

TECHNICAL FOCUS

VPF FLUJO PRIMARIO VARIABLE

LAS INSTALACIONES HIDRÓNICAS CON CIRCUITO PRIMARIO CON CAUDAL VARIABLE (VPF)

Una atención creciente a la reducción de los consumos energéticos de las instalaciones de climatización, junto con la búsqueda de ahorro en los costes de gestión de las instalaciones y a la necesidad de reducir las emisiones de CO₂, está llevando a los constructores de máquinas y a los diseñadores expertos en instalaciones termomecánicas a estudiar nuevas instalaciones alternativas a los esquemas que se usan ya desde hace decenas de años, que aún siendo válidos ya no se consideran como imposibles de modificar.

En cuanto a la climatización hidráulica en este ámbito entre las innovaciones más estudiadas en los últimos años encontramos las instalaciones con caudal de agua variable en el circuito primario, más conocidas como VPF (Variable Primary Flow). Estos esquemas empezaron a desarrollarse en los EE.UU hace algunos años y se han podido usar gracias a la evolución tecnológica de los grupos de bombeo a velocidad variable y al uso de lógicas de control cada vez más avanzadas para gestionar chiller modulantes.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
Capítulo 1	
Esquemas hidrónicos de referencia.....	4
Capítulo 2	
Análisis de un caso de estudio	8
Capítulo 3	
Conclusiones.....	15



La serie "Technical Focus" tiene como finalidad mostrar, solo a título de ejemplo, las posibles ventajas del uso de las soluciones innovadoras de Aermec.

Los datos y los resultados que se presentan en esta publicación, al referirse a edificios y a situaciones específicas pueden variar, incluso bastante, en base a las aplicaciones y al uso. Por esta razón los cálculos y las consideraciones que se han realizado en este documento no pueden sustituir de ninguna manera a las actividades de diseño del profesional experto en termomecánica.

Aermec se reserva el derecho de aportar, en cualquier momento, los cambios necesarios para mejorar el producto, inclusive modificaciones de los datos publicados.

© 2016 Aermec, All right reserved.

INTRODUCCIÓN

Al variar de carga, la modulación del caudal de agua, elaborada por las bombas de instalación (rendimiento posible si se usan válvulas de dos vías modulantes en las baterías de intercambio de las UTA /o válvulas de dos vías ON/OFF en los ventilosconectores), respecto a los gastos de bombeo con plena carga, comporta una reducción que no debe pasarse por alto.

Es suficiente pensar que la potencia absorbida por la bomba es proporcional al caudal elaborado y a la presión distribuida al fluido que se trata:

$$P_a = \frac{Q \cdot h \cdot \rho}{\eta}$$

Como es sabido en un circuito hidráulico las pérdidas están relacionadas con al cuadrado del caudal del fluido en tránsito:

$$\Delta p = k \cdot Q_w^2$$

Legenda:

Q Caudal

h Presión

ρ Densidad

η Rendimiento



Por lo tanto una reducción de los caudales del 50% del valor nominal reduce las pérdidas de carga de la instalación en los tramos comunes del circuito, aproximadamente del 25% del valor nominal; como es evidente, aunque el valor de rendimiento de la bomba quede penalizado respecto al valor del punto nominal, la reducción de los gastos de bombeo no son irrelevantes.

El principal motivo que ha convencido a los diseñadores y fabricantes para usufruir de este tipo de instalaciones, depende sobre todo de la intención de reducir lo máximo posible los gastos de bombeo de la instalación y de intervenir no solo en los consumos de distribución del agua lado aplicaciones, que ya se utiliza normalmente en los equipos desde hace años, si no también en los consumos relacionados con el bombeo del fluido termovector, mediante los refrigeradores y los órganos principales de la central térmica-frigorífica.

Como es lógico en gran parte los tramos del circuito de la instalación que se ocupan de la distribución (circuito secundario) son más largos de los que se encuentran en la central térmica-frigorífica (circuito primario), por lo tanto la mayor parte de los ahorros energéticos del bombeo normalmente se obtienen modulando el caudal de agua en el secundario: este mayor ahorro energético y económico relacionado con el caudal variable en el primario, permite que las instalaciones ya eficientes lo sean cada vez más y es una medida de que ahorro energético que normalmente no es demasiado costosa en términos económicos.

Esta innovación en el diseño de instalaciones relaciona directamente a los fabricantes de las máquinas para acondicionamiento, puesto que los problemas que se deben afrontar a la hora de la gestión de uno o de varios refrigeradores atravesados por una caudal de agua variable durante el funcionamiento, son considerables.

