

NORMA UNE 100-011-88. CLIMATIZACIÓN

La ventilación para una calidad aceptable del aire en la climatización de los locales

1. Objeto y campo de aplicación

La presente norma tiene por objeto establecer criterios de ventilación para mantener una calidad aceptable del aire en los locales provistos de instalaciones de ventilación y climatización, destinadas al bienestar de las personas.

2. Normas para consulta

UNE 100-012 - *Climatización*. Bases para el proyecto. *Zona de bienestar*.

UNE 100-013 - *Climatización*. Bases para el proyecto. *Condiciones interiores de cálculo*.

3. Definiciones

3.1 aire: Es la mezcla de gases, constituida aproximadamente por el 79% de N y el 21% de O₂ en volumen; se adoptan las siguientes denominaciones (véase figura 1).

3.2 aire ambiente: Es el aire del espacio interior de un edificio.

3.3 aire de expulsión: Es el aire extraído de un local y expulsado al exterior.

3.4 aire exterior: Es el aire de la atmósfera exterior de un edificio.

3.5 aire de impulsión: Es el aire impulsado en los locales y usado para ventilación, calentamiento, refrigeración, humectación y deshumectación.

3.6 aire de recirculación: Es el aire extraído de un local y retornado al mismo o expulsado al exterior.

3.7 aire de retorno: Es el aire extraído de un local y retornado al mismo previo tratamiento.

3.8 aire normalizado: Es el aire a 20 °C y 101,325 kPa.

3.9 aire tratado: Es el aire que ha sido sometido a uno o más tratamientos de filtración, térmicos e higrométricos.

3.10 aire de ventilación: Es el aire que es parte del aire de impulsión y que está constituido por aire exterior y aire de retorno filtrado, para mantener en el ambiente interior una calidad aceptable del aire.

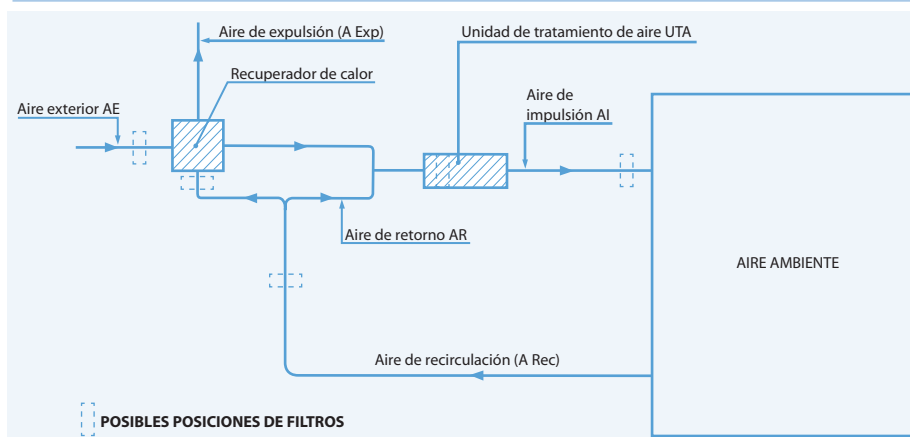
3.11 calidad aceptable del aire: Es el aire que no contiene sustancias contaminantes en cantidades tales que resulten nocivas para la salud y cuya calidad sea juzgada satisfactoria por el 80% de las personas expuestas a sus efectos.

3.12 concentración: Es la cantidad de un constituyente disperso en otro (véase Anexo B).

3.13 equipo purificador de aire: Es el dispositivo utilizado para eliminar del aire impurezas como gases, humos, partículas, polvos y vapores. Se distinguen los siguientes métodos de purificación (o depuración):

- absorción, eliminación de gases o vapores por absorción sobre la superficie de un material de gran porosidad (carbón activado, alúmina, silicagel, zeolite, etc.);
- absorción, eliminación de vapores o gases y también partículas por absorción en un líquido (lavados de aire de distinto tipo);
- oxidación, eliminación de olores por reacción química (lechos de cloro, permanganato, sales, etc., lavadores, ozonificadores, cloradores);
- combustión, eliminación de bacterias y olores en procesos industriales (combustión catalítica o por llama);
- mimetización, eliminación de olores por medio de la introducción de un aerosol agradable oloroso;
- neutralización de la carga electrostática;
- filtración, eliminación de partículas en suspensión en el aire con concentración hasta 10 mg/m³, por interceptación, restricción, difusión, efecto electrostático;
- depulverización, eliminación de partículas en suspensión en el aire con concentración de más de 10 mg/m³;
- tratamiento antibacterico, por medio de radiación ultravioleta.

