



Nº1 en
prevención



SECTOR
Agrícola

VENTILACIÓN

DE BODEGAS DE MATERIALES PELIGROSOS → *segura*



ÍNDICE

Acerca de este manual.....	pág.02
A. Introducción.....	pág.03
B. Alcance y Objetivos.....	pág.04
Alcance.....	pág.04
Objetivos.....	pág.04
C. Aplicación de la ventilación general.....	pág.04
D. Diseño de la ventilación general.....	pág.05
1. Determinación del caudal según experiencia.....	pág.05
2. Diseño en base a mediciones.....	pág.05
3. Diseño según modelo de comportamiento.....	pág.05
E. Ejemplos de cálculo del caudal de ventilación.....	pág.06
F. Ventilación natural versus ventilación forzada.....	pág.10
1. Ventilación natural.....	pág.10
2. Ventilación forzada.....	pág.12
G. Recomendaciones para el diseño de ventilación.....	pág.12
H. Bibliografía.....	pág.14
I. Anexos.....	pág.15
1. Estimación de la emisión de monóxido de carbono de una grúa horquilla.....	pág.16
2. Estimación de flujo de evaporación de una poza de metanol.....	pág.17
3. Caudal extraído por un ventilador eólico.....	pág.18
4. Distribución de las entradas y salidas de aire.....	pág.19

ACERCA DE ESTE MANUAL

En el presente manual se analizan tanto las características, como la aplicabilidad y limitaciones de la ventilación general para el control de los riesgos de intoxicación e incendio en bodegas de productos peligrosos.

A. INTRODUCCIÓN

¿En qué contexto resulta aplicable la ventilación general?

En los ambientes de trabajo sirve para mejorar las condiciones térmicas, remover contaminantes de baja toxicidad, diluir emisiones de fuentes dispersas y prevenir la generación de atmósferas inflamables.

La ventilación general puede ser forzada (mediante ventiladores mecánicos) o natural (a través de puertas y ventanas, lucarnas, ventiladores eólicos o aberturas realizadas para dicho propósito).

Para que la ventilación sea efectiva el aire debe circular por todo el volumen y los rincones de la bodega, minimizándose la posibilidad de recirculación del aire, cortocircuitos (salida directa del aire que ingresa) y espacios muertos por donde el aire no circule.

En caso de ser mecánica se pueden instalar líneas de inyección o de extracción de aire, siendo lo óptimo instalar ambas.

La ventilación natural depende de la diferencia entre la temperatura externa e interna y, principalmente, de la velocidad del viento, la que puede cambiar en pocos minutos, tanto de dirección como magnitud. En consecuencia, con este sistema no se tiene control sobre el caudal de ventilación, el cual sólo puede mantenerse estable con un ventilador mecánico.

La ventilación natural sólo es efectiva y se puede utilizar cuando la bodega está ubicada en un lugar donde edificaciones vecinas, muros y árboles, entre otros, no bloqueen o desvíen las corrientes de aire preferenciales.

La principal ventaja de la ventilación natural es que no requiere de energía y, por lo tanto, no tiene impacto en el medio ambiente. Por el contrario, para generar 12 cambios hora en una bodega de **500 m³** con un ventilador mecánico, por ejemplo, éste presentaría un consumo eléctrico típico de **0,5 Kw**, lo que se estima equivalente a una emisión de 0,31 kg. por hora de CO₂.

B. ALCANCE Y OBJETIVOS

Alcance

Describir los fundamentos de la ventilación de bodegas con materiales peligrosos en empresas del sector industrial.

Objetivo

- Analizar las características, aplicabilidad y limitaciones de la ventilación general para el control de los riesgos de intoxicación e incendio en bodegas de productos peligrosos.

C. APLICACIÓN DE LA VENTILACIÓN GENERAL

En los ambientes de trabajo la ventilación general resulta normalmente aplicable en las siguientes situaciones:

- **Mejorar condiciones térmicas.** Por ejemplo, al aumentar la circulación del aire en ambientes calurosos, la extracción del aire en locales con proceso en caliente, acondicionando la temperatura del aire a niveles de confort.
- **Remover la contaminación a niveles molestos.** En ambientes donde las principales fuentes son las personas, como oficinas, cines, gimnasios, etc.
- **Remover los contaminantes en baja emisión y dispersos.** Por ejemplo, la emisión de automóviles estacionamientos, emisiones desde montacargas en bodegas, humedad de baños, etc.
- **Prevenir la generación de ambientes inflamables.**

