

Aplicación de sistemas VRF descentralizados

Joaquín Orejón

Ingeniero industrial

Un sistema de climatización o HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) es aquel que permite controlar la temperatura, la humedad, el grado de renovación, la calidad y la velocidad del aire. Se sitúa a la cabeza de los sistemas que buscan adquirir el confort termohigrométrico e higiénico del mismo. Se componen de un equipo generador de frío y/o calor, un fluido térmico que transporta calor y una serie de unidades terminales situadas en las zonas a climatizar. Las necesidades de un edificio pueden ser muy diversas, por lo que el diseño del sistema de producción de energía debería realizarse teniendo en cuenta todas éstas, ampliando así las posibilidades de recuperación energética y estudiando la viabilidad de cada posible solución. Las nuevas tecnologías hacen más fácil la gestión energética de los edificios, pero en el momento de la construcción o sustitución de un sistema de producción de energía térmica, pocas veces se tiene en cuenta el coste de explotación y mucho menos las particularidades de la gestión energética posterior. El objetivo del trabajo es el análisis del límite de rentabilidad entre los sistemas de climatización centralizados y los descentralizados. Se basa el estudio en estos dos sistemas, evaluados desde la dimensión de la instalación y su aplicación, analizando el equilibrio entre inversión inicial, explotación de la instalación y amortización en ratios de consumo eléctrico y equivalencias en emisiones de CO₂ en kg/año en producción primaria. Una vez evaluado el análisis teórico, se muestran soluciones de sistemas descentralizados y sistemas de ventilación utilizando como referencia las unidades que pone en el mercado Mitsubishi Electric BV Europe.

Sistemas centralizados y descentralizados

La climatización ha de permitir la generación de frío y calor en un mismo sistema de distribución, combinando los elementos generadores de frío y calor al mismo tiempo, que dependerá del fluido portador utilizado. Dichos sistemas de climatización pueden adoptar diferentes tecnologías, se trata de realizar una clasificación genérica en función de características comunes, tales como las representadas en la Tabla 1.

Sistemas de Climatización	
Sistemas de producción centralizada	Sistemas de producción descentralizada
Volumen constante (unizona) Volumen de aire variable (VAV) Fancoils con enfriadora de agua	Unidades de ventana Unidades partidas (Split) Unidades VRF

Tabla 1. Clasificación de sistemas de climatización

La diferencia entre estos dos sistemas está en la centralización de la producción energética. Mientras que para un sistema centralizado la producción viene dada para el total de la demanda en conjunto, con un sistema descentralizado es posible la parcialización de la producción por zonas según demandas. El estudio se realizará tomando como referencia, para la producción de frío y calor de sistemas centralizados, unidades enfriadoras de agua y, para los sistemas descentralizados, unidades VRF.

Los sistemas de Caudal Variable de Refrigerante (VRF) son sistemas de bomba de calor térmica reversibles de expansión directa. Permiten conexionar varias unidades interiores a una sola unidad exterior únicamente mediante una línea frigorífica por la que circula gas refrigerante, normalmente R-410a, para el transporte de la energía entre el ambiente exterior y el am-

biente interior a climatizar. Este tipo de sistemas son descentralizados, pero a pequeñas y medianas potencias pueden considerarse como sistemas centralizados, puesto que se puede llegar a conectar el total de las unidades interiores de la zona a climatizar a una sola unidad de producción.

Su funcionamiento se basa en la variación del caudal de refrigerante que llega a cada una de las unidades interiores en función de la demanda térmica del edificio, controlando así más eficazmente las condiciones de temperatura de los locales a climatizar. Esto se consigue gracias a la tecnología de regulación inverter de los compresores, que se realiza mediante el empleo de un variador de frecuencia que cambia el voltaje de alimentación a un voltaje de corriente continua y, finalmente, éste a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con una frecuencia variable. Al variar la frecuencia eléctrica de alimentación al compresor se regula su frecuencia de giro, desplazando en cada momento el caudal de refrigerante necesario en función de la información que recibe desde las unidades interiores. Si la demanda de potencia disminuye, el caudal de refrigerante requerido es menor, por lo tanto, el compresor reduce su frecuencia de giro disminuyendo el consumo eléctrico del motor y optimizando de esta manera el rendimiento global de la instalación.