Figura 1



3.14 exfiltración: Es la migración de aire desde un espacio hacia su entorno a través de aperturas en los elementos de cerramiento por efecto de una diferencia de presión.

3.15 infiltración: Es la migración de aire desde el exterior hacia un espacio a través de aperturas en los elementos de cerramiento por efecto de una diferencia de presión.

3.16 sustancias contaminantes: Son los componentes del aire que reducen su grado de aceptabilidad como:

- gases, sustancias en forma de moléculas no agregadas, que satisfacen, dentro de ciertos límites de precisión, las leyes de los gases perfectos (usualmente vapores altamente sobrecalentados, por encima de su temperatura crítica);
- humos, partículas sólidas en suspensión de tamaño usualmente inferior a 1 µm, formadas por condensación, sublimación, destilación, calcinación y reacciones químicas;
- partículas, agregados moleculares en forma sólida o líquida en suspensión en el aire, de tamaño, usualmente, entre 1/100 y 100 µm;
- polvos, partículas sólidas en suspensión en el aire, en tamaños usualmente inferiores a 100 µm, provocadas por erosión;
- vapores, sustancias en forma de gases que se encuentran cerca del equilibrio con su fase líquida, por debajo de su temperatura crítica; no siguen las leyes de los gases perfectos.

3.17 ventilación: Es el proceso de alimentación y extracción del aire de un local, por medios naturales o mecánicos, para controlar la calidad desde el punto de vista de sus constituyentes. Este aire puede ser o no tratado desde el punto de vista térmico o higrométrico.

3.18 zona ocupada: Es la zona de un espacio comprendido entre dos planos horizontales a 100 mm y 2000 mm del suelo y a más de 600 mm de paredes o muebles.

4. Unidades de medida y factores de conversión

La concentración de sustancias contaminantes en el aire, que usualmente se da en condiciones estándar, a 20 °C y 101,325 kPa, se medirá de las siguientes maneras:

- en casos de gases o vapores en partes por millón (ppm), en volumen, o en gramos por metro cúbico (g/m³).

La relación entre las dos unidades de medida es la siguiente:

$$\text{ppm} \times \frac{\text{MM}}{24450} = \text{g/m}^3$$

donde MM es la masa molecular del gas o vapor.

NOTA: 1 g/m³ = 1 mg/l = 10³ mg/m³ = 10⁶ µg/m³.

- en caso de partículas sólidas en suspensión en millones de partículas por metro cúbico (mpmc), en partículas por centímetro cúbico (pcc), en gramos por metro cúbico (g/m³).

La relación entre las unidades de medida es la siguiente:

$$\text{pcc} \times 0,21 = \text{g/m}^3 \text{ o } \text{pcc} \times 210 = \text{mg/m}^3$$

$$\text{mpmc} = \text{pcc}$$

Los caudales de aire se miden en litros por segundo (l/s), o en metros cúbicos por segundo (m³/s).

5. Vocabulario

Español	Inglés
aire	air
a. ambiente	ambient a.
a. de expulsión	exhaust a.
a. exterior	outdoor a.
a. de impulsión	supply a.
a. de recirculación	recirculated a.
a. standard	return a.
a. tratado	treated a.
a. de ventilación	ventilation a.
calidad aceptable del aire	acceptable air quality
concentración	concentration
equipo purificador de aire	air cleaner
exfiltración	exfiltration
infiltración	infiltration
sustancia contaminante	contaminant
gases	gas
humos	fumes
partículas	particulate
polvos	dust
vapores	vapour
ventilación	ventilation
zona ocupada	occupied zone

6. Sistema de ventilación

El aire de un ambiente interior no debe contener sustancias contaminantes en cantidades tales que puedan dañar la salud de las personas o, simplemente, causar molestias.

Estas sustancias pueden producirse en el interior de los locales, por la presencia y actividad de las personas o por desprenderse de enseres, materiales de construcción y acabado, o pueden ser introducidas por el mismo aire de ventilación.

