ANEXO A
Cantidad mínima de aire de ventilación

(Este anexo no forma parte de la Norma).

El oxígeno es necesario para el metabolismo de los alimentos. El carbono y el hidrógeno de los alimentos son oxidados por el oxígeno del aire a anhídrido carbónico (CO_2) y agua (H_2O), que vienen eliminados por el organismo.

Los alimentos se clasifican en carbohidratos, grasas y proteinas, con proporciones diferentes del contenido de carbono e hidrógeno.

El coeficiente respiratorio CR se define como la relación volumétrica entre el anhídrido carbónico producido y el oxígeno consumido.

Con una dieta equilibrada de carbohidratos, grasas y proteinas, el CR asume el valor medio de 0,83.

Las cantidades de dióxido de carbono generado y oxígeno consumido, ambas expresadas en l/s por persona, dependen de la actividad física de las personas, de acuerdo con las relaciones:

$$q\,(CO_2) = 0{,}0042 \times AM \qquad (1)$$
$$q\,(O_2) = 0{,}005 \times AM \qquad (2)$$

donde:

AM representa la actividad metabólica (véanse las normas UNE 100-012 y UNE 100-013), medida en met.

indicado con:

$(CO_2)_{amb}$ la concentración máxima admisible de anhídrido carbónico en el ambiente (en tanto por ciento en volúmen);

$(CO_2)_{ext}$ la concentración de anhídrido carbónico en el aire exterior, igual al 0,03 por ciento en volumen.

El caudal de aire de ventilación q, en litros por segundo y por persona, se halla mediante el siguiente balance de masas del anhídrido carbónico:

$$q = \frac{q\,(CO_2)}{(CO_2)_{amb} - (CO_2)_{ext}} \times 100 \qquad (3)$$

Si la concentración máxima admisible en el espacio ventilado debe mantenerse igual a 0,1%:

$$(CO_2)_{amb} <= 0{,}1\% \qquad (4)$$

Introduciendo la ecuación (1) en la (3) y operando, resulta:

$$q = 6 \times AM \qquad (5)$$

El caudal mínimo del aire de ventilación por persona, en litros por segundo, debe ser igual a seis veces el nivel de actividad metabólica, a fin de mantener la concentración de CO_2 en el espacio al valor indicado en la expresión (4).

Para niveles ligeros de actividad metabólica (p.e., trabajos de oficinas, individuos sentados, etc.) se suele sumir AM = 1,2 met; en consencuencia, el caudal de aire de ventilación será, de acuerdo a la ecuación (5), de 7,2 l/s.

Por lo tanto, redondeando con un 4% de exceso, se fija un caudal mínimo de aire exterior de ventilación igual a 7,5 l/s por persona.

Aplicando la ecuación (3) del balance de masas al oxígeno, se obtendrá:

$$(CO_2)_{amb} = (CO_2)_{ext} - 100 \times \frac{q\,(CO_2)}{q} \qquad (6)$$

con evidente significado de los símbolos.

Nótese que el segundo término del segundo miembro ahora ha cambiado de signo con respecto al que tenía en la ecuación (3), porque el oxígeno es consumido mientras que el anhídrido carbónico es producido.
Recordando que la concentración en volumen del oxígeno en el aire exterior es del 21% y aplicando las ecuaciones (2) y (5), resulta que, para cualquier valor de la actividad metabólica, el contenido de oxígeno en el aire del ambiente interior se reduce a:

$$(O_2)_{amb} = 20{,}9\% \qquad (7)$$

La diluición del dióxido de carbono es claramente mucho más importante que la reposición del oxígeno. Dicho de otra manera: una vez asegurado que la concentración de CO_2 está por debajo del valor extremo antes indicado, la concentración del oxígeno en el ambiente apenas se reduce.

ANEXO B
Uso del aire de recirculación como sustitutivo del aire exterior a efectos de ventilación

(Este anexo no forma parte de la Norma).

