

# Ventilación de alojamientos de vacas de leche. Funciones y diseño.

## 1. Objetivos de la ventilación

La ventilación tiene como objetivo fundamental mantener la calidad del aire en el interior de los alojamientos animales. En efecto, determinadas patologías de tipo ambiental (neumonías de terneros, diarreas, mamitis) pueden controlarse consiguiendo una calidad adecuada del aire que los animales respiran, así como la higiene de las superficies del alojamiento, aunque esto último se sale de las pretensiones de este artículo. Qué se entiende por adecuado o suficiente –en cuanto a ventilación de alojamientos de vacuno de leche se refiere– no siempre se tiene suficientemente claro.

Los que son evidentes, son los objetivos de la ventilación, esto es, conseguir y mantener una atmósfera en la que:

- La salud de los animales sea la correcta y su producción sostenida.
- La mano de obra pueda desarrollar su trabajo en condiciones confortables y sin riesgo para su salud.
- Los edificios y su equipamiento estén protegidos de la corrosión u otros daños.

Por tanto, con una correcta ventilación se pretende:

- Aportar el oxígeno necesario (aire fresco) para el buen funcionamiento fisiológico de los animales.
- Eliminar los gases nocivos. En el interior de los alojamientos se producen, entre otros, los siguientes gases como consecuencia de la respiración animal y de la descomposición de sus deyecciones: CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SH<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, los cuales, debido a su diferente densidad, requieren sistemas capaces de extraerlos del interior de las naves. En la tabla 1 se señalan los límites de exposición a estos gases y al polvo en los edificios ganaderos.
- Eliminar el vapor de agua en exceso producido en la respiración de los animales así como por los sistemas de limpieza, en su caso.

Pensemos que una vaca de 650 kg puede eliminar 12 litros de agua al día en forma de vapor, cantidad equivalente a 1 mm de lluvia diaria en el establo.

Esta humedad en exceso debe ser evacuada obligatoriamente por el riesgo de degradación y envejecimiento acelerado del alojamiento y por los graves problemas sanitarios a los que están expuestos los animales. La humedad favorece el desarrollo microbiano y está en el origen de la mamitis, metritis y cojeras.

- Rebajar la temperatura del local. El calor producido por los animales se mitiga o reduce mediante la ventilación. Recordemos que el vacuno de leche soporta mejor las bajas temperaturas que las altas<sup>1</sup>.
- Eliminar el polvo y los olores corporales y de las deyecciones, que hacen desagradable el ambiente. Por otra parte, el polvo es un factor favorable para la aparición o agravamiento de trastornos respiratorios.
- Disminuir la concentración de microorganismos patógenos que se transmiten por vía aérea.

**Tabla 1. Límites de exposición a gases y polvo en alojamientos ganaderos (Wathes, C.M., 1994)**

	Límites de exposición para el hombre		Límites de exposición animal (máximo nivel continuo)
	Exp. larga (8 horas)	Exp. corta (10 min)	
Gases (ppm)			
NH <sub>3</sub>	25	35	20
CO <sub>2</sub>	5.000	15.000	3.000
CO	50	300	10
HCHO *	20	30	-
SH <sub>2</sub>	10	15	0,5
CH <sub>4</sub>	Asfixiante		-
NO <sub>2</sub>	3	5	-
Polvo (mg/m <sup>3</sup> )			
Fracción total inhalable	10	-	3,4 **
Fracción respirable**	5	-	1,7 **

\* Formaldehído; \*\* 24 horas de exposición

<sup>1</sup> En realidad, al aumentar la velocidad del aire sólo aumentamos la sensación de confort térmico del animal (al aumentar las pérdidas de calor por convección) pero no reducimos la temperatura del aire. Para ello, debemos refrigerarlo (ver Frisona Española Nº 196).

**Antonio Callejo Ramos.**

Dr. Ingeniero Agrónomo

Dpto. de Producción Animal-EUIT Agrícola-UPM. antonio.callejo@upm.es

La concentración de gases nocivos en alojamientos bien ventilados no suele ser un problema, ya que la mayor parte de ellos se producen en la descomposición aerobia o anaerobia de material orgánico como las deyecciones.