Para reducir su concentración en el interior de los locales por debajo de valores aceptables, estas sustancias deben diluirse con la introducción de aire del ambiente exterior y, eventualmente, aire de retorno, ambos oportunamente tratados.

Para este fin, la introducción del aire de ventilación en los locales podrá efectuarse por medios mecánicos o naturales.

En caso de ventilación natural, deberán justificarse analíticamente los caudales de aire de ventilación que se pretende introducir en los locales. Cuando la ventilación natural resulte insuficiente o se estime incierta, se deberá recurrir a la ventilación forzada.

Los sistemas de difusión del aire de ventilación en los ambientes deberán diseñarse de manera que el aire se distribuya uniformemente en la zona ocupada.

La situación relativa en el espacio de las tomas de aire exterior y las rejillas de expulsión de aire viciado procedente de aseos, aparcamientos, cocinas, etc. del mismo edificio o de edificios colindantes deberá estudiarse de manera que se eviten cortocircuitos, por proximidad o por la dirección del viento.

Cuando dentro de los mismo locales ocupados existan fuentes de contaminación, el aire viciado deberá captarse en su inmediata cercanía y expulsarse directamente al exterior.

Cuando existan equipos de calefacción que realizan la combustión en el interior de locales, deberá preverse la entrada del aire necesario para la combustión y, cuando el aparato sea de tipo fijo, la salida conducida de los productos de la combustión al exterior. Cuando estos equipos calienten el aire de forma directa, deberá preverse la instalación de un detector de dióxido de carbono en la impulsión del aire calentado.

7. Calidad del aire de ventilación

El aire exterior, para que su calidad sea considerada aceptable para la ventilación, deberá tener contenidos de sustancias contaminantes no superiores a los indicados en la *tabla 1*.

Sustancia	Concentraciones máximas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de azufre (SO_2)	80 (1 año) – 365 (24 h)
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	100 (1 año)
Monóxido de carbono (CO)	10000 (8 h) – 40000 (1 h)
Ozono (O_3)	235 (1 h)
Partículas	75 (1 año) – 260 (24 h)
Plomo (Pb)	1,5 (3 meses)

Si algunos de los niveles es excedido, el aire exterior deberá ser tratado oportunamente antes de su introducción en los locales.

8. Caudales de aire de ventilación

La *tabla 2* indica los caudales de aire exterior requeridos para una calidad aceptable del aire en los locales. Estos caudales deben considerarse mínimos a efectos de la ventilación y máximos a efectos del ahorro de energía.

Los valores indicados se han elegido para controlar la concentración de anhídrido carbónico (véase *Anexo A*), olores, partículas y otras sustancias contaminantes, con un adecuado margen de seguridad, teniendo en cuenta distintos niveles de actividad y variaciones de las condiciones físicas de los individuos, así como un moderado número de fumadores. Se ha considerado, además, que la contaminación producida sea proporcional al número de personas presentes en los espacios ventilados, hipótesis perfectamente válida dentro del campo de aplicación de esta norma.

Los caudales indicados en la *tabla 2* son válidos cuando el aire de ventilación alcance totalmente y uniformemente la zona ocupada.

Cuando un mismo sistema de ventilación o climatización sirva a locales con distintas relaciones entre caudal de aire exterior y caudal de aire de impulsión, el cálculo del caudal total de aire de ventilación no podrá hacerse de forma global. En el *Anexo E* se indica el procedimiento que deberá seguirse para el cálculo del caudal de aire exterior total corregido.

Cuando en un sistema de ventilación o climatización la relación entre caudal de aire exterior corregido y caudal de aire exterior estrictamente necesario resulte mayor que 1,25 deberán eliminarse del sistema y tratarse aparte aquellos locales o zonas que tengan la fracción de aire exterior más elevada.

El caudal de aire de ventilación podrá ser ajustado, de forma manual o automática, hasta un límite inferior, en función del número de personas presentes, únicamente cuando la producción de sustancias contaminantes esté estrictamente ligada a las personas. El ajuste del caudal de aire exterior en función de las personas será obligatorio para sistemas de climatización destinados a locales con grandes variaciones del número de personas presentes.