En resumen, en la mayoría de los casos la ventilación general resulta aplicable en situaciones donde no existe un riesgo importante para la salud del trabajador, ya que cuando esto ocurre “se deberá captar los contaminantes en su origen e impedir su dispersión por el local de trabajo”. Dicho de otra forma, si en el ambiente existe una concentración de contaminante que es de riesgo para la salud de los trabajadores, se debe controlar su emisión a nivel de la fuente, lo cual –en la mayoría de los casos—no es técnicamente posible con la ventilación general. Una excepción pueden ser los túneles o galerías de minas y las bodegas de productos inflamables.

D. DISEÑO DE LA VENTILACIÓN GENERAL

El diseño de la ventilación general tiene por objetivo principal determinar el caudal de aire que es necesario movilizar por el recinto a ventilar y definir el tipo de ventilación que se utilizará, natural o forzada, además de especificar en cada caso las entradas y salidas de aire.

En general, para cualquier tipo de recinto, la determinación del caudal de ventilación se puede hacer en base a la experiencia existente. Es decir, según una receta o en base a mediciones de las concentraciones ambientales o modelando el comportamiento de la contaminación.

A continuación se presenta la aplicación de estos criterios para el caso particular de bodegas de productos peligrosos.

1 Determinación del caudal según experiencia

La organización Agrichemical Warehousing Standards Association (AWSA)¹ para la certificación de bodegas de agroquímicos indica la recomendación de una ventilación mecánica que proporcione como mínimo dos cambios por hora, con el objetivo de mantener el control de vapores y olores. En esta misma referencia se indica que en el caso que no se pueda obtener este nivel de ventilación, será necesario que el área sea monitoreada y analizada por un profesional autorizado que verifique que no existen riesgos de intoxicación o explosión, de acuerdo con un protocolo establecido.

(1) Warehousing Standards Bulletin N° 3, N° 13A, N° 13B y N° 15. www.awsacanada.com/AWSA06.

Para áreas donde se almacenan líquidos inflamables, la AWSA² recomienda una ventilación de **4 pie³/min por pie²** de área de bodega, la cual se debe obtener con ventiladores instalados en el techo. Por su parte, la NFPA³ indica como alternativa para obtener una concentración por debajo del 25% del límite inferior de inflamabilidad un valor de **1 pie³/min por pie²** de área de bodega.

2 Diseño en base a mediciones

La NFPA para líquidos inflamables recomienda el muestreo de las concentraciones de vapores bajo las condiciones normales de operación de la bodega. Las muestras se deben tomar a una distancia de 1,5 m respecto de cada potencial fuente de vapor, medida en dirección al fondo y parte baja del área de almacenamiento. La concentración más alta que se obtenga en el muestreo debe ser utilizada para definir los requerimientos de la ventilación.

Extender esta metodología a otro tipo de materiales peligrosos puede resultar difícil de aplicar dada la variedad de productos almacenados y limitaciones de los instrumentos de medición o monitoreo.

3 Diseño según modelo del comportamiento

Asumiendo que el aire en la bodega se mezcla en forma ideal se puede relacionar la concentración del contaminante con el caudal de ventilación de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ec.1

$$C(t) = (q/Q) [1 - \text{Exp}(-Nt)] + C_o$$

(2) "Use in well-ventilated area?". *AIHA Journal* 60:377-383

(3) NFPA 30-2003 Edition. Párrafo 4.3.4.4.2.

Donde:**q:** Caudal de contaminante emitido, cm³/h.**Q:** Caudal de ventilación, m³/h.**N:** Cambios por hora, h⁻¹.**C(t):** Concentración en el instante t, ppm.

Además de la ecuación 1, es necesario definir una concentración límite o estándar que no se debe sobrepasar. Es decir:

$$\text{Ec.2} \quad C(t) \leq C_{lim}$$

Donde:**Clim:** Concentración máxima aceptable.

Por ejemplo, un límite de olor, si se trata de controlar molestias, o una fracción del límite inferior de inflamabilidad, si se trata de controlar el riesgo de incendio.

El que se cumpla la condición señalada por la ecuación 2 es el objetivo de diseño de la ventilación.

