



Ventilación en los centros escolares

Distintas soluciones cumpliendo con la normativa

Jaume Cera. JG Ingenieros

Cristian Gonzalez. A.I.A. Instal•lacions Arquitectòniques

Josep Ll. Hernandez. A.J. Ingenieria

Emili Pascual. Coordinación Técnica de ACI

Uno de los objetivos de la Associació de Consultors d'Instal•lacions (ACI) es profundizar en las cuestiones de carácter normativo que afectan los proyectos de nuestras ingenierías. En este sentido y a raíz de cierto debate suscitado entre nuestro colectivo en relación a la ventilación en el ámbito escolar (debido a las interpretaciones plausibles admitidas) nos propusimos poner de relieve algunas de las soluciones y proponer un ligero análisis de las mismas.

Con esta finalidad formamos un Grupo de Trabajo que ha recogido esas distintas soluciones que no pretende hacer una valoración cualitativa si no resaltar sus principales características que nos permitan cumplir con la normativa.



La aparición del nuevo RD 1027/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y que constituye el marco normativo básico en el que se regulan las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para atender la demanda de bienestar, intro-

duce modificaciones sustanciales respecto a la anterior normativa (1751/1998 y la posterior modificación RD1218/2002) que fuerzan a adoptar soluciones que se apartan de las habituales hasta la entrada en vigor de ésta.

En el caso concreto de los centros escolares, el actual RITE obliga a ventilar todos los

espacios habitables del edificio, incluidas las aulas, de manera forzada, además de recuperar la energía del aire de extracción mediante equipos de recuperación de calor, e instalar las etapas de filtraje necesarias según sean las clasificaciones del aire interior y del aire exterior. Todo esto conlleva la necesidad de instalar conductos y equipos que hasta ahora no precisaban, lo que implica un aumento del coste de las instalaciones de ventilación y calefacción en todos los colegios, que hasta ahora se han construido de manera muy estandarizada y con unos costes fijados por la Administración en el caso de colegios públicos. La instalación de todos estos conductos también tiene implicaciones en la arquitectura del edificio, puesto que con los caudales de aire exigidos, y teniendo en cuenta que las instalaciones van vistas por los pasillos, salen conductos de dimensiones importantes que hacen necesario replantear las alturas entre forjados consideradas hasta ahora.

También se plantean diversas cuestiones hasta ahora no analizadas, como por ejemplo el hecho de que con la introducción del aire exterior necesario para cada aula, si éste está tratado, ya no sería necesaria la instalación de un sistema de calefacción por radiadores como tradicionalmente se ha hecho hasta ahora.

Por todo ello, y dado que el RITE “se desarrolla con un enfoque basado en prestaciones u objetivos” y que no se obliga al uso de una determinada técnica o material, y que tampoco impide la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño frente al enfoque tradicional, se propone en este artículo el análisis de distintas soluciones para realizar la ventilación y calefacción de escuelas, que cumplen los objetivos finales del RITE en cuanto a eficiencia energética, calidad de aire y seguridad de la instalación.

Como paso previo veamos a continuación un resumen de los métodos de cálculo de aire exterior mínimo de ventilación.

Definición del caudal de ventilación

La Norma propone diferentes métodos para el cálculo del caudal de ventilación:

- ▶ Método A: Indirecto por caudal de aire por persona.
- ▶ Método B: Directo por calidad de aire percibido.
- ▶ Método C: Directo por concentración de CO₂
- ▶ Método D: Indirecto por caudal de aire por unidad de superficie.
- ▶ Método E: Dilución (UNE-EN 13779).

Cada uno de los métodos se considerará más adecuado en función del uso del local que se pretenda ventilar.

La norma establece como primer método de cálculo del caudal de ventilación el método indirecto. En él se consideran diferentes usos y diferentes calidades de aire exterior, tabulando de esta manera los caudales a mover.

Para el caso de un aula de enseñanza (IDA2 de calidad de aire interior conforme RITE), se consideran métodos posibles: A, B, C y E. Con la aplicación de uno u otro método, el resultado puede variar sustancialmente. Los métodos más habituales acaban siendo el A y el C (entendiendo el E como variante generalista de C).

