

VENTILACIÓN NATURAL

UN ACERCAMIENTO CONCEPTUAL

Parte 1

Ing. Alberto A. Riva. Junio 2023

Mi agradecimiento a Francisco Mur por su mirada crítica y tiempo dedicado para la revisión de este artículo.

Introducción

Si había dudas sobre la importancia de la ventilación natural, la pandemia de COVID-19 se encargó de reducirlas a polvo. La ventilación mecánica tiene múltiples beneficios y aplicaciones, y hace al confort moderno, pero es más costoso y complejo diseñar solamente con ella, debido a múltiples factores. Este trabajo intenta adentrarse en el abismo muchas veces insondable de la ventilación natural, que parte de conceptos básicos y empíricos, pero cuya variabilidad dificulta enormemente calcular su verdadera dimensión y hacerla un sistema totalmente confiable.

1. El aire que necesitamos...y el que respiramos

El ser humano necesita respirar para vivir. Para ello requiere de sus órganos internos los cuales procesarán el aire inhalado transformándolo a través de la corriente sanguínea. Pero es una condición ineludible que el aire que ducho tenga las condiciones adecuadas para que no nos afecte, a nuestra salud, el confort y rendimiento.

Al mencionar “aire adecuado” se refiere a la calidad del aire tal que tenga los componentes y concentraciones que no afecten a las personas. Normalmente, esa condición la cumple el aire exterior, sin

contaminación o con valores dentro de los rangos admisibles. En la Tabla Nº 1 se aprecia la composición de un aire considerado adecuado, puro que contiene aproximadamente un 78% de nitrógeno, 21% es oxígeno y el 1% restante se compone de gases diversos, como el dióxido de carbono y los gases nobles. Todos ellos están en una de las cuatro capas que tiene la atmósfera, la más cercana al suelo terrestre, denominada tropósfera. El ozono, el gran filtro que tiene el planeta Tierra para limitar el ingreso de los rayos UV del sol, está en la segunda capa, la estratósfera. Fuera de ella, pasa a ser un “ozono malo”

Tabla Nº 1: Composición normal del aire respirable considerado puro

Composición del aire		Tipo de componente		Capa atmosférica
Nombre	% en volumen			
Nitrógeno	78,084	Fundamentales		Troposfera: desde el suelo hasta 7-16 km de altura, dependiendo si es en los polos o en los trópicos respectivamente.
Oxígeno	20,946			
Dióxido de carbono	0,035	Secundarios	Gases nobles	
Argón	0,934			
Neón	$18,2 \times 10^{-4}$			
Helio	$5,2 \times 10^{-4}$			
Criptón	$1,1 \times 10^{-4}$			
Hidrógeno	$5,0 \times 10^{-5}$			
Óxido nitroso	$3,0 \times 10^{-5}$			
Xenón	$0,9 \times 10^{-5}$			
Ozono				Estratósfera: desde los 12 hasta los 50 km del suelo terrestre. El ozono está a los 25 km aproximadamente.

Estas proporciones varían, dependiendo de la región y el tipo actividad desarrollado en un entorno determinado; así, en la Tabla Nº 2, se describe la variación del oxígeno según se trate de zonas boscosas (20-23 %) o de zonas urbanas (19-21%).

Tabla Nº 2: Porcentaje de oxígeno según afectación por la cercanía humana.

Tipo de aire	Oxígeno en volumen (%)
Aire puro	21
Aire en zonas boscosas	20-23
Aire en zonas urbanas	19-21

Pretender que el aire exterior se mantenga puro en todo el planeta, pareciera acercarse cada vez más a una utopía, a pesar de los esfuerzos mundiales para controlar la contaminación. Es decir que, si bien hay una constante referencia a un aire exterior como puro, no siempre es así. En el año 2018 la OMS emitió un comunicado de prensa, cuyo extracto es el siguiente¹:

“Los niveles de contaminación del aire siguen siendo peligrosamente altos en muchas partes del mundo. Según nuevos datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes. Las estimaciones actualizadas muestran que siete millones de personas mueren cada año por la contaminación del aire ambiente (de exteriores) y doméstico; es una cifra alarmante.

