

Convertidores de Frecuencia Variable para el ahorro de energía en hospitales

Preparado por el señor Raúl Gil, ABB Asea Brow Boveri S.A.

Un Convertidor de Frecuencia Variable (CFV) es un dispositivo eléctrico que se utiliza para controlar la velocidad de un motor de inducción trifásico de CA estándar. El número de polos del motor y la frecuencia que se le aplica, determinan su velocidad base. Es posible ajustar fácilmente la velocidad del motor modificando la frecuencia aplicada. También es posible cambiar la velocidad del motor ajustando el número de polos, pero esto conlleva la transformación física del motor. Sería necesario efectuar un rebobinado y el resultado alteraría drásticamente la velocidad base. Por lo tanto, por razones de comodidad, rentabilidad y precisión, se cambia la frecuencia (y la tensión). Para cada salida de frecuencia específica del convertidor, el motor de CA proporciona una curva par/velocidad diferente.

Ahorro de energía con los convertidores de frecuencia variable

Se calcula que más del 60% de la energía eléctrica generada en EE.UU. se destina a impulsar ventiladores y bombas. La mayoría son de tipo centrífugo.

Los ventiladores y bombas centrífugos cumplen las "leyes de afinidad" con respecto a la presión, el flujo y la energía consumida.

Las leyes de afinidad (también conocidas como "leyes de los ventiladores") indican que la salida o flujo del ventilador en pies cúbicos por minuto es directamente proporcional a la velocidad de éste. La presión estática es proporcional a la velocidad del ventilador al cuadrado y los CV que requiere el ventilador son proporcionales, a su vez, a la velocidad del ventilador elevada al cubo. Por lo tanto, según las leyes de afinidad de la velocidad, la presión y la potencia, para producir un flujo de aire del 50%, el ventilador debe funcionar al 50% de su velocidad. En este punto de funcionamiento, el ventilador produce el 25% de su presión nominal ($0,5 \times 0,5 = 0,25$) y necesita solamente el 12,5% de su potencia nominal ($0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,125$ o 12,5%). Existen varias formas de obtener un flujo de aire variable con un ventilador centrífugo. Los métodos de uso más común son los reguladores de salida de aire, los álabes distribuidores y los convertidores de frecuencia de velocidad variable.

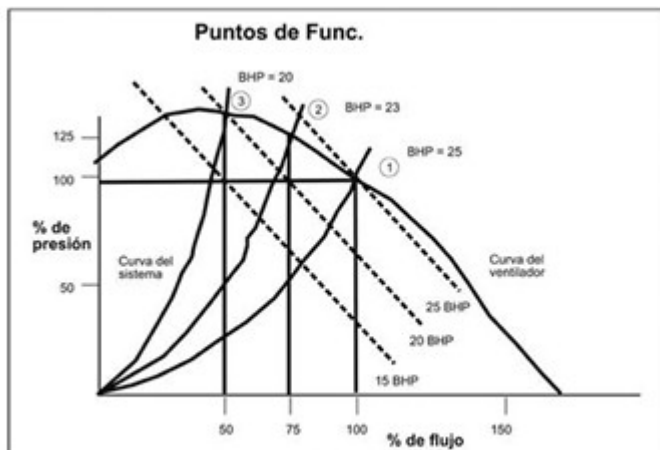


Figura 1: Uso del regulador de salida de aire

Utilizaremos la Figura 1, que aparece a continuación, para mostrar la diferencia en la cantidad de energía que se consume cuando se utiliza un regulador de salida de aire o el control de flujo mediante convertidores de velocidad variable. La curva superior de la figura es la "curva del ventilador". La curva del ventilador representa las características de presión y producción de flujo de un ventilador concreto. Las curvas que se elevan desde el origen de los ejes X e Y son las "curvas del sistema". Las curvas del sistema representan el sistema físico de distribución de aire, lo que incluye conductos, filtros, reguladores de equilibrio y el mecanismo de regulación de flujo de la salida de aire del ventilador.

El punto 1 de la Figura 1 representa el flujo total, o flujo de diseño, con el regulador de salida de aire en posición completamente abierta. En el ejemplo mostrado esto corresponde, aproximadamente, a una potencia al freno de 25 BHP de energía, necesarios para suministrar el 100% de flujo con una presión nominal del 100%. El punto 2 representa un nivel de flujo del 75% con el regulador de salida de aire parcialmente cerrado.

Debido a la pérdida de presión en el regulador de salida de aire, la presión aguas abajo del regulador disminuye. Este nivel de presión/flujo equivale a 23 BHP de energía, aproximadamente.

Finalmente, el punto 3 representa un nivel de flujo del 50%, obtenido al cerrar todavía más el regulador de salida de aire, con la consiguiente disminución del flujo e incremento de la carga en el regulador, cerrado casi por completo. Este nivel de presión/flujo equivale a 20 BHP de energía, aproximadamente.

Este método de control se denomina en ocasiones "riding the fan curve". Tal y como se muestra en la Figura 1, el control mediante el regulador de salida de aire y "riding the fan curve" resultan en una pequeña disminución de los BHP en las velocidades de flujo más reducidas. Se suministra energía (kW) al motor del ventilador con el fin generar presión, aunque luego se elimina posteriormente al producirse una caída de la carga en el regulador de salida de aire. Este método de control puede compararse con conducir un vehículo pisando al mismo tiempo el acelerador y el freno. Es como si, para reducir la velocidad del vehículo, se pisara a fondo el freno y se abriera completamente la válvula del acelerador, en lugar de cerrarla.

LOS CFV EVITAN EL CONTROL TRADICIONAL MEDIANTE FRENADO Y OPTIMIZAN EL CONSUMO DE ENERGÍA

Un sistema mucho más eficaz emplearía un CFV para accionar el motor del ventilador. En un sistema CFV se reduce la velocidad del motor del ventilador, lo que disminuye, a su vez, el flujo de aire. Basta con fijar los reguladores de salida de aire en posición completamente abierta e instalar un CFV para convertir un sistema con regulación de aire en un sistema de velocidad variable.

La señal eléctrica que se utilizaba anteriormente para controlar la posición del regulador puede utilizarse ahora como señal de referencia de velocidad del CFV. Con el funcionamiento a velocidad variable, cada velocidad crea una curva del ventilador diferente.

Cuando un ventilador funciona a velocidad reducida, se produce una nueva curva del ventilador paralela a la curva de diseño correspondiente al funcionamiento a máxima velocidad. Véase la Figura 2.

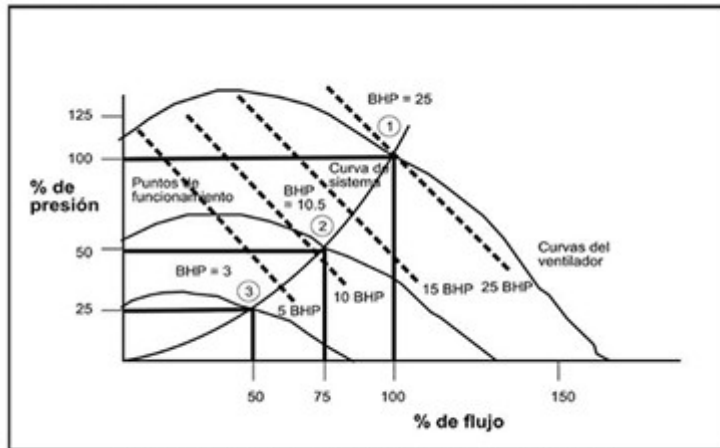


Figura 2: Uso de CFV en lugar de reguladores de salida de aire

Con el control del ventilador mediante CFV, si se necesita un flujo de aire del 75% (punto 2), como en el ejemplo anterior, el convertidor de frecuencia hace funcionar el motor al 75% de su velocidad. En la figura anterior puede observarse que la velocidad de flujo del punto 2 (75%) solamente requiere 10,5 BHP. De manera similar, para un nivel de flujo del 50%, el control mediante velocidad variable requiere aproximadamente 3 BHP. Con el control mediante regulador de salida de aire, el mismo nivel de funcionamiento requeriría aproximadamente 20 BHP.

Para poner en perspectiva este ahorro potencial, tomaremos como base las siguientes condiciones de funcionamiento para el ventilador de 25 CV utilizado anteriormente como ejemplo. Supongamos que se trata de un ventilador destinado a suministrar aire para un hospital, por lo que funciona las 24 horas del día, siete días a la semana, 365 días al año o, lo que es lo mismo, 8.760 horas anuales.

Supondremos, así mismo, un ciclo de funcionamiento estándar en flujo reducido en forma de curva de campana como el siguiente: 100% de flujo durante el 2,5% del tiempo; 90% de flujo durante el 7,5% del tiempo; 80% de flujo durante el 10% del tiempo; 70% de flujo durante el 15% del tiempo; 60% de flujo durante el 22% del tiempo; 50% de flujo durante el 22% del tiempo y, finalmente, 40% de flujo durante el 21% del total de 8.760 horas.

Basándonos en las leyes de afinidad y las condiciones descritas, se obtienen los siguientes kW/h (kilovatios/hora) al año, con velocidad constante y control mediante regulador de salida de aire: 171.975 kW/h al año. Con las mismas condiciones y control del ventilador mediante velocidad variable, serían necesarios tan sólo 53.430 kW/hora al año. Finalmente, suponiendo que este hospital paga un promedio de 0,10 dólares por kW/h (incluyendo la tarifa básica por kW y el gasto por demanda), el método de control mediante regulador de salida de aire requiere 17.198 dólares al año para accionar el ventilador. El control mediante CFV requiere 5.343 dólares al año para proporcionar el mismo nivel de funcionamiento y flujo del ventilador. En este ejemplo el ahorro total sería, por lo tanto, de 11.855 dólares al año.

Incluso con las estimaciones más generosas en cuanto a los costes de un CFV y su instalación, en el ejemplo anterior el gasto se recuperaría en menos de un año. Aunque, en opinión del autor, las “normas generales” son siempre peligrosas, con los costes

energéticos predominantes o más habituales en EE.UU., la mayoría de las aplicaciones de ventiladores y bombas centrífugas con una potencia superior a 10 CV recuperarían su coste en dos años o menos.

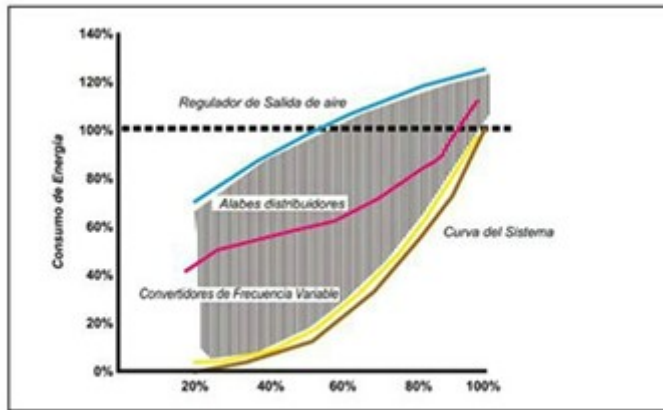


Figura 3: Consumo energético de un ventilador

La Figura 3 muestra de forma gráfica el ahorro de energía (consumo reducido) que puede obtenerse utilizando un CFV.