Por otro lado, el RITE contempla la posibilidad de justificación del caudal de aire de ventilación mediante otros métodos, siempre que al menos igualen las condiciones y prestaciones de la norma.

Para un aula tipo de unos 25 alumnos, obtendríamos:

- ▶ Por persona, IDA2: 12.5 l/s per. Con un total de 312'5 l/s (1.125 m³/h). Lo que equivale aproximadamente a 6 ren/h del espacio.
- ▶ Por concentración de CO₂: conforme lo que se indica en EN-15251 “Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de los edificios incluyendo la calidad de aire interior, condiciones térmicas, iluminación y



ventilación

ruido”, obtendríamos aproximadamente entre 600-800m³/h que supondrían sobre unas 4 ren/h, variables dependiendo de las dimensiones del espacio. Con ello se mantendrían niveles inferiores a 500ppm de concentración, por encima del nivel exterior indicados en el RITE.

No obstante, también podría llegar a calcularse según el método B (calidad de aire percibido), obteniendo valores muy distintos de los anteriormente calculados por otros métodos si bien el sistema de calefacción+ventilación difiere sustancialmente del resto.

Adoptando el método directo de caudal de aire percibido, utilizando sistemas de filtraje de muy alta eficiencia en partículas y filtraje de gases (purificación), se puede ajustar el caudal de ventilación.

Basándonos en el Informe CR1752, la ecuación general aplicable para la determinación de caudales de ventilación por cantidad de aire percibido queda:

$$Q = 10 \cdot G_o \cdot E_p / (C_{api} - C_{ape}) \cdot 1 / E_v$$

Dónde:

- 10 = Factor de conversión de olf a decipol
- G_o = Carga sensorial total en olf
- E_p = Ratio de eficacia de la purificación
- C_{api} = Calidad de aire interior percibida en decipol
- C_{ape} = Calidad de aire exterior percibida en decipol
- E_v = Eficacia de la ventilación

Adoptando valores de fabricantes que justifican la eficacia de ventilación de sus sistemas de 0,8 y eficiencia de purificación del 92% (0,08)

Aplicando las tablas del método CR1752 y la norma UNE EN 13779, y los datos de contaminación exterior municipales se obtiene:

- IDA 2 → 1,2 decipol
- ODA 3 → 0,2 decipol
- Carga sensorial del edificio (escuela) → 0,3 olf/m²
- Carga sensorial por ocupación (escuelas) → 1,3 olf/ocupante

Que aplicado a nuestro ejemplo, tenemos:

$$40 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ olf/m}^2 = 12 \text{ olf}$$

$$25 \text{ ocupantes} \times 1,3 \text{ olf/ocupante} = 32,5 \text{ olf}$$

$$\text{Carga sensorial total: } G_o = 12 + 32,5 = 44,5 \text{ olf}$$

Caudal de ventilación por método de caudal de aire percibido y sistema de purificación de aire:

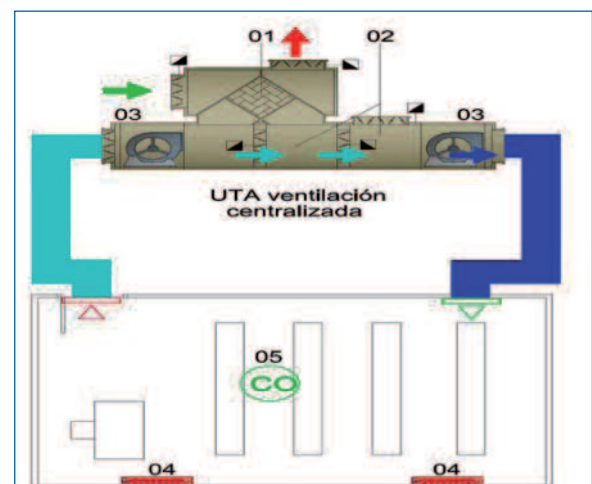
$$Q = 10 \cdot G_o \cdot E_p / (C_{api} - C_{ape}) \cdot 1 / E_v = 10 \cdot 44,5 \cdot 0,08 / (1,2 - 0,2) \cdot 1 / 0,8 = 44,5 \text{ l/s}$$

