

VENTILACIÓN GENERAL EN CONTEXTO DE CONFORT

NT N° 121 AÑO 2023

✎ EDITOR RESPONSABLE:

Pablo Zúñiga Moreno
Sección Seguridad en el Trabajo

1. INTRODUCCIÓN

En los ambientes laborales, la ventilación debe proveer aire que contribuya al bienestar de sus ocupantes y no les cause molestias o perjudique su salud¹. La ventilación se puede manejar en forma de ventilación general, principalmente para mantener condiciones que contribuyan al bienestar de los ocupantes en los ambientes laborales, y como ventilación localizada para proteger la salud del trabajador capturando en su origen las emisiones de sustancias químicas tóxicas.

La presente nota técnica abordará la ventilación general en su objetivo de contribuir al bienestar de las personas en ambientes laborales como por ejemplo oficinas, instalaciones educacionales, establecimientos de deportes y entretenimientos, donde los ocupantes son la principal fuente de contaminación. Se hará una revisión de los parámetros que deben ser controlados para mantener un ambiente que no les cause molestias.

2. OBJETIVO

Presentar los parámetros relevantes de la ventilación general para el establecimiento de condiciones de confort en ambientes donde las personas son la principal fuente de contaminación.

3. DEFINICIONES

A continuación, se presentan definiciones específicas aplicables a la presente nota técnica, con el fin de mejorar el entendimiento de ésta.

3.1. **Zona de respiración:** Región definida dentro de un espacio ocupado entre planos de 75 y 1800 mm sobre el piso y más de 600 mm de las paredes o equipos fijos de aire acondicionado.

- 3.2. **Sistemas HVAC:** Sistemas de Calefacción, Ventilación y Acondicionamiento de Aire (HVAC es la sigla para Heating, Ventilating and Air Conditioning). Son sistemas de ventilación artificial que permiten proporcionar aire a demanda y de forma controlada, además de darle tratamiento térmico y filtración de la contaminación ambiental al aire suministrado.
- 3.3. **Infiltración de aire:** Corresponde a entradas de aire falso no controladas provenientes desde el exterior a través de intersticios en el espacio cerrado.
- 3.4. **Confort térmico:** Se define como un estado de ánimo que expresa satisfacción en relación al ambiente térmico y se valora mediante evaluación subjetiva.
- 3.5. **Presión de vapor:** Presión ejercida por un gas en equilibrio con su fase líquida o sólida en un recipiente cerrado a una temperatura dada.
- 3.6. **Presión parcial:** Presión ejercida por un gas que forma parte de una mezcla de gases.
- 3.7. **Caudal de ventilación:** Flujo volumétrico de aire exterior que se suministra a un espacio según sean los requerimientos de confort.
- 3.8. **Velocidad del aire:** Distancia recorrida por un volumen de aire por unidad de tiempo.
- 3.9. **Renovaciones-hora:** También denominados como cambios-hora, es el número de veces que el volumen de aire de un espacio cerrado ha sido reemplazado por aire exterior en una hora.
- 3.10. **Temperatura de bulbo seco:** Corresponde al valor de temperatura del aire medida en cualquier punto del espacio.
- 3.11. **Temperatura media radiante:** Corresponde al valor de temperatura asociada a un recinto negro uniforme que intercambia la misma cantidad de calor por radiación con el ocupante que el entorno real.

