el control del termostato se ajustó para que coincidieran las condiciones interiores entre distintas pruebas. La tabla 3 muestra las configuraciones de las temperaturas consignadas en los ensayos.

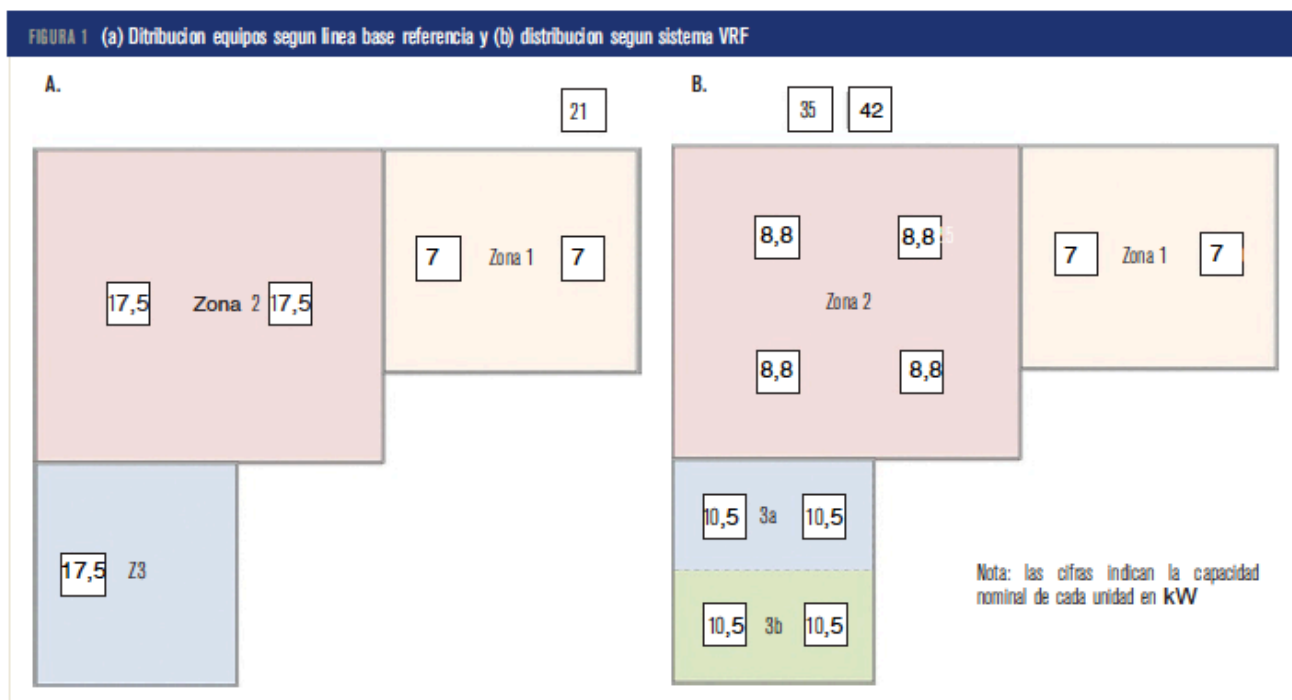
Los controladores de zona conectados al sistema VRF solamente permitieron ajustes fijos en la velocidad de los ventiladores, no ofreciendo ninguna función de secuenciación automática.

TABLA 1 Especificaciones para el equipamiento de línea base parametrizada

ESPACIO	SISTEMA	CAPACIDAD NOMINAL	CAUDAL DE AIRE
1: Ocupado	bomba calor VRF	Ud ext: 21 kW Ud Int: 2 de 7 kW	Alto/Med 1200/1020 m3/h c/u
2: Ocupado	bomba calor compacta RTU	2 de 17,5 kW	3400 m3/h c/u
3: CPD	bomba calor compacta RTU	17,5 kW	3400 m3/h c/u

Por tal motivo, los ventiladores funcionaban sin descanso a todas las horas durante todos los días. Téngase en cuenta que en general esto no fue una traba venida por el sistema VRF, sino por los controladores específicos utilizados durante los ensayos; diferentes controladores pueden permitir la operación de velocidad variable de los ventiladores de las unidades interiores. Del

mismo modo, los termostatos para las unidades roof-top/ bomba de calor de línea de base en zonas ocupadas se configuraron para que los ventiladores funcionaran ininterrumpidamente de 6:30 a.m. a 6:30 p.m., alternando automáticamente en este caso. (El ventilador de las roof-top del CPD funcionaba continuamente.)



