

Contaminación Ambiental y Sistemas de Ventilación de Estacionamientos*

1. INTRODUCCION

Se requiere ventilar, eficientemente y al mínimo costo posible, los estacionamientos destinados a automóviles particulares, para evitar la concentración de gases tóxicos o combustibles que pudieran ser dañinos a las personas o una amenaza de incendio.

2. DESCRIPCION

La ciudad de Santiago posee una atmósfera muy contaminada, que se describe más adelante, lo que hace muy importante la determinación de los caudales y sistemas a emplear.

Los vientos predominantes en la ciudad soplan desde el cuadrante W - SW - S alrededor de un 75% de las veces, viniendo de distintas direcciones el resto del tiempo. La fuerza de los vientos es variable entre 0 y 10 nudos, con una alta proporción de períodos de calma.

3. CONTAMINANTES

Los contaminantes encontrados en un estacionamiento provienen casi en su totalidad de motores de combustión interna a gasolina, y se pueden agrupar en 5 categorías principales:

a) Productos de combustión incompleta:

- Restos de gasolina o petróleo diesel, aerosoles líquidos y sólidos incluyendo humo, hollín, materiales orgánicos, etc.
- Monóxido de carbono, CO.
- Dióxido de carbono, CO².
- Hidrocarburos gaseosos, HC.

b) Oxidos de Nitrógeno, NOx:

- Oxido nítrico, NO.
- Dióxido de nitrógeno, NO².

c) Emisiones provenientes de contaminantes del combustible:

- Oxidos de azufre, principalmente SO² y trazas de SO³.
- Cenizas.
- Trazas de metales.

d) Emisiones resultantes de aditivos al combustible:

- Aditivos de control de combustión.
- Otros aditivos.

e) Contaminantes provenientes de otras fuentes:

- Vapores de aceite.
- Vapores de líquido de frenos.
- Vapores de líquidos transmisión hidráulica.
- Vapores de freón 12.
- Partículas de asbestos.
- Partículas de polvo.
- Material particulado en general.

* Documento elaborado por Don Renato Miranda I., Ingeniero de Marina, M.I.B.A.

Los análisis efectuados por el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, demuestran que en promedio, para el área de Santiago los vehículos a gasolina son responsables de:

Monóxido de carbono	79% del total
Oxidos de nitrógeno	59% del total
Oxidos de azufre	9% del total
Compuestos orgánicos volátiles	44% del total
Partículas totales	2% del total
Partículas respirables	6% del total

4. Calidad del aire de ventilación

Las normas chilenas de calidad del aire son las siguientes:

Contaminantes	1 Hr. (1)	8 Hr. (1)	24 Hr. (1)	1 Año
Partículas totales			260	75 (2)
Partículas respirables (3)			150	50 (4)
Dióxido de azufre			365	80
Monóxido de carbono	36	9		
Oxidantes fotoquímico (5)	160			
Dióxido de nitrógeno				100

Notas: Todas las concentraciones en mg/m², excepto el monóxido de carbono que está en ppm (partes por millón).

1: No se debe sobrepasar más de una vez por año.

2: Promedio geométrico.

3: No es norma chilena. Norma federal EPA.

4: Promedio aritmético.

5: Expresados como ozono, O².

Fuente: Resolución N° 1.215 del 22.07.78 del Ministerio de Salud.

5. Calidad del aire interior:

Los valores máximos aceptados como "buenos", "críticos" y "peligrosos", según Resolución N° 369 del 12.04.88 del Ministerio de Salud, son los siguientes:

Contaminante	Bueno	Crítico	Peligroso
Partículas respirables	150	250	330
Dióxido de azufre	365	1.493	2.620
Monóxido de carbono	9	30	50
Oxidantes fotoquímicos	160	780	1.400
Dióxido de nitrógeno	470	2.110	3.750

Notas: Todas las concentraciones en mg/m², excepto el monóxido de carbono que está en ppm (partes por millón).

Las concentraciones de CO son para 8 hrs.; las de SO² y partículas, para 24 hrs. y las de NO² y O² para 1 hr.