El control de la calidad del aire interior, desde el punto de vista de la concentración de sustancias contaminantes, puede lograrse por medio de dos métodos:

a) dilución por medio de aire exterior de adecuada calidad;
b) tratamiento del aire de recirculación.

Con el primer método se deben utilizar los caudales de aire exterior marcados en la *tabla 2*.

Con el segundo método, esos caudales pueden reducirse sustancialmente, hasta el límite inferior de 2,5 l/s por persona, usando cantidades suficientes de aire de recirculación oportunamente tratado, logrando, al mismo tiempo, una notable disminución del consumo de energía.

Indicando con:

q_v el caudal de ventilación constituido por el 100% de aire exterior, en litros por segundo;
$q_{v,r}$ el caudal de ventilación reducido, en litros por segundo (mínimo 7,5 l/s por persona);
q_r el caudal de aire de recirculación, en litros por segundo;
q_t el caudal total de aire de ventilación, en litros por segundo;
C_e la concentración de una sustancia en el aire exterior,en gramos por litro;
C_i la concentración máxima admisible de la misma sustancia en el aire interior, en gramos por litro;
q_c el caudal de producción de la sustancia contaminante, en gramos por segundo;
e la eficiencia del equipo de depuración, con respecto a la sustancia contaminante considerada, expresada en relación de masas (adimensional);

se pueden escribir las siguientes relaciones de equilibrio másico:

B.1 En el caso de aire de ventilación constituido únicamente por aire exterior:

$$q_v\,(C_i - C_e) = q_c \qquad (1)$$

o sea:

$$q_t = q_v = \frac{q_c}{C_i - C_e}$$

Este caudal está representado por los valores marcados en la *tabla 2*.

B.2 En el caso de aire de ventilación constituido por una mezcla de aire exterior y aire de recirculación:

B.2.1 Cuando el equipo de depuración está emplazado en el flujo de aire de recirculación:

$$q_{v,r}\, C_e + (1 - e)\, q_r\, C_i + q_c = (q_r + q_{v,r})\, C_i \qquad (2)$$

que, sustituyendo q_c expresado por la ecuación (1) y dividiendo por C_i, se puede escribir así:

$$q_{v,r}\, \frac{C_e}{C_i} + (1 - e)\, q_r + q_v = q_v\, (1 - \frac{C_e}{C_i}) = q_r + q_{v,r} \qquad (3)$$

o sea, despejando y ordenando:

$$q_r = \frac{C_i - C_e}{e \times C_i}\, (q_v - q_{v,r}) \qquad (4)$$

B.2.2 Cuando el equipo de filtración está emplazado en el flujo de la mezcla de aire exterior y aire de recirculación:

$$(q_{v,r}\, C_e + q_r\, C_i)\, (1 - e) + q_c = (q_{v,r} + q_r)\, C_i \qquad (5)$$

que, sustituyendo q_c expresado por la ecuación (1) y dividiendo por C_i, se puede escribir así:

$$(q_{v,r}\, \frac{C_e}{C_i} + q_r)(1 - e) + q_v\, (1 - \frac{C_e}{C_i}) = q_{v,r} + q_r \qquad (6)$$

o sea, despejando y ordenando:

$$q_r = \frac{C_i - C_e}{e \times C_i}\, (q_v - q_{v,r}) - q_{v,r}\, \frac{C_e}{C_i} \qquad (7)$$

En condiciones normales, la concentración de la sustancia contaminante en el aire exterior C_e es muy pequeña con respecto a la misma en el ambiente interior C_i; cuando así sea, puede asumirse:

$$\frac{C_e}{C_i} \approx 0 \text{ y } C_i - C_e \approx C_i$$

y las dos ecuaciones (4) y (7) se reducen a la misma expresión:

$$q_r = \frac{q_v - q_{v,r}}{e} \qquad (8)$$

De esta ecuación se deduce que si la eficiencia del equipo de depuración fuera igual a uno, el caudal de aire de recirculación sería igual a la diferencia entre el del aire de ventilación al 100% de aire exterior y el del aire de ventilación reducido, como es lógico.