Con cada tipo de sistema se deberá disponer de una parcialización de la producción diferente. Los sistemas centralizados deberán garantizar su adaptación al perfil de cargas del edificio mien-

Lo ideal sería que las zonas donde no se requiera climatización no produzcan ningún tipo de consumo, por lo que se recomendarían sistemas descentralizados.

tras que los sistemas descentralizados deberán garantizar su adaptación al perfil de cargas de cada zona. Si bien esta clasificación es clásica, cabe destacar que los sistemas de VRF existentes hoy en día permiten un diseño parcialmente centralizado de instalaciones de media potencia.

Dependerá de cada tipo de edificio, de sus cargas, demandas mínimas y su uso. Un tipo de sistema podrá ser más eficiente que otro, si bien, con un sistema descentralizado se podrá garantizar que no existan consumos energéticos por disposición de servicio, es decir, que las zonas del edificio que no estén en uso no tengan consumos de mantenimiento (fluidos en circulación o pérdidas en depósitos de inercia) gracias a una regulación inverter.

Si seguimos la máxima que indica que la climatización más eficiente es aquella que no es necesaria, lo ideal sería que las zonas

donde no se requiera climatización no produjesen ningún tipo de consumo, por lo que se recomendarían sistemas descentralizados.

Por lo general se deberá analizar el edificio y determinar si el uso será intensivo con grandes cargas térmicas, o bien, podrá tener un uso con mayor fluctuación o indeterminado.

Por otro lado, utilizar sistemas centralizados conlleva la selección de unidades de producción de mayor potencia. Éstas, normalmente, ofrecen gamas de mayor rendimiento.

La selección de unidades VRF permite disponer de elevados rendimientos energéticos para todos los rangos de potencias, en cambio para enfriadoras existe una gran variabilidad en función de los fabricantes o modelos, como se muestra en la siguiente tabla comparativa para valores de coeficientes de rendimiento actualmente existentes en el mercado (Tabla 2).

Una diferencia entre estos dos sistemas se encuentra en el método de extracción o cesión de calor al medio a tratar, pudiendo ser sistemas directos o indirectos.

	Condensación por aire		Condensación por agua	
	Sistema VRF	Enfriadora B/C	Sistema VRF	Enfriadora B/C
EER	3.0 a 4.30	2.70 a 3.47	3.96 a 5.71	4.25 a 6.35
ESSER	3.9 a 5.64	2.95 a 5.91	4.91 a 7.14	4.65 a 9.45
COP	3.6 a 4.50	2.80 a 3.92	4.54 a 6.06	3.85 a 4.92

Los datos de enfriadoras corresponden a valores máximos extraídos de análisis de productos actualmente certificados en el mercado de diferentes fabricantes a 2008. Los mínimos corresponden a la mínima exigencia de etiquetaje Clase C que otorga EUROVENT, descartando equipos de Clases D, E y F. EER, ESSER y COP coeficientes obtenidos a mismas condiciones, según definición ISO

Tabla 2. Diferencias de rendimientos.

tos. Un sistema descentralizado tipo VRF se clasificará como un sistema directo, donde el evaporador o el condensador del sistema de climatización, por el que circula el fluido portador, está en contacto directo con el medio a climatizar. En cambio, un sistema centralizado deriva en un sistema indirecto, donde dicho evaporador o condensador del sistema de climatización está situado fuera de la zona o local a climatizar, extrae o cede calor a un fluido secundario que se hace circular para tratar el medio citado. En general, el sistema directo resulta de mayor eficiencia energética respecto al indirecto puesto que no existen costes de transporte del fluido secundario para la extracción o cesión de calor al medio a climatizar, con los consecuentes consumos energéticos adicionales que ello conlleva.

Adicionalmente, los costes de transporte del fluido primario son habitualmente menores, debido a que el transporte se realiza en forma de calor latente de cambio de fase, el cual es mucho mayor al calor sensible que se utiliza en el fluido secundario por unidad de masa.

Los sistemas centralizados derivan en unos costes y tiempos de instalación mayores respecto a los descentralizados, así como también una mayor exigencia en cuanto a espacios de instalación se refiere. En cambio, los descentralizados ofrecen un ajuste de funcionamiento automático en la puesta en marcha, asegurándose la eficiencia de los equipos desde fábrica, mientras que en la puesta en marcha de equipos centralizados se requieren ajustes de funcionamiento.