CÓMO DETECTAR UNA BUENA APLICACIÓN POTENCIAL PARA UN CFV

Dado que los hospitales funcionan por lo general 24 horas al día, siete días a la semana, la mayoría de las aplicaciones de ventiladores y bombas en hospitales son candidatos potenciales al control mediante velocidad variable. En pocas palabras, cualquier sistema HVAC que pase una gran cantidad de sus horas de funcionamiento totales con una carga inferior a la máxima es un candidato potencial para la instalación de un CFV.

Un modo sencillo de descubrir una oportunidad de utilizar un sistema de control de velocidad variable consiste simplemente en realizar una inspección visual sobre el terreno. Observe la posición del actuador del regulador de salida de aire o de los álabes distribuidores cuando entre en la sala de máquinas. Si el actuador está prácticamente cerrado, probablemente se trate de un buen candidato (véase la Figura 3 anterior). Puede efectuarse una inspección similar con las bombas de la instalación.

Si las bombas utilizan válvulas de estrangulación o derivación, observe la posición de las válvulas asociadas. De nuevo, si las válvulas están parcialmente cerradas casi todo el tiempo, es probable que estemos ante un buen candidato para la modificación.

Existen otros métodos más sofisticados para detectar posibles candidatos, como realizar mediciones de flujo y potencia y comparar las cifras con el flujo y potencia nominales del sistema en cuestión. Existen igualmente numerosas firmas independientes que pueden llevar a cabo el cálculo del ahorro de energía.

Las posibles aplicaciones en ventiladores y bombas para hospitales del CFV incluyen ventiladores de suministro y retorno, unidades de serpentín y ventilador, unidades DX, ventiladores de extracción, ventiladores para torres de refrigeración, enfriadores líquidos, ventiladores para condensadores, bombas de agua de refrigeración secundaria y bombas para agua de uso doméstico y agua caliente.

También se observa una tendencia cada vez mayor a emplear CFV en bombas de agua de refrigeración primaria y bombas para condensadores.

En resumen: cualquier ventilador o bomba de un hospital es un posible candidato para el control de velocidad variable.

OTRAS VENTAJAS IMPORTANTES DE LOS CFV

Además del ahorro energético, los CFV aportan otras ventajas a los sistemas eléctricos de los que forman parte y a los equipos mecánicos que controlan. Por ejemplo, cuando se arranca un motor de CA mediante la electricidad suministrada por la red, éste necesita entre un 600 y un 800% de su intensidad nominal (corriente de arranque) mientras acelera.

Un motor de CA arrancado por medio de un CFV necesitará, como máximo, una corriente de arranque del 110%, en el peor de los casos. Además, los CFV con modulación de la amplitud del impulso (PWM) incrementan espectacularmente el factor de potencia del servicio de suministro. Un ventilador que utilice reguladores de salida de aire con un flujo del 40% puede tener un factor de potencia real del motor del 40% o menos.

Con el mismo motor, equipado con un CFV, y con un nivel del 40% de flujo, el factor de potencia del servicio de suministro sería de un 80% o más.

Desde el punto de vista de la mecánica, los cojinetes giran a menor velocidad, por lo que suelen durar mucho más tiempo que al funcionar a máxima velocidad. Además, los equipos mecánicos accionados mediante convertidores de frecuencia siempre realizan un "arranque suave". Dicho arranque suave no solamente prolonga la vida del motor y los cojinetes, sino que reduce en gran medida el desgaste y las roturas de las correas. El desgaste y las averías de las cajas de engranajes de las torres de refrigeración, que suelen experimentar grandes cargas cuando se arrancan directamente mediante tensión eléctrica, es mucho menor cuando se realiza un arranque suave mediante CFV. El control mediante CFV evita, así mismo, los "ciclos cortos" de las torres de refrigeración, lo que prolonga todavía más la vida de los engranajes. Finalmente, las conexiones mecánicas que controlan los reguladores de salida de aire, los álabes distribuidores o las válvulas de estrangulación precisan mantenimiento y son proclives a atascarse o averiarse. Se han instalado numerosos CFV en ventiladores de vuelo controlados mediante álabes axiales simplemente para eliminar sus complejas conexiones mecánicas - así como el elevado coste del mantenimiento asociado a éstas - gracias a estos métodos de control del flujo.

Aunque los beneficios mecánicos y eléctricos secundarios del control mediante CFV son muchos, suelen obviarse debido a que son más difíciles de precisar desde el punto de vista económico que el ahorro en kW/h, que es espectacular y se mide fácilmente. Sin embargo, dichos beneficios secundarios son reales y frecuentemente representan un ahorro tan importante como la reducción del consumo energético.

OTROS ASPECTOS IMPORTANTES DEL USO DE CFV

La necesidad de controlar el nivel de intensidad armónica en los sistemas de distribución de energía se reconoce generalmente como un factor importante a la hora de seleccionar y utilizar convertidores de frecuencia de velocidad variable y otros equipos de carga no lineal. Debido a la gran cantidad de sensibles equipos de

mantenimiento vital electrónicos que predominan en los hospitales modernos, los administradores deben tener en cuenta las posibles implicaciones de los armónicos y las interferencias EMI/RFI.

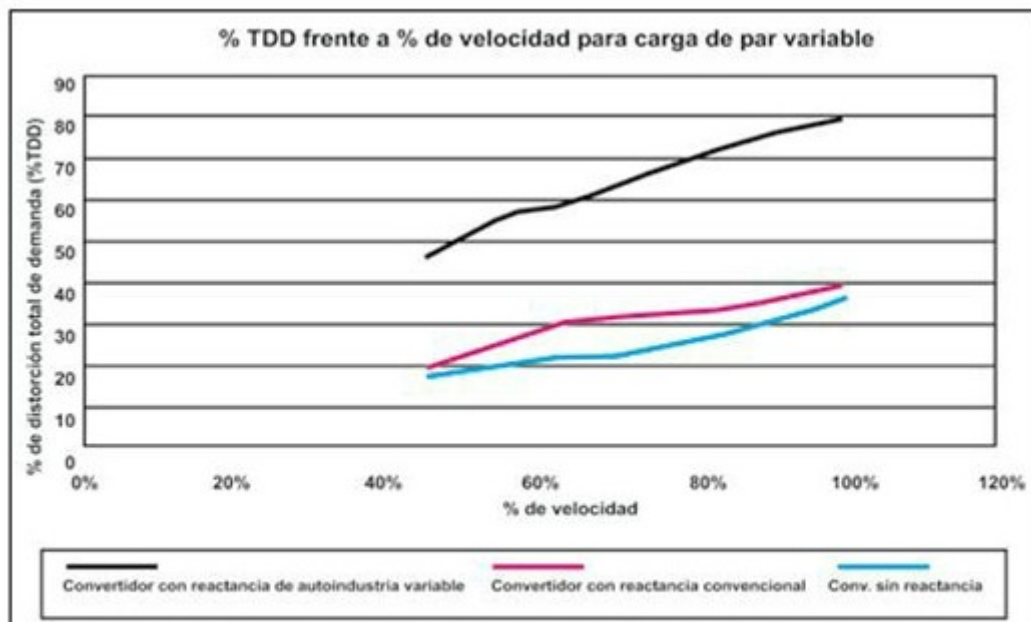


Figura 4. Ventajas de las reactancias de autoinductancia variable en comparación con otras reactancias

La norma IEEE 519-1992 explica las razones por las que es preciso limitar los armónicos y recomienda los límites que deben aplicarse en diversas situaciones. Las intensidades armónicas producidas por una carga provocan un calentamiento adicional de todo el equipo de distribución de energía que suministra dicha carga. Las tensiones armónicas se generan por la acción de las intensidades armónicas que fluyen en todas las impedancias del sistema. Estas tensiones armónicas provocan un flujo de intensidades armónicas adicionales en equipos que normalmente no las generan. Los armónicos pueden interferir en el funcionamiento de determinados equipos sensibles.

ALTERNATIVAS PARA LA MITIGACIÓN DE LOS ARMÓNICOS

Las reactancias de línea y las reactancias de bus de CC son los dispositivos de mitigación de los armónicos más habituales para los CFV. Los inductores (reactancias) ofrecen muy poca resistencia a la intensidad de CC en flujo continuo, pero dicho flujo genera un campo magnético que almacena energía y se opone a cualquier incremento o reducción de la intensidad. El fabricante del convertidor de frecuencia puede suministrar tanto las reactancias de línea como las reactancias de CC como característica de serie o como característica opcional integrada.

Se ha comercializado recientemente un diseño de "reactancia de autoinductancia variable" que reduce las intensidades armónicas, especialmente en condiciones de carga parcial. Dado que los CFV pasan la mayor parte de sus horas de funcionamiento en condiciones de carga parcial, se espera que el desarrollo de la reactancia de autoinductancia variable proporcione importantes beneficios a los usuarios de CFV en sistemas HVAC. Véase la Figura 4.

LIMITAR LAS INTENSIDADES ARMÓNICAS REDUCE LA INTENSIDAD DE ENTRADA EFICAZ TOTAL DEL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

La reactancia de autoinductancia variable garantiza que la intensidad de entrada del convertidor nunca superará la intensidad de salida aplicada al motor.

La intensidad de entrada nominal especificada en la placa de características del convertidor es igual a la intensidad de salida nominal. Esto significa que no es necesario sobredimensionar los cables de los circuitos derivados, los medios de desconexión ni la protección aguas arriba para cumplir el Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos (NEC) y que el convertidor se ciña a los límites de la norma EN/IEC 61000-3-12.

Limitar los armónicos generados por un elemento del equipo libera capacidad del sistema de alimentación para agregar otros elementos en el futuro. Si todos los nuevos equipos incorporan esta sencilla y rentable característica, disminuye el riesgo de que el usuario deba instalar medidas para la limitación de armónicos en el futuro.

(Se recomienda a todos los especificadores que, en relación con entornos hospitalarios, los ingenieros consultores y administradores de hospitales deben insistir en que todos los CFV incluyan reactancias de línea con una impedancia del 5% o, mejor todavía, reactancias de autoinductancia variables)

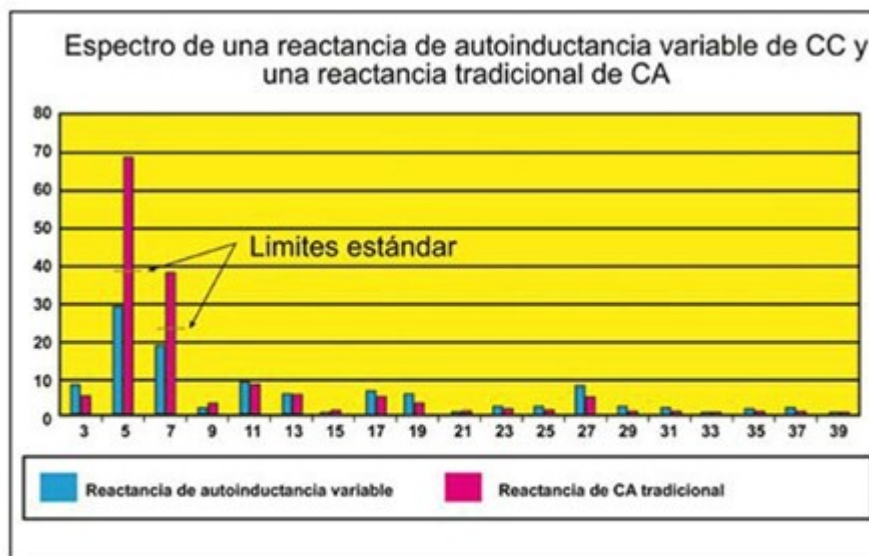


Figura 5: La reactancia de autoinductancia variable garantiza que la intensidad de entrada del convertidor nunca superará la intensidad de salida aplicada al motor.