Cuando el tiempo que dura la emisión es relativamente largo, el término exponencial en la ecuación 1 tiende a cero, y se puede calcular el caudal de ventilación mínimo necesario reemplazando C(t) por Clim:

$$\text{Ec.3} \quad Q = q / (C_{lim} - C_0)$$

La principal desventaja de esta metodología es que se debe conocer la tasa de emisión del contaminante, lo cual normalmente es difícil de estimar para productos almacenados en estado normal, pero se puede hacer cuando se trata de simular un eventual derrame de un envase de líquido.

E. EJEMPLOS DE CÁLCULO DEL CAUDAL DE VENTILACIÓN

1 Ejemplo 1

Bodega de pesticidas de 14 m de ancho por 15 m de largo con un techo de dos aguas de cuatro metros de alto en sus muros perimetrales y 8 m de alto en la cumbre.

Volumen total de bodega

$$14 \times 15 \times 4 + 14 \times 15 \times (8 - 4) / 2 = 1260 \text{ m}^3$$

1. DISEÑO SEGÚN RECETA

Si se toma el criterio de dos cambios por hora, de acuerdo al estándar de la WSA, el caudal a utilizar debe ser de:

Caudal

$$2 \times 1260 = 2520 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. DISEÑO SEGÚN MEDICIONES

Dada la diversidad de productos que se almacenan en una bodega de pesticidas y las limitaciones de los métodos de medición o monitoreo de las concentraciones, no resulta aplicable este criterio.

3. DISEÑO SEGÚN MODELO DE COMPORTAMIENTO

Se considera que las emisiones de los productos almacenados deben ser controladas por la hermeticidad de sus envases, los cuales deben ser diseñados y conservados de modo que en el ambiente no se generen olores molestos ni concentraciones tóxicas.

En general, para bodegas donde se utilizan grúas de horquillas con motores a combustión, se puede considerar que el monóxido de carbono es el principal contaminante⁴.

Tomando la ecuación 3 como base para calcular el caudal de ventilación se tienen los siguientes datos:

$q = 90762 \text{ cm}^3/\text{h}$, CO emitido por una grúa (véase **Anexo 1**).

$C_{lim} = 40 \text{ ppm}$, Límite permisible ponderado para el CO.

$C_o = 0 \text{ ppm}$, se considera sólo la necesidad de diluir la emisión neta del vehículo.

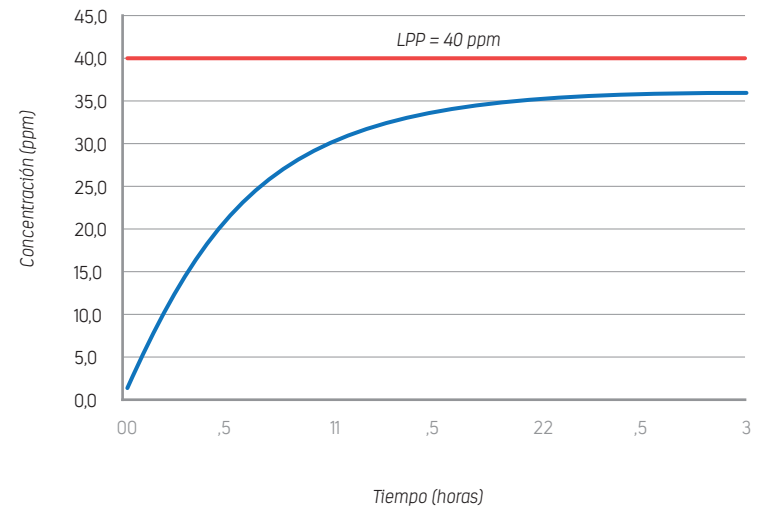
Reemplazando estos valores se obtiene:

$$Q = q / (C_{lim} - C_o) = 90762 / (40 - 0) = 2269 \text{ m}^3/\text{h}$$

De acuerdo con este cálculo, el caudal mínimo de ventilación de la bodega debería ser $2269 \text{ m}^3/\text{h}$ por grúa, valor que en el volumen total de la bodega corresponde aproximadamente a 1,8 cambios por hora. En la **Figura 1** se ha simulado la evolución de la concentración de CO en el tiempo, considerando una ventilación equivalente a dos renovaciones por

hora, nivel que corresponde a un caudal de $2520 \text{ m}^3/\text{h}$. Como se puede observar con este caudal, la concentración máxima llegaría al orden de 36 ppm, lo cual ocurriría al estar la grúa operando en el interior de la bodega alrededor de dos horas en forma continua, tiempo que normalmente es menor dado que la mayoría de las tareas de movilización de carga requieren que la grúa entre y salga con frecuencia.