La centralización de la producción de energía térmica reduce costes en consumos energéticos aunque, también es cierto que aumentan los costes operativos. En los sistemas centralizados el mantenimiento preventivo y correctivo es mucho más elevado que en los sistemas descentralizados, puesto que serán efectuados de forma más paulatina y permiten la sustitución parcial de equipos por zonas conforme finaliza la vida útil de éstos, mientras que para sistemas centralizados al no permitirlo se requiere una mayor inversión. En cuanto a costes predictivos se refiere, serán de menor envergadura en

sistemas descentralizados puesto que todos los elementos de la instalación están incluidos en el interior de las unidades.

Otra diferencia entre estos sistemas es el control que ofrecen. Mientras que para sistemas centralizados existen controles versátiles, con diferentes calidades que pueden derivar en disponer de histéresis elevadas en la regulación de temperaturas. Para los descentralizados existen sistemas de control integrados y muy completos, con unos ajustes precisos requeridos para el control del ciclo de refrigeración, que son aprovechados para una precisa regulación de temperaturas, con menores histéresis y pérdidas de energía, incorporando también códigos de averías y pre-alarmas de mal funcionamiento desde fábrica.

Análisis Energético. Caso de Estudio

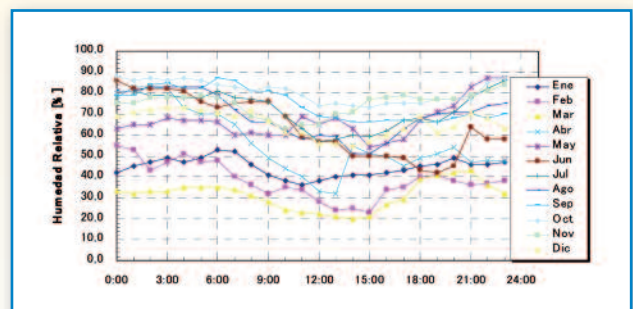
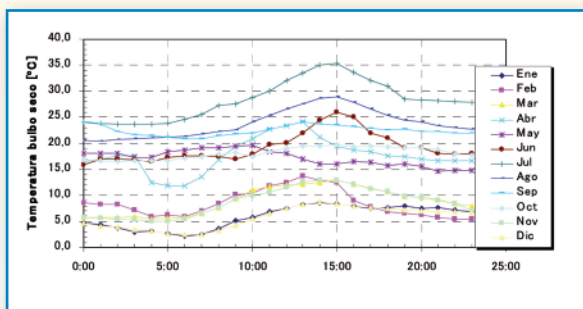
Para realizar un modelo adecuado para la simulación y análisis, se establece como caso de estudio un Centro de Salud con una superficie de 2.000 m² cuyos locales a climatizar comprenden

Caso de Estudio

[kcal/h]	Q latente	Q sensible	Q total	FCS
Verano	85,527	120,597	206,124	58.5%
Invierno	-	136,880	136,880	



Gráfico 1. Demanda térmica global.



Gráficos 2 y 3. Distribución de temperaturas exteriores

las zonas administrativas, de espera y de consultas con una demanda térmica global que aparece representada en el gráfico 1.

Se ha escogido un modelo de distribución de temperaturas exteriores que corresponderían a una zona climática moderada en la península (Gráficos 2 y 3).

Los equipos que se han definido para el caso de estudio, como se ha comentado con anterioridad, son enfriadoras de agua/bomba de calor para sistemas centralizados y VRF para sistemas descentralizados.

Sistema 1

Se trata de un sistema VRF con recuperación de calor que cubrirá todas las necesidades energéticas del edificio. El sistema combina unidades terminales de expansión directa para acondicionar las zonas de confort, con unidades terminales para producción de producción de ACS hasta 70°C. Al ser un sistema de producción mixto, el sistema dispone de recuperación total del calor de condensación para la producción de ACS.

Sistema 2

Sistema especializado de producción de refrigeración y calefacción mediante planta enfriadora no inverter.

Una vez definidos los sistemas, teniendo en cuenta las necesidades térmicas del edificio, podemos observar los modelos de producción elegidos para cada uno de ellos, así como algunas de sus características principales tales como su potencia, rendimiento, consumo, nivel de regulación y cantidad de unidades necesarias para cubrir las mencionadas necesidades del edificio (Tabla 3).

Resultados

En la primera parte del análisis se observa el grado de adaptación de ambos sistemas a la demanda máxima del día más desfavorable que, como se puede observar, corresponde al patrón de cargas horarias representado en el gráfico 4.