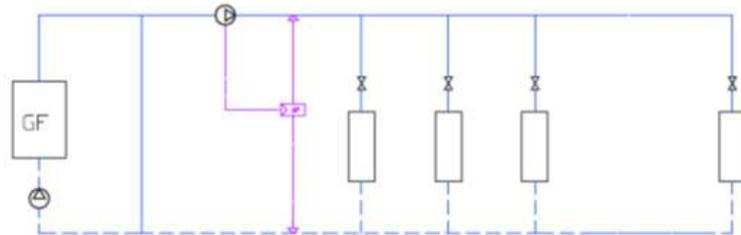
Si estudiamos por ejemplo el estado de la técnica en líneas generales, es decir, las instalaciones más comunes con refrigeradores y bombas de calor que se ajustan al esquema VPF; indicaremos las precauciones principales que se deben tomar al elegir las máquinas, al diseñar la instalación, en la puesta a punto de la regulación y el soporte del sistema y haremos algunas consideraciones sobre los potenciales ahorros que pueden derivarse de una instalación de referencia.

A parte de las consideraciones generales y del ejemplo que hemos tratado, es fundamental que recordemos que al usar esta modalidad de instalación cada caso se tratará individualmente, evaluando las criticidades y sopesando si es factible y conveniente dependiendo de las máquinas específicas que se hayan seleccionado y de la configuración y extensión de la instalación.



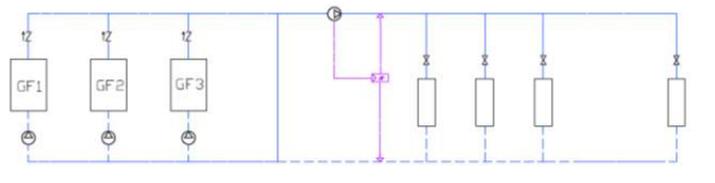
Capítulo 1 ESQUEMAS HIDRÓNICOS DE REFERENCIA

A continuación se indican los dos esquemas de instalaciones más comunes que se pueden usar para una instalación hidráulica de climatización estival y/o invernal (el primero con un solo refrigerador y el segundo con varios refrigeradores en paralelo).



Esquema 1-a: instalación de anillo doble con refrigerador individual.

Como es sabido estos esquemas de anillo doble prevén la presencia de dos circuitos (el circuito primario, localizado normalmente cerca de la central térmica-frigorífica y el circuito secundario, que abastece a las aplicaciones).



Esquema 1-b: instalación de anillo doble con varios refrigeradores en paralelo.

Sistema AERMEC MULTI-CHILLER



Visualizador pGD³



Tarjeta electrónica pCO1

Como se indica en los esquemas hidráulicos indicados arriba, el anillo doble sirve para mantener constante el caudal de agua en el intercambiador de cada refrigerador.

En el caso de varios chiller en paralelo (que llevan regulación Aermec Multi-Chiller) la reducción de la carga se transformaba en el apagado progresivo de las máquinas y de sus bombas.

El principal motivo de esta precaución se debe al comportamiento del circuito frigorífico durante un transitorio con la variación en el caudal de agua; normalmente los grupos pueden aceptar caudales de agua con valores que pertenecen a un campo bastante amplio (normalmente el caudal máximo corresponde a un ΔT de 3° C aproximadamente y el caudal mínimo corresponde a valores de ΔT de 10° C aproximadamente, en el caso de funcionamiento a plena carga); si los caudales de agua son demasiado bajos provocan un régimen laminar dentro del intercambiador con una sensible reducción de los coeficientes de intercambio, en cambio caudales de agua demasiado altos provocarían vibraciones y erosión de las superficies del intercambiador.

No existen problemas si se producen variaciones de caudal suficientemente graduales (dentro de los límites que fija el fabricante, en cada grupo frigorífico que está encendido).

La situación más crítica se refiere al caso en el cual esto se produzca bruscamente; lo cual conllevaría variaciones en el funcionamiento del circuito frigorífico, que tenderá a compensar la válvula termostática pero no de forma instantánea y que podría



Válvula Termostática Electrónica

poner en peligro los compresores.

Un aumento imprevisto de caudal de agua aumentará de forma instantánea el intercambio térmico en el evaporador y en el transitorio, esto significa, mayor sobrecalentamiento y un ligero incremento de la temperatura de evaporación, pero normalmente no es peligroso para los compresores.

Una disminución imprevista del caudal de agua en cambio, reduce el intercambio al evaporador, reduciendo de forma instantánea el sobrecalentamiento que podría anularse, la situación es potencialmente peligrosa para los compresores ya que puede llevar a retornos de líquido.