EMI/RFI Y LAS DIRECTIVAS DEL CONSEJO DE LA U.E.

La compatibilidad electromagnética (EMC) es la capacidad de los equipos eléctricos/electromagnéticos de funcionar en el entorno donde se encuentran instalados sin causar ni experimentar interferencias electromagnéticas (EMI). EMI es cualquier interferencia con el funcionamiento normal de los equipos causado por la entrada de energía anómala en éstos, bien a través de las conexiones de cable, mediante inducción, o por la recepción de ondas irradiadas. La EMI irradiada también se denomina interferencia de radiofrecuencia (RFI).

En la Comunidad Económica Europea, las directivas del Consejo de la UE establecen normas para diversos productos.

La norma de producto de EMC para sistemas de accionamiento de potencia eléctricos EN 61800-3 (o IEC 61800-3) se emplea como norma principal para los CFV. Dicha norma contiene procedimientos de prueba específicos para los convertidores y es muy completa. Abarca tanto las emisiones electromagnéticas de los convertidores como su inmunidad frente a las emisiones recibidas.

RECOMENDACIONES PARA LOS ESPECIFICADORES

Para producir convertidores con la más amplia compatibilidad electromagnética posible, los especificadores deben exigir que éstos cumplan las normas EMC y límites de emisión para distribución restringida e instalación en primer entorno de IEC 61800-3.

Los convertidores que cumplan los requisitos anteriormente especificados generalmente reunirán los requisitos técnicos de la norma FCC, Parte 15, incluyendo los límites de emisión para dispositivos digitales de Clase A.

RESUMEN

En el presente artículo se han explicado las posibilidades de ahorro de energía que ofrece el uso de CFV en ventiladores y bombas. Se ha proporcionado al usuario final un método sencillo para identificar candidatos potenciales para la instalación de CFV.

También se ha efectuado una breve introducción a la distorsión armónica, con algunas explicaciones sobre las razones que hacen necesaria su limitación y los métodos para ello.

Se ha descrito la reactancia de autoinductancia variable como el componente clave de un método recientemente desarrollado para limitar los armónicos generados por un CFV y se han proporcionado recomendaciones para los especificadores.

Finalmente se han tratado los aspectos relacionados con EMI/RFI y se han ofrecido recomendaciones para entornos hospitalarios.

Eficiencia energética en equipos y sistemas de aire acondicionado

Preparado por el señor Flavio Comunian, Ingeniero Civil Mecánico de la U. de Chile. Intercambiadores de Calor S.A (Intercal S.A)

Eficiencia energética

La eficiencia energética engloba todas las acciones de mejoramiento que buscan minimizar el consumo de energía requerida, manteniendo o mejorando las prestaciones de servicio y calidad. Para su registro y control se utilizan indicadores de consumo de energía que mide qué tan bien se está aprovechando la energía disponible en la realización de un resultado. Un indicador de eficiencia energética se define como la razón entre un servicio, función o valor entregado y la energía convertida para proveerlo. La eficiencia energética y sus componentes usan una métrica física, una definición de ingeniería y no económica.

En un concepto más amplio de eficiencia energética (EE) involucra eficiencia energética propiamente tal, eficiencia económica y la protección ambiental, esta última cada vez más importante (Fig. 1). No siempre estos tres aspectos van de la mano y las acciones de mejora de la EE tienen que dirigirse para compatibilizar los tres objetivos.



Fig. 1

Algo muy importante a considerar es que el enfoque del análisis de la EE debe estar puesto en los servicios que presta la energía y no en las fuentes de energía. Cuando encendemos la luz es porque necesitamos visibilidad y no un empalme eléctrico o un motor generador. Este cambio de enfoque no es trivial. Incluso los términos que utilizamos confunden en este aspecto, por ejemplo el término "aire acondicionado" hace referencia a calentar o enfriar aire, sin embargo el objetivo buscado no es tratar el aire sino que brindar confort térmico a las personas.

Otro punto a resaltar es que el foco del análisis debería estar en el sistema como un todo y en el servicio que presta, y no en la eficiencia de cada equipo, pues así se obtienen mejores resultados.

Para esto es importante identificar adecuadamente el producto, servicio o actividad que es el objetivo último de la instalación analizada y que requiere energía para su consecución. Pues los ahorros de energía deben relacionarse con el logro buscado.

Ciclo de vida

Una herramienta metodológica importante a la hora de estudiar los costos que genera un equipo que consume energía es el Análisis Energético del Costo del Ciclo de Vida. Se trata de una versión restringida del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) que evalúa las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad. El primero sólo considera el análisis de la energía, dejando fuera del análisis las materias primas utilizadas y los residuos originados.

Es una herramienta de decisión que compara los costos de adquisición y operación de sistemas que utilizan energía, tales como generación de vapor, calefacción, enfriamiento, iluminación, envoltorio de una edificación, agua caliente sanitaria, etc. Entrega un método para evaluar diferentes opciones de sistema que utilizan energía y seleccionar aquella más efectiva y menor costo (costo-efectiva).

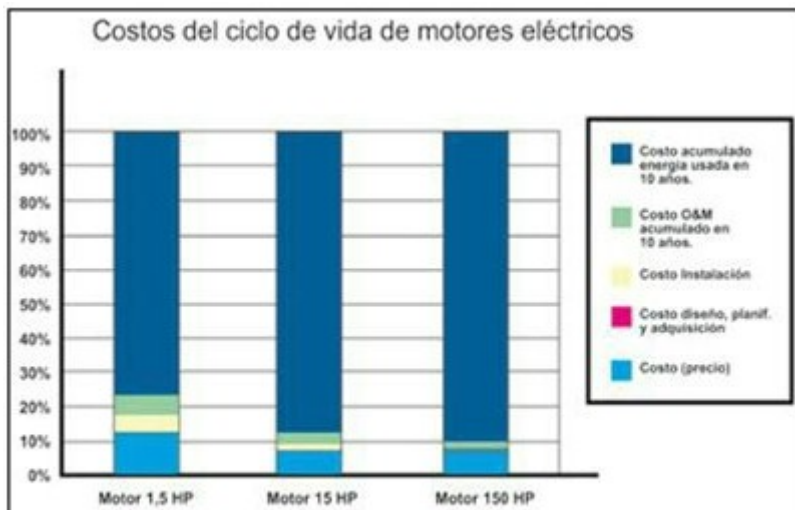


Fig 2

En la Fig. 2 podemos ver el costo que genera lo largo de su vida útil 3 motores eléctricos de diferente potencia. Como se podrá ver el costo de adquisición representa como máximo un 10% y el costo de energía llega incluso al 90%. Por lo tanto las decisiones de inversión deberían siempre considerar el costo del ciclo de vida de la tecnología y los equipos a adquirir.

Cuando en una obra el constructor o el instalador es diferente del usuario final, se tienen objetivos contrapuestos que dificultan la adquisición e instalación de sistemas eficientes. Los primeros buscan el mínimo costo de adquisición de los equipos, el usuario en cambio busca costos de operación bajos. Es este último el que debe exigir altos estándares de eficiencia energética de lo solicitado, sin embargo usualmente es el que menos conocimientos específicos tiene.

Técnicas de eficiencia energética aplicables a sistemas calefacción y aire acondicionado

Disminución de las necesidades de energía

- Diseño adecuado del sistema y selección de equipos.
- Correcto uso de la aislación térmica.
- Consideración adecuada de la insolación en el diseño del acristalamiento (ventanas) e iluminación.
- Iluminación, equipos y artefactos eficientes.
- Set point y control de temperaturas.

Utilización de energías gratuitas

- Aprovechamiento aire exterior (free-cooling).
- Enfriamiento evaporativo.

Incremento de la eficiencia energética

- Zonificación de los equipamientos para satisfacer sus necesidades particulares.
- Adecuada selección de las temperaturas de evaporación y condensación.
- Empleo de sistemas de distribución de fluidos con motores de velocidad variable.
- Aplicación de equipos de bomba de calor.
- Sistemas de cogeneración.
- Utilización del calor de condensación de equipos de refrigeración o calor de los humos en calderas.
- Recuperación del calor del aire de descarga de ventilación.
- Métodos de acumulación térmica.

Correcta regulación del sistema

- Correcta regulación inicial.
- Regulación periódica para mantener altos niveles de eficiencia en el rango de trabajo.

Selección adecuada del equipo

La selección de equipos de capacidad muy alta o muy baja en relación a lo requerido, hace que los componentes trabajen alejados en su punto de máxima eficiencia, disminuyendo la eficiencia global del sistema. Por ejemplo:

- Ductos o cañería de escaso diámetro producen una mayor pérdida de carga en el sistema necesitándose ventiladores y bombas más grandes. Asimismo ocurre con el tipo y cantidad de las singularidades (codos, derivaciones, válvulas, etc.) del trazado. Un bien diseño del sistema permite ventiladores y bombas de menor tamaño y un menor consumo de energía.
- Un motor eléctrico sub utilizado trabaja con bajo rendimiento y bajo factor de potencia, pudiendo consumir incluso más energía que un motor más pequeño utilizado a altos niveles de carga.

- Serpentes muy pequeños -en relación a una capacidad dada- demandan caudales de líquido mayores para cumplir con la capacidad. Serpentes muy grandes, subutilizados, presentan coeficientes de transferencia de calor bajos.
- Ventiladores seleccionados en un punto de trabajo muy alejado de su punto de máximo rendimiento, demandan más potencia por unidad de caudal desplazado.

Evidentemente el aspecto energético no es lo único a considerar al seleccionar un equipo y no siempre es posible compatibilizar los requerimientos con el máximo rendimiento de un equipo.