¹ <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

“La contaminación del aire representa una amenaza para todos, si bien las personas más pobres y marginadas se llevan la peor parte.... Es inadmisibles que más de 3000 millones de personas, en su mayoría mujeres y niños, sigan respirando todos los días el humo letal emitido por cocinas y combustibles contaminantes en sus hogares. Si no adoptamos medidas urgentes contra la contaminación del aire, el desarrollo sostenible será una simple quimera.

El aire interior, debería tener la misma composición que el aire puro exterior. Pero existen causas que cambian la composición del aire dentro de las edificaciones.

Una persona adulta, tiene una capacidad pulmonar para almacenar aire que oscila entre 5,8 y 6 litros, pero no puede inhalar ni exhalar esa cantidad: si inspirara al máximo ingresarían unos 3,5 litros y se expirara todo lo posible (lo que se llama la capacidad vital) tendríamos unos 4,6 litros. En el proceso respiratorio, inhalamos oxígeno y exhalamos dióxido de carbono, circunstancia que hace descender el primero y aumentar el otro en el ambiente en que estemos. Por eso, la sola presencia humana genera una modificación del aire ambiente que obliga a renovarlo o purificarlo sistemáticamente.

Además, las fuentes naturales como antropogénicas generan miles de contaminantes (gases y partículas): dióxido de carbono, metano, monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, amoníaco, polvo atmosférico, humo, cenizas, etc., entre otros. Estas fuentes, van modificando la composición del aire atmosférico interior o exterior. Por ejemplo, en 2011, logró estimarse que la concentración de dióxido de carbono atmosférico era de 391 ppm (0,0391 %), mientras que otras estimaciones consideran que en la época preindustrial oscilaba en 280 ppm (0,028%), o sea casi un 40% más. Por eso, la composición del aire cambia continuamente y es diferente según la región y la afectación de las fuentes que originan la contaminación.

2. Ventilación

Sin entrar en el problema de la polución ambiental y las dificultades en algunas regiones para lograr eso que se llama “aire puro”, para que la permanencia en ambientes interiores sea saludable, hay que actuar sobre la calidad de aire interior (CAI). La expresión calidad de aire interior (IAQ por sus siglas en inglés, Indoor Air Quality), es un concepto muy desarrollado, en donde la ASHRAE² considera que se logra actuando sobre cuatro elementos:

- Control de la fuente contaminante
- Ventilación adecuada
- Control de la humedad

- Filtración adecuada

El segundo elemento es el que interesa en este documento, pero está relacionado con los otros tres. La **ventilación** puede definirse, como el proceso de intercambio de aire de un espacio cerrado, por otro en mejores condiciones, con el fin de controlar que el nivel de los contaminantes del aire sea el adecuado. Adicionalmente puede esperarse controlar la temperatura y la humedad, pero esto generalmente se logra con la implementación de equipamientos termomecánicos para adecuarlos a la necesidad

En otras palabras, al ventilar se puede utilizar el aire exterior – es lo ideal y más económico – siempre y cuando logre la

² American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

composición que no afecte la salud ni el confort térmico. Caso contrario debe ser tratado antes de ingresar a los ambientes ocupados.

Entonces, repasando, las funciones de la ventilación son: 1) garantizar la calidad del aire interior y 2) brindar confort térmico.

Cabe que no es lo mismo ventilar que remover el aire. Un ventilador en funcionamiento dentro de un espacio cerrado, remueve o recircula el aire; en cambio, si está inyectando aire exterior más limpio, está renovando el aire. Es conveniente, entonces, señalar cuáles son las formas de ventilación que pueden lograr el cambio del aire:

- Por ventilación natural
- Por ventilación mecánica
- Por combinación de los dos anteriores (sistemas híbridos)
- Por infiltración

En la primera interviene energía provista por la naturaleza (viento y temperatura); la segunda se produce cuando se utilizan sistemas artificiales creados por el hombre, con entrega de energía eléctrica en cualquiera de sus formas; la tercera, es la más frecuente, cuando hay ventilación natural y mecánica al mismo tiempo; la cuarta y última, es una forma de ventilación incontrolada, que puede ocurrir con cualquiera de los dos sistemas anteriores; por tal motivo, la infiltración no puede considerarse un sistema de ventilación en sí misma. Las tres primeras, conforman lo que se denomina como sistemas de ventilación.

Las siguientes variables o elementos caracterizan a la ventilación:

- La tasa de cambio de aire, o tasa de ventilación
- Renovación horaria.
- Dirección del flujo de aire
- Modo de distribución o patrón del aire.