Una válvula electrónica, en lugar de la termostática mecánica, está más preparada para adaptarse a compensar posibles interferencias en el caudal de agua, pero para que sea lo suficientemente precisa y para evitar oscilaciones, también debe actuar con tiempos lo suficientemente largos, normalmente unas decenas de segundos; en el caso de que se trate de instalaciones que prevén variaciones de caudal en los refrigeradores, es conveniente prepararla pero esta precaución no es suficiente por sí sola para proteger el chiller de cualquier criticidad.

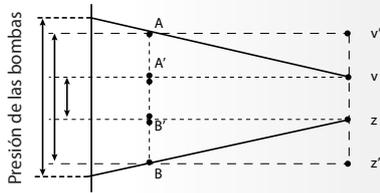
De todos modos será necesario preparar otras precauciones que garanticen el tránsito de un caudal de agua correcto en cada refrigerador que está funcionando, para evitar alarmas de flujo, penalizar excesivamente el intercambio térmico y además para asegurar variaciones de caudal lo suficientemente graduales en las máquinas.

Para ello se considera cauteloso usar sistemas de modulación en la instalación de distribución, que aseguren una reducción del caudal de agua inferior al 10% al minuto, del valor nominal.

además para evitar que se alcancen valores fuera de los límites de caudal que cruza el intercambiador, es necesario instalar un tramo de desviación con válvula moduladora, cerca de la central térmica-frigorífica.

La parte más compleja de la regulación de las instalaciones VPF necesita nuevas lógicas de gestión integradas, que a menudo se implementa con tarjetas adicionales específicas, en las cuales la parcialización de los compresores se consigue siempre regulando la temperatura en impulsión, pero con controladores sistemas específicos son capaces de coordinar las acciones en los actuadores del circuito hidráulico (bombas, válvulas de desviación) con la regulación de los procesadores de los chiller.

Perfil de las variaciones de las presiones cuando varían las posiciones de las sondas.



A continuación se indican algunos esquemas de instalación que prevén el caudal variable en los refrigeradores y una breve descripción de la lógica de gestión de los mismos.

El primer esquema (esquema 2-a) se refiere al caso de instalación de anillo simple con caudal variable con un refrigerador individual.

La gestión del sistema está integrada en las funciones del procesador del refrigerador o se encarga a un controlador auxiliar que normalmente proporciona el fabricante y es capaz de interactuar con el refrigerador de agua, el grupo de bombeo y una válvula moduladora colocada en el tramo de desviación.

El caudal de agua que se envía a las aplicaciones se modula en función de la solicitud real de los terminales, mediante una regulación de la bomba, que mantiene constante el diferencial de presión entre la impulsión y el retorno, en dos puntos escogido específicamente. La elección más correcta para colocar las sondas de presión la decide el encargado de proyecto, en base a las características de cada instalación.

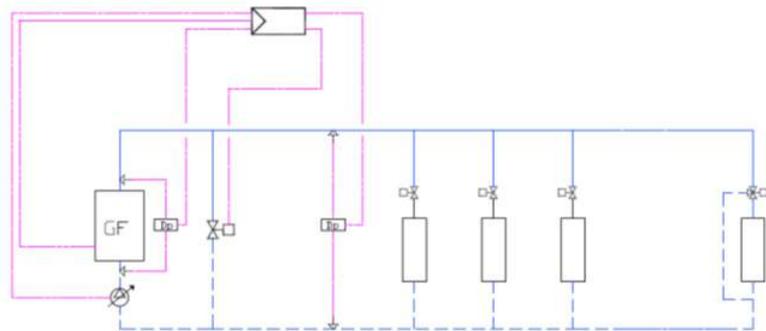
El refrigerador que a su vez modula la potencia distribuida en base a la temperatura de impulsión, necesita mantener un valor mínimo de caudal fluente a través del intercambiador (normalmente aproximadamente del 50% del caudal nominal), por lo tanto el controlador de sistema ejecuta el monitoreo de este valor mediante un segundo detector de presión diferencial colocado en los extremos del evaporador. Cuando se alcanza el valor mínimo admisible de caudal en el chiller, se bloquea el número de revoluciones de la bomba, que no se reducirá más, otra disminución de caudal exigida a las aplicaciones se obtiene mediante la apertura gradual de una válvula de dos vías moduladora situada en el tramo de desviación.

El funcionamiento de una instalación de anillo simple con caudal variable con varios refrigeradores en paralelo (esquema 2-b) se controla con una lógica parecida.