Free cooling

Por free cooling (o enfriamiento gratuito) se entiende el aprovechamiento de las condiciones ambientales exteriores para enfriar o calentar, evitando o disminuyendo el consumo de energía. En el caso del acondicionamiento de aire, esto es posible realizar cuando la entalpía del aire exterior es menor que la entalpía objetivo para el ambiente a enfriar, y viceversa en el caso de que se quiera calefaccionar. Evidentemente esto se puede hacer dentro de los límites de confort para las personas. La figura 3 muestra un ciclo de free cooling,

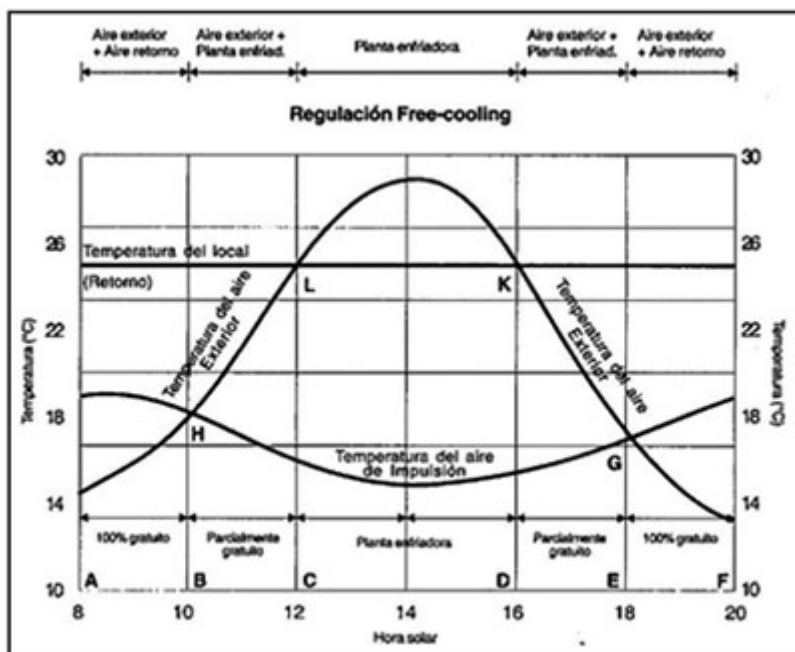


Fig. 3

Recuperadores de calor aire – aire

Cuando se requiere renovar el aire en un recinto se agrega una carga térmica al sistema (o se pierde si se trata de calefacción). Esa pérdida de energía puede ser importante en especial cuando no es posible recircular parte del aire (clínicas, hospitales, laboratorios) permite reducir la carga térmica. Asimismo en locales que requieren altas tasas de renovación de aire (restaurantes, teatros, etc.).

Los sistemas de recuperación de calor aire-aire permiten la renovación de aire fresco con mínima pérdida y menor consumo en equipos de enfriamiento o calefacción. Se puede distinguir entre recuperadores de calor aire-aire indirecto mediante el uso de serpentines, como se muestra en la figura 4.

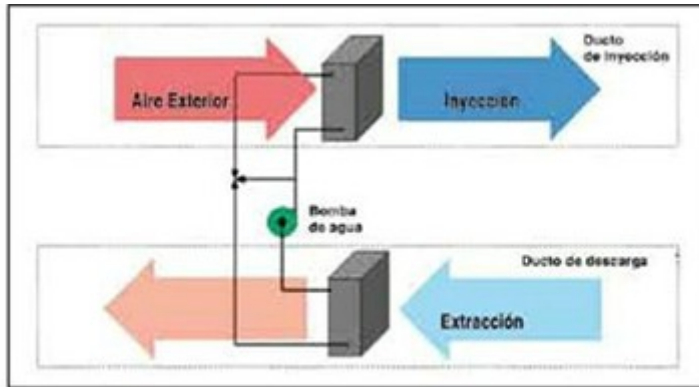


Fig. 4

En el caso de los recuperadores de calor aire-aire directos (fig. 5), se trata de un equipo de placas que separan dos flujos de aire que circulan a contracorriente o de manera cruzada.

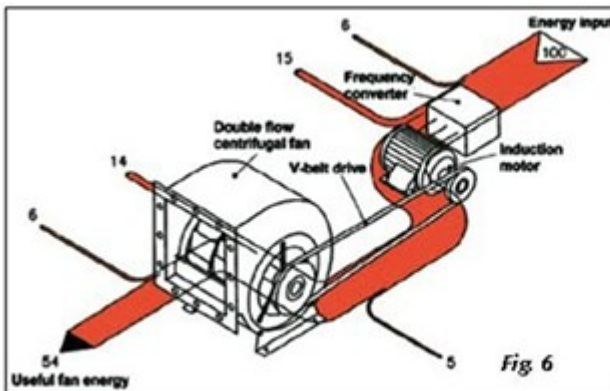


Fig. 6

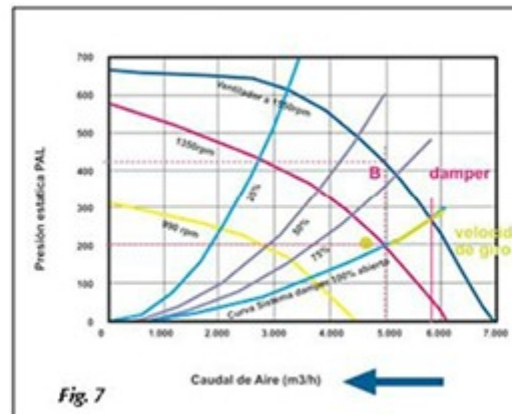


Fig. 7

En el caso de los sistemas regenerativos (ruedas regenerativas) puede haber también intercambio de calor latente. Hay pequeñas filtraciones de aire ente un flujo y otro, por lo que no son apropiados donde se requiere condiciones de higiene del aire altas (hospitales, laboratorios).

Los beneficios que se pueden tener con estos equipos son:

- Hasta un 70% de eficiencia.
- Ahorros en energía eléctrica para generar frío (chiller) y combustible para generar calor (caldera).
- Ahorro energía eléctrica para circulación agua (bombas).
- Al considerarse en el diseño del sistema permiten la disminución del tamaño del equipo necesario para enfriar el ambiente y por ende un menor costo inversión.

Control de caudal de aire y fluidos

Para la movilización del aire y fluidos se requiere la utilización de ventiladores y bombas, pero no siempre se requiere la máxima capacidad, por lo que por lo general los sistemas operan encendiendo y apagando (control on/off) para mantener las condiciones deseadas. Sin embargo esto en relación a un control continuo demanda en el tiempo un mayor consumo eléctrico.

Variando la velocidad de giro de un ventilador o una bomba se puede tener el flujo justo requerido, minimizando el consumo de energía.

En el caso de la ventilación es de particular utilidad la regulación de caudal para:

- Regular de las condiciones de confort mediante el control del caudal de aire.
- Climatización de precisión.
- Mantención del caudal de aire a pesar del ensuciamiento de filtros (hospitales, clínicas, laboratorios).

En la figura 6, se puede ver un diagrama con las pérdidas que se generan en un ventilador de accionamiento indirecto con convertidor de frecuencia. Sólo el 54% de la energía es aportada al aire como velocidad y presión estática, el resto se pierde.

En la figura 7, podemos ver cómo el realizar un control de caudal mediante una compuerta de regulación (damper), restringimos la sección de paso del aire provocando mayor fricción (reflejado en aumento de la presión estática). Lo que se hace es disipar parte de la energía entregada al aire para disminuir la energía útil (en este caso la energía cinética y por ende el caudal de aire). Eso es equivalente a estar cocinando a llama alta y que cuando quisiéramos disminuir el aporte de calor, en vez poner en llama baja el quemador, desviáramos parte de la llama para que se perdiera en el ambiente. Es decir no hemos disminuido el consumo de energía y lo que hacemos es botar parte de la energía, empobreciendo la eficiencia.

En contrapartida variando (en este caso disminuyendo) la velocidad de giro del ventilador lo que hacemos es disminuir efectivamente el aporte de energía, manteniendo alto niveles de eficiencia. La presión estática disminuye y el caudal de aire disminuye, siguiendo la curva del sistema. No se bota energía, se aporta sólo la necesaria.

En la figura 8 podemos ver reflejada la variación de la potencia consumida en el caso de utilizar un control mediante damper en comparación a la utilización por control velocidad giro.

En el caso de los ventiladores existen diversas formas de controlar la velocidad de giro del ventilador. En la figura 9 se aprecia una comparación del consumo de energía para distintas velocidad de giro del ventilador: por regulación de tensión, mediante un convertidor de frecuencia y con motores electrónicamente conmutados (EC). Esta última tecnología combinada con el diseño optimizado del conjunto motor ventilador permiten los mejores niveles de eficiencia para cada estado de carga del ventilador.

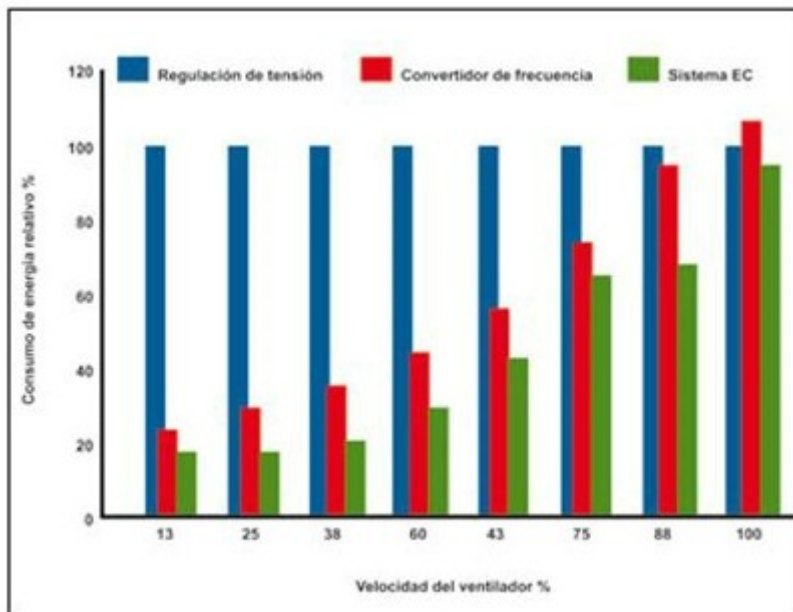


Fig. 9

Aplicando criterios de eficiencia energética en diseño de las instalaciones, en la selección de equipos, en la modificación de las instalaciones existentes, en el mantenimiento, en la configuración y en el control posterior a la puesta en marcha, es posible lograr importantes ahorros en gastos operacionales por concepto de energía. Estos ahorros permiten financiar en corto tiempo los costos adicionales que puedan significar los equipos y las modificaciones necesarias.

Ventilar, calentar y generar agua caliente con colectores térmicos de aire

*Presentación tecnológica AIRESOLAR. Proyecto de Instalación en una vivienda.
Autor: Francisco Caudet-Roca, Ingeniero Aeronáutico, Director Comercial de
Grammer Solar.*

Preparado por René O´Ryan, Delegado oficial para Chile.



MEMORIA

Introducción

El propósito de esta presentación es describir la tecnología de ventilación, calefacción y generación de agua caliente sanitaria mediante colectores de aire. El uso de colectores de aire es particularmente interesante, ya que representan un sencillo y eficaz apoyo a la calefacción.

Resulta preferible trabajar con aire como fluido caloportador porque:

- El aire no se congela, no bulle y no corroe como el agua, lo cual reduce el riesgo de averías.
- El aire se calienta muy rápidamente, obteniendo ganancias térmicas incluso con irradiaciones mínimas. Lo suficiente para mantener cualquier vivienda caldeada y ventilada, y almacenar suficiente agua caliente en verano para cubrir su demanda.
- La instalación de circuitos de aire en una vivienda existente es más sencilla que la de los circuitos de agua.