Si se compara con el caudal que se obtiene con el método indirecto de caudal de aire por persona 12,5 l/s . 32 personas = 312,5 l/s

La reducción de caudal de ventilación aplicando un sistema de purificadores es del 85,7%

Sistema aplicable en casos de muy elevada contaminación del aire exterior o imposibilidad de aportar caudal por el sistema indirecto de caudal de aire exterior. Se debe valorar los costes de explotación del sistema en función de la climatología, costes de reposición de filtros y consumo eléctrico de ventiladores.

Sistema de calefacción con radiadores y ventilación centralizada



1. Recuperador de calor según RITE.
2. Posibilidad de freecooling.
3. Ventiladores con posibilidad de velocidad variable.
4. Sistema de calefacción con radiadores.
5. Posible control con sonda de CO₂

Este sistema mantiene la instalación de calefacción por radiadores utilizada habitualmente en este tipo de usos por ser el más habitual y al que más habituado está el personal de mantenimiento de estos centros.

En esta tipología la ventilación se resuelve mediante unidades “todo aire” que, ajustándolas a los requerimientos normativos indicados en el RITE, dispondrían como mínimo de las siguientes secciones:

- ▶ Sección de ventilador (impulsión y retorno).
- ▶ Sección de filtraje, en el lado admisión de aire desde exterior y de características adecuadas al IDA interior y ODA exterior (calidades del aire conforme RITE)
- ▶ Recuperador de calor, para caudales de extracción en sistemas de climatización superiores a 0,5 m³/s.

No se contempla la instalación de enfriamiento adiabático dado que no se requiere de tratamiento de frío en las aulas.

El sistema permite una modularidad, pudiendo establecer, en función del número de aulas, capacidad de pasos de instalaciones, uso u orientaciones, desde una única unidad para todas las aulas hasta una unidad cada una.

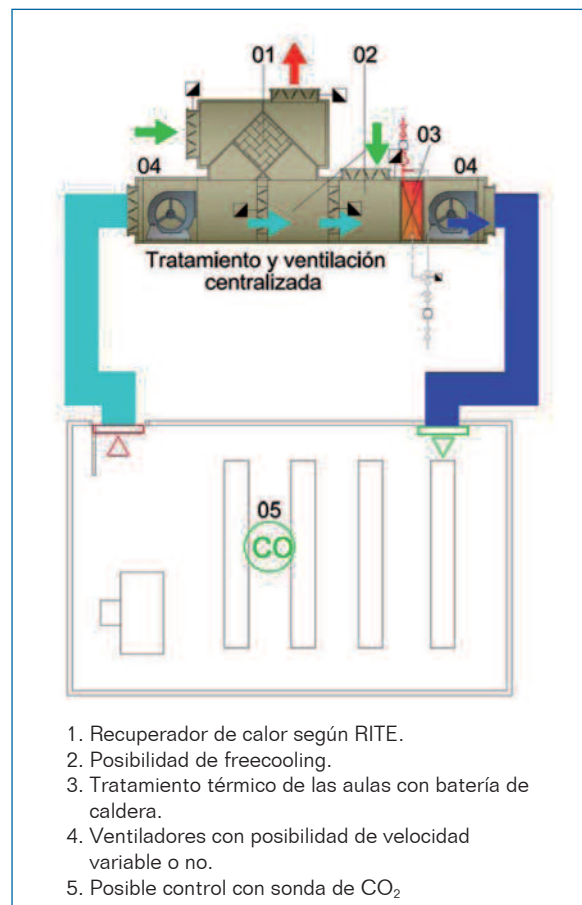
En cualquier caso, la necesidad de recuperación de calor del aire de ventilación extraído, hace necesaria la instalación de una red de conductos de impulsión/retorno que serán tanto mayores como el caudal a mover en cada tramo.