Todo ello teniendo en cuenta que el sistema VRF inverter dispone de una regulación exacta

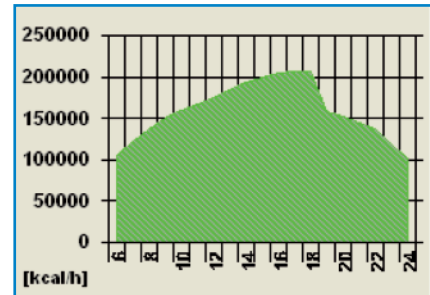


Gráfico 4

de potencia hasta el 15% de la potencia total instalada. Por debajo de ese límite los consumos se considerarán iguales al 15% (mínimo de regulación), en cambio, el sistema de enfriadoras de agua no inverter pararán y arrancarán para compensar el exceso de potencia en horas de carga parcial. Estos equipos se configurarán para arrancar con un diferencial de 1°C respecto a la consigna, pero con un tiempo mínimo de parada de 3 minutos para protección de compresor. Durante el paro de un equipo, la temperatura de la zona aumentará en función de la demanda térmica de dicha zona, aumentando la "demanda real" del intervalo considerado, cosa que implica un consumo adicional de estos equipos. En el gráfico 5 se

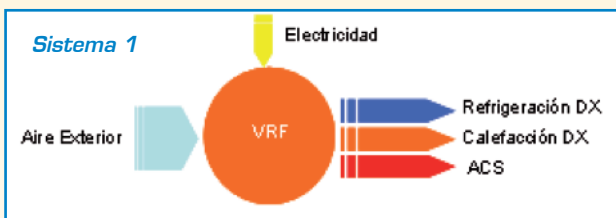


Tabla 3

MODELOS A COMPARAR	Unidades (-)	Pot. Frig. (Kcal/h)	COP (-)	Consumo (kw)	Regulación (Kcal/h mín)	Regulación (%mín)
Modelo (-)						
VRF (R410a)						
PURY-P350YHM-A	6	35.000	3,20	12,72	5.250	15,0%
TOTALES	6	210.000	3,20	76	5.250	2,50%
ENFRIADORA (R407c)						
32 HP	3	77.400	2,83	31,80		(*) Todo / Nada
TOTALES	3	232.200	2,83	95		

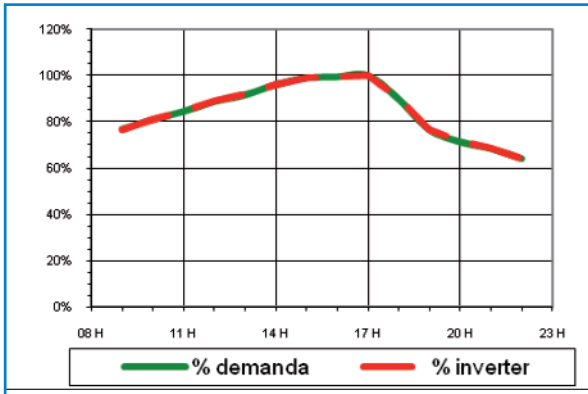


Gráfico 5.

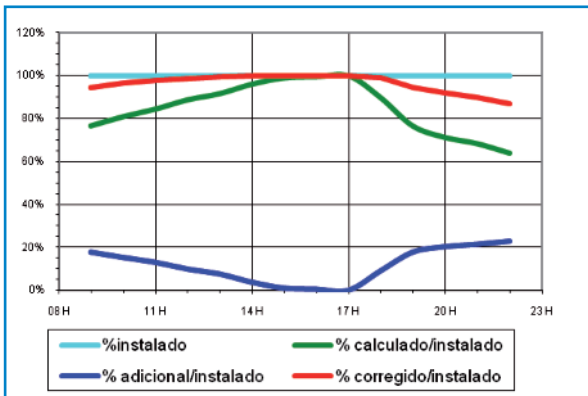


Gráfico 6.

puede observar el grado de adaptación del sistema VRF inverter.

Como se puede observar, este sistema dispone de una regulación exacta de potencia. En la siguiente grafica se observa el grado de adaptación del sistema con enfriadoras de agua no inverter (compresores constantes), así como también el exceso de potencia instalada (Gráfica 6).