1 Artículo 32 del Decreto Supremo N°594/99 de MINSAL

- 3.12. Temperatura de globo: Corresponde al valor de temperatura radiante indicada por un sensor colocado en el centro de un globo de cobre, pintado de negro.
- 3.13. Calor sensible: Corresponde a la energía asociada al cambio de temperatura de un cuerpo o sistema.
- 3.14. Humedad del aire: Magnitud que cuantifica el contenido de vapor de agua en una cantidad determinada de aire seco.
- 3.15. Caudal de recirculación: Fracción del caudal de aire extraído desde el interior de un espacio que se mezcla con un caudal de aire exterior.
- 3.16. Tasa metabólica (met): Corresponde a la razón de transformación de la energía química en calor y trabajo mecánico debido a actividades metabólicas de un individuo, por unidad de área de superficie de piel.
- 3.17. Resistencia térmica de vestimenta: (I_{CLO}) Resistencia a la transferencia de calor sensible proporcionada por un conjunto de ropa, expresado en unidad de clo.
- 3.18. Porcentaje previsto de insatisfechos: (PPD) Índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas térmicamente insatisfechas y se determina a partir del PMV.
- 3.19. Voto medio previsto: (PMV) Índice que predice el valor medio de los votos de sensación térmica de un grupo grande de personas en una escala de sensación expresada de a , correspondiente a las categorías frío, fresco, ligeramente fresco, neutro, cálido, ligeramente cálido, caluroso.

4. DESARROLLO

Los parámetros de ventilación que es necesario ajustar para obtener un ambiente confortable son los que se revisan a continuación:

4.1. Caudal de ventilación

Se calcula en función a la cantidad estimada de personas que ocuparan un espacio determinado, con el objetivo de mantener condiciones de confort específicas según las actividades que se realicen, por lo que el cálculo está sujeto a los requerimientos de aire en la zona de respiración según la ocupación proyectada que tendrá en términos del número de personas y de la superficie del piso del espacio ocupado, lo que se resume en la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{ventilación}} = N^{\circ}_p \cdot q_p + S_A \cdot q_A$$

Donde:

N°_p : Número de personas presentes en la zona de ventilación durante la ocupación.

q_p : Caudal de aire externo requerido por cada persona², en m³/h persona.

S_A : Área del piso neta de ocupación de la zona de ventilación, en m².

q_A : Caudal de aire externo requerido por unidad de área, en m³/h m².

Esta definición de caudal de ventilación solo considera como fuentes las relacionadas con las personas y con el área de forma independiente, según el tipo de ambiente laboral. Algunos valores de referencia para los caudales y se presentan en la Tabla N°2 en el Anexo I para algunos espacios laborales.

El caudal de ventilación se puede obtener al restar del caudal total inyectado al espacio el caudal de recirculación. El caudal total inyectado se puede medir con un balómetro (Figura N°1), el cual debe

2 Estos valores que han sido estimados en base a personas que ya se han adaptado a las condiciones del espacio.

cumplir con los requerimientos del documento “Guía para la Selección, Calibración y Mantenimiento de Instrumentos utilizados para evaluar la Ventilación en Ambientes Laborales” del ISP, y el de aire recirculado se puede obtener usando la razón de recirculación con la cual está funcionando el sistema.



Figura N°1:
Balómetro (imagen de referencia)

4.2. Velocidad del aire

Corresponde a un valor promedio que se obtiene por medio de mediciones en el entorno de un puesto de trabajo representativo del total de ocupantes del espacio ventilado, considerando en cuenta si el ocupante del puesto de trabajo elegido se encuentra sentado o de pie (Figura N°2), tomando como puntos de medición tres alturas a nivel de tobillos, cintura y cabeza:

$$v_{\text{prom}} = \frac{3}{(v_{\text{prom}})_{\text{tobillos}} + (v_{\text{prom}})_{\text{cintura}} + (v_{\text{prom}})_{\text{cabeza}}}$$

Las mediciones de velocidad en cada punto deben hacerse en intervalos de tiempo no menor a un minuto ni mayor que tres minutos.

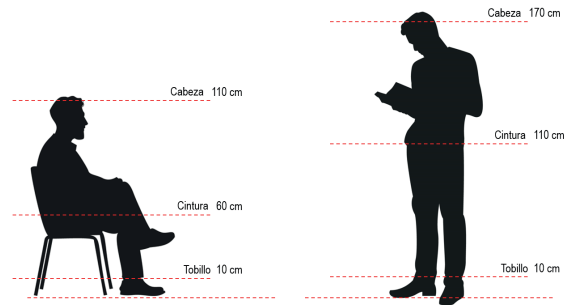


Figura N°2:
Posicionamiento para medir velocidad del aire

Para las mediciones de velocidad se utiliza un termoanemómetro (Figura N°3), el cual debe cumplir con los requerimientos del documento “Guía para la Selección, Calibración y Mantenimiento de Instrumentos utilizados para evaluar la Ventilación en Ambientes Laborales” del ISP, teniendo en cuenta que la ubicación del sensor de medición debe orientarse en la dirección del flujo de aire que pasa a través del ocupante.