Los ajustes de velocidad del ventilador de las VRF fueron seleccionados para coincidir con el caudal total de aire impulsado en cada espacio con arreglo al caudal de aire nominal de cada unidad (no medida). La Tabla 4 recoge los ajustes y caudales de aire nominales impulsados en cada espacio según la línea base de referencia y los sistemas VRF de esta prueba.

Aire exterior de renovación

En los últimos tiempos toda normativa del campo de la edificación suele exigir algún nivel de aire primario de ventilación para toda clasificación de edificios, lo que puede sumar sustancialmente en las cargas de calefacción y refrigeración de los sistemas de climatización. Esto puede llegar a ser de cierto peso durante las temporadas húmedas de verano. A los efectos de estas pruebas, el aire primario de ventilación fue seleccionado para que coincidiera con la de los sistemas de nuestra línea

base de referencia (bomba de calor). Dado que las roof-top/ bomba de calor no están provistas de aire primario de ventilación, ningún aire exterior de renovación fue por tanto impulsado a las zonas de estudio consideradas.

En cambio, el edificio se basa en los sistemas HVAC de zonas de más ocupación (oficinas) y áreas de descanso

TABLA 3 Consignas de Tª interior aplicadas en pruebas

ZONA	VERANO (FRÍO)	INVIERNO (RECUP. CALOR)
1: Ocupado	23,3°C	21,1°C
2: Ocupado	23,3°C	21,1°C
3: CPD	23,3°C	23,3°C

TABLA 4 Consignas velocidad ventilador aplicadas

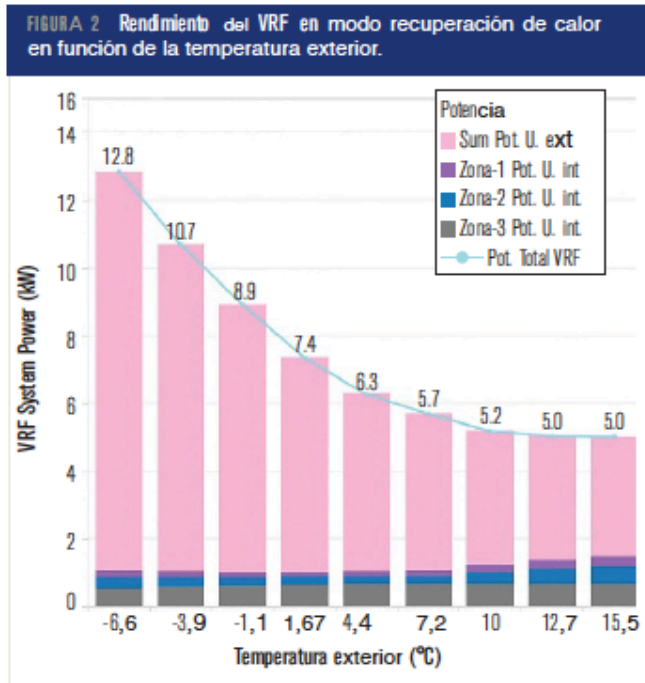
ZONA	LINEA BASE	VRF
1	Alto: 2412 m3/h	Medio: 2100 m3/h
2	6796 m3/h	Medio: 6477 m3/h
3	3398 m3/h	Alto: 3840 m3/h

cuyas necesidades de aire de renovación quedan

satisfechas. Esto fue así para ambas pruebas, la de línea base de referencia y también la de VRF.

Resultados de la prueba

El presente estudio se centra en los resultados de los ensayos del sistema VRF en modo de recuperación de calor durante los meses de invierno, que fue probado a finales de 2016. Durante este período la carga promedio en el CPD fue de 13,1 kW. La Figura 2 muestra el