Cuando en la tabla se indiquen dos valores de caudales unitarios de ventilación (por persona, por metro cuadrado o por local) se elegirá siempre el que dé lugar al mayor caudal total. El aire de expulsión de locales de estancia se considerará aceptable para la ventilación de locales de servicio, de estancia no permanente, como aseos, pasillos, etc.

El aire exterior de ventilación indicado en la *tabla 2* podrá ser parcialmente sustituido por aire de retorno con tal de que se cumplan las siguientes condiciones:

- que el aire exterior nunca sea inferior a 7,5 l/s por persona (para limitar el nivel de concentración del anhídrido carbónico).
- que el aire de retorno sea convenientemente tratado en un equipo purificador, de manera que no se rebasen los niveles de sustancias contaminantes indicados en la *tabla 1* para el aire exterior (véase *Anexo B*).

9. Ventilación intermitente

Cuando la puesta en funcionamiento de un sistema de ventilación se retrase con respecto al comienzo de la ocupación, con el fin de ahorrar energía, deberán cumplirse las condiciones indicadas en el *Anexo C*. El tiempo calculado por medio de la ecuación (3) de este Anexo representa el máximo retraso admisible en la puesta en marcha del sistema de ventilación.

Cuando se adopten sistemas de parada temporal de una instalación de climatización durante el horario normal de funcionamiento con el fin de ahorrar energía, deberá comprobarse que la concentración de cualquier sustancia contaminante no rebase el límite de aceptabilidad. El tiempo calculado, según la ecuación (3) del *Anexo C*, representa la máxima duración de la interrupción del servicio.

En otras circunstancias, sin embargo, la puesta en funcionamiento del sistema de ventilación deberá adelantarse al comienzo de la ocupación, según se indica en el *Anexo D*.

10. Bibliografía

ANSI-ASHRAE 62-1981 R (1986) - Ventilation for acceptable indoor air quality.

NORMA UNE 100-011-88 (cont.)

Tabla 2. Caudales de aire exterior en l/s por unidad					
Tipo de locales	Unidades	Persona	m² suelo	Local	Otras unidades
LOCALES DE VIVIENDA	Áreas de estar, comedores, etc.	7,5	0,4	–	–
	Dormitorios	7,5	0,4	–	–
	Aseos, cuartos de baño (1) (2)	–	3	15	–
	Cocinas (1) (2)	–	2	50	–
	Garaje particular (1) (2)	–	7,5	–	50/coche
LOCALES COMERCIALES	Aeropuertos, estaciones, etc.	8	–	–	–
	Aparcamientos (1) (5)	–	5	–	200/plaza
	Aseos privados (1)	–	–	20	–
	Aseos públicos (1)	–	–	–	30/urinario 30/inodoro
	Bares, cafeterías, etc.	12	–	–	–
	Centros de cálculo	8	–	–	–
	Grandes centros comerciales:				
	– áreas de venta	7,5	1 (10)	–	–
	– vestidores (1)	–	1,5	–	–
	– vestíbulos y pórticos	–	1	–	–
	– áreas almacenamiento	–	0,75	–	–
	– áreas recep. mat.	–	0,75	–	–
	Cocinas (1) (3)	7,5	10	–	–
	Hoteles, moteles, residencias, etc.:				
	– dormitorios	8	–	–	–
	– vestíbulos	8	–	–	–
	– salas de reunión y juego	10	–	–	–
	Laboratorios (7)	10	–	–	–
	Lavanderías (1):				
	– industriales (4)	15	–	–	–
	– públicas (4)	8	–	–	–
	– zonas almacenamiento:				
	– ropa limpia	–	2	–	–
	– ropa sucia	–	3	–	–
	Locales para el deporte:				
	– áreas espectadores	8	–	–	–
	– áreas de juego	15	–	–	–
	– piscinas (1) (8)	15	2,5	–	–
	– pistas de patinaje	10	2,5	–	–
	– gimnasios	15	–	–	–
	Locales para el entretenimiento (salas de fiesta, bingos, casinos, boleras, etc.)	13	–	–	–
	Locales para fumadores	25	–	–	–
	Oficinas:				
	– locales de trabajo	10	–	–	–
	– salas de ordenadores	7,5	–	–	–
	– salas de espera	8	–	–	–
	– salas de descanso	10	–	–	–
	– salas de reunión	15	–	–	–
	– pasillos, archivos, etc. (1)	–	0,2	–	–
	Restaurantes	10	–	–	–
	Talleres:				
	– automóviles (6)	–	7,5	–	–
	– fotografía:				
	– cámara oscura	–	2,5	–	–
	– escenario y salas	8	–	–	–
	– farmacia (1)	15	–	–	–
	– relojería	8	–	–	–
	– fotocopia	–	2,5	–	–
	Teatros, cines, salones de actos, etc.:				
	– auditorios	8	–	–	–
	– vestíbulos	10	–	–	–
	– escenarios, estudios de radio y TV	10	–	–	–
	– talleres	10	–	–	–