Fig.1. Concentraciones de CO para una ventilación de 2 cambios por hora



(4) "Use in well-ventilated area?". AIHA Journal 60:377-383.

2 Ejemplo 2

Bodega de productos inflamables que ocupa una superficie de 4,3 m de ancho por 6,5 m de largo, cuyo techo es de un agua, con altura que varía entre 4,3 m y 4,7 m.

Superficie de bodega

$$4,3 \times 6,5 = 28 \text{ m}^2 = 300 \text{ pie}^2$$

Volúmen total de la bodega

$$4,3 \times 6,5 \times 4,3 + 4,3 \times 6,5 \times (4,7 - 4,3) / 2 = 126 \text{ m}^3$$

1. DISEÑO SEGÚN RECETA

Aplicando la recomendación de NFPA 30, de 1 cfm/pie², se sabe que el caudal de ventilación de la bodega debe ser como mínimo de:

$$Q = 300 \times 1 = 300 \text{ cfm} = 510 \text{ m}^3/\text{h}$$

Valor que en el volumen total de la bodega representa del orden de cuatro renovaciones por hora

2. DISEÑO SEGÚN MEDICIONES

Existen equipos para medir y/o monitorear las concentraciones de solventes o la explosividad, como propone NFPA. No obstante, lo más probable es que en una bodega no se encuentren concentraciones detectables.

Una alternativa útil puede ser simular un derrame, colocando en una bandeja un volumen pequeño de solvente, en cuyo entorno se pueda detectar el vapor. Midiendo simultáneamente el nivel de ventilación existente se obtienen los datos necesarios para diseñar el nivel de ventilación requerido.

3. DISEÑO SEGÚN MODELO DE COMPORTAMIENTO

Se simula el derrame de un envase de un litro de metanol, volumen que se supone se extiende formando una poza de 1 cm de altura⁵.

Tomando la ecuación 3 como base para calcular el caudal de ventilación se tienen los siguientes datos:

$q = 14890 \text{ cm}^3/\text{h}$, vapor de metanol generado (véase **Anexo 2**).

$C_{lim} = 16750 \text{ ppm}$, concentración igual al 25% del límite inferior inflamabilidad.

$C_o = 0 \text{ ppm}$, Se supone que el aire externo no tiene vapor de metanol

Reemplazando estos valores se obtiene:

$$Q = q / (C_{lim} - C_o) = 14890 / (16750 - 0) = 1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Este resultado demuestra que un mínimo de ventilación es suficiente para controlar que un derrame pequeño genere concentraciones inflamables.

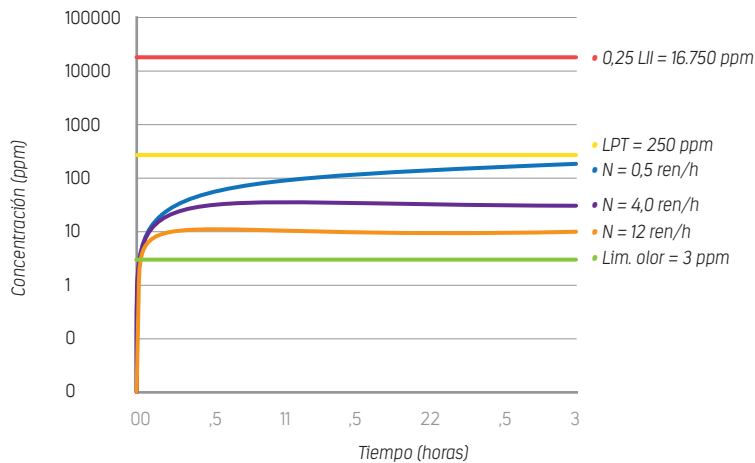
En la **Figura 2** se presenta la simulación del derrame de un litro de metanol bajo distintos niveles de ventilación.

En el gráfico se observa que bajo todos los niveles de concentración considerados se sobrepasa rápidamente, en menos de dos minutos, el límite de olor que es de 3 ppm. Con un nivel de 12 renovaciones por hora, la concentración máxima llegaría al orden de 10 ppm, y con 4 renovaciones al orden de 30 ppm, ambos valores por debajo del límite permisible ponderado de 160 ppm que contempla el DS 594/1999.