Cuanto más baja sea la eficiencia del equipo de depuración, más elevado será el caudal de aire de recirculación.

El caudal total de aire de ventilación, en estos casos, es:

$$q_t = q_r + q_{v,r} \qquad (9)$$

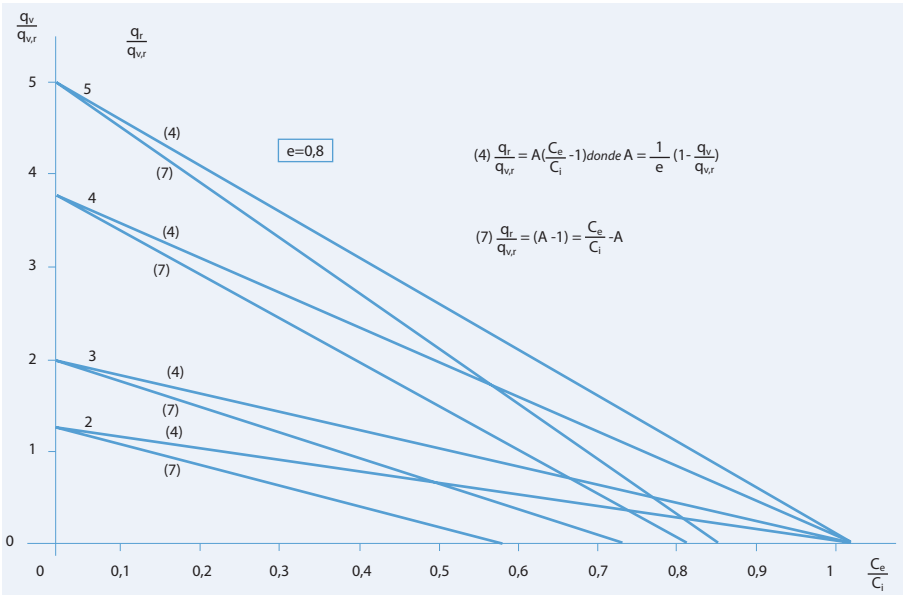
En la *figura 2* se expresan los valores de $q_r / q_{v,r}$ en función de C_e / C_i, con $q_v / q_{v,r}$ como parámetro, habiendo supuesto que la eficiencia del equipo de filtración sea igual a 0,8.

Las rectas marcadas con los números 4 y 7 representan, respectivamente, a las ecuaciones (4) y (7).

Se observa, a paridad de condiciones, lo siguiente:

a) si se pone el filtro sobre el aire total, se disminuye el caudal de aire de recirculación;
b) al aumentar la concentración de la sustancia contaminante en el aire exterior, disminuye el caudal de aire recirculado;
c) al disminuir la relación de caudales de aire exterior, de ventilación y reducido, disminuye el caudal de aire recirculado.

Figura 2



ANEXO C
Retraso en la puesta en funcionamiento del sistema de ventilación sobre el comienzo de la ocupación

(Este anexo no forma parte de la Norma).

La puesta en funcionamiento del sistema de ventilación mecánica puede ser retrasada utilizando el volumen del espacio interior para diluir las sustancias contaminantes, hasta que su concentración alcance un límite aceptable, cuando se cumplan las siguientes condiciones:

a) el espacio tiene alternancias de períodos de ocupación y desocupación;
b) la producción de sustancias contaminantes está asociada únicamente a la actividad de los ocupantes;
b) las sustancias contaminantes son disipadas por ventilación natural durante los períodos de desocupación.