Este hecho se presenta como un inconveniente a nivel de implantación en los techos del edificio, dado el tipo de construcción pre-industrializada de este tipo de uso. Con este sistema no se considera óptima la posibilidad de sobre-presionar las aulas para extraer desde espacios comunes. Esta solución menguaría la capacidad de recuperación del sistema.

En todo caso se considera necesario para un confort aceptable, pre-tratar el aire exterior y difundirlo adecuadamente antes de introducirlo al aula, de forma que no se generen corrientes de

aire y sensación de disconfort térmico por diferencia de temperaturas.

Sistema de calefacción y ventilación todo aire exterior



Este sistema eliminaría la existencia de radiadores en las aulas y todo el circuito hidráulico asociado. Por otro lado habría que alimentar térmicamente el climatizador, que resolvería a la vez la calefacción y la ventilación de los espacios. Estos equipos podrían quedar centralizados en salas técnicas para su mejor mantenimiento, aunque en este sentido habría que adaptar y formar si fuera necesario al personal de mantenimiento en este tipo de instalaciones.

El sistema podría funcionar como “todo aire exterior”, asegurando una óptima ventilación de las aulas (siempre adecuándose a las necesidades). Pero su funcionamiento no sólo vendría asociado



a dichas necesidades sino también al confort térmico en invierno.

En este sentido el caudal necesario para calentar un aula de unos 40m², podría ser equiparable al necesario, normativamente, para su ventilación (750-800 m³/h), aunque este dato puede variar según la localización geográfica y las características constructivas del edificio.

Como evolución de este sistema podría llegar a instalarse una sección de freecooling en la unidad. Manteniendo las prestaciones comentadas, incorpora la posibilidad de recirculación de aire y sobretodo la posibilidad de refrescamiento en épocas intermedias o refrescamiento nocturno de las aulas, (lo que sería muy útil para reducir la inercia térmica de los cerramientos en épocas con cargas térmicas positivas).

Se considera un valor añadido del sistema el poder resolver una demanda que en principio no se contempla en los programas escolares. En este caso se da respuesta a la demanda de frío mediante el propio sistema de ventilación. Si bien no se pueda llegar a hablar de enfriamiento, sí que podría conseguirse un atemperamiento del espacio para una mejor sensación térmica.

Sistemas de caudal de ventilación variable

El normativo incremento de elementos de instalaciones y requerimientos en las escuelas, deriva en una casi necesaria evolución de los sistemas asociados de control hacia sistemas más complejos, completos.

De los básicos marcha-paro por accionamiento manual o mediante programación horaria, se pasa a la lectura de parámetros en tiempo real y su actuación en consecuencia.

Con los sistemas de control por concentración de CO₂, es necesaria la instalación de elementos de detección de este contaminante que envíe la señal analógica de estado para actuar en consecuencia sobre los equipos ventiladores.

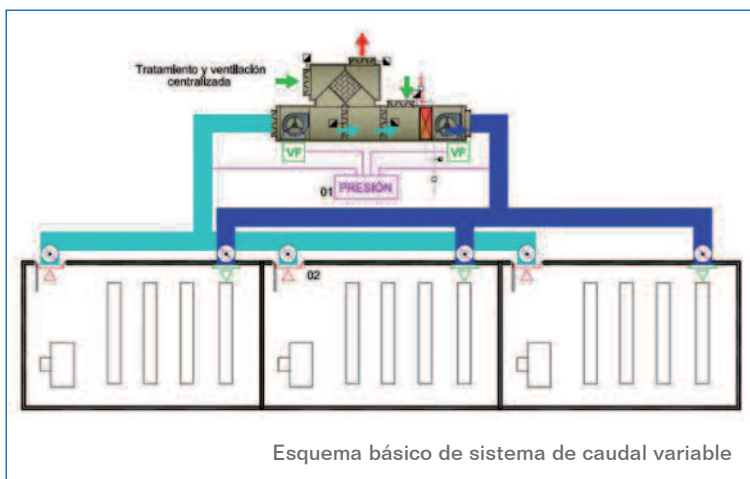
Mediante este sistema de control se consigue un funcionamiento de la instalación acorde a las necesidades en cada momento de los espacios. Y además se reducen los consumos en relación con los sistemas de control más básicos.