Tabla 2. Caudales de aire exterior en l/s por unidad (cont.)					
Tipo de locales	Unidades	Persona	m² suelo	Local	Otras unidades
LOCALES COMERCIALES (cont.)	Tiendas:				
	– salones de belleza, peluquerías, barberías, etc.	12	4	–	–
	– de animales	–	5	–	–
	– de flores	10	4	–	–
	– muebles y tejidos	8	3	–	–
	– zapaterías	10	3	–	–
	Vestuarios (1)	–	0,3	–	10/taquilla
LOCALES INSTITUCIONALES (para usos no indicados, véase «Locales comerciales»)	Acuartelamientos:				
	– dormitorios	10	–	–	–
	Bibliotecas	8	–	–	–
	Hospitales y clínicas:				
	– habitaciones y dormitorios	13	–	–	–
	– quirófanos y locales anexos (9)	25	–	–	–
	– UVIs (9)	15	–	–	–
	– autopsia (1) (9)	–	2,5	–	–
	– fisioterapia	10	–	–	–
	– áreas de cura	10	–	–	–
	– esperas, vestíbulos, pasillos	8	–	–	–
	Iglesias y templos	7,5	–	–	–
	Centros docentes:				
	– aulas	8	–	–	–
	– laboratorios (7)	10	–	–	–
	– talleres	10	–	–	–
	Museos:				
	– salas de expos	7,5	–	–	–
	– talleres	–	3	–	–
	– almacenes	–	1,5	–	–
	Prisiones:				
	– celdas	10	–	–	–
LOCALES INDUSTRIALES	Las normas vigentes sobre higiene y seguridad en el trabajo establecen límites mínimos de caudal de aire de ventilación que, usualmente, rebasan con amplitud los requerimientos para los ocupantes. De todas formas, se dan unos valores mínimos según el nivel de actividad (véase Anexo A, concentración de CO ₂ igual a 0,1%).				
	Nivel de actividad (1 met = 58,2 W/m²) (11)		Caudal de aire exterior (l/s)		
	Alto (más de 3 met) (fundición minería, ...)		20		
	Medio (2 a 3 met) (líneas de ensamblaje, ...)		16		
	Bajo (menos de 2 met) (laboratorios, ensamblaje ligero)		12		

NOTAS:

- (1) Local que debe estar en depresión con respecto a locales adyacentes.
- (2) Es posible el uso intermitente de la ventilación mecánica.
- (3) El caudal de aire de ventilación se determina con el cálculo de las campanas de humos; se utiliza el valor mayor entre el calculado, según esta tabla, y el calculado con las campanas.
- (4) Extracción directa al exterior, desde alguna maquinaria.
- (5) El caudal de aire de ventilación indicado se ha calculado fijando el valor límite superior de CO (100 ppm) y asumiendo una producción total de CO debida al número máximo de coches en marcha lenta (hipótesis de cálculo: producción de CO 0,9 l/s por coche; 40 m² de superficie por coche; 1,5% de coches en movimiento).
- (6) Descarga directa a la atmósfera donde hay motores en marcha, con toma cerca del tubo de escape.
- (7) El caudal de aire exterior necesario en los distintos locales de un laboratorio está determinado por las vitrinas, si éstas no están concentradas en un único local. Para las zonas en las que se encuentren guardados los animales, la cantidad de aire exterior vendrá determinada según el número y tipo de animales (véase bibliografía especializada). En ciertas áreas será necesario calcular el aire de ventilación en base a la producción de sustancias contaminantes.
- (8) Si las condensaciones se eliminan por medio de la ventilación, el caudal de aire exterior resultante del cálculo y necesario será superior al indicado.
- (9) Se usa normalmente todo aire exterior.
- (10) Para la planta de sótano y planta baja 1,5 l/(s · m²).
- (11) Véase UNE 100-012.