Aunque comercializados en EEUU. desde finales del siglo XIX, los colectores de aire se conocen relativamente poco en comparación con los colectores de agua, al representar tan sólo un 1% del total del mercado solar térmico mundial. Mientras que los Romanos ya diseñaban y construían redes de suministro de agua con tuberías de plomo, la ciencia de la ventilación se desarrolló prácticamente en los últimos 100 años. Cualquier vivienda dispone de una red de agua potable y otra de

alcantarillado, algunas tienen sistemas de evacuación pluvial y de riego, pero muy pocas tienen sistemas de ventilación activa.

Antecedentes tecnológicos: El efecto invernadero

Aunque el vidrio fue inventado en Egipto o Mesopotamia, se aplicaba sólo en bisutería y utensilios de mesa. Fueron los Romanos los primeros en realizar ventanas con láminas de mica o alabastro y crear el heliocaminus (horno solar), el primer invernadero para plantas de países exóticos. Posteriormente los mejoraron con el desarrollo de técnicas de laminado del vidrio, cuya producción siguió durante la Edad Media, como atestiguan las vidrieras de las catedrales y los primeros invernaderos con rosales o naranjos de los monasterios.

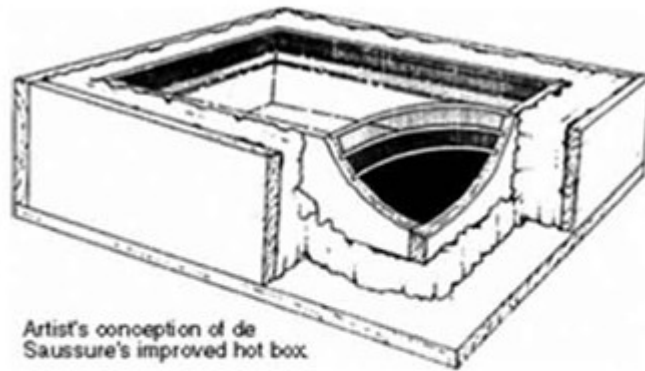
El notable naturalista franco-suizo Horace de Saussure observó en los años 1760 que, "es un hecho conocido, y esto desde hace largo tiempo quizás, que una vivienda, una carroza o cualquier otro lugar siempre se caldea más si los rayos solares han de traspasar un vidrio". Para determinar la eficacia en atrapar calor con cubiertas de cristal, de Saussure construyó un cajón rectangular, aisló su interior, colocó dos cajas menores en el interior y lo hizo tapar con cristal. Tras exponerlo al sol, midió un incremento de temperatura en las cajas interiores de 109 °C, es decir, superior al punto de ebullición del agua.

Repitió el experimento en lo alto de los Alpes, registrando el mismo incremento de temperatura en el interior de la caja, de lo cual dedujo que la radiación solar era igual en todas partes, pero que "la atmósfera menos densa en las alturas es menos capaz de retenerla". De Saussure consideró que algún día la caja caliente tendría aplicaciones prácticas ya que resulta "relativamente pequeña, fácil y barata de construir".

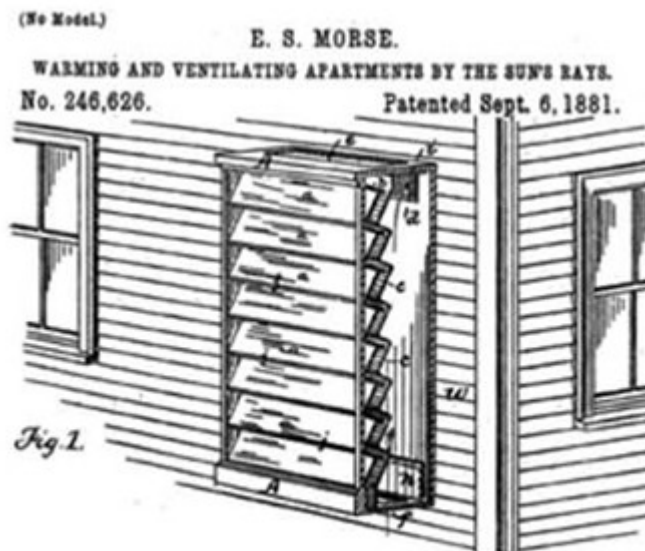
De hecho, los invernaderos se pusieron de moda en el siglo XIX para recrear climas tropicales y criar las plantas traídas de las expediciones alrededor del mundo. Pero también como elemento calefactor integrado en las viviendas, hasta entonces húmedas y frías. Es también en esta época cuando grandes científicos de otras disciplinas, como el matemático francés Fourier, el astrónomo inglés Herschel o el físico norteamericano Langley sentaron las bases del estudio del clima con la explicación del efecto invernadero a nivel atmosférico.

El norteamericano Edward Morse fue el primero en patentar un captador solar en 1881 (US Patent 246.626), y usaba aire como fluido caloportador. A través de un cristal calentaba una chapa ondulada pintada de negro, y permitía que el aire circulase por convección por detrás de ella y hacia el interior de la vivienda. Este sistema también le permitía aspirar aire del exterior, creando una ventilación natural.

A partir de este invento se abrió el camino a los calentadores solares de agua. El primero lo comercializó Kemp en 1891 con el nombre de Climax, y con gran éxito. En 1909, Bailey lo mejoró con el efecto termosifón, permitiendo el almacenaje nocturno del agua caliente.



Caja caliente de Saussure (Suiza, 1767)



Patente de E.S. Morse (EEUU, 1881)

La calefacción solar

Desde sus inicios al principio del siglo XX, la industria solar térmica debe enfrentarse a dos problemas fundamentales: el almacenamiento de energía para los momentos en los que no se dispone de irradiación solar, y la eficiencia en su captación.

Aunque cuando se habla de energía solar térmica se suele pensar en nuestro país en la generación de agua caliente, la mayor demanda térmica se produce en la calefacción. Considerando que cualquier construcción actúa como un almacén de calor, seguimos con el problema de almacenar esa energía en los momentos en los que falta radiación solar (de noche y en días nublados).

Por ejemplo, si una vivienda unifamiliar cuenta con una demanda energética de calefacción en los días más fríos de 10 kW, necesita 240kWh/d en esos días. Con una irradiación invernal media de 2,2 kWh/m² diaria (dependiendo de la zona) se necesitaría una superficie colectora encima de 100m² para cubrir la demanda. Para almacenar la energía necesaria sólo para sobrepasar la noche, se necesitaría un depósito de 160 kWh por ejemplo: 4000 lts. de agua a 60°C ($\Delta T=35K$).

Aunque técnicamente sería posible solucionarlo nos damos cuenta inmediatamente que cubrir la demanda de calefacción 100% solar no es factible ni razonable.

Por eso se ha establecido el uso de sistemas solares como apoyo en calefacción, reduciendo el periodo del uso de sistemas convencionales a los días más fríos. Aunque la fracción solar parece reducida en sistemas de calefacción (hasta 30%) comparándoles con sistemas de ACS (70%), la energía absoluta ahorrada es muy alta y por eso interesante para los usuarios.

Teniendo en cuenta que los sistemas solares de aire ventilan la casa con sobrepresión, reducen significativamente las pérdidas por infiltración (falta de hermeticidad), este efecto se multiplica y no sólo cuenta la energía solar aportada, sino también la energía no perdida.

Almacenar el calor en depósitos, sólo permite el almacenaje de una parte pequeña de la demanda total. Mientras que los sistemas de agua calientan la casa sólo hasta la temperatura mínima de confort, los de AireSolar lo hacen hasta el punto máximo, utilizando la propia estructura del edificio como almacén energético. La diferencia entre estas temperaturas multiplicado por la capacidad calórica del edificio da la capacidad de almacenaje de calor en el edificio.

Para obtener buenos resultados en el sistema solar hay que buscar camino para tener un valor alto. Y esto se puede hacer mejorando la capacidad de almacenamiento de la construcción, o mejorando la eficiencia del sistema solar. Para ello se han perseguido soluciones técnicas como los colectores de tubos de vacío, o el calentamiento directo del aire en colectores especialmente diseñados para ello.

La tecnología AireSolar

Aunando criterios arquitectónicos con los conocimientos adquiridos sobre el efecto invernadero y la disponibilidad de equipos de ventilación de alto rendimiento eficaces, los calentadores solares de aire directos, sin circuito de agua, resurgieron durante épocas de crisis petrolera del siglo XX, concretamente en las dos importantes que hubo:

- La escasez de suministro sufrida durante la Segunda Guerra Mundial provocó nuevos desarrollos como el muro Trombe, mejoras en el diseño de los flujos e intercambios de calor, e incluso soluciones al problema del almacenaje como conducir el aire caliente a través de acumuladores de gravilla. Se puede considerar como primera instalación de un sistema completo de AireSolar la realizada por el profesor George Løf de Colorado State University en su propia casa en 1945. Aún hoy, tras más de 50 años, sigue contribuyendo a la calefacción de la vivienda.

También cabe destacar al arquitecto de Tucson (Arizona) Arthur Brown, quien realizó la primera instalación de AireSolar en un edificio público, el Rose Elementary School de su ciudad. Creó una cubierta acristalada y conectó ventiladores al espacio

entre la cubierta y el cristal, logrando así cubrir el 80% de las necesidades de calefacción de la escuela.

•El segundo salto para la tecnología del AireSolar se produjo en Europa tras la crisis petrolera de los 1970, cuando diversos pioneros en Alemania, Holanda y Dinamarca demostraron la viabilidad de sus instalaciones y desarrollaron la integración en edificios combinada con consideraciones bioclimáticas. Hoy en día ya se construyen en Europa viviendas completamente autosuficientes en calefacción y ACS gracias a sistemas térmicos de aire y agua.

Algunas empresas lograron desarrollar productos comercializables a partir de estas experiencias. En EEUU y Canadá se instalan paneles de chapa perforada como segunda piel en naves industriales para aprovechar el aire calentado entre las dos capas de la fachada (Solarwall). En Alemania, Austria y Dinamarca se fabrican colectores de aire propiamente dichos de forma industrial, ampliables modularmente para todo tipo de aplicaciones, e incluso autónomos, con su propia célula fotovoltaica para alimentar el ventilador (serie TwinSolar de Grammer Solar).

Estos llaman la atención de la Agencia Internacional de la Energía, cuyo grupo de trabajo (Work Group 14) dirigido por Stuart R. Hastings realiza los primeros bancos de ensayo para asegurar la calidad de los elementos y desarrollar las primeras herramientas de planificación.