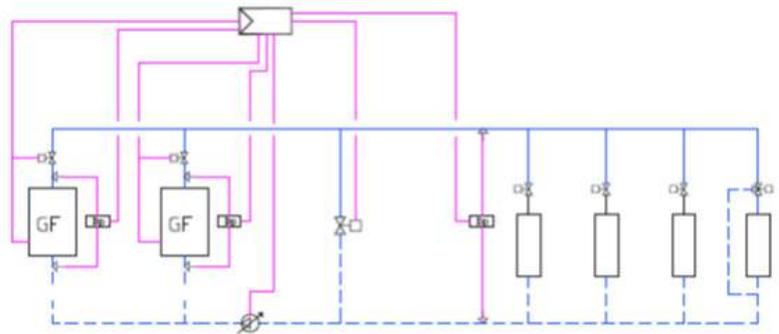
Cuando varía el caudal que exigen las aplicaciones (función del nivel de apertura de las válvulas de dos vías moduladoras y/o ON-OFF de los termostatos locales), el regulador actúa con la bomba de inverter modulando el número de revoluciones y manteniendo parcializado el funcionamiento de ambos refrigeradores, cada uno de los cuales es atravesado por un caudal de agua reducido.

Este funcionamiento favorece ya sea las ventajas energéticas relacionadas con el funcionamiento parcializado de los refrigeradores, como las relacionadas con la reducción de los gastos de bombeo de todo el sistema de distribución.

Cuando se alcanza el caudal mínimo admisible en los chiller, el regulador interviene gestionando la apertura de la válvula de desviación y el apagado progresivo de los chiller, con el consiguiente cierre del tramo correspondiente; el apagado y la interceptación progresiva de los chiller, permite modular el caudal total, respecto al caudal mínimo, en los que han permanecido funcionando.



Esquema 2-a: instalación de anillo simple con caudal variable con un solo refrigerador



Esquema 2-b: instalación de anillo simple con caudal variable con varios refrigeradores

Estas soluciones conllevan ventajas energéticas que deben evaluarse caso por caso en función de la arquitectura de la instalación, del tipo de máquina escogido, del perfil de carga estacional y del perfil climático de la localidad en la que está instalada.

A continuación analizaremos un caso-estudio de una instalación hidráulica que se usa para refrescar un edificio de oficinas, alimentado por un chiller aire-agua con compresores de tornillo y evaporador con haz de tubos.

El análisis confirma que conviene una instalación VPF respecto a una solución tradicional, con bomba de caudal constante en el circuito primario y caudal variable en el secundario.



Ejemplo de un local de oficinas



NSM3202X^{°°E°°00}

Simulación que se realiza con el programa de selección Magellano, disponible para el download del área de ayuda del sitio internet de Aermec.



Capítulo 2 ANÁLISIS DE UN CASO DE ESTUDIO

Para evaluar los potenciales ahorros energéticos y económicos de una solución con caudal variable al primario, respecto a soluciones más tradicionales, cogemos como ejemplo la climatización estival de un edificio de oficinas con instalación de dos tubos; la instalación alimentada con una central térmica durante la estación invernal, está servida con un refrigerador con compresores de tornillo e intercambiador de haz de tubos.

A continuación indicamos las características del edificio en cuestión:

localidad: Roma

temperatura externa de proyecto, estival: 35°C

humedad relativa externa de proyecto: 45%

destino de uso: oficinas

Perfil de activación de la instalación: 5 días a la semana, de las 7 a las 19 horas,

estación estival (meses: mayo a septiembre)

Superficie de tránsito: 900 m² por planta, 7 plantas; Stot = 6300 m²

Tipo de instalación: aire primario + ventilconvectores

Carga máxima frigorífica: 713 kW

Refrigerador: AERMEC NSM3202X^{°°E°°00}, seleccionada con las condiciones siguientes:

Enfriamiento

Potencia distribuida	kW	740,55
Potencia absorbida	kW	238,58
Corriente absorbida	A	389,15
E.E.R.	W/W	3,10
E.S.E.E.R.	W/W	4,07
Temperatura del aire en entrada con bulbo seco	°C	35,00
Temperatura del agua en entrada	°C	12,19
Salto térmico	°C	5,19
Temperatura del agua de salida	°C	7,00
Glícol etilénico	%	0
Caudal de agua	l/h	122.763
Pérdidas de carga	kPa	23,89

Los datos nominales del circuito hidráulico referidos al funcionamiento a plena carga, son los siguientes:

Solución 1 (instalación tradicional):

Circuito Primario:

Caudal de agua mc/h 123,8
Pérdida de carga kPa 48

Circuito Secundario:

Caudal de agua plena carga mc/h 123,8
Pérdida de carga kPa 154

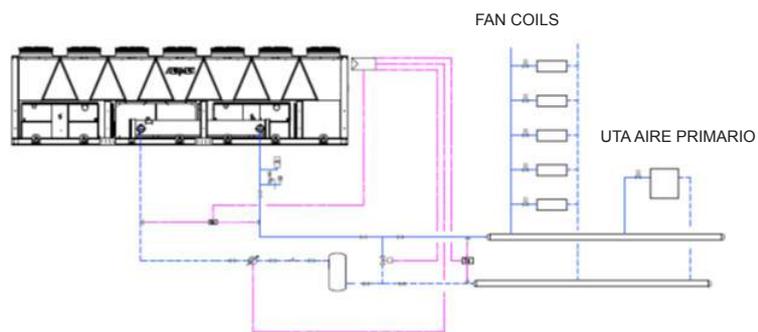
Solución 2 (instalación VPF):

Caudal de agua plena carga mc/h 123,8
Pérdida de carga kPa 194

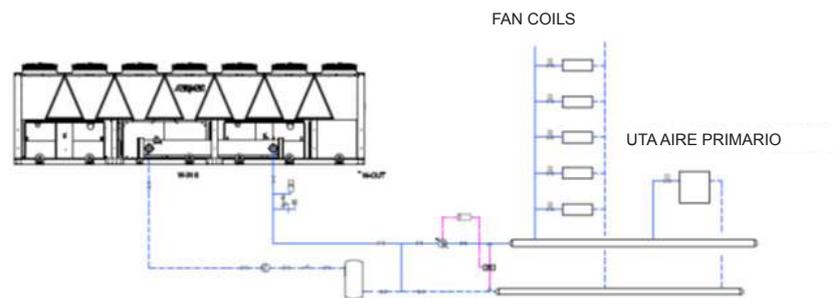
La instalación de climatización es de tipo por aire primario y ventiloconvectores, prevé por lo tanto la presencia de una central de tratamiento de aire para el aire que se debe renovar (aire neutro) y el control de las condiciones de cada local, mediante ventiloconvectores instalados en cada uno de los locales que se abastecen.

Se incluye un esquema funcional de instalación encaso de solución tradicional y en caso de VPF.

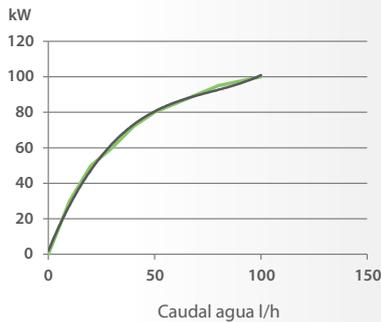
Esquema funcional de la instalación - solución VPF



Esquema funcional de instalación con circuito tradicional de anillo doble

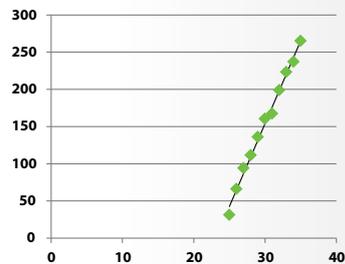


VARIACIÓN DEL CAUDAL/POTENCIA BATERÍA MODULADORA (UTA)



■ Variación rendimiento/caudal batería UTA
■ Polinomial

VARIACIÓN DE CAUDAL/POTENCIA BATERÍA ON-OFF (FAN COIL)



■ Carga Frigo ventilación kW
■ Lineal (Carga Frigo ventilación kW)

La modulación de la potencia frigorífica en la batería de la UTA (con control de la temperatura en impulsión con punto fijo) se realiza mediante válvula de dos vías moduladora: la regulación de los terminales en ambiente, en cambio, se realiza mediante ciclos de ON-OFF en la ventilación con válvula de dos vías ON – OFF abierta cuando lo solicita el termostato local.

El caudal de agua a las aplicaciones se mantiene proporcional a la solicitud real, mediante una regulación con presión diferencial constante entre el colector de impulsión y el colector de retorno, que actúa en la bomba del secundario en caso de solución tradicional y en el grupo de bombeo único, en caso de solución VPF.

El caudal de agua que se envía a los terminales es siempre más o menos proporcional a la potencia frigorífica que se solicita, al contrario, el caudal solicitado por la batería de la UTA ejecuta una variación no lineal.