(5) Recomendación tomada de Appendix A: EPA 40 CFR Subpart B § 68.25.

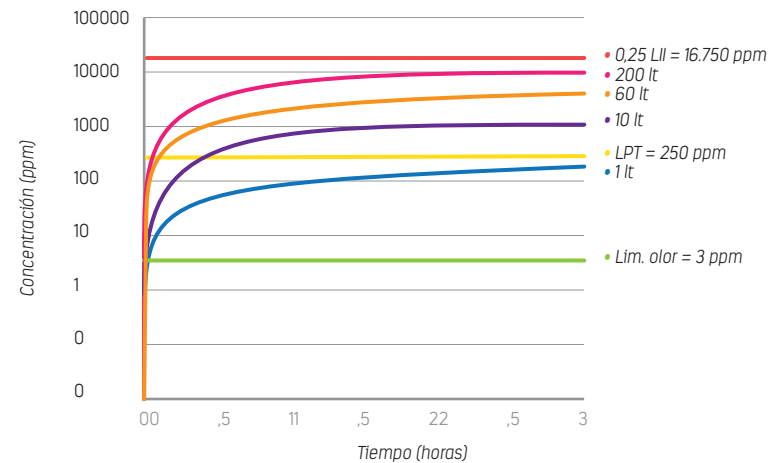
Con 0,5 renovaciones por hora la concentración, después de dos horas, llegaría al orden de 230 ppm, valor que es próximo al límite permisible temporal de 250 ppm (DS 594/1999), pero muy por debajo del límite inferior de inflamabilidad. Es decir, sólo existiría un riesgo tóxico, pero se tiene un tiempo del orden de dos horas para aplicar medidas de emergencia utilizando protección respiratoria durante este período.

Fig.2. Simulación en las concentraciones que se obtienen con el derrame de un litro de metanol en distintos niveles de ventilación



En la **Figura 3** se simulan las concentraciones que se obtendrían con el derrame de distintos volúmenes de líquido para un nivel de 0,5 renovaciones por hora.

Fig.3. Simulación de las concentraciones que se obtienen con derrames de 1 a 200 litros y un nivel de ventilación de 0,5 renovaciones por hora.



F. VENTILACIÓN NATURAL VERSUS VENTILACIÓN FORZADA

Una vez que se ha determinado cuál es caudal de ventilación mínimo requerido, es necesario definir cuál es el tipo de ventilación que se utilizará y cómo se distribuirán las entradas y salidas de aire al interior de la bodega, con el fin de que circule de manera homogénea en la totalidad de su volumen.

1 Ventilación Natural

La ventilación natural sólo resulta aplicable en el caso de que el viento de dirección preferencial no se encuentre bloqueado en su llegada a la bodega por otras edificaciones o árboles. Para definir las dimensiones de la lucarna o el número de ventiladores eólicos que es necesario instalar, así como las dimensiones de las entradas de aire, se puede utilizar la metodología que indica ASHRAE⁶.

A continuación se aplica esta metodología a la bodega de pesticidas del **Ejemplo 1**.

El caudal que entra o sale por aberturas según referencia⁸ se puede calcular como:

$$Q = EAV \text{ m}^3/\text{s}$$

(6) ASHRAE 1977 Fundamentals Handbook. Chapter 21, pp. 21.11-21.13.

Donde:

- E:** Factor de efectividad, cuyos valores son entre 0,5 a 0,6 para viento perpendicular a la abertura, y entre 0,25 a 0,35 para viento diagonal a ésta.
- A:** Área de la abertura, m².
- V:** Velocidad del viento en m/s.

En el **Ejemplo 1** se determinó que el caudal de ventilación debe ser como mínimo de 2520 m³/h, valor que se utiliza en la ecuación anterior para calcular el área necesaria como:

$$A = Q / (EV) \text{ m}^2$$

Con los siguientes datos:

- E = 0,25; Considerando preventivamente que el viento es diagonal a las aberturas.
- V = 1 m/s; Valor que corresponde a la mitad de la velocidad promedio del viento en Santiago 2 m/s, criterio recomendado por referencia 7.
- Q = 0,7 m³/s; valor que equivale a 2520 m³/h.

Luego,

$$A = 0,7 / (0,25 \times 1) = 2,8 \text{ m}^2$$

Este valor se utiliza como referencia para dimensionar las salidas y entradas de aire.