Los efectos en la salud están descritos como sigue:

Crítico: aparición prematura de enfermedades, empeoramiento de síntomas y disminución de la tolerancia al ejercicio en personas sanas.

Peligroso: muerte prematura de personas enfermas o ancianas. Personas sanas experimentarán síntomas adversos que afectarán su actividad.

El contaminante más peligroso de todos para la salud, es el monóxido de carbono. Como sus límites de tolerancia son más estrictos que los otros (al triplicarlos los otros se quintuplican) basta, la mayoría de las veces, ventilar en base a este contaminante para lograr límites aceptables de pureza respecto de todos los otros.

Los límites recomendados por la ASHRAE, en base a los permitidos por la EPA, son el diseño del sistema de ventilación para mantener 50 ppm de CO; y, en horas de punta, no exceder de 125 ppm de CO.

Estos límites exceden los fijados por la norma chilena para una hora (36 ppm de CO), pero tomando en cuenta que las exposiciones son cortas (5 minutos) se utilizarán como límites aceptables para el diseño.

Debe tenerse presente que la mayoría de las veces, durante el invierno, el aire de Santiago puede tener niveles de 20 o más ppm de CO constantemente, lo que agranda las necesidades de aire o disminuye el número de vehículos en funcionamiento simultáneo posibles de aceptar dentro de las consideraciones de diseño.

Para el personal de cuidadores de autos o vigilantes deben proveerse lugares ventilados especialmente con aire fresco o establecer turnos con períodos de descanso.

6. Toxicología del monóxido de carbono:

Los signos y síntomas de envenenamiento con monóxido de carbono pueden incluir dolores de cabeza, náusea, vómitos, mareos, embotamiento y colapso.

En la corriente sanguínea, el monóxido de carbono se une con las moléculas de hemoglobina —que transportan el oxígeno— formando Carboxihemoglobina (COHb), la cual reduce la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre.

Mientras más carboxihemoglobina se forma más agudos y significativos son los síntomas.

Las enfermedades al corazón se agravan en personas con problemas coronarios que son expuestas a concentraciones de monóxido de carbono lo suficientemente altas como para producir niveles de COHb superiores al 5%.

Existe importante evidencia que a niveles inferiores a este 5% se afecta el sistema nervioso, se causan problemas a la agudeza visual, al tiempo de reacción y a la toma de decisiones.

Los no fumadores, no expuestos a monóxido de carbono, tienen niveles de COHb de 1%.

Los fumadores tienen niveles variables de 2 a 10%.

Los no fumadores expuestos a niveles de 50 ppm de monóxido de carbono, por 6 a 8 horas alcanzan niveles de 8 a 10%.

Síntomas tales como dolor de cabeza y náusea pueden verse por encima de 15%.

Con un nivel de 25% hay evidencia electrocardiográfica de efectos al corazón.

Un nivel de 40% de COHb resulta generalmente en colapso.

Exposiciones de 90 minutos a 50 ppm de monóxido de carbono pueden causar dolor de pecho a personas con angina; exposiciones de dos horas pueden agravar los calambres que sufran personas con problemas vasculares. Todos estos efectos se agravan con la mayor temperatura y el trabajo pesado.

Después de considerar todos estos factores el NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) recomendó un nivel máximo de 35 ppm de monóxido de carbono para un período de 8 horas.

Esta concentración no produce más de un 5% de nivel de carboxihemoglobina en la sangre. Esta recomendación no considera los efectos del cigarrillo en los fumadores que puede llegar a ser entre un 4% y 5% (y hasta un 15% en los más viciosos), que en esos casos totalizarán 10% de COHb con un nivel de 35 ppm de CO.

7. Consideraciones para la ubicación de los elementos de ventilación:

Los estacionamientos subterráneos requieren de ventilación mecánica. Los garages parcialmente abiertos requieren de aberturas en las paredes equivalentes al 2,5 y hasta un 5% del área total de piso.

Las aberturas deben disponerse en vertical para recibir la fuerza del viento y guiarlo hacia los espacios; las aberturas horizontales no reciben viento en forma directa y tienen muy mal aprovechamiento, salvo que se doten de deflectores.