Rose Elementary School (Tucson, AZ, 1948)



*de izq. a dcha. George Lof, (USA);
Teun Bokhoven (NL); Fritjof Salvesen (N)
(Univ. De Boulder, Colorado, 1964)*



*Casa experimental «cero energía»
(DTH, Copenhagen, 1978)*



Vivienda unifamiliar solar (Freiburg bei Dresden, 2007)



Primer secadero de Grammer (Rockersbühl, Alemania, 1976)



Piscina municipal (Ingolstadt, Alemania, 1991)



Jardín infantil (Linz, Austria, 2003)



Vivienda en Alsacia (Orbey, Francia, 2005)

El aire como fluido caloportador

Aunque en lenguaje coloquial nos refiramos con el término fluido a los líquidos, en el ámbito de la física se define como fluido cualquier gas o líquido que adapte su forma a la del recipiente que lo contiene. Así que aunque el aire sea un gas y el agua un líquido, ambos son fluidos que comparten las mismas leyes de la mecánica de fluidos.

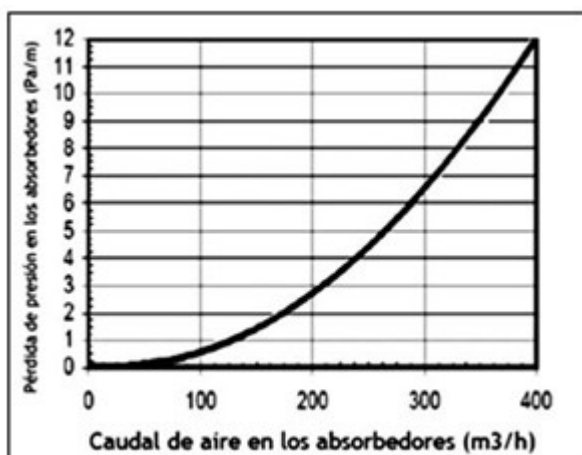
La diferencia fundamental entre gases y líquidos radica en su compresibilidad, es decir, la capacidad que tienen los gases de variar su densidad en relación inversa a la presión a la que se le somete. Sin embargo, a las velocidades operativas que se trabaja en los sistemas de AireSolar se puede considerar una densidad del aire constante, con lo que las diferencias en el comportamiento dinámico entre ambos fluidos (aire y agua) se reducen.

Uno de los fenómenos más importante en el estudio de la mecánica de fluidos es el paso de flujo laminar a turbulento. Las propiedades dinámicas y térmicas del fluido cambian drásticamente por lo que su conocimiento resulta crucial. Aunque para el intercambio de calor son desventajosos los flujos laminares, la pérdida de presión que implica un flujo turbulento es tan importante que se evita en todos los casos, limitando las velocidades de circulación de los fluidos en todos los sistemas (al igual que ocurre con el agua).

Suponiendo pues que la densidad del aire es constante y que el flujo es laminar, las pérdidas de presión en conductos (rectilíneos y de sección constante) dependen únicamente de la velocidad de circulación, y en la relación cuadrática descrita por Bernouilli, aplicable tanto para el aire como para el agua:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho v^2$$

En el caso de los colectores de aire de Grammer Solar, el diagrama adjunto muestra la relación entre la pérdida interior de presión y el caudal de aire que lo atraviesa.



Con la línea punteada se indica el caudal habitual de operación en sistemas de AireSolar y la consiguiente pérdida de carga en el colector.

A éstas se añaden unas pérdidas de 11,5 Pa a la entrada y a la salida del colector, como se verá más adelante.

En las conducciones del sistema, las pérdidas por rozamiento son mucho menores en el caso del aire que en el caso del agua, ya que el coeficiente de viscosidad dinámica μ es unas 50 veces inferior. Por eso las velocidades de circulación pueden ser mucho mayores

Comparativa de datos dinámicos de Aire y Agua				
		Aire	Agua	Factor
Densidad específica	ρ [kg/m ³]	1,185	998,20	842
Viscosidad dinámica	μ [N.s/m ²]	$17,4 \times 10^{-4}$	$8,9 \times 10^{-4}$	51
Velocidad típica en circuitos	V [m/s]	5	0,3	0,06

Las pérdidas por rozamiento se dividen en pérdidas en el conducto y pérdidas en singularidades (codos, derivaciones, transformaciones, etc.) Los cálculos asociados a ambas pérdidas son muy complejos por lo que se suelen utilizar tablas suministradas por los fabricantes de accesorios de ventilación. Normalmente los proveedores dan recomendaciones de dimensionamiento o venden directamente paquetes con ventilador y conexiones integrados, que suelen suponer un compromiso entre espacio necesario y velocidad en el tubo. Eventualmente hay que repartir el flujo de aire directamente después del ventilador para reducir ruidos.

Podemos concluir que las cualidades del aire exigen construcciones especiales con diámetros mayores. Eso puede dar problemas en la realización concreta buscando sitio para los componentes y la tubería. Teniéndolas en cuenta, estas diferencias no afectan a la eficiencia del sistema de calefacción solar pero pueden además aumentar el rendimiento.

Aunque ya existen programas informáticos que simulan las pérdidas de presión en redes de distribución de aire complejas, la experiencia demuestra que en la mayoría de aplicaciones domésticas se pueden aplicar simples reglas de estimación:

- Mantener velocidades moderadas entre 3 – 5 m/s (el máximo permitido para controlar el ruido en residencias).
- Minimizar y, si las hay, atenuar cualquier variación de velocidad.
- Evitar cantos romos en cualquier sentido de circulación.
- Maximizar los radios de curvatura en cambios de sentido.

El aire como medio caloportador

Al igual que en otros fluidos, la potencia del colector P_c se corresponde a la potencia del transporte energético P_e :

$$P_c = P_e$$

$$n_0 \cdot G - a_1 \cdot \Delta T - a_2 \cdot \Delta T^2 = f \cdot c_v \cdot \Delta T$$

donde n_0 , a_1 , a_2 son valores específicos de cada colector, G es la irradiación solar, f es el caudal de fluido a través de colector y c_v es el calor específico del caloportador.

Como se verá más adelante, con los valores específicos de los colectores SLK y una plena irradiación de 1000 W/m^2 , con caudales de aire entre $30\text{-}60 \text{ m}^3/\text{h}$ se pueden obtener saltos térmicos de 34 a $56 \text{ }^\circ\text{K}$.

Comparación de datos caloríficos de Aire y Agua				
		Aire	Agua	Factor
Calor esp. volumétrico	C_v [Wh/m ³ K]	0,33	1158	3488
Conductividad calórica	λ [W/mK]	0,026	0,599	23

Pero hay dos diferencias básicas en el comportamiento térmico del aire que tienen consecuencias importantes:



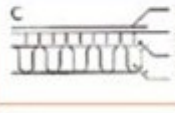
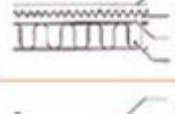

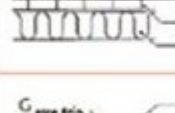
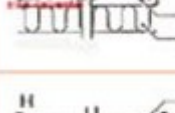
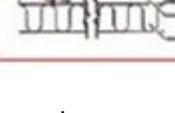
- el bajo calor específico volumétrico del aire hace que se caliente más rápido que el agua, alcanzando la temperatura de funcionamiento deseada incluso con irradiación baja (cielo cubierto).

Si tomamos un m^3 de aire y 1 m^3 de agua y a cada uno le aportamos la energía de 1 kW , mientras que el agua se calentará $1 \text{ }^\circ\text{K}$, el aire se calentará $3.488 \text{ }^\circ\text{K}$. Esto significa que con poco aporte energético obtenemos un salto térmico muchísimo mayor, y que para transportarla tenemos que trabajar con mayores caudales, aumentando el diámetro del conducto o la velocidad de circulación. En el caso que nos ocupa de los colectores Grammer Solar, los conductos y velocidades operativas habituales se muestran en la siguiente tabla:

Superficie colectora m^2	Caudal m^3/h	Subida de temperatura (con $G=1000\text{W/m}^2$)	Diámetro de la boca de conexión Mm	Velocidad máximo en el tubo m/s
2	120	34,5	125	2,7
4	200	39,6	160	2,8
6	200	52,2	160	2,8
8	350	43,6	160	4,8
10	350	50,6	160	4,8

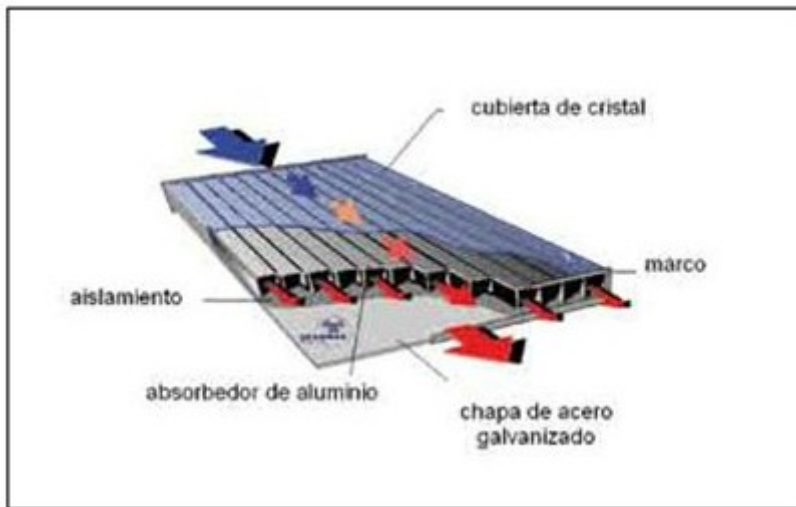
La baja conductividad calórica del aire influye en la construcción del colector. Por un lado, el aire en reposo representa el mejor aislante (después del vacío), pero cuando está en movimiento mejora su conducción. De ahí que cuando hace viento sentimos frío, y nos abrigamos para mantener una capa de aire quieta sobre nuestra piel.

Todo esto influye en la forma en la que se construye el colector, y la disposición de los absorbedores con respecto al fluido circulante. Existen varias alternativas en el mercado:

Tipo de disposición	Ventaja	Desventaja
 <p>A Cristal Canal de aire Absorbedor Aislamiento</p>	Construcción simple	Mal intercambio, pérdidas por cristal, paso irregular
 <p>B Cristal Absorbedor Canal de aire Aislamiento</p>	Construcción simple	Mal intercambio, paso irregular
 <p>C Cristal Absorbedor con aletas Caudal en sentido de aletas Aislamiento</p>	Mejor intercambio	Paso irregular
 <p>D Cristal Absorbedor ondulado Caudal en sentido de ondas Aislamiento</p>	Construcción simple, mejor intercambio	Pérdidas superiores, paso irregular
 <p>E Cristal Absorbedor Canales de aire Chapas de aluminio Aislamiento</p>	Paso regular	Intercambio reducido
 <p>F Cristal Absorbedor Canales de aire Aislamiento</p>	Pocas pérdidas por el cristal, intercambio máximo	
 <p>G Cristal Absorbedor Aislamiento aire frío</p>	Buen intercambio	Pérdidas por cristal, paso irregular
 <p>H Cristal Absorbedor poroso Aislamiento</p>	Buen intercambio	Paso irregular, pérdidas de presión

En esta presentación, el producto seleccionado son los colectores Grammer SLK, del tipo F, que llega a una eficiencia muy alta. Se aprovecha la capacidad aislante del aire manteniendo una cámara de aire en reposo entre los absorbedores y el cristal, mientras que el aire fluye de forma regular y rectilínea a través de los canales de absorción.