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 proteínas, 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 proteínas, 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:

$$q(\text{CO}_2) = 0,0042 \times \text{AM} \quad (1)$$

$$q(\text{O}_2) = 0,005 \times \text{AM} \quad (2)$$

donde:

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

indicado con:

$(\text{CO}_2)_{\text{amb}}$ la concentración máxima admisible de anhídrido carbónico en el ambiente (en tanto por ciento en volumen);

$(\text{CO}_2)_{\text{ext}}$ 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:

$$q = \frac{q(\text{CO}_2)}{(\text{CO}_2)_{\text{amb}} - (\text{CO}_2)_{\text{ext}}} \times 100 \quad (3)$$

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

$$(\text{CO}_2)_{\text{amb}} \leq 0,1\% \quad (4)$$

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

$$q = 6 \times \text{AM} \quad (5)$$

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 $\text{AM} = 1,2$ met; en consecuencia, 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:

$$(\text{CO}_2)_{\text{amb}} = (\text{CO}_2)_{\text{ext}} + 100 \times \frac{q(\text{CO}_2)}{q} \quad (6)$$

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:

$$(\text{O}_2)_{\text{amb}} = 20,9\% \quad (7)$$

La dilución 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:

- dilución por medio de aire exterior de adecuada calidad;
- 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:

$$q_v (C_i - C_e) = q_c \quad (1)$$

o sea:

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

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:

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

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

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

o sea, despejando y ordenando:

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

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

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

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

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

o sea, despejando y ordenando:

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

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:

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

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:

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

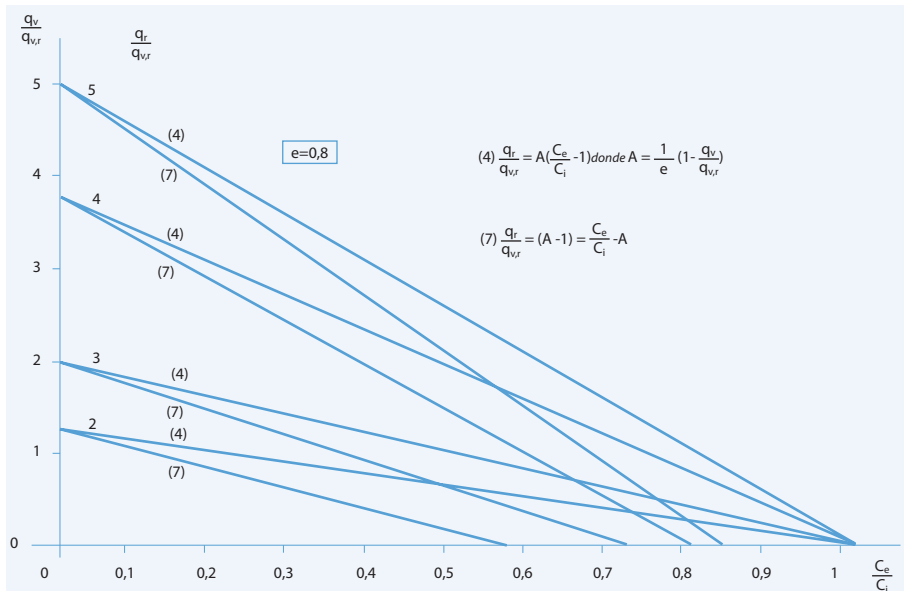
En la figura 2 se expresan los valores de $q_r / q_{v,r}$ en función de C_e / C_i , con $q_v / q_{v,r}$ como parámetro, habiendo supuesto que la eficiencia del equipo de filtración sea igual a 0,8.

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:

- si se pone el filtro sobre el aire total, se disminuye el caudal de aire de recirculación;
- al aumentar la concentración de la sustancia contaminante en el aire exterior, disminuye el caudal de aire recirculado;
- 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:

- el espacio tiene alternancias de períodos de ocupación y desocupación;
- la producción de sustancias contaminantes está asociada únicamente a la actividad de los ocupantes;
- 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 del 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:

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

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:

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

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:

$$f_{max} \geq F_c \geq F \quad (2)$$

Observando la ecuación (1) se deduce que:

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

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

relaciones ambas de evidente significado físico.