Cuando dicho sistema de control se amplía a varias aulas, la complejidad es mayor pues el sistema debe conocer, al menos la media de concentración de CO₂ de todas ellas.

Si además si considerara ajustar la cantidad de aire circulante de ventilación a las particularidades de cada aula, ello supondría un considerable incremento de la complejidad del sistema, necesitando lecturas de CO₂ por espacio y un control del caudal aportado en cada uno de ellos. Así se acabaría derivando en un sistema de caudal variable de aire de ventilación como sistema más eficiente.

En él se monitoriza la concentración de CO₂ en cada espacio ajustando la oberturas de impulsión al mismo para aportar el aire necesario. A la vez se regularía la velocidad de funcionamiento de los ventiladores para ajustarlos a las necesidades de cada momento.

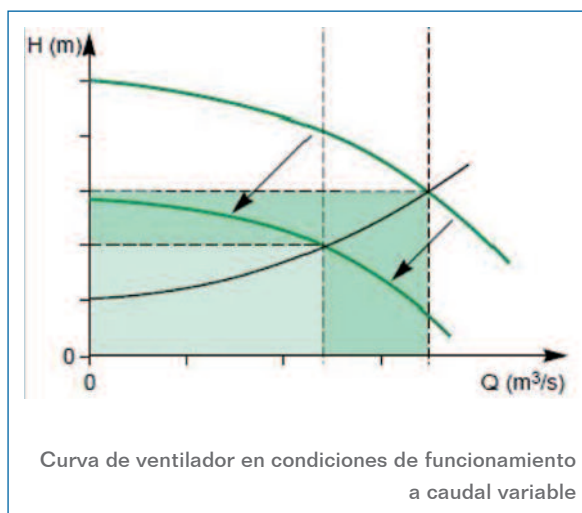
Este tipo de sistemas, por el contrario, son más complejos de regular y equilibrar, y con unas tareas de mantenimiento superiores.



Esquema básico de sistema de caudal variable

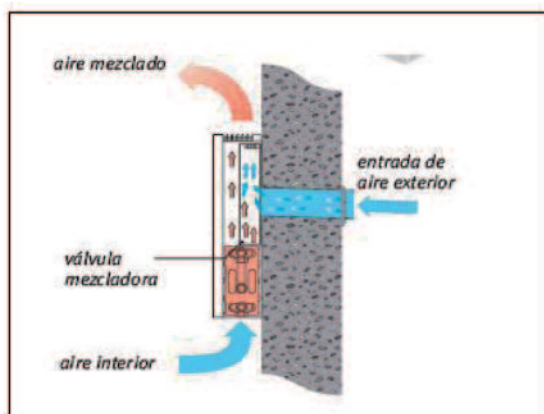


A la vez estos elementos incrementan las necesidades de presión disponible de los ventiladores, con el consecuente incremento exponencial del consumo.



De la misma manera los recuperadores de calor también comportan una pérdida de carga adicional del sistema que el ventilador deberá poder compensar. Gran parte del horario del edificio será en demanda de calor (pues en períodos estivales estos edificios están normalmente cerrados). Es bajo esta demanda cuando los recuperadores de calor disponen de mayor rendimiento, con lo que es posible deducir que el ahorro energético debido a la recuperación de calor sea superior al gasto producido por el incremento de pérdida de carga en el sistema.

En este sentido hay que tener en cuenta que el RITE limita las pérdidas de carga máximas de los diferentes elementos.



Vista en sección del radiador y ventilador

En épocas de necesidad de frío los rendimientos del sistema de recuperación son menores, dado que el gradiente de temperaturas entre interior y exterior son mas pequeños que en invierno. Para el aumento de su eficiencia el RITE propone la instalación, previa al recuperador, de un sistema de enfriamiento evaporativo para aumentar así ese salto térmico. No se considera necesaria esta instalación dado que las horas de trabajo en demanda de frío en este tipo de edificios no son elevadas.