Figura N°3:
Termoanemómetro (imagen de referencia)

El termoanemómetro debe poder medir un rango de velocidad del aire entre 0,05 m/s a 2,0 m/s, con una precisión de ±0,05 m/s.

4.3. Renovaciones–hora

En general, las renovaciones–hora para un espacio cerrado determinado se calculan como el cociente entre el caudal de ventilación y el volumen de un espacio:

$$RH = \frac{\text{Caudal de ventilación}}{\text{Volumen del espacio}} = \frac{Q_v}{V_E}$$

Donde Q_v representa el caudal de ventilación (aire externo) que está siendo suministrado en m³/h descrito en el punto 4.1 y V_E es el volumen del espacio en m³; si se considera el volumen geométrico se dirá que son las renovaciones hora nominales, si se considera el volumen disponible para la circulación del aire, es decir el volumen geométrico menos el volumen ocupado, se dirá que son las renovaciones hora efectivas. Considerando cualquiera de las dos definiciones, las renovaciones hora representan el número de veces, que en promedio, pasa un volumen de aire externo igual al volumen del recinto tomado como referencia. También se pueden definir las renovaciones–hora, tomando como base el caudal total de aire inyectado al espacio, es decir, caudal de ventilación (aire externo) más caudal de recirculación:

$$RH(\text{mezcla}) = \frac{\text{Caudal de ventilación} + \text{Caudal de recirculación}}{\text{Volumen del espacio}} = \frac{Q_v + Q_r}{V_E}$$

Donde corresponde al caudal de aire que ha sido recirculado al interior del espacio en m³/h. Este valor está relacionado con la rapidez de la respuesta en el volumen ventilado de los cambios que pueden ocurrir en alguna de los parámetros del aire. Por ejemplo, frente a un cambio en la temperatura de inyección del aire, la temperatura del espacio cambiara más rápidamente en la medida que el número de renovaciones sea mayor.

Otras definiciones relacionadas con las renovaciones–hora que pueden resultar útiles son:

- Tiempo espacial:** (τ) Es el tiempo promedio que demora en pasar, por el espacio ventilado, un volumen de aire igual al volumen de este. Si se utiliza las renovaciones–hora efectivas en base al caudal de ventilación, este tiempo corresponde

al tiempo promedio en que demora en cambiarse al aire interior por exterior. Si se utiliza el caudal total inyectado al espacio ($Q_v + Q_r$), este tiempo representa el tiempo promedio que demoraría en cambiar el valor de un parámetro del aire, como la temperatura o concentración de un contaminante, frente a un cambio en el aire inyectado.

$$\tau = \frac{1}{RH}$$

- Edad del aire:** (θ_{age}) Es el tiempo en que una fracción volumen de aire exterior ha permanecido dentro del espacio, generalmente medido en segundos o minutos. Midiendo la concentración de un gas trazador en la salida del volumen ventilado se puede obtener la edad promedio por medio de la siguiente ecuación:

$$\theta_{age} = \int_{\theta=0}^{\infty} \frac{C_{in} - C}{C_{in} - C_0} \cdot d\theta$$

Donde C_{in} es la concentración de gas trazador que se inyecta, en forma de escalón, C_0 es la concentración base y C la concentración de trazador medida en el aire la salida.

La forma de la curva de edades en función del tiempo es característica del grado de mezcla del aire en un espacio ventilado. En el caso hipotético que el caudal de ventilación pasara por el espacio ventilado sin mezclarse, la edad de todas las fracciones de aire sería igual al tiempo espacial calculado en base al volumen disponible³ para el paso de aire. Por el contrario, si la mezcla fuera perfecta, las edades estarían distribuidas en forma de una exponencial decreciente.