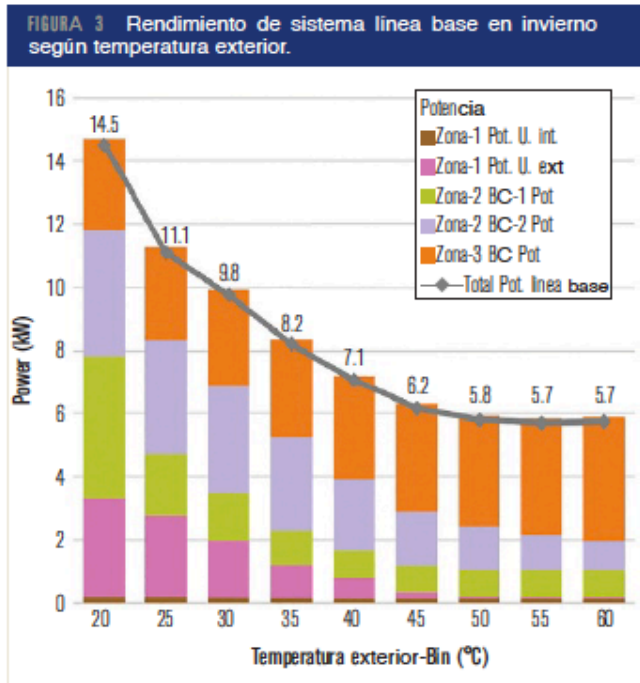


por su límite inferior, lo que significa que “4,4 bin” representa la operación en y por encima de 4,4 ° C, pero por debajo de 7,2 ° C. La figura muestra el uso de energía de cada unidad interior, la potencia combinada de las unidades exteriores, así como la potencia total del sistema. La figura 3 muestra el rendimiento de los sistemas de línea base durante los meses de invierno, cuando los espacios ocupados demandaban calor y el CPD sólo frío.

Al igual que los datos del VRF, esta figura etiqueta las temperatura por su límite inferior, y muestra sólo temperaturas por debajo de 18,3 ° C con más de cuatro horas de datos. La carga media en el CPD durante este período fue de 13,2 kW. Los resultados de las pruebas de invierno muestran que la tecnología VRF ofrece ahorros significativos sobre los sistemas base instalados en el laboratorio. Se halló que el sistema VRF usó 1,7 kW menos que la línea de base para la

consumo de energía medido de todo el sistema VRF en modo recuperación de calor durante los meses de invierno, trazado en función de la temperatura exterior.

La energía se grafica para temperaturas exteriores por debajo de 18,3 ° C, para las cuales fueron recogidos en el decurso de las pruebas más de cuatro horas de datos de funcionamiento por cada sistema. Téngase en cuenta que cada temperatura queda etiquetada



temperatura de -7 ° C, lo que se corresponde con un 12% de ahorro. Aproximadamente del 10% al 12% de los ahorros fueron logrados para toda temperatura salvo para -4 ° C, en que los ahorros fueron sólo de 400 W (3,6%). En general, estos resultados sugieren que hay cierta validez en la idea de que el VRF pueda reaprovechar el calor residual de un CPD integrado hacia otros espacios acondicionados.

Aplicación del VRF a CPD

A lo largo de la instalación y prueba del sistema VRF se identificaron varias cuestiones a ser consideradas y algunas “lecciones aprendidas”. Estas se exponen aquí para ayudar en el diseño, selección y operación de VRF de este tipo de aplicaciones, que tienen varias características singulares que han de ser tenidas en cuenta.

Dimensionamiento. El dimensionamiento correcto de los equipos HVAC es esencial para mantener los requisitos de confort de la forma más rentable y eficiente. El dimensionamiento del equipo puede resultar ser algo desafiante en no pocas aplicaciones, requiriendo una cuidadosa consideración de la dimensión del edificio, la ocupación, la carga de equipos, el aislamiento y las condiciones exteriores. Sin embargo, estimar la carga en un CPD presenta sus propios desafíos particulares. Por ejemplo, el equipamiento IT se suele especificar en términos de máxima intensidad de corriente, lo que permite dimensionar las líneas eléctricas y los equipos de suministro de energía. Sin embargo, el uso de potencia bajo cargas de trabajo reales es generalmente mucho menor que la máxima potencia permitida. Incluso cuando se conoce la carga IT (por ejemplo, al reemplazar el sistema de refrigeración de un CPD existente), puede ser difícil predecir las necesidades crecientes de IT o del cambio de servidores. Esto es especialmente desafiante debido a los ciclos de vida más cortos de los equipos informáticos en comparación con los de los sistemas HVAC.