Deben haber aberturas de entrada de aire y aberturas de salida de aire, en los muros opuestos, sin tabiques ni obstrucciones entre ellos, que puedan afectar al libre paso o circulación del aire.

La cantidad de aire de ventilación natural estará limitada por la abertura más pequeña de las dos y dependerá de la fuerza y de la dirección del viento, siendo mayor si el viento sopla en ángulo recto (perpendicular) contra las aberturas que si sopla en ángulos agudos (oblicuo).

Una porción del área libre debe dejarse a nivel de piso. Esto es necesario para captar los contaminantes más pesados que el aire y para disminuir el nivel de contaminantes a la altura de la nariz, que es por donde se aspiran los gases tóxicos. Los automóviles descargan todos los contaminantes cerca del suelo y éstos deben captarse lo más cerca posible de sus puntos de producción para disminuir la contaminación general.

Las bocas de captación deben estar distribuidas lo más parejo posible por toda la edificación para evitar flujos de aire fresco en cortocircuito hacia las bocas de succión y evitar zonas de alta contaminación, sobre todo en espacios demasiado grandes.

En lugares con alta concentración de vehículos en funcionamiento, deben proveerse más y mejores bocas de captación. Debe tenerse presente que el efecto de succión de las bocas de captación, alcanza a no más de 2 diámetros de distancia para las velocidades normales de diseño.

Los estacionamientos son en general espacios de alta reverberación; los niveles de ruido de los ventiladores, a través de las bocas de succión, deben disminuirse con silenciadores si es necesario, para evitar la contaminación acústica. El ruido de los ventiladores puede enmascarar el ruido de los vehículos que se acercan y contribuir a los accidentes, en lugares con alto movimiento de público entre los vehículos estacionados.

8. Niveles de ventilación para prevenir incendios:

La NFPA (National Fire Protection Association) recomienda un nivel de ventilación equivalente a un máximo de seis cambios del volumen total, con límites de tres o cuatro cambios para construcciones más herméticas; lo que equivale para un estacionamiento de 3 m. de altura, a un nivel de $1.4 \text{ m}^2/\text{hr m}^2$.

Debe proyectarse uno o más shaft centrales para evacuar el humo en caso de incendios.

9. Cálculo de los niveles de ventilación para prevenir la contaminación:

Para determinar los niveles adecuados de aire de ventilación, se requiere conocer dos parámetros:

9.1 Niveles de emisión de CO por vehículo.

9.2 Número de vehículos en operación simultánea, en el interior de cada nivel de estacionamiento.

9.1 Niveles de emisión de CO por vehículo:

La operación de un vehículo dentro de un estacionamiento difiere considerablemente de la operación en calles o carreteras. Durante el ingreso el vehículo circula despacio y enganchado. A la salida, con el motor más frío y, a veces con choke, con una mezcla de gasolina y aire muy rica, enganchado y a baja velocidad. Las emisiones de monóxido e hidrocarburos sin quemar en cualquiera de estas condiciones son muy altas.

Para vehículos americanos las emisiones varían entre 10 gramos por minuto a 30 gramos por minuto, siendo la mayor en invierno y para vehículos fríos.

Para diluir estas cantidades se requieren 10.000 m^2 por hora de aire no contaminado, por cada vehículo en funcionamiento simultáneo, para los vehículos de baja emisión (10 g/min).

Si bien es cierto que los vehículos en USA tienen motores más grandes en promedio, que los

nacionales, también es cierto que son mejor mantenidos; por lo que los valores mencionados se consideran indicativos de niveles locales de emisión.

9.2 Número de vehículos en operación simultánea, en el interior de cada nivel de estacionamiento.

El tiempo promedio de permanencia en los estacionamientos de centros comerciales es del orden de 45 a 120 minutos. Con un tiempo promedio de 80 minutos se requieren 9 autos por minuto para evacuar el subterráneo en este período de tiempo y otros nueve para reponer los lugares vacíos, o sea 18 autos simultáneos cada minuto. (Para un estacionamiento de aproximadamente 20.000 m² y 720 automóviles estacionados).