Una vez visto esto y teniendo en cuenta los datos aportados de estos sistemas referentes a su potencia, rendimiento, consumo, nivel de regulación y cantidad de unidades instaladas, se procede a comparar el consumo eléctrico de ambos, detallados en la Tabla 4, teniendo en cuenta un horario de funcionamiento para el edificio de 9 a 22 horas.

Como se puede observar, el porcentaje de demanda es menor en el sistema con enfriadoras de agua, puesto que la potencia instalada es más elevada, ahora bien, el consumo global del día es menor para el sistema VRF, obteniendo un ahorro de energía de un 28% (Gráfico 7).

Distribución horaria de Cargas (sólo de 9 a 22 en intervalos de 1h, resto de horario sin uso)								
Hora H	Demanda Kcal/h-1E3	Dem/VRF %	Cons.VRF kW	Dem/ENF %	Cons.ENF kW	Ahorro kW	%Aho %Aho	Ahorro acum. kW.h / día
9	158	75%	57,41	68%	85,66	28,25	33%	28,25
10	167	80%	60,68	72%	87,88	27,20	31%	55,45
11	174	83%	63,23	75%	89,41	26,19	29%	81,64
12	183	87%	66,50	79%	91,12	24,63	27%	106,26
13	189	90%	68,68	81%	92,10	23,43	25%	129,69
14	198	94%	71,95	85%	93,34	21,39	23%	151,08
15	204	97%	74,13	88%	94,00	19,87	21%	170,95
16	205	98%	74,49	88%	94,10	19,61	21%	190,56
17	206	98%	74,85	89%	94,19	19,34	21%	209,89
18	185	88%	67,22	80%	91,46	24,24	27%	234,13
19	158	75%	57,41	68%	85,66	28,25	33%	262,39
20	147	70%	53,42	63%	82,56	29,15	35%	291,53
21	141	67%	51,24	61%	80,69	29,45	37%	320,98
22	132	63%	47,97	57%	77,64	29,68	38%	350,66
		83%	889,17 kW	75%	1.239,83 kW	350,66 kW	28%	350,66 kW.h / día

Tabla 4

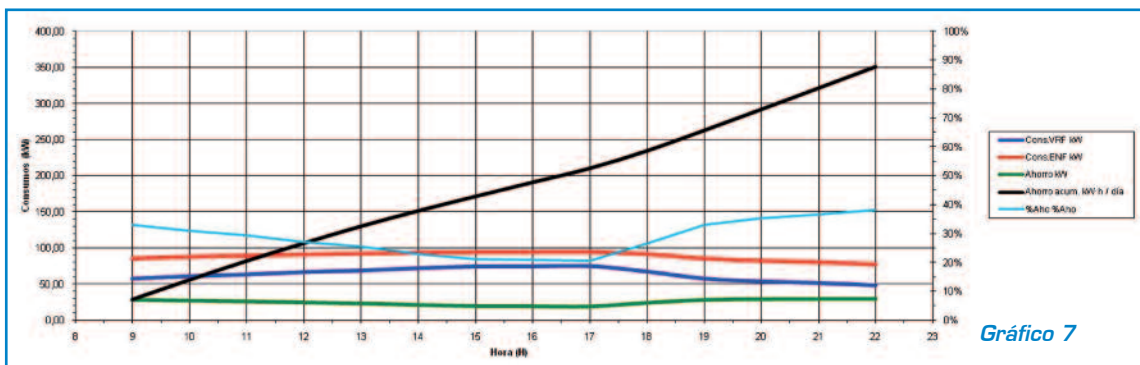


Gráfico 7

VRF	Total anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
Consumo eléctrico [MWh]	185,6	15,1	13,2	10,5	14,7	17,1	19,6	19,0	18,0	17,1	14,5	11,9	14,9
Consumo de energía primaria [MWh]	530,2	43,1	37,7	30,0	42,0	48,9	55,9	54,3	51,4	48,9	41,4	34,1	42,6
Emisiones de CO ₂ [t-CO ₂]	74,2	6,0	5,3	4,2	5,9	6,8	7,8	7,6	7,2	6,8	5,8	4,8	6,0
Enfriadora	Total anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
Consumo eléctrico [MWh]	271,4	24,0	22,0	18,0	20,0	22,0	27,3	26,5	25,0	21,5	20,5	19,8	24,8
Consumo de energía primaria [MWh]	775,5	68,6	62,7	51,4	57,1	62,9	77,9	75,7	71,4	61,4	58,6	56,7	71,0
Emisiones de CO ₂ [t-CO ₂]	108,6	9,6	8,8	7,2	8,0	8,8	10,9	10,6	10,0	8,6	8,2	7,9	9,9