- Efectividad de la renovación del aire:** (ϵ_{RH}) Corresponde a un indicador adimensional del suministro del caudal de ventilación a un espacio determinado y se puede definir como el cociente entre el tiempo espacial τ y la edad promedio

3 Entiéndase como volumen disponible a la resta entre el volumen geométrico (espacio vacío) y los elementos en su interior (muebles, escritorios, sillas, etc).

del aire θ_{age} :

$$\epsilon_{RH} = \frac{\tau}{\theta_{age}}$$

- Si $\epsilon_{RH} = 1$, entonces se concluye que la distribución de aire al interior del espacio es equivalente a la de un sistema que está, entregando una mezcla de aire adecuada.
- Si $\epsilon_{RH} < 1$, entonces existen sectores al interior del espacio ventilado donde el aire se encuentra estancado (baja renovación).
- Si $\epsilon_{RH} > 1$, entonces una fracción del flujo de aire inyectado pasa muy rápido por el espacio, en cortocircuito, lo que no aporta a la renovación del aire.

4.4. Temperatura de bulbo seco

Corresponde a un valor promedio que se obtiene por medio de mediciones en el entorno de un puesto de trabajo representativo del total de ocupantes del espacio, considerando si el ocupante del puesto de trabajo elegido se encuentra sentado o de pie, tomando como puntos de medición tres alturas a nivel de tobillos, cintura y cabeza (ver Figura N°2):

$$T_{BS} = \frac{(T_{BS})_{tobillos} + (T_{BS})_{cintura} + (T_{BS})_{cabeza}}{3}$$

Las mediciones de temperatura en cada punto deben hacerse en intervalos de tiempo no menor a tres minutos ni mayor que quince minutos.

La temperatura de bulbo seco se puede medir utilizando un termómetro convencional (Figura N°4) o algún dispositivo con sensores (termocuplas) que mida la temperatura del aire sin considerar factores ambientales como la radiación, la humedad o el movimiento del aire, en ambos casos debe contar con calibración que pueda demostrar la trazabilidad de sus mediciones.



Figura N°4:

Termómetro convencional (imagen de referencia)

El termómetro debe poder medir un rango de temperatura del aire entre 10°C a 40°C, con una precisión de $\pm 0,2$ °C.

4.5. Temperatura media radiante

Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T_R = T_{globo} + 1,9 \cdot \sqrt{v_{aire}} \cdot (T_{globo} - T_{BS})$$

Donde:

T_{globo} : Temperatura de globo negro, en °C

v_{aire} : Velocidad promedio del aire según definición punto 4.2, en m/s

T_{BS} : Temperatura de bulbo seco del aire según definición punto 4.4, en °C

Para la medición de la temperatura de globo se emplea un termómetro de globo negro (Figura N°5) calibrado y debe poder medir un rango de temperatura del aire entre 10°C a 40°C, con una precisión de ± 1 °C.



Figura N°5:
 Termómetro de globo (imagen de referencia)

4.6. Humedad del aire

Corresponde a un valor promedio que se obtiene por medio de mediciones en el entorno de un puesto de trabajo representativo del total de ocupantes del espacio, considerando si el ocupante del puesto de trabajo elegido se encuentra sentado o de pie, tomando como puntos de medición tres alturas a nivel de tobillos, cintura y cabeza (ver Figura N°2):

$$Y_{\text{aire}} = \frac{(Y_{\text{aire}})_{\text{tobillos}} + (Y_{\text{aire}})_{\text{cintura}} + (Y_{\text{aire}})_{\text{cabeza}}}{3}$$

Las mediciones de humedad en cada punto deben hacerse en intervalos de tiempo no menor a tres minutos ni mayor que quince minutos.