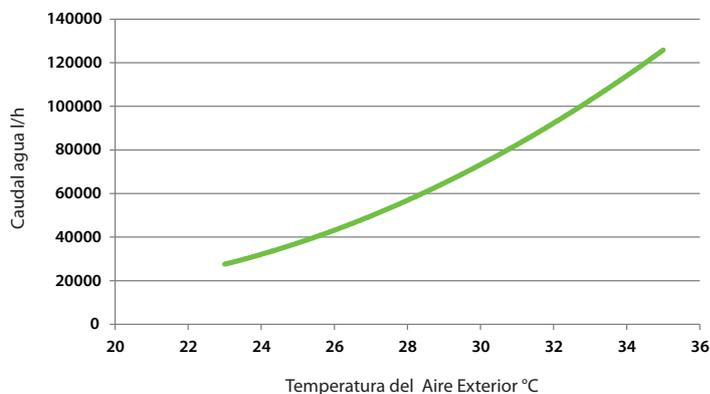
CONSUMOS ENERGÉTICOS DEL EDIFICIO

El cálculo de previsión de los consumos energéticos del refrigerador, que se refieren al estación estival, se ha efectuado calculando la carga frigorífica relacionada con la ventilación (cubierto por la UTA) y la relacionada con la transmisión, a la radiación y a las cargas internas (cubierto por los ventiloconvectores) que depende de la temperatura externa.

Para calcular las absorciones eléctricas de la instalación de climatización estival usamos la relación siguiente, entre temperatura externa, potencia frigorífica solicitada y caudal de agua enviado a los terminales (UTA + fan coils), que se indica a continuación:

Caudal de Agua Aplicaciones		
T Externa °C	P Frigo kW	Q agua l/h
35	714	122693
34	662	117413
33	623	106227
32	575	92010
31	519	78497
30	488	72715
29	439	63997
28	390	56654
27	349	50823
26	297	44613
25	237	38102
24	182	31254
23	158	27084

CAUDAL DE AGUA DEL CIRCUITO DE LA INSTALACIÓN



Caudal de agua media del circuito de aplicaciones en función de la temperatura externa



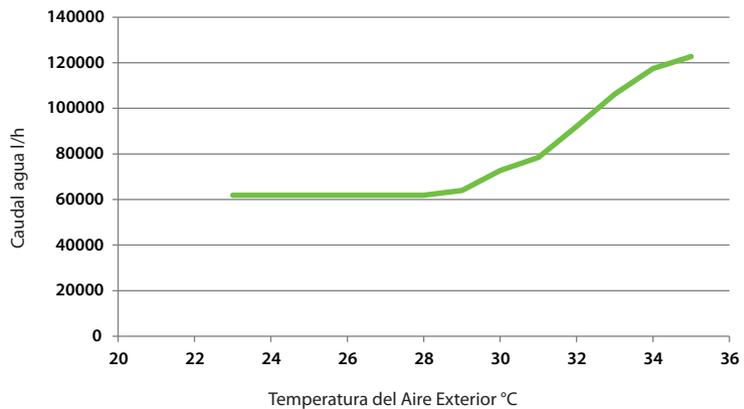
UTA: Unidad de tratamiento del aire de la serie NCD que se utiliza para renovar el aire que se solicita debido a la presencia de personas.



FCZ: fancoil utilizado para satisfacer la carga sensible y latente en todas las oficinas.

El caudal de agua que se envía a las aplicaciones se decide de la manera siguiente: se refiere al que circula en el circuito secundario o en el caso de VPF, al que se envía a los colectores del lado aplicaciones; pero en este último caso, el caudal mínimo de agua elaborado por el refrigerador equivale al 50% del valor nominal, por lo tanto la relación entre temperatura externa – carga y caudal de agua del chiller, en este caso, es la que se muestra a continuación:

Caudal agua del chiller (mín 50%)		
T Externa °C	P Frigo kW	Q agua l/h
35	714	122693
34	662	117413
33	623	106227
32	575	92010
31	519	78497
30	488	72715
29	439	63997
28	390	61911
27	349	61911
26	297	61911
25	237	61911
24	182	61911
23	158	61911