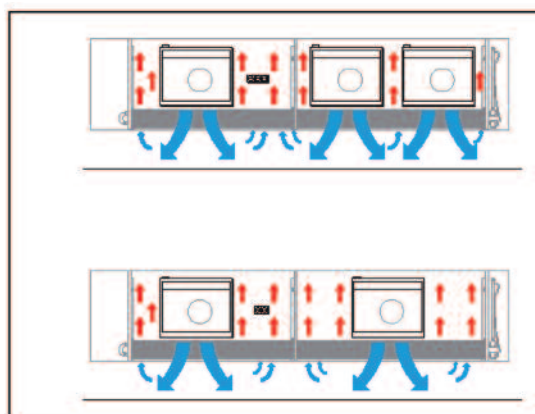
Los sistemas de freecooling, compatibles con la recuperación de calor pueden complementar a la instalación, sobretodo en épocas intermedias donde la temperatura exterior puede acercarse a la de confort y en el interior de las aulas pueden llegar a tener demanda de frío debido a las cargas internas positivas (iluminación y ocupación).

Mediante un sistema de control que controle temperatura o entalpía interior y exterior, puede controlarse el equipo para que esté funcionando en modo "todo aire exterior" hasta llegar a las condiciones de confort o bien a igualar condiciones interiores y exteriores.

La telegestión sería el último punto evolutivo de cara a optimizar el mantenimiento y control-variación de parámetros, pudiendo efectuar un seguimiento en continuo e incluso análisis energéticos de varios edificios.

Sistema de calefacción por radiadores y ventilación descentralizada

El sistema que a continuación se explica consta de una instalación de calefacción por radiadores y



Vista en alzado del radiador y ventilador



ventilación

una ventilación con aporte de aire exterior descentralizado, individual para cada aula.

La introducción de aire exterior se realiza directamente desde fachada, a través de un módulo ventilador insertado en la carcasa del radiador de cada aula. Para ello, el radiador debe estar colocado en una pared que esté en contacto con el exterior (fachada).

Los caudales de aire exterior por alumno considerados, se calculan mediante el método directo por concentración de CO₂ que establece el RITE en el apartado "C" de la IT1.1.4.2.3, aplicando el método descrito en la norma UNE-CR 1752:2008 IN.

El caudal de aire exterior dependerá en todo momento de la lectura de una sonda de CO₂ en cada aula de manera que, dependiendo de la concentración en ppm de CO₂, se introducirá más o menos aire exterior, pero siempre suficiente para mantener el valor límite de concentración de CO₂ que marca el RITE para la clasificación del aire interior (IDA 2 en el caso que nos ocupa), que tiene como valor máximo 500 ppm por encima del valor de concentración de CO₂ en el ambiente exterior (tabla 1.4.2.3 del RITE). Por tanto, el sistema de control de la calidad de aire interior se clasifica como IDA-C6 según lo que establece la tabla 2.4.3.2 del RITE.

Adoptar este sistema de control (IDA-C6) respecto un tipo IDA-C1 (sistema funcionando continuamente), que es el que propone el RITE para utilizar con carácter general, supone un incremen-