En general, la humedad del aire es una propiedad del aire que puede escribirse de varias formas que relacionan la relación entre el contenido de vapor de agua y el de aire seco. En este contexto, las siguientes definiciones son útiles para establecer los rangos confortables para la humedad:

- a. **Razón de humedad (Y):** Corresponde al cociente entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco, expresándose normalmente como kg vapor por kg de aire seco:

$$Y = \frac{\text{masa de vapor de agua}}{\text{masa de aire seco}} = \frac{m_w}{m_{AS}}$$

- b. **Humedad relativa del aire: (Φ)** Es el cociente entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor saturado, expresándose como porcentaje (%):

$$\Phi = \frac{\text{presión parcial del agua}}{\text{presión de vapor saturado}} = \frac{p_w}{p_w^s}$$

La humedad del aire que se mide es la humedad relativa, utilizando un higrómetro (Figura N°6) o un sensor de humedad relativa calibrado y debe poder medir un rango de humedad relativa del aire entre 25% a 95%, con una precisión de $\pm 5\%$.



Figura N°6:
 Higrómetro digital (imagen de referencia)

4.7. Estándar de dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e inodoro que se genera como producto de reacciones de combustión de sustancias que contengan carbono. En el contexto de la presente nota técnica, el CO₂ se genera principalmente como un desecho de la respiración celular de las personas que ocupan un espacio determinado. No obstante, podrían existir otras fuentes que contribuyen al aumento de la concentración de este gas como, por ejemplo, contaminación atmosférica.

En el contexto del confort, el nivel de ventilación se puede relacionar con la concentración de CO₂ interior de un espacio ocupado por personas como un indicador indirecto de la renovación del aire, ya que se puede establecer una relación entre el caudal de ventilación y la concentración de CO₂ en estado estacionario por medio de la siguiente ecuación:

$$C_{CO_2} = C_{CO_2,0} + \frac{q_{CO_2}}{Q_{ventilación}}$$

Donde:

C_{CO_2} : Concentración de CO₂

$C_{CO_2,0}$: Concentración de CO₂ del aire exterior

q_{CO_2} : Caudal de CO₂ generado por el metabolismo por persona

$Q_{ventilación}$: Caudal de ventilación de aire exterior por persona

Otro uso que tiene este estándar es para estimar las renovaciones-hora en función de la disminución de la concentración del CO₂:

$$RH = \frac{1}{\Delta t} \cdot \ln \left(\frac{C_{CO_2,i} - C_{CO_2,0}}{C_{CO_2,f} - C_{CO_2,0}} \right)$$

Donde:

Δt : Tiempo que demora en alcanzarse la concentración final, en h

$C_{CO_2,i}$: Concentración inicial de CO₂, en partes por millón (ppm)

$C_{CO_2,f}$: Concentración final de CO₂, en partes por millón (ppm)

$C_{CO_2,0}$: Concentración de CO₂ del aire exterior, en partes por millón (ppm)

Para medir la concentración de CO₂ se puede emplear un medidor de concentración de CO₂ (Figura N°7) calibrado.



Figura N°7:
Medidor de concentración de CO₂ (imagen de referencia)

4.8. Otras consideraciones

Además de los parámetros mencionados, hay otras fuentes relacionadas con la ventilación que deben tenerse en consideración para generar un ambiente laboral confortable:

- Olores molestos:** Relacionado con los olores corporales de los ocupantes y olores provenientes de áreas como baños o cocinas. En el caso de olores corporales, se puede utilizar como un indicador indirecto el estándar de CO₂.
- Ruidos molestos:** Se refiere a aquellos ruidos causados por los equipos encargados de ventilar o por los flujos de aire.
- Clases de aire:** Se refiere a una clasificación del aire en cuatro categorías en base a la concentración relativa de contaminantes en base a criterios subjetivos:
 - **Aire Clase I:** Aire con baja concentración de contaminantes, baja intensidad de irritación sensorial y olor inofensivo.
 - **Aire Clase II:** Aire con concentración moderada de contaminantes, intensidad moderada de irritación sensorial y olor medianamente molesto.
 - **Aire Clase III:** Aire con concentración significativa de contaminantes, intensidad significativa de irritación sensorial y olor molesto.
 - **Aire Clase IV:** Aire con humos o gases muy desagradables o con presencia de gases, aerosoles, partículas viables en concentraciones suficientemente peligrosas.