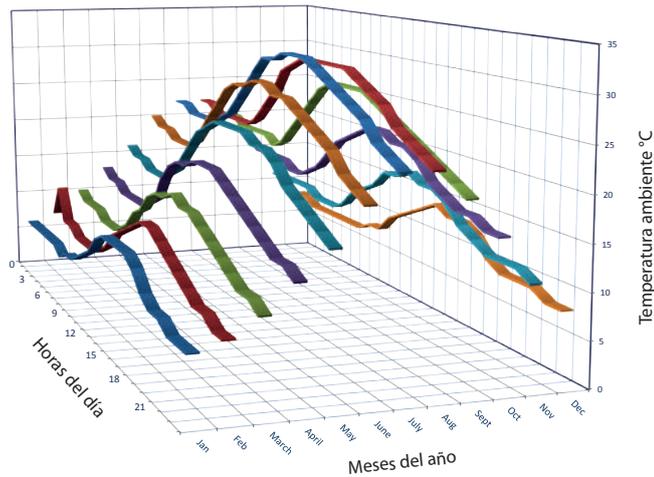


Caudal de agua medio de la bomba VPF en función de la temperatura externa

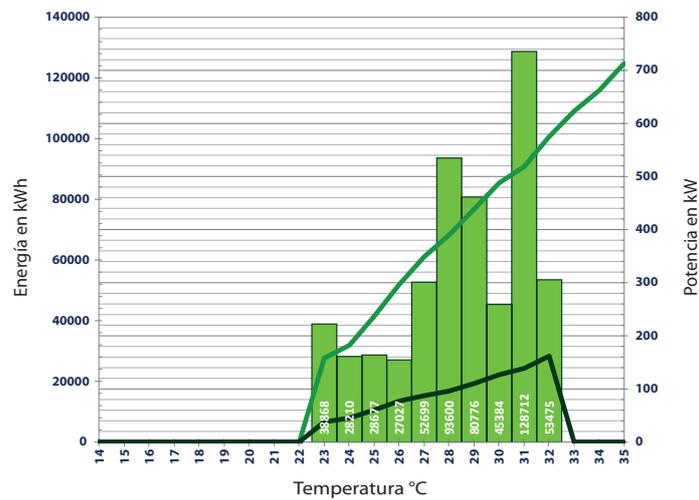
Se ha calculado la frecuencia con la que se produce cada valor de temperatura durante todo el año, consultando los datos relativos a la localidad (Roma) y a las franjas horarias de uso real de la instalación.

Se ha calculado para cada valor de temperatura, en función del grado de parcialización del grupo frigorífico, el valor de potencia absorbida mediante el uso del programa AERMEC ACES; es fundamental observar que este valor no tiene en cuenta las absorciones de los grupos de bombeo, que entre otras cosas, son externos al grupo frigorífico: estos valores se han calculado a parte.

Perfil horario medio mensual de la temperatura Localidad Roma



Análisis de las prestaciones del chiller: NSM3202E



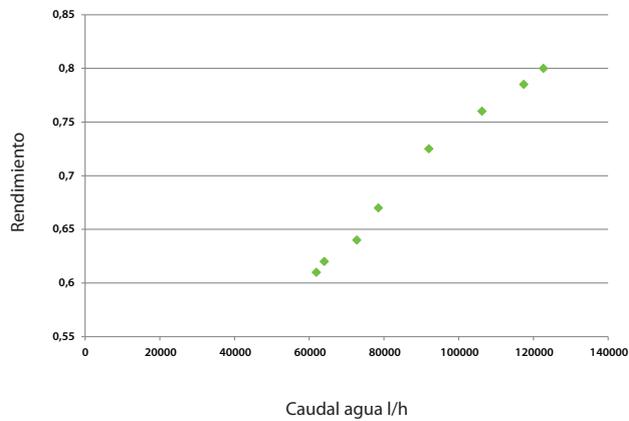
- Energía Frigorífica en kWh
- Potencia frigorífica Kw
- Potencia Absorbida kW

El programa ACES es un instrumento que ha puesto en marcha AERMEC para calcular consumos y eficiencia de los refrigeradores a nivel estacional (ya sea en un refrigerador simple como en refrigeradores en paralelo), se usa para análisis energéticos evolucionados, con los que se puede optimizar la elección de los chiller y la estrategia de gestión de los grupos frigoríficos en paralelo, para conseguir la máxima eficiencia energética de sistema.

También se ha puesto la máxima atención al calcular los gastos de bombeo, debido a que este aspecto es básico para decidir las ventajas energéticas y económicas entre solución tradicional y VPF.

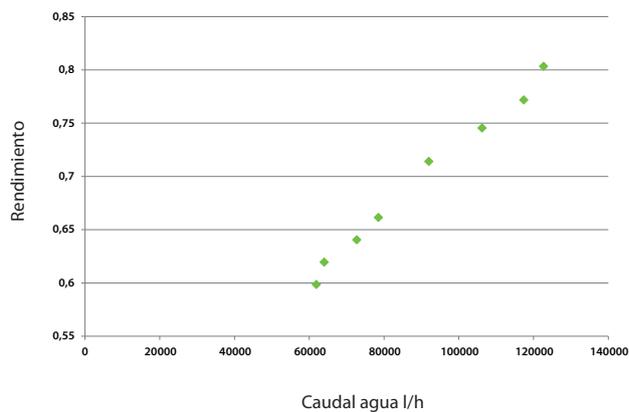
El cálculo de la potencia consumida por los grupos de bombeo en las diferentes condiciones de caudal/presión, calcula la pérdida de rendimiento cuando varía el punto de trabajo (ya sea para la bomba de servicio del circuito secundario en la instalación tradicional, como para la bomba única en la instalación VPF).