Una de las principales ventajas de la tecnología VRF es que puede operar eficientemente en un rango de condiciones de carga mucho más amplio que los equipos convencionales de capacidad fija. Esto se debe a la capacidad de VRF para operar continuamente en condiciones de carga parcial, evitando los arranques-paradas frecuentes, lo que suele ser una importante fuente de pérdidas en un sistema de capacidad fija.

Esta capacidad permite cierta flexibilidad en el diseño de un sistema VRF. Una métrica usada para dimensionar el VRF es la relación de combinación (RC), que se define como la relación de la suma de las capacidades de las unidades interiores conectadas entre la capacidad del conjunto de unidades exteriores. Como tal, RC es una ratio sin unidades, dada como un porcentaje de la capacidad de las unidades exteriores.

Una RC superior al 100% indica que la capacidad de las unidades interiores es mayor que la de las exteriores, que es posible gracias a la simultaneidad de carga térmica en el edificio y requiere que las unidades interiores sean secuenciadas para permanecer dentro de la

capacidad disponible.

Los fabricantes suelen prescribir que su VRF pueda ser operado con RC desde 50% a 130% (según el sistema evaluado en este estudio), pero algunos recomiendan que sus productos VRF estén diseñados con RC de aproximadamente 70% a 130% para satisfacer la carga de manera eficiente y rentable. Se recomienda que el proyectista considere el requisito de enfriamiento constante del CPD al especificar el RC de un VRF que incluya salas IT, lo que reduce la simultaneidad de cargas y podría restringir el especificar capacidades con RC por encima del 100%.

Configuración de la unidad interior. Las unidades interiores del CPD deben dimensionarse para combatir primeramente la carga térmica en el CPD. Además, se deben seleccionar las unidades interiores a fin de cumplir con los requisitos de caudal de aire de los equipos IT, normalmente en un rango de 47 a 94 l/s y kW de carga IT, dependiendo de la densidad de carga, altitud, y el delta T entre pasillo frío y pasillo caliente.

En el aprovisionamiento de equipos para este estudio, se halló que pocos fabricantes ofrecen VRF para aplicaciones CPD. Los productos de refrigeración diseñados para CPD casi siempre son compactos de impulsión vertical—con caudal de impulsión hacia abajo (caso de falso suelo) u orientación para caudal de impulsión hacia arriba—, o diseñados para instalación en fila de racks (in-row). Configuraciones típicas de unidades interiores en los sistemas VRF incluyen las de techo (tanto de conductos como sin conductos), cassettes empotrados en falso techo, montadas en pared, verticales apoyadas en suelo (para configuraciones parejas a los sistemas residenciales típicos americanos, sistemas split). Uno de los fabricantes tenía en su portfolio un armario de cierta altura, para montar en suelo, lo que resulta bastante similar a los productos de enfriamiento in-row para CPD. Con cualquier unidad interior se recomienda que se procuren las mejores prácticas en el enfriamiento de CPD, incluyendo disposición de pasillo caliente / pasillo frío y encapsulamiento de pasillo para evitar la mezcla de aire.

Enfriamiento con bajas temperaturas exteriores. Un aspecto singular de las aplicaciones CPD es su requerimiento de enfriamiento a lo largo del año entero. Así, cualquier equipo de refrigeración especificado para CPD debe ser capaz de enfriar en todas las condiciones exteriores de su perfil climático. Algunos productos VRF no están especificados para proporcionar enfriamiento por debajo de -1°C y tener que entrar en protección contra hielo en tales condiciones.

Para evitar la pérdida de refrigeración a bajas temperaturas exteriores, es capital que las capacidades de baja temperatura del sistema sean verificadas, y que cualquier cambio se haga para permitir enfriamiento a bajas temperaturas, lo que puede implicar cambios en la configuración del sistema (por ejemplo, subir la velocidad del ventilador del condensador) y / o accesorios de hardware (protectores contra el viento en unidades exteriores).

Incluso con tales modificaciones, la capacidad de enfriamiento del sistema VRF se puede reducir significativamente para baja temperatura exterior, y debe ser cotejado con la carga del CPD según las condiciones esperadas.