2.1. Tasa de ventilación

Se denomina Tasa de Cambio de Aire o Tasa de Ventilación al caudal de aire exterior a ingresar por unidad de ocupantes y/o unidad de superficie. Por ejemplo, suele usarse como una referencia que la Tasa mínima de aire exterior sea de 12,5 litros / (seg.persona), aunque también se menciona 14 litros / (seg.persona) dependiendo de la fuente. Esto no es lo que respira una persona en un segundo sino el volumen de aire necesario que contenga la cantidad mínima de oxígeno para vivir.

La normativa española³ indica valores mínimos de caudales a ingresar según la calidad del aire requerido, algo que denomina IDA (1, 2, 3 y 4); a su vez, siguiendo el ejemplo de ASHRAE, dicha normativa contempla valores por ocupante y por superficie, como se muestra en la Tabla N° 3:

³ Conocida como Reglamentación para Instalaciones Térmicas en Edificios – RITE

Tabla N°3. Tabla de ventilación por persona y por superficie. Extraído del RITE. España

Calidad	q (l/(seg x persona))	q (l/(seg x m ²))
IDA 1	20	No aplicable
IDA 2	12,5	0,83
IDA 3	8	0,55

IDA 4	8	0,28
-------	---	------

Nota: se ha preferido usar la q minúscula como Tasa para no confundir con el caudal Q expresado en m³/seg o m³/h.

Estos caudales de aire exterior conllevan al concepto de renovación horaria que se verá a continuación, o número de renovaciones por hora, cuyo equivalente en inglés es ACH (por sus siglas en inglés).

2.2. Renovación Horaria

Para la determinación de la cantidad de aire exterior que se necesita en un ambiente cerrado deben contemplarse todas las formas en las cuales este cambio se produce. Además de la ventilación natural y la infiltración, la ventilación mecánica produce cambios de varias maneras (aire exterior directo, aire exterior filtrado y aire aportado por equipos autónomos)

En forma genérica:

$$Q_t = Q_m + Q_f + Q_n + Q_a + Q_i \quad (m^3/h) \quad (1)$$

Donde:

- Q_t Caudal de aire exterior total ingresado por todas las formas de ventilación
- Q_m Caudal de aire exterior aportado en forma mecánica, sin filtrar
- Q_f Caudal de aire exterior recirculado filtrado
- Q_n Caudal de aire exterior inyectado en forma natural
- Q_a Caudal de aire aportado por equipos autónomos
- Q_i Caudal de aire de infiltración

A su vez, el caudal se puede calcular básicamente de dos maneras:

$$Q = V \times S \quad (2)$$

Donde:

V = Velocidad (m/s o Km/h) del paso de aire por una determinada superficie

S = superficie (m²) por donde el aire circula

También:

$$Q = \frac{Vol}{tiempo} \quad (3)$$

Donde:

Vol = volumen del recinto en m³

tiempo = tiempo que transcurre para que pase el volumen de aire del recinto (segundos u horas)

El caudal de aire exterior que circule por cualquier sistema de ventilación, a incorporar en un ambiente cerrado, y que se encuentre en mejores condiciones que el existente, se definirá como el **Número de Renovaciones Horarias** (NRH, R/H o ACH por sus siglas en inglés Air Change per Hour).

El caudal de aire por cualquier sistema de ventilación, necesario incorporar en mejores condiciones que el existente en un ambiente cerrado, se definirá como el **Número de Renovaciones Horarias** (NRH o ACH por sus siglas en inglés Air Change per Hour); una Renovación Horaria es el volumen de aire exterior igual al volumen del espacio o recinto a ventilar; una (1) Renovación Horaria significa ingresar un caudal de aire exterior equivalente al volumen del espacio o recinto a ventilar, en el lapso de 1 hora. Una expresión bastante utilizada es:

$$NRH = \frac{\text{Caudal} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hora} \times \text{ocup}} \right) \times N^{\circ} \text{Ocupantes}}{\text{Volumen del recinto}_{\text{renov}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{renov}} \right)} \quad (4)$$

Según ASHRAE el volumen del recinto a considerar es la región dentro de un espacio ocupado entre los planos de 75 y 1800 mm (3 y 72 pulgadas) sobre el piso y más de 600 mm (2 pies) de las paredes o equipos de aire acondicionado⁴. A los efectos de simplificar, aquí se tomará el volumen total.