Tabla 5

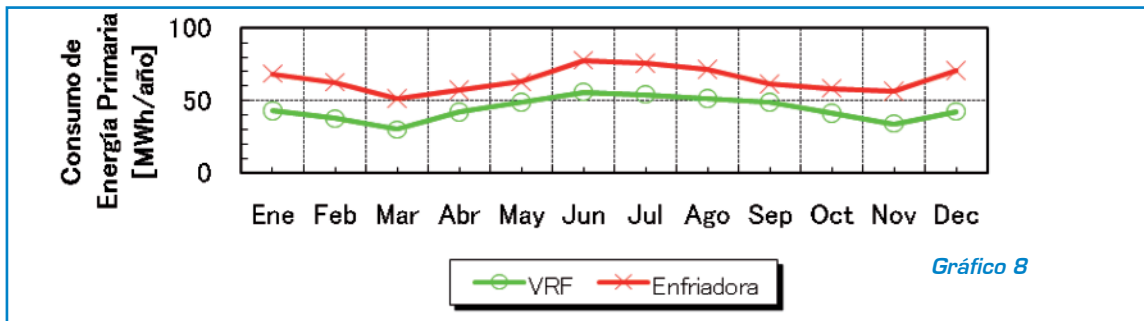


Gráfico 8

Partiendo de esta información se procede a comparar, a nivel mensual y anual, el consumo eléctrico, el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ de cada uno de estos dos sistemas (Tabla 5).

El consumo de energía primaria se calcula a partir de los consumos de energía eléctrica de cada mes y de la eficiencia de generación de electricidad, que se considera de un 35%. Como se desprende de la observación de los resultados, los consumos de energía primaria disminuyen en relación con la capacidad de recuperación de los sistemas, en este caso siendo menor para el VRF (Gráfico 8).

Las emisiones de CO₂ dependen en gran medida de la calidad de la energía consumida. En este caso se considera que para la producción de la energía primaria se emiten 0,4 kg CO₂ por cada kWh de energía eléctrica producida.

Como se puede observar, para la aplicación en cuestión, las emisiones de CO₂ se reducen en un 37,7% empleando sistemas des-

centralizados VRF respecto a la utilización sistemas centralizados con producción mediante Enfriadoras de agua no inverter (Gráfico 9).

Conclusiones

Teniendo en cuenta el estudio realizado, se puede observar como el consumo eléctrico y por consecuencia las emisiones de CO₂ son menores, a similar potencia frigorífica instalada, para sistemas VRF respecto Enfriadoras de agua constantes. El sistema VRF inverter dispone de una regulación exacta de potencia hasta el 15% de la potencia total instalada, en cambio el sistema de enfriadoras de agua no inverter parará y arrancará para compensar el exceso de potencia en horas de carga parcial, cosa que provocará un aumento de la temperatura con el paro de un equipo, en función de la demanda térmica de dicha zona, aumentando la "demanda real" del intervalo considerado y, por consiguiente, un consumo de energía adicional.

Actualmente se dispone de la tecnología para el empleo de sis-

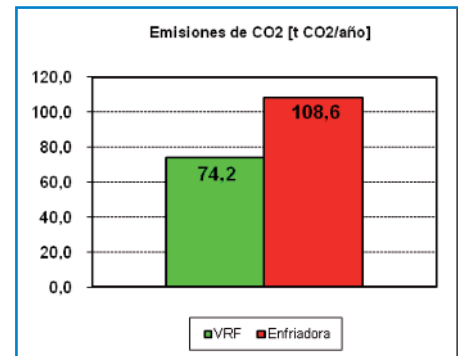


Gráfico 9

temas de climatización tipo bomba de calor para usos mixtos, cubriendo diferentes demandas energéticas con el mismo sistema de producción de energía térmica, desde el acondicionamiento térmico de confort, pasando por la producción de ACS, hasta refrigeración de equipos especiales. Incluso combinando en los mismo equipos diferentes soluciones de elementos terminales como pueden ser climatizadores, paneles radiantes, inductores, vigas frías y equipos de expansión directa. Todo ello, unido a las prestaciones de recuperación energética, permite proyectar instalaciones con reducidos consumos y mínimas emisiones de CO₂. ✕