Entradas de aire

Se considera la superficie de $2,8 \text{ m}^2$ como el área mínima necesaria que debe dejarse abierta para el ingreso de aire a través del muro que intercepta la dirección preferencial del viento.

Además, por seguridad se recomienda realizar aberturas con esta misma superficie en todos los muros perimetrales de la bodega para cubrir lo máximo posible todos los cambios de dirección del viento.

Salidas de aire

Para las salidas de aire se recomienda una superficie similar a la de entrada, es decir $2,8 \text{ m}^2$, ubicada preferentemente en

- a) Parte alta del muro contrario al muro de entrada y/o
- b) En el techo y/o
- c) En los muros contrarios al muro que recibe el viento preferencial.

Las salidas ubicadas en el techo pueden corresponder a una lucarna o a ventiladores eólicos.

En el caso de utilizar ventiladores eólicos para la salida del aire, se debe tener presente que su efectividad, al igual que en las aberturas, depende de la velocidad del aire y el gradiente térmico, además de la altura a la que se instale y que su ubicación sea tal que reciba las corrientes de aire sin interferencia. En este caso, la superficie de las aberturas de entrada de aire debe ser mayor a la suma de las secciones de los ductos de los eólicos.

Por ejemplo, si se considera instalar ventiladores eólicos de 60 cm de diámetro, se puede movilizar con cada uno, en condiciones desfavorables de viento y gradiente térmico, un total de $1230 \text{ m}^3/\text{h}$, (véase **Anexo 3**). Para llegar a $2520 \text{ m}^3/\text{h}$ se deberían utilizar:

$$2520 / 1230 = 2$$

Considerando lo variable de la velocidad del viento, se recomienda usar un coeficiente de seguridad de 100% y especificar la instalación de cuatro ventiladores eólicos de 60 cm de diámetro.

El área total de sección de los ductos de los eólicos es:

$$4 \pi \varnothing^2 / 4 = 4 \pi 60^2 / 4 = 11310 \text{ cm}^2 = 1,13 \text{ m}^2$$

Valor que, siendo del orden de la mitad de la superficie de entrada de aire, está de acuerdo con el criterio recomendado en referencia⁹.

2 Ventilación Forzada

La superficie de las aberturas para la salida o entrada de aire queda definida por la pérdida de carga que se considere razonable para el ventilador que se instalará.

El ventilador puede inyectar o extraer aire. En el caso que se utilice extracción, la descarga del ventilador se puede ubicar en la parte alta de los muros perimetrales o en el techo.

En el caso de las bodegas de inflamables, los equipos y su instalación eléctrica deben cumplir las exigencias de seguridad correspondientes.

Distribución de las entradas y salidas de aire

Tanto para la ventilación forzada como natural es recomendable que las entradas de aire se ubiquen a lo largo de la parte baja del muro que recibe la dirección preferencial del viento, mientras que las salidas estén en la parte alta del muro opuesto y/o en el techo.

En particular, para el caso de la ventilación natural es recomendable dejar aberturas de entrada y salida de aire en todos los muros perimetrales para mantener un buen nivel de ventilación, independiente de los cambios de velocidad. En el **Anexo 4** se presentan esquemas que orientan sobre la forma de ubicar las aberturas de entrada y salida de aire.

G. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE LA VENTILACIÓN

En base al análisis presentado anteriormente se recomienda:

1. Considerar que los envases son el sistema de control principal para evitar que los productos peligrosos generen en el ambiente concentraciones tóxicas y/o inflamables. En consecuencia, se debe exigir que su diseño cumpla con el grado de hermeticidad necesario y se mantenga durante su almacenamiento.
2. Determinar los caudales requeridos de ventilación por algunos de los siguientes métodos⁷:
 - 2.1. Cálculo basado en un modelo de estimación de las emisiones. Para bodegas, en general, el CO que proviene de las grúas horquillas con motores a combustión puede ser el contaminante significativo (ver Ejemplo 1). Para el caso de bodegas de inflamables, ver Ejemplo 2.
 - 2.2. Medición de las concentraciones de los gases o vapores contaminantes, método que se puede aplicar principalmente en el caso de las bodegas de inflamables.

(7) Esta recomendación se basa en lo indicado en particular para los líquidos inflamables por NFPA 30.

2.3. Para bodegas en general, considerar un caudal de ventilación que genere mínimo dos cambios por hora, tomando como base el volumen total de la bodega. En el caso particular de las bodegas de productos inflamables, considerar como mínimo un caudal de 0,3 m³/min por cada m² de superficie de bodega (1 pie³/min por pie²).