5. CONCLUSIÓN

En aquellos ambientes laborales donde no hay presencia de contaminantes en concentraciones nocivas y la única fuente de contaminación proviene principalmente de las personas, el manejo de la ventilación es determinante para generar condiciones confortables para sus ocupantes.

Los parámetros del aire presentados y analizados en esta nota técnica son los que tienen principal influencia sobre el bienestar de las personas, teniendo un mayor impacto en aquellas actividades que requieren esfuerzo intelectual donde se requiera mantener la concentración y cualquier sensación de disconformidad en relación a la calidad del aire cause una merma en la productividad.

Al utilizar los rangos recomendados de confort se debe tener presente que estos valores representan la percepción de la mayoría de las personas, al menos un 80%, pero siempre existirá una cantidad de personas que pueden sentirse insatisfechas con la condición del aire, porción que no debe ser mayor que un 20%.

6. REFERENCIAS

- 6.1. ANSI/ASHRAE, Estándar 62.1: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, 2019.
- 6.2. ANSI/ASHRAE, Estándar 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2017.
- 6.3. ASHRAE, Handbook Fundamentals, 1997.
- 6.4. ISP, Nota técnica N°47: Confort Térmico en Ambientes Laborales, Chile, Consulta 20/12/2023.
- 6.5. ISP, Nota técnica N°96: Revisión del Rol de la Ventilación en Ambientes de Trabajo (Contexto COVID-19), actualización enero 2022.
- 6.6. ISP, Protocolo para la Medición de Estrés Térmico, Versión 2.0, 2020.
- 6.7. INSHT, NTP 594: El Dióxido de Carbono en la Evaluación de la Calidad del Aire Interior, España, 2000.

ANEXO I VALORES DE REFERENCIA

A continuación, se presentan valores de referencia según estándar ASHRAE.

Caudal de ventilación

Tabla N°1:

Valores de caudal de ventilación recomendados por ASHRAE 62.1

Categoría de ocupación				Clase de aire
	lt/s	lt/s	N°/100 m2	
Instalaciones educaciones				
Sala de clases (desde 5 hasta 8 años)	5	0,6	25	1
Sala de clases (desde 9 años en adelante)	5	0,6	35	1
Servicios de alimentos y bebidas				
Bares, Salones de cocktail	3,8	0,9	100	2
Cafeterías/Comedor comida-rápida	3,8	0,9	100	2
Cocinas	3,8	0,6	20	2
restorán comedor	3,8	0,9	7	2
Espacios de oficina				
Oficinas	2,5	0,3	5	1
Retail				
Barbería	3,8	0,3	25	2
Salones de belleza y uñas	10	0,6	25	2
Áreas de Mall comunes	3,8	0,3	40	1
Tiendas de mascotas (Área de animales)	3,8	0,9	10	2
Supermercados	3,8	0,3	8	1
Deportes y entretenimiento				
Gimnasios, arena de deportes (área de juego)	10	0,9	7	2
Club de salud/Salas de aeróbica	10	0,3	40	2
Club de salud/Salas de pesas	10	0,3	10	2

Parámetros de confort térmico recomendados

La Tabla N°2 presenta datos utilizados para formular la gráfica de la Figura 5.3.1 del estándar ASHRAE 55 (2017), los cuales reflejan un porcentaje de disconformes del 10%.

Tabla N°2:

Valores para los parámetros de confort para Método Gráfico de Zona de Confort

<i>met</i>	I_{clo}	v_{aire}	y_{aire}	T_{BS}	T_R	PM	MV
--	clo	m/s	%	°C	°C	%	%
1,1	1,0	0,1	86	19,6	19,6	-0,5	10
1,1	1,0	0,1	66	23,9	23,9	0,5	10
1,1	1,0	0,1	15	25,7	25,7	0,5	10
1,1	1,0	0,1	20	21,2	21,2	-0,5	10
1,1	0,5	0,1	67	23,6	23,6	-0,5	10
1,1	0,5	0,1	56	26,8	26,8	0,5	10
1,1	0,5	0,1	13	27,9	27,9	0,5	10
1,1	0,5	0,1	16	24,7	24,7	-0,5	10