Para la unidad evaluada en este estudio, el fabricante especifica que puede proporcionar capacidad de enfriamiento total hasta -5°C sin pérdida de capacidad. Para enfriamiento por debajo de esta temperatura, la protección de viento ha de ser instalada en la unidad exterior y la configuración de "enfriamiento a baja temperatura" debe estar habilitada. Dado que la carga de enfriamiento fue limitada de esta aplicación y fueron pocas horas las previstas por debajo de -5°C , tales ajustes fueron obviados para esta prueba. Tras una concienzuda inspección del desempeño del sistema, se observó que las unidades exteriores en el CPD alternaban cuando la temperatura exterior caía por debajo de $4,4^{\circ}\text{C}$, limitando la cantidad de enfriamiento proporcionado a estas temperaturas.

Esto fue causa de que se incrementara la temperatura en el CPD hasta $1,7^{\circ}\text{C}$ para $-6,7^{\circ}\text{C}$ exteriores. Se recomienda para futuros ensayos evaluar el impacto del control de "enfriamiento a baja temperatura" sobre la rutina de la operación de protección contra hielo.

Condiciones ambientales. ASHRAE TC 9.9 tiene publicadas guías de diseño sobre condiciones de temperatura y humedad dentro del CPD (ASHRAE, 2015). Estas directrices recomiendan que la temperatura del aire empleado para enfriar los equipos IT quede entre 18° y 27°C (temperatura de bulbo seco), con punto de rocío entre -9° y 15°C , hasta un máximo del 60% de humedad relativa. Tales recomendaciones deben ser aplicadas al aire de impulsión que es aspirado por los servidores (es decir, en el "pasillo frío") con la temperatura del aire de retorno ("pasillo caliente") con 11° a 22°C de temperatura por encima del aire de impulsión.

Sin embargo, el equipo de enfriamiento de confort está configurado por lo general en base al control-termostato, que se mide en el aire de retorno. Por lo tanto, se recomienda que el VRF especificado para CPD sea confirmado para operar con alta temperatura de retorno, y que sea instalado con el termostato ubicado en el pasillo frío.

Conclusiones

Se evaluó un sistema VRF en un edificio con pequeño CPD integrado, y se comparó su rendimiento contra los sistemas de climatización de línea de base preexistentes (predominantemente bombas de calor tipo rooftop). Los resultados de las pruebas en modo de recuperación de calor (invierno) arrojaron aproximadamente de un 10% a un 12% de ahorro de energía por el uso de VRF contra la línea base de comparación. Por otra parte, hubo varias "lecciones aprendidas" sobre la correcta aplicación de la tecnología VRF en pequeños CPD. Tales lecciones incluyen la importancia de un correcto dimensionamiento del sistema, la configuración de la unidad interior, la ubicación del termostato, los puntos de ajuste del termostato, y las configuraciones para el funcionamiento de refrigeración con baja temperatura exterior.

Estos resultados están destinados a reportar a diseñadores y prescriptores de sistemas que puedan considerar el uso de VRF en CPD, así como a los servicios de suministro eléctrico que busquen fomentar la adopción de tecnologías eficientes en sistemas de climatización.

ARTÍCULO TÉCNICO

Se sugiere que los esfuerzos de seguimiento se centren en cómo el tamaño relativo del CPD (en comparación con el espacio ocupado) pueda afectar al rendimiento del sistema VRF en su modo de recuperación de calor.

Agradecimientos

Este estudio se realizó como parte del “Programa 170” de Electric Power Research Institute’s (EPRI’s) sobre el uso final de la Eficiencia Energética y la respuesta a la demanda del suministro de energía. A los autores les gustaría reconocer la asistencia técnica prestada por Daikin en la especificación y puesta en servicio del sistema VRF aquí evaluado.

Referencias

ASHRAE. 2011. TC 9.9 Whitepaper, “2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance.”

D. Bennett and P. Delforge. 2012. “Small Server Rooms, Big Energy Savings: Opportunities and Barriers to Energy Efficiency on the Small Server Room Market,” Natural Resources Defense Council (NRDC), New York, NY.

Natural Resources Defense Council (NRDC). 2014. “Data Center Efficiency Assessment: Scaling Up Energy Efficiency Across the Data Center Industry: Evaluating Key Drivers and Barriers,” NRDC, New York, NY.

Shehabi, A., Smith, S.J., Horner, N., Azevedo, I., Brown, R., Koomey, J., Masanet, E., Sartor, D., Herrlin, M., Lintner, W. 2016. United States Data Center Energy Usage Report. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Berkeley, California. LBNL-1005775.