3. Utilizar ventilación natural sólo en el caso que el costado que recibe la dirección preferencial del viento no se encuentre bloqueado.

3.1. Dejar como mínimo una superficie de aberturas para la entrada de aire de:

$$A = 0,0023 \times V$$

Donde A es el área de las aberturas de entrada en m² y V el volumen físico total de la bodega en m³.

Este criterio considera obtener un promedio de a lo menos dos cambios por hora.

3.2. Las entradas de aire se deben ubicar en la parte baja del muro que recibe la dirección preferencial del viento.

3.3. Si es posible, además se recomienda dejar entradas de aire, con esta misma superficie, en todos los muros perimetrales.

3.4. Las salidas deben tener una superficie igual a la superficie de entrada y ubicarse en la parte alta del muro opuesto al de las entradas y/o en el techo.

3.5. Si para la salida del aire se utilizan ventiladores eólicos se puede calcular su caudal de acuerdo al ejemplo del **Anexo 3** y preventivamente utilizar un número que sea del orden del doble del calculado.

4. Al utilizar ventilación forzada ésta puede ser por inyección o extracción de aire, o ambas.

4.1. Las entradas o salidas de aire se pueden dimensionar en base a la pérdida de carga que se considere razonable para el ventilador que se instalará.

4.2. En el caso de las bodegas de inflamables, los equipos y su instalación eléctrica deben cumplir las exigencias de seguridad correspondientes.

4.3. Las entradas (o salidas) de aire se deben dejar en el costado opuesto al lugar donde extrae (o inyecta) aire el ventilador.

5. En el caso que no sea posible obtener el caudal mínimo recomendado, se debe realizar un estudio que verifique que no existen riesgos para el personal que trabaja en la bodega.

H. BIBLIOGRAFÍA

Warehousing Standards Bulletin N° 3, N° 13A, N° 13B y N° 15. www.awsacanada.com/AWSA06.

NFPA 30-2003 Edition. *Párrafo 4.3.4.4.*

“Use in well-ventilated area?”. *AIHA Journal 60:377-383.*

Recomendación tomada de Appendix A: *EPA 40 CFR Subpart B § 68.25.*

ASHRAE 1977 Fundamentals Handbook. *Chapter 21, pp. 21.11-21.13*

Decreto Supremo N° 78 / 2009. *Ministerio de Salud.*

I. ANEXOS DEL MANUAL



1. ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO DE UNA GRÚA HORQUILLA

En nuestra legislación no existe un límite de emisión específico para grúas de horquilla, pero se puede tomar como referencia el límite de emisión de 5,22 g de CO/km, que establece el Decreto Supremo N° 211/1991 del Ministerio de Transporte.

Asumiendo que una grúa horquilla se mueve a una velocidad promedio de 20 km/h, **la emisión de monóxido sería, en el caso de cumplir con el máximo, de:**

$$E = 5,22 \times 20 = 104 \text{ g/h}$$

Flujo que a 25° C y una atmósfera de presión total corresponde a:

$$q = (104/28) \times 82 \times (273+25)/1 = 90762 \text{ cc/h}$$

Como referencia para comparar el dato anterior se tiene el factor de emisión de 2 g de CO/Kw-h que indica la referencia⁸, con el cual para una grúa típica de 50 Kw se puede calcular la siguiente emisión:

$$E = 2 \times 50 = 100 \text{ g/h}$$

Valor que coincide con el calculado anteriormente y también con 0,2337 lb/h (106 g/h) utilizado en la declaración de impacto ambiental de la planta Virginia de Quilicura⁹.

Se debe tener presente que las emisiones de las grúas horquillas pueden ser muy variables, principalmente dependiendo de su nivel de mantención.

(8) L.L. Gaines, A. Elgowainy, and M.Q. Wang, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, October. <http://www.osti.gov/bridge>.

(9) Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto "Instalación de Bodega de Almacenamiento de Productos Inflamables en la Planta Quilicura de Virginia". AMBIOSIS.

2. ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE EVAPORACIÓN DE UNA POZA DE METANOL

Según Hummel⁽¹⁰⁾, la velocidad de evaporación de un líquido desde una poza puede ser bien estimada mediante la siguiente ecuación:

$$g = 8,79 \times 10^{-5} \text{PM}^{0,833} \times \text{VP} \times (1/(\text{PM}+29))^{0,25} \times (V/(\text{LxP}))^{0,5} \times T^{-0,05} \text{ (g/s cm}^2\text{)}$$

Donde:

- PM:** Peso molecular líquido que evapora.
- VP:** Presión de vapor del líquido, at.
- V:** Velocidad del viento, cm/s.
- P:** Presión total, at.
- L:** Longitud poza en dirección del viento, cm.
- g:** Velocidad de evaporación en g/s cm².
- T:** Temperatura ambiente, ° K.

Asumiendo que se derrama 1 litro (1000 cc) de metanol, se tienen los siguientes datos:

- PM:** 32; Peso molecular del metanol.
- VP:** 0,126 at; Presión de vapor del metanol.
- V:** 51 cm/s; Valor de velocidad del viento preventivamente alto para recinto cerrado.
- P:** 1 at; Presión total.
- L:** 31,62 cm; Longitud poza en dirección del viento, cm, suponiendo poza cuadrada de 1 cm de alto.
- T:** 293° K; Temperatura ambiente.

Reemplazando estos valores en la ecuación se obtiene:

$$g = 8,79 \times 10^{-5} 32^{0,833} \times 0,126 \times (1/(32+29))^{0,25} \times (51/(31,62 \times 1))^{0,5} \times 293^{-0,05} \text{ (g/s cm}^2\text{)}$$

$$g = 5,509 \times 10^{-6} \text{ g/s cm}^2$$

$$\text{Área poza} = 1000 \text{ cm}^2$$

$$\text{Densidad} = 0,79 \text{ g/cc.}$$

$$g = 5,509 \times 10^{-6} \times 1000 \times 0,79 = 0,00697 \text{ cc/s.}$$

Cada cc de líquido genera 593 cc de vapor a 25° C y 1 at, luego:

$$q = 0,00697 \times 593 = 4,1 \text{ cc/s} = 14890 \text{ cc/h.}$$

(10) Hummel A. et al.; AIHA Journal 57:519 - 525 1996.

3. CAUDAL EXTRAÍDO POR UN VENTILADOR EÓLICO

El caudal extraído por un ventilador eólico, en general, está determinado por la presión que ejerce el viento sobre la bodega, la diferencia de temperatura entre su interior y exterior y la succión que ejerce el giro del ventilador.

En forma aproximada este caudal, Q_{eolico} se puede estimar mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ecuación 1} \quad Q_{eolico} = Q_{PV} + Q_{conv} + Q_{giro}$$

Donde los caudales, m^3/h , inducidos por la presión del viento, Q_{PV} , por la diferencia térmica, Q_{conv} , y por el giro Q_{giro} , están dados por:

$$\text{Ecuación 2} \quad Q_{PV} = 203 \pi D^2 V$$

$$\text{Ecuación 3} \quad Q_{conv} = 120 \pi D^2 (H DT)^{1/2}$$

$$\text{Ecuación 4} \quad Q_{giro} = 2,9 D^2 (94 V - 189)$$

Para el presente caso se tienen los siguientes datos:

$D = 0,60$ m. Diámetro del ventilador eólico.

$H = 7$ m. Altura aproximada a la cual se instalarán los ventiladores.

$V = 3,6$ km/h. Velocidad igual a la mitad del valor promedio en Santiago.

$DT = 0,5^\circ$ C. Valor estimado preventivamente bajo.

Reemplazando estos valores en las ecuaciones se obtiene:

$$Q_{PV} = 203 \pi 0,62 \times 3,6 = 826,5 \text{ m}^3/h.$$

$$Q_{conv} = 120 \pi 0,62 \times (7 \times 0,5)^{1/2} = 254 \text{ m}^3/h.$$

$$Q_{giro} = 2,9 \times 0,602 (94 \times 3,6 - 189) = 156 \text{ m}^3/h.$$

$$Q_{eolico} = 826 + 254 + 156 = 1236 \text{ m}^3/h.$$

Valor que se aproxima a $1230 \text{ m}^3/h$.

4. DISTRIBUCIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE AIRE

En la **Figura 1** se presenta la distribución de entradas y salidas de aire que permiten una circulación efectiva del aire. En este caso se tienen entradas y salidas por la parte baja y alta de los muros. La salida por el techo corresponde a una lucarna, la que puede ser reemplazada por ventiladores eólicos.

Figura 1