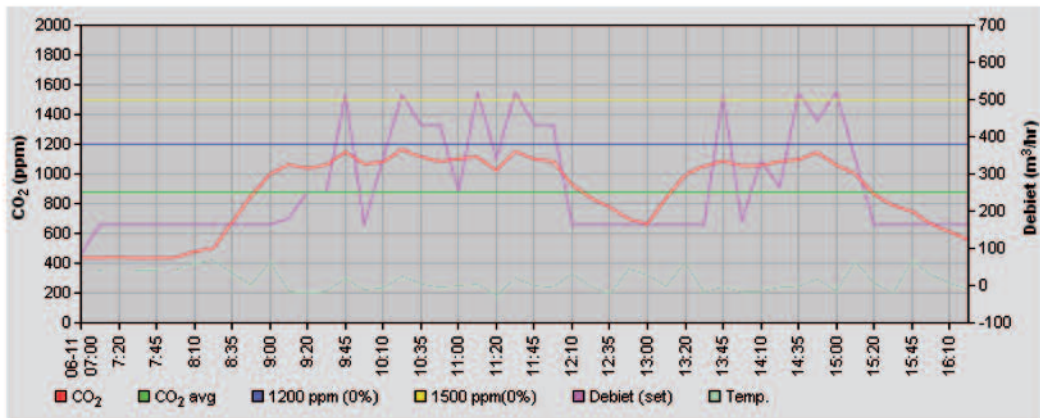
to del ahorro energético del sistema de ventilación, puesto que únicamente funcionará a pleno régimen cuando la ocupación en cada aula sea máxima. Además, el sistema de ventilación parará cuando el aula esté desocupada, hecho que se produce en repetidas ocasiones a lo largo de un día, como las horas de comida, de recreo, de actividades, etc.

Además, el sistema de control permite monitorizar la instalación de forma local o remota, y se puede apreciar la evolución de la concentración de CO₂ interior y la respuesta del sistema de ventilación. A continuación se muestra una gráfica como ejemplo de lo que sucede en un aula durante un día lectivo:

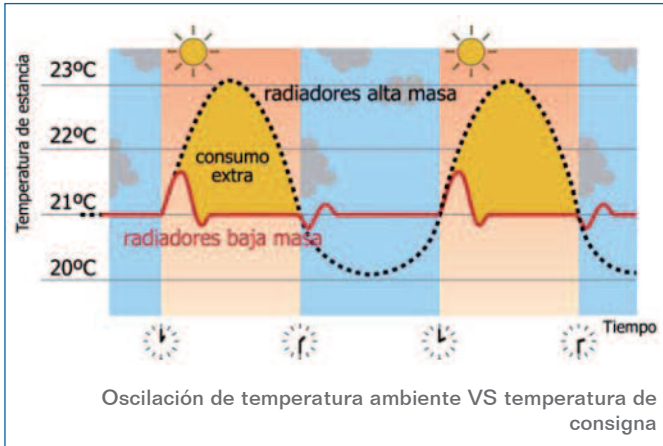
La extracción de aire se realiza por sobrepresión desde cada aula al pasillo, y de éste se extrae al exterior con un ventilador colocado en los lavabos de planta, o en su defecto en el lavabo de cada aula (en el caso de aulas de infantil). El caudal de aire de extracción también será variable y dependerá del caudal de aire aportado en cada planta en todo momento.



Dado que la aportación de aire exterior se realiza por la parte baja del aula, y la extracción se realiza por la parte superior del extremo opuesto, se puede considerar que la ventilación tiene una eficacia de 1,2 según lo que dispone la norma UNE 13779.



Evolución de la concentración de CO₂ y respuesta del sistema de ventilación en un aula tipo



El tipo de radiador utilizado tiene muy poco contenido de agua en su interior, lo que permite obtener una respuesta rápida a la demanda calorífica en cada momento debido a la poca inercia térmica del emisor, que combinado con un intercambiador de alta eficacia permite obtener un elevado grado de confort y una oscilación muy reducida de la temperatura del aula respecto la temperatura de consigna, en especial cuando la influencia de la radiación solar empieza a ser importante.

El sistema analizado presenta las siguientes ventajas respecto el sistema de ventilación tradicional propuesto por RITE:

- ▶ Introducción de menos aire exterior que el RITE.
- ▶ No hay conductos por pasillos.
- ▶ No hay conductos en cubierta.
- ▶ No hay climatizadores en cubierta.
- ▶ No hay ruidos.
- ▶ Ahorro energético.
- ▶ Posibilidad de monitorizar el nivel de CO₂ en cada aula en cada momento.
- ▶ Posibilidad de programar por horarios la ventilación (ex. Ventilación nocturna, paradas por comidas, patios, etc.)■