Indicando con:

C la concentración de una sustancia contaminante en gramos por metro cúbico (subíndices «o» y «v», sin y con ventilación respectivamente);
q_c el caudal de producción de la sustancia contaminante considerada, en gramos por segundo;
V el volumen del espacio considerado, en metros cúbicos;
q_v el caudal del aire de ventilación, en metros cúbicos por segundo;
t el tiempo, contado a partir del comienzo de la ocupación, en segundos;

resulta que, en ausencia de ventilación, la concentración de la sustancia contaminante en el aire ambiente depende el tiempo según la ecuación:

$$C_o = \frac{q_c}{V} t$$

Sin embargo, la concentración de la sustancia contaminante bajo condiciones de ventilación en régimen permanente, es dada por la siguiente ecuación:

$$C_v = \frac{q_c}{q_v}$$

En la hipótesis de que C_v sea igual o inferior al límite aceptable de concentración, el tiempo máximo de retraso de puesta en funcionamiento del sistema de ventilación mecánica, contado a partir del comienzo de la ocupación, se obtiene igualando C_o y C_v, o sea, igualando las dos ecuaciones anteriores y despejando:

$$t = \frac{V}{q_v}$$

ANEXO D
Adelanto de la puesta en funcionamiento del sistema de ventilación sobre el comienzo de la ocupación

(Este anexo no forma parte de la Norma).

Cuando las sustancias contaminantes de un ambiente son generadas independientemente de la presencia de las personas y no constituyen un peligro para la salud para breves estancias, el sistema de ventilación puede pararse durante los períodos de desocupación, con tal de que se ponga en funcionamiento con un cierto adelanto sobre el comienzo de la ocupación, de tal manera que la concentración esté a un nivel aceptable para las personas desde el comienzo de la ocupación.

Naturalmente, en fase de preventilación y utilizando el caudal de ventilación proporcionado al caudal de producción de la sustancia contaminante, es imposible alcanzar en un tiempo finito el valor de concentración que se mantendría con un régimen de ventilación permanente.

Admitiendo que el nivel de concentración de la sustancia contaminante pueda subir hasta un cierto valor por encima del nivel en régimen permanente durante un cierto período de tiempo dentro del período de ocupación sin perjudicar la salud de las personas, e indicando con:

q_v el caudal de aire de ventilación, en metros cúbicos por segundo;
q_c el caudal de producción de la sustancia contaminante, en gramos por segundo;
C_i la concentración de la sustancia contaminante al inicio de la puesta en marcha de sistema de ventilación, en gramos por metro cúbico;
C_f la concentración al final del período de preventilación, en gramos por metro cúbico;
C la concentración en régimen permanente, en gramos por metro cúbico;
V el volumen del espacio considerado, en metros cúbicos;

el tiempo t, en segundos, requerido para bajar la concentración de C_i a C_f es igual a:

$$t = \frac{V}{q_v} \ln \frac{\frac{q_v}{q_c} - 1}{\frac{C_f - C}{C}}$$

y representa el adelanto de la puesta en funcionamiento del sistema de ventilación sobre el comienzo de la ocupación.

ANEXO E
Cálculo del caudal corregido

(Este anexo no forma parte de la Norma).

Indicando con F la fracción calculada de aire exterior en el total de aire impulsado por el sistema (relación entre suma de caudales de aire exterior de cada local o zona y suma de caudales de aire impulsados en cada local o zona) y con f_{max} la análoga fracción referida al local o zona con mayores exigencias de aire exterior, la fracción corregida F_c de aire exterior se calculará con la siguiente ecuación:

$$F_v = \frac{F}{1 + F - f_{max}} \qquad (1)$$

El caudal total de aire exterior se calculará como producto de F_c por el caudal total de aire de impulsión.

Nótese que, por definición, las fracciones F, f_{max} y F_c serán menores o iguales que la unidad y que:

$$f_{max} \geqslant F_c \geqslant F \qquad (2)$$

Observando la ecuación (1) se deduce que:

si $f_{max} = F$ entonces será $F_c = F$

si $f_{max} = 1$ entonces será $F_c = 1$

relaciones ambas de evidente significado físico.