Rendimiento de la Bomba del Circuito Secundario Instalación Tradicional



Bomba Inverter

Rendimiento de la Bomba Única Instalación VPF

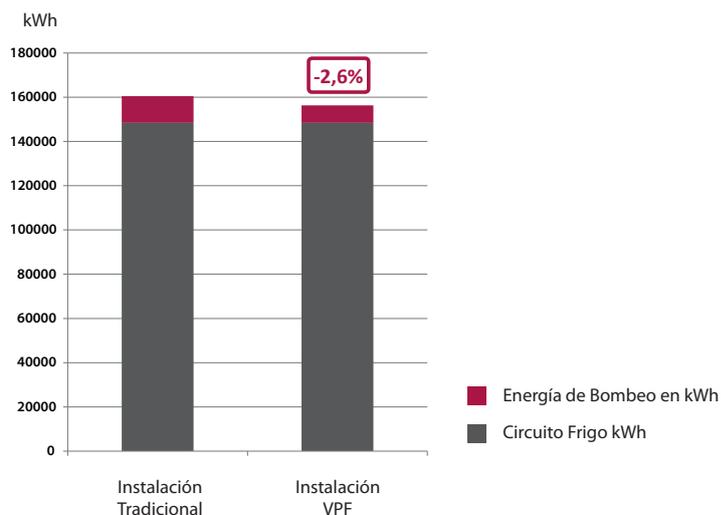
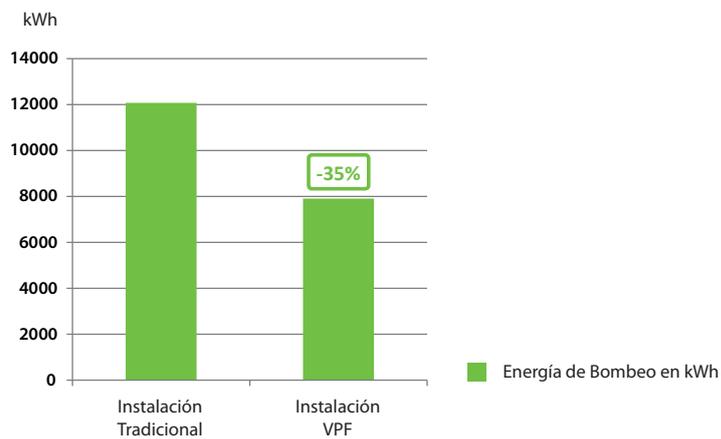


- (1) El coste más elevado de la solución VPF incluye los siguientes componentes: 2 medidores de caudal en los intercambiadores, desviaciones con válvula moduladora, regulador adicional para sistema VPF
- (2) Coste de la energía eléctrica 0,18 € por kWh
- (3) Tasa de interés anual 4%, tasa de inflación 2%, vida útil de la instalación 15 años

A continuación se indican los resultados del cálculo tanto de los gastos de bombeo solamente, como los referidos a la absorción de energía total (chiller + grupos de bombeo) y el resultado de la comparación entre las dos instalaciones.

		Instalación tradicional	Instalación VPF
Absorción de las bombas	(kWh)	12070	7907
Absorción refrigerador	(kWh)	148335	148335
Absorción total	(kWh)	160405	156262
Mayor coste VPF / tradicional	(€) (1)		1500
Ahorro del coste de la energía VPF / tradicional	(€ al año) (2)		749
Período medio de recuperación	(años)		2 años
VAN diferencial VPF / tradicional	(€) (3)		7963

COMPARACIÓN DE LOS GASTOS DE BOMBEO ENTRE UNA INSTALACIÓN TRADICIONAL Y UNA INSTALACIÓN VPF



Capítulo 3 CONCLUSIONES

Los ahorros energéticos en el bombeo no se pueden pasar por alto en los dos casos: en cuanto a porcentaje sobre el total de los consumos no son valores muy elevados, como era previsible, teniendo en cuenta que la incidencia de los gastos de bombeo solo del circuito primario, no son representativos como primer resultado del consumo.

De todos modos se trata de una medición de la eficiencia energética de coste bastante bajo, teniendo en cuenta que los costes más altos de los componentes previstos para la instalación VPF (controlador, válvula moduladora en desviación, medidores de caudal del agua en los evaporadores) no son muy exagerados para instalaciones de potencia medio-alta.

Esta medida por lo tanto se amortiza en tiempos bastante breves (normalmente unos 3 años) y es una inversión con valor actual neto positivo que conviene durante la vida útil de la instalación, por lo tanto es una elección rentable no solo desde el punto de vista ambiental.



Aermec S.p.A. via Roma 996 - 37040 Bevilacqua (VR) Italy
T. +39 0442 633111 F. +39 0442 93577
marketing@aermec.com
www.aermec.com