Ejemplo:

Si se considera que el caudal por persona es de 12,5 litros / (seg x ocupante) y se trata de un local que tiene un volumen de 100 m³ con 20 ocupantes. Calcular el NRH necesarias para el caudal mínimo indicado:

$$\begin{aligned} NRH &= 12,5 \frac{\text{litros}}{\text{seg} \times \text{ocup}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} \times \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hora}} \times \frac{20 \text{ ocupantes}}{100 \text{ m}^3} \\ &= 9 \frac{\text{renovaciones}}{\text{hora}} \end{aligned}$$

En consecuencia, se necesitan 9 renovaciones de aire por hora para ese recinto, para asegurar la calidad mínima del aire, o sea:

⁴ ASHRAE 62.1. Ver 3 Definiciones- 3.1 terminología.

$Q = 9 \text{ NRH} \times 100 \text{ m}^3 = 900 \text{ m}^3/\text{h}$ (caudal de aire exterior necesario)

ASHRAE propone una expresión para espacios interiores que combine las tasas por superficie y las tasas por ocupante:

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z \quad (5)$$

Donde:

- V_{bz} Caudal de aire exterior en la zona de respiración (lts/seg), necesario o requerido
- R_p Tasa de aire exterior requerido por persona según lo define la tabla xxxx (Litros/(seg x Persona))
- P_z Nº de personas en la zona de respiración durante el uso
- R_a Tasa de aire exterior requerido por área según lo define la tabla xxxx (Litros/(seg x m²))
- A_z Área de piso neto ocupable de la zona de ventilación (m²)

Los valores de las tasas de flujo de aire exterior por ocupante y por superficie se extraen de una extensa tabla de la Estándar ANSI / ASHRAE 62.1-2019, estando algunos de ellos contenidos en la Tabla Nº 4. La columna de densidad de ocupantes por cada 100 metros cuadrados de superficie son valores estimados para situaciones normales, pero en caso de notar diferencias muy grandes con respecto a la edificación u ocupación típica, debe tenerse en cuenta para aumentar o reducir la tasa respectiva. La norma ASHRAE no lo especifica.

Otra cuestión que influye en el NRH es que cada ingreso de aire exterior equivalente al mismo volumen del recinto, no necesariamente produce la misma renovación real. Esto es debido a las turbulencias o zonas muertas o estancadas que hay en todo recinto. De hecho, las investigaciones arrojaron que con 1 renovación cambia el 63% del aire, con dos el 86% y con la tercera el 95%.

Tabla nº 4: Tasas de ventilación (aquí llamadas tasas de aire exterior), por persona y por superficie, según una densidad de ocupación preestablecida. Extraído parcialmente de la Estándar ANSI / ASHRAE 62.1-2019

Categoría de ocupación	Tasa de aire exterior por persona (L/s x persona)	Tasa de aire exterior por superficie (L/s x m ²)	Densidad de ocupación (Nº de personas/100m ²)	Clase de aire
Aulas de institución educativa (5-8 años)	5	0,6	25	1
Sala de conferencias / auditorios	3,8	0,3	150	1
Bibliotecas	2,5	0,6	10	1
Bancos	3,8	0,3	15	1
Farmacia – zona de preparación	2,5	0,3	5	2
Espacio de oficinas	2,5	0,3	5	1
Depósito de zonas administrativas	2,5	0,3	2	1
Bares, cafeterías	3,8	0,9	100	2
Restaurantes	3,8	0,9	70	2

Celda de una cárcel	2,5	0,6	25	2
Gimnasio	10	0,3	40	2
Fabricación donde no se utilizan materiales peligrosos	5	0,9	7	2
Fabricación donde se utilizan materiales peligrosos (excluye procesos industriales y químicos pesados)	5	0,9	7	3

Por semejanza, al igual que en la fórmula del caudal de aire, las renovaciones totales es la adición de las renovaciones parciales de los distintos sistemas o formas de ventilación en juego:

$$\text{NRH total} = \text{NRH aire exterior mec} + \text{NRH aire recirculado filtrado} + \text{NRH natural} + \text{NRH equipo autónomo}.$$

Si bien este trabajo se abocará al cálculo del NRH por ventilación natural exclusivamente, en la práctica siempre deben considerarse todos los existentes.