Tienen un rango muy grande de eficiencia óptima así que se pueden utilizar también con ventiladores modulados, obteniendo la temperatura óptima para la aplicación del sistema:



Podemos concluir que los mejores argumentos a favor de la implantación de sistemas de AireSolar se refieren a su comportamiento operativo:

- Los sistemas de AireSolar tienen menos problemas de corrosión, con lo que la vida operativa de los colectores y demás componentes se prolonga más que en sistemas que utilizan agua.
- Los sistemas de AireSolar no necesitan protección anticongelante ni antiebullición, ni válvulas de seguridad ni vasos de expansión.
- El aire caliente utilizado en el circuito se puede impulsar directamente en la vivienda sin pasar por ningún intercambio energético, reduciéndose así el tiempo de reacción como las pérdidas; y permitiendo trabajar con temperaturas menores y así mejorar los rendimientos.
- Los sistemas de AireSolar no requieren grupos de bombeo ni vasos de expansión, elementos proclives a las averías y que requieren un mantenimiento profesional.
- Los conductos de distribución no requieren hermeticidad absoluta. Pequeñas fugas tienen poco efecto en el rendimiento del sistema y tampoco afectan a la construcción.
- Se acopla directamente al aire de la casa, que siempre es la meta de toda calefacción.

• Calentando directamente el aire no se debe tocar al sistema tradicional (estufas eléctricas, radiadores, chimeneas, etc.)



Situación provincia Valencia

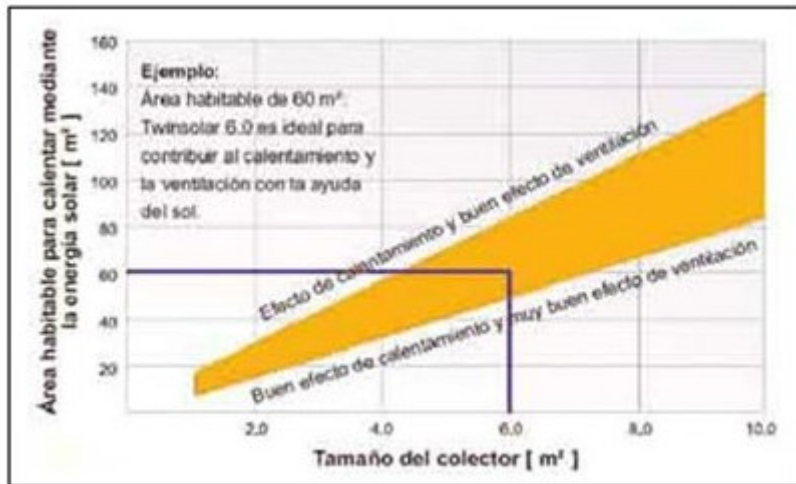
PROYECTO DE INSTALACIÓN

Descripción del edificio

La vivienda objeto del presente proyecto está situada en el interior de la provincia de Valencia, en la cuenca del río Turia, una zona que pertenece actualmente al municipio de LLíria.



Fachada norte



Dimensionamiento de los colectores

Cálculos manuales

Usando la gráfica de dimensionamiento de Grammer Solar, vemos que para calentar una vivienda de unos 110 m² necesitaremos una superficie colectora de entre 8 y 10 m².

Considerando que la demanda de calefacción no es en todas las habitaciones, que no es extrema y que tanto el presupuesto como la superficie disponible en la cubierta son limitados, intentaremos cubrir el máximo posible de la demanda real energética con la superficie mínima posible.

Comprobemos ahora que con esta superficie se puede cubrir la demanda energética para la generación de ACS. La demanda de ACS a 45 °C para una vivienda unifamiliar de tres miembros en Valencia es de 157 l/día. Si la temperatura de entrada de agua de la red se considera a 10 °C, podemos calcular la demanda diaria energética como:

$$E = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

donde

m : cantidad de agua en kg.

C_p : calor específico másico del agua = 1,16 Wh/kgK

ΔT : diferencia térmica en °K entre el agua fría y caliente

$$E = 157 \text{ kg} \cdot 1,16 \text{ Wh/kgK} \cdot (45-10) = 6374 \text{ Wh/día}$$

Si consideramos que los meses de uso de los colectores de aire para generar ACS serán fundamentalmente de mayo a septiembre (Verano en Hemisferio Norte), tomaremos el valor medio de la radiación durante esos meses (6217 Wh/m²) para calcular la superficie colectora necesaria para cubrir la demanda de ACS con un factor de seguridad de 1,5 (ya que en Valencia tenemos pocos días nublados):

$$AK = 1,5 \cdot E / (I_s \cdot n)$$

donde

I_s : radiación solar media diaria sobre la superficie colectora, en kWh/m²

n : rendimiento medio del sistema solar (para ACS se aplica un valor de h = 0,47)

$$AK = 1,5 \cdot 6374 \text{ Wh} / (6217 \text{ Wh/m}^2 \cdot 0,47) = 3,27 \text{ m}^2$$

Luego con 8,5 m² de superficie colectora sobra superficie para cubrir la totalidad de la demanda de ACS en verano, (con la ventaja de que no podemos sufrir sobrecalentamiento como en un colector de agua).

Estamos dentro de los parámetros internos para calentar la casa en invierno. Aunque el mínimo sería un TopSolar 8.0, por su disposición alargada no cabría sobre la cubierta de la vivienda y proponemos esta versión en forma de U.

Cálculos con software

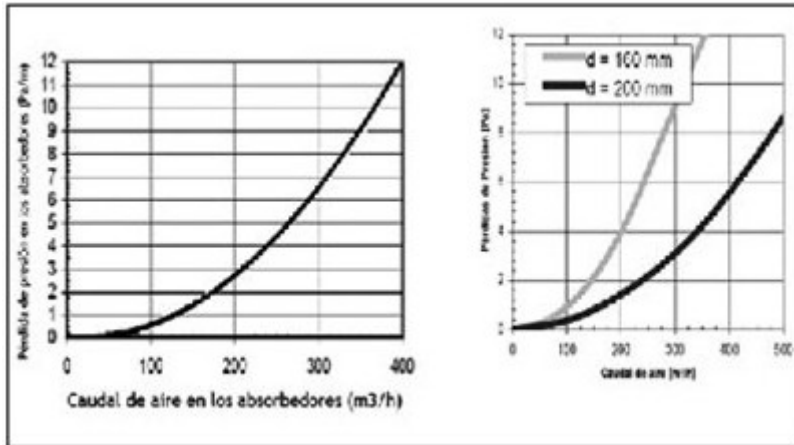
Para dimensionar el sistema podemos utilizar también el software Luftikuss suministrado por Grammer Solar, una aplicación similar a las que se utilizan en los sistemas basados en agua, el que se incluye en la primera instalación y puede ser solicitado a nuestro representante en Chile.

Dimensionamiento del ventilador



Grammer Solar recomienda en general un caudal de trabajo de 350 m³/h en los sistemas de AireSolar. Como veremos más adelante en la descripción de sus características técnicas, en el caso que nos ocupa de un sistema TopSolar 8.5 con circuito de agua se recomienda un ventilador muy potente (vence 250 Pa con 350 m³/h) para asegurar el trasiego correcto del aire en ambos modos de funcionamiento.

Las pérdidas de carga causadas por los propios colectores y sus entradas y salidas se pueden obtener de las siguientes curvas:



Con 350 m³/h sufrimos pérdidas de carga de 9 Pa/m de colector y 12 Pa por entrada/salida, sumando un total de $9 * 8,5 + 12 * 2 = 100,5$ Pa. A esto deberemos sumar las pérdidas del circuito en cada modo de operación:

- 126 Pa en modo ventilación: Caja de filtros (15), clapeta anti-retorno (1), 4 tes (60), 25 metros de conducto (25), silenciador (10), válvula motorizada (15).
- 98 Pa en modo ACS: 1 te (15), 8 metros de conducto (8), silenciador (10), válvula motorizada (15), intercambiador aire/agua (50).

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES

Colectores



El captador presentado es el modelo SLK, la tercera versión lanzada por la empresa Grammer Solar en el año 2003 tras pasar las pruebas pertinentes en el **Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Friburgo, Alemania)** y el **Arsenal Research (Austria)**, dos de los organismos más reconocidos a nivel mundial en la investigación solar.

La medición de la curva de rendimiento se realizó según los procedimientos definidos en el proyecto de normativa prEN 12975-2 y en el Instituto Fraunhofer. En el Anexo 1 se incluyen las Fichas Técnicas de la serie.

Los valores característicos del colector son:

•Rendimiento teórico (($t_m - t_a$) = 0)	$n^0 = 0,834$
•Coeficiente de pérdida lineal	$a^1 = 3,1977 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
•Coeficiente de pérdida de segundo grado	$a^2 = 0,034 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^2)$
•Factor de ángulo	$K_e (50^\circ) = 0,96$
•Pérdida de presión	$\Delta p = a^1 \times m + a^2 \times m^2$
•Rango de caudal recomendado	$30 - 60 \text{ m}^3/(\text{h} \times \text{m}^2)$
•Superficie bruta	$A_G = 2,01 \text{ m}^2$
•Superficie de apertura	$A_a = 1,86 \text{ m}^2$
•Superficie eficaz de absorción	$A_A = 3,25 \text{ m}^2$
•Temperatura de paro	150°C
•Presión admisible	funciona en depresión.

La carcasa es de aluminio y las dimensiones básicas del colector son 2000x1006x136 mm. El peso de cada colector es de 45 kg., así que el conjunto utilizado en presente proyecto (TopSolar 8.5) tiene un peso de 205 kg. Los absorbedores que conducen el aire son también de aluminio de 0,6 mm pintado con cromo negro. Su capacidad total es de un volumen de 55 litros de aire. La cubierta del colector es de cristal ESG de 4 mm.

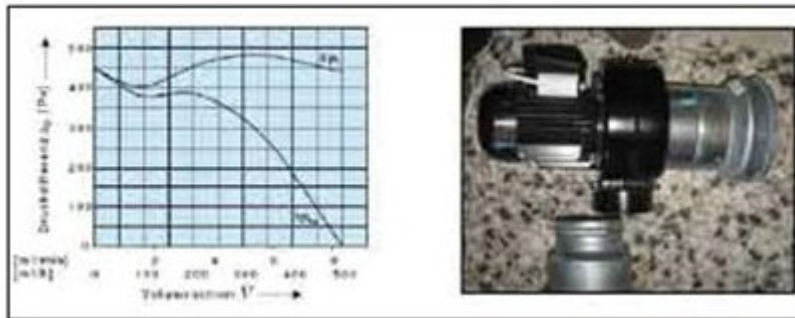
El aislamiento térmico está realizado con lana mineral de 50 mm en la parte trasera y de 20 mm en los laterales, con una conductividad térmica de $\lambda = 0,04 \text{ W} / (\text{m} \times \text{K})$.