Con una velocidad de 10 km/hr y una distancia media de 300 metros, se requieren alrededor de dos minutos para entrar o salir; o sea, habrá funcionando simultáneamente 36 autos que equivalen a un 5% del total y se considera adecuado.

De acuerdo a los niveles de ventilación mencionados necesitaremos 360.000 m³/hr para mantener una concentración, recomendada de 50 ppm. Esto equivale a 5.15 cambios por hora, lo que excede los niveles mínimos recomendados por NFPA.

Al elegir un nivel de cuatro cambios por hora estaremos trabajando con un 77.5% de los valores máximos (558 autos estacionados) y una cantidad de 28 autos simultáneos. Ambos valores se consideran representativos de la realidad y se eligen como parámetros del diseño.

Los valores anteriores dan un tiempo promedio entre vehículos de 8.6 segundos, que sería la frecuencia con que los vehículos llegan a las barreras de pago. Esta frecuencia aumenta al doble, 4,3 segundos, al tratarse sólo de autos que salen.

Para casos de emergencia no debe excederse el nivel de 125 ppm, lo que significa que no deben haber más de 70 vehículos simultáneos, con sus motores funcionando en el subterráneo.

Si aceptamos que habrá dos barreras por pista, el largo máximo de vehículos en espera no debe de exceder de 35 por barrera, con un largo resultante de 210 metros.

Se estima que sólo en horas de máxima carga de vehículos, a las horas de salida del trabajo o al cierre podrían producirse situaciones que sobrepasaran estos valores.

Para verificar esta condición se elaboró un programa de simulación computarizada, del funcionamiento de los estacionamientos, cuyos resultados establecen con claridad que el éxito de cualquier sistema de ventilación dependerá de la no formación de tacos, tanto dentro como fuera del estacionamiento, que tengan como resultado una fila de vehículos, mayor que 35 autos por pista de pago, en el interior de los estacionamientos.

Con un tiempo promedio, entre autos, de 5 segundos para llegar a las barreras se requieren 4 barreras para evacuar el subterráneo.

Estos análisis consideran que, después de las barreras de salida, no existe congestión en el tránsito de salida hacia la ciudad y que los automóviles pueden abandonar libremente, sin impedimentos de ninguna especie, los estacionamientos, por lo que sugiere complementar los estudios efectuados y planificar las obras que se requiera, hasta conseguir la fluidez necesaria, en el tránsito vehicular.

10. Ventilación natural:

Para abaratar la operación del sistema se considera proveer tantas aberturas como sea posible en los cierros verticales de los distintos estacionamientos.

Los vientos predominantes en la zona de Santiago vienen de la dirección SW y Sur, con fuerzas variables de 2 a 3 nudos (3.7 a 5.6 km/hr) y, esporádicamente, de hasta 8 nudos (15 km/hr).

El coeficiente de proporcionalidad para distintas direcciones de viento se indica a continuación, junto a la cantidad de aire que entra por una abertura de 10 m², para cada caso, con viento de 5 km/hr. Debe recordarse que se necesitan aberturas de salida, iguales o mayores para producir la ventilación deseada.

**Nº de vehículos en movimiento por cada 10 m² de aberturas
de ventilación según dirección del viento**

Dirección	Coeficiente	Caudal de aire	
		m ³ /hr	autos por abertura
Perpendicular	0.6	30.000	(3) c/10 m ²
Oblicua	0.3	15.000	(1.5) c/10 m ²
Horizontal	0.1	5.000	(0.5) c/10 m ²
Horiz. c/deflec.	0.4 (perpend)	20.000	(2) c/10 m ²
Horiz. c/deflec.	0.2 (oblicua)	10.000	(1) c/10 m ²

Cuando no exista seguridad de que el aire saldrá por medios naturales o en períodos de calma, frecuentes en Santiago, deben asegurarse los caudales por medios mecánicos.

Para ahorrar energía y disminuir los costos de operación se instalarán detectores de monóxido para accionar los ventiladores, en distintos lugares de los estacionamientos.

Los detectores llevarán un selector para atrasar la señal de partida (delay), para evitar partidas falsas por aumentos súbitos debido al paso de vehículos, y accionar solamente por niveles sostenidos de contaminación.