2.3. Dirección del flujo de aire

La renovación es posible si se logra controlar el movimiento del aire. No alcanza con estimar la cantidad de renovaciones horarias, también debe preverse la forma en que el aire ingresará y circulará por los diferentes ambientes.

2.4. Modo de distribución o patrón del aire

Este aspecto está muy vinculado a la ventilación mecánica, pero en el caso de la natural, influyen la distribución de los ambientes, la ubicación de vanos, puertas y aventanamientos, entre otros.

3. Ventilación natural

La ventilación siempre sirve para cambiar el aire dentro de los edificios, cuya función más primitiva y siempre vigente, es para albergar y proteger a las personas de las inclemencias climáticas y del ataque de otras especies. Hasta la era industrial, la ventilación natural era la única que se conocía. En la antigüedad, las minas se construían con una cierta lógica para lograr efectos que permitieran circular el aire en forma natural. Con la aparición de la máquina a vapor primero y la electricidad después, la tecnología introdujo la ventilación por medios mecánicos; fue después de la segunda guerra mundial que la ventilación mecánica tomó auge, y fue reemplazando en el diseño arquitectónico a

Bibliografía

<https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

Agencia Europea de Medio Ambiente. Artículo: Cada vez que respiramos. 12/2/2023

<https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2013/articulos/cada-vez-que-respiramos#:~:text=El%20aire%20seco%20est%C3%A1%20compuesto,el%204%20%25%20de%20la%20troposf%E2%80%A6>

Araujo, Ramón. La arquitectura y el aire: ventilación natural. Revista tectónica 35.

ASHRAE. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Standard 62.1-2019

Canela, Eduardo; Jorge O. Marighetti, Mario E. De Bortoli. Ventilación Natural Aplicada A Naves Industriales, Aspectos Técnicos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 18, pp.07.33-07.41, 2014. Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433 - Trabajo seleccionado de Actas ASADES2014

Canela Eduardo, Lezcano, S. Udrizar, M. Adotti1, J. Marighetti1 y M. De Bortoli. Ventilación Natural En Hangares Con Cerramiento Permeable. Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 43, pp. 7 – 16, 2019 Impreso en la Argentina. ISSN 0328-932X

Fernandes, L; M. Friedrich, D. Cóstola; E. Matsumoto; L. Labaki; F. Wellershoff. Evaluación de los coeficientes de descarga de grandes ventanas que se pueden abrir utilizando muestras a escala real en ensayos en túneles de viento. Revista Ingeniería de Construcción RIC. 2020

Fuentes Freixenet, Víctor Armando; Rodríguez Viqueira, Manuel. Ventilación Natural. Cálculos Básicos Para Arquitectura. Universidad Autónoma Metropolitana México. 2004

Guía para ventilación en aulas Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura

INSHT. NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. España. 2000.

MC Mutual. Ventilación natural

OPS. Ventilación natural para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud Editores: James Atkinson, Yves Chartier, Carmen Lúcia Pessoa-Silva, Paul Jensen, Yuguo Li, Wing-Hong Seto. 2010.

Pereira Matheus | Traducido por Pilar Caballero. “Ventilación cruzada, efecto chimenea y otros conceptos de ventilación natural”. 2019.

SMN. <https://www.smn.gov.ar/noticias/%C2%BFc%C3%B3mo-clasificamos-la-intensidad-del-viento>

Soler&Palau – Ventilation Group. Los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de las personas

Importante

La AHRA promueve y apoya los trabajos de reconocidos profesionales.

El presente documento no representa necesariamente una posición ni una aprobación parcial o completa de la AHRA sobre lo expuesto por sus autores. Se debe entender como un aporte de esta Institución al debate y discusión de los temas abarcados. La publicación de este material

sigue procedimientos de control interno en cuanto al cumplimiento de ciertas condiciones mínimas que debe tener el material recibido y sobre la idoneidad del autor.

El autor:

Alberto Agustín Riva



Ing. Civil, especialista en vías de comunicación. Ing. Laboral.

Consultor externo. Responsable de Higiene y Seguridad de organizaciones. Docente en las especializaciones de Higiene y Seguridad en el trabajo de la UTN Buenos Aires y Resistencia, en la Diplomatura de Higiene Ocupacional (COPIME) y en la Especialización en enfermedades profesionales de UNTREF-SRT.

Miembro de la Comisión de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente del CPIC.

Miembro de AHRA.