Ventilador

El ventilador incorporado en el modelo es el ventilador radial de baja presión, modelo ENG 3-9,8 del fabricante Karl Klein Ventilatorenbau GmbH. Sus valores característicos son:

•Tensión de trabajo	230 V c.a.
•Intensidad nominal	0,90 A
•Caudal máximo	500 m ³ /h
•Salto de presión máximo	450 Pa
•Revoluciones nominales	2.760 min ⁻¹
•Potencia	120 W
•Ruido	67 dB (A)
•Peso	4,5 kg.

A continuación se muestran su curva característica:



Caja de Filtros

La caja de filtros es una caja cuadrada de 265x265x235 mm de chapa galvanizada por ambos lados, que se acopla a las conducciones de aire de 160 mm mediante los empalmes con goma en cada extremo.

La caja dispone de una ranura lateral para efectuar el cambio de filtro.

Provoca unas pérdidas de presión de 15 Pa.



Silenciador

El silenciador es un atenuador acústico del fabricante alemán Lindab, de diámetros interior y exterior 160 y 260 mm, 900 mm de longitud y 8 kg de peso.

Provoca 10 Pa de pérdida de presión.

En proyectos con menos espacio disponible se pueden colocar silenciadores flexible.

Intercambiador de calor aire-agua

Compuesto de láminas de aluminio y tubos de cobre en un contenedor de acero galvanizado, es como un radiador de coche, facilitando un intercambio óptimo de calor entre el aire y el agua.

Las conexiones de tubería de cobre son de $\frac{3}{4}$ ". Está diseñado para caudales de aire entre 300-500 m³/h, y provoca 50 Pa de pérdida de presión.

Como se ha indicado anteriormente, el sistema completo de ACS opera con una eficacia del 47%.

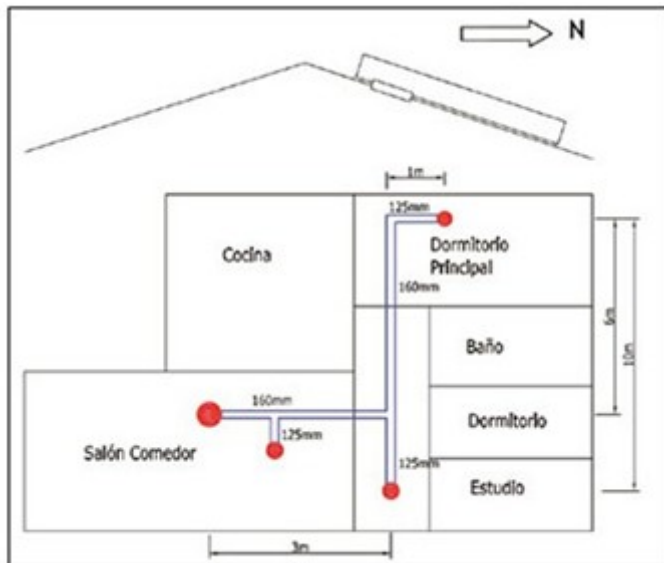


DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

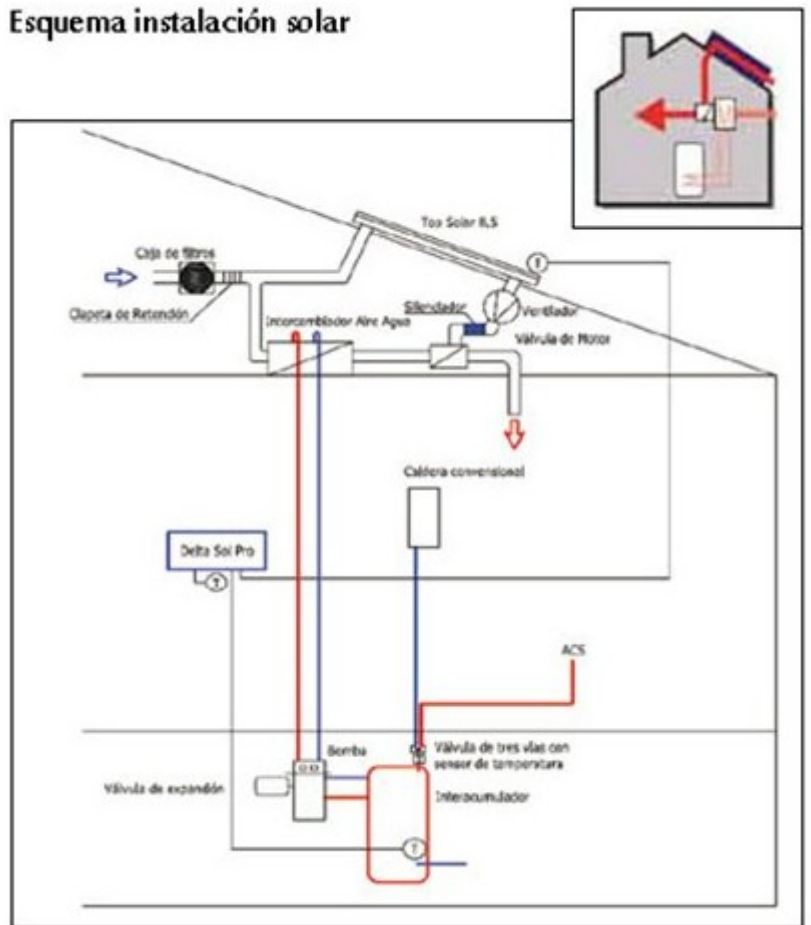
Planos

Esquema vivienda

De la vivienda no hay planos exactos, así que se han medido las superficies reales de cada espacio. En el siguiente esquema se ve la distribución de las habitaciones así como las dimensiones del circuito de distribución de aire propuesto.



Esquema instalación solar



El sistema está configurado de tal forma que se permiten dos formas de operación:

- Con la válvula motorizada en posición calefacción, el aire es aspirado por el ventilador a través de la caja de filtros y los colectores para ser impulsado a través del silenciador al interior de la vivienda.
- Con la válvula motorizada en posición ACS, el aire es impulsado a través del intercambiador aire-agua, cerrándose así la claveta de retención y volviendo el aire a los colectores tras haber transferido parte de su calor al agua.

Montaje

El proceso de montaje ha sido el siguiente:

- Se perfora el tejado en las posiciones indicadas en el plano de instalación para colocar los aislamientos que protegen el paso de los tubos de aspiración e impulsión del aire a través de la cubierta. Al tratarse de un sistema con recirculación de aire, se necesitan 2 pasamuros, uno de aspiración y otro de impulsión



Perforaciones del tejado



Detalle



ii. Se perfora el tejado en los puntos de anclaje marcados en el plano de instalación para fijar los pernos que sujetarán la estructura de soporte de los colectores. Los pernos de anclaje incluyen una junta EPDM para evitar filtraciones.

iii. A continuación se fijan las pletinas de sujeción a los pernos, y los perfiles se acoplan a las pletinas, sin llegar a fijarlos aún hasta que montemos sobre ellos los colectores.



Fijación de las pletinas



Colocación de los perfiles de soporte

Se colocan también los pasamuros para asegurar la impermeabilidad de la instalación. Alrededor de cada perforación aislada se levantan un poco las tejas para cuñar bien la placa de plomo entre ellas y se coloca una sección de tubo a través del pasamuros.



Siliconado



Fijación chapa

iv. Ya se pueden izar los colectores al tejado.



Ahora se sitúan los colectores sobre las guías transversales y se colocan los fijadores deslizantes en posición para coincidir con la correspondiente guía. Además, las boquillas de los colectores deben coincidir con los pasamuros.



Se fijan las tuercas de sujeción entre los perfiles y las pletinas con apretadores eléctricos o manuales, y se unen entre sí los colectores mediante los cierres rápidos.



Aquí procedemos al montaje de los diversos elementos del circuito técnico. Primero se conectan la caja de filtros, la clapeta de retención, la T de derivación y el intercambiador aire-agua:



*Caja de filtros
y clapeta*



Derivación



intercambiador

La instalación de aire se termina conectando la aspiración e impulsión a los colectores mediante el tubo flexible aislado:



Aspiración hacia los colectores

En el sótano nos encontramos con una instalación de ACS habitual, con su grupo de presión, vaso de expansión, acumulador y valvulería de cobre.



v. Finalmente se termina la distribución de los conductos de aire por encima de la estructura de soporte del falso techo.



Cielo Falso sala de estar

Una vez terminada toda la instalación, se pueden colocar las placas de yeso carton y los difusores.



Salida en pasillo



Salida en sala de estar

Resultados finales

El sistema de AireSolar presentado (TopSolar 8.5 con ACS) tiene dos modos de funcionamiento con el objetivo de producir energía aprovechable durante el máximo tiempo posible a lo largo del año. En las épocas en que se requiere calefacción, la produce directamente calentando el aire exterior e impulsándolo al interior de la vivienda. Cuando se cumple la demanda de calefacción, el sistema pasa a modo ACS para acumular la energía térmica producida. (Esto tiene sentido ya que en modo calefacción trabaja a menores temperaturas, y por ello con mayor rendimiento).

Así, en un día de invierno en la temperatura exterior puede ser de 10 °C mientras que la programada con el regulador para el interior de la vivienda es de 20 °C. La válvula motorizada se mueve automáticamente a la posición de ventilación-calefacción. De esta manera, el aire pasa a través de los colectores, el silenciador y los conductos de distribución al interior de la casa hasta alcanzar la temperatura deseada.

Según la nubosidad del día pueden ocurrir dos cosas:

- La vivienda alcanza los 20 °C gracias a los colectores de aire. Una vez alcanzados, la válvula motorizada cambia de posición a modo ACS y el ventilador recircula el aire a través de los colectores y el intercambiador aire-agua, calentando el circuito primario de agua que llega hasta el interacumulador.

- La climatología es adversa y el sistema de aire caliente sólo llega a conseguir 17 °C en el interior de la vivienda, con ventilación y reducción de la humedad relativa.

Si los usuarios no están en la vivienda, ésta se mantiene caldeada y ventilada para reducir el salto térmico que tengan que vencer a su llegada.

Cuando llegan los usuarios, pueden añadir calor encendiendo la chimenea (o cualquier otro sistema adicional). Así notan un importante ahorro energético, y un mayor confort por la oxigenación del salón.

Mantenimiento

Colectores de aire

El colector de aire Grammer Solar no tiene partes móviles, con lo cual es seguro y libre de mantenimiento, sin embargo, está expuesta a las fuerzas de viento. Para asegurar que todas las uniones roscadas estén en buen estado, conviene efectuar controles rutinarios, sobre todo después de tempestades.

La experiencia muestra que normalmente los colectores son limpiados por la acción de la lluvia; sin embargo, en zonas muy contaminadas o con una carga fuerte de pólenes, unido con temporadas prolongadas de sequías, puede tener sentido limpiar la cubierta de vidrio con agua del grifo y esponja o una escoba para limpiar vehículos.

Los colectores están protegidos contra suciedades internas con filtros de aspiración integrados en el sistema, según categoría UE 4. Hay que cambiar el filtro de la caja de filtros una vez al año, antes de empezar la temporada de calefacción