Sin embargo, sí habrá que prestar mayor atención a esta cuestión en los alojamientos con almacenamiento de deyecciones bajo los animales, como los que disponen de pasillos enrejillados.

Se parte de la base de que en todo momento el aire debe ser suficientemente limpio como para que sus componentes no interfieran sobre el bienestar y el rendimiento del animal. Esta hipótesis sólo puede asumirse si existe un nivel mínimo de renovación de aire que garantice que los animales no dispongan de "aire contaminado". Entre los componentes que pueden contaminar el aire encontramos diferentes gases y partículas en suspensión, que pueden tener importantes efectos sobre la salud humana y animal.

El origen de los distintos gases emitidos desde las explotaciones vacunas es variado. La mayoría de gases y los compuestos orgánicos volátiles se forman por acción de bacterias sobre distintos componentes de las deyecciones de los animales. En el caso del CO<sub>2</sub> el origen es también el intercambio gaseoso durante el proceso normal de la respiración.

En cuanto a los efectos sobre la salud, tanto la humana como la de los animales, la sintomatología y gravedad de estos efectos varían dependiendo de la concentración considerada, pero la exposición a estos gases básicamente conlleva una irritación de mucosas (NH<sub>3</sub> y SH<sub>2</sub>) o la aparición de cuadros nerviosos, dolor de cabeza, adormecimiento, vértigo... (CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>). En el caso de los compuestos orgánicos volátiles, el problema es la incomodidad que pueda causar su olor característico. Las concentraciones máximas aceptables oscilan entre las 10 y 50 ppm en el caso del SH<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, que por este motivo podrían considerarse como los gases más peligrosos entre los emitidos. Con una concentración máxima aceptable mayor se encuentra el CO<sub>2</sub> (5.000 ppm) y el CH<sub>4</sub> (1.000 ppm).

Tampoco es recomendable que el aire contenga una carga elevada de partículas en suspensión. Además, el efecto del polvo puede multiplicarse si se solapa con altas concentraciones de gases, por ejemplo, NH<sub>3</sub>.

El polvo constituye un riesgo potencial para la salud de los animales, ya sea como factor irritador del tracto respiratorio o como medio de protección y transporte de microorganismos. La concentración de polvo estará condicionada por factores como la humedad relativa, las actividades de los animales, la temperatura, la densidad animal, la velocidad del aire, la composición, textura y humedad de la ración y la distribución de ésta, y el material de cama y la forma de distribuirlo. Por el contrario, la concentración de polvo se puede reducir humedeciendo la ración o limpiando con frecuencia las superficies de los alojamientos y equipos.

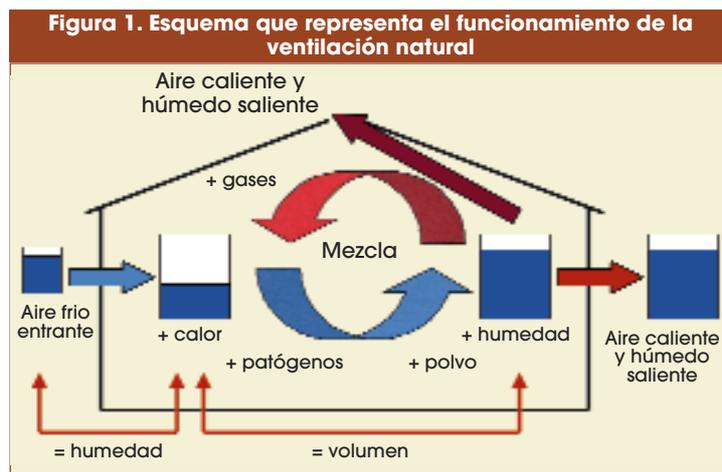
El tamaño de las partículas condiciona su velocidad de sedimentación, de forma que las más pequeñas quedan en suspensión y pueden ser inhaladas por los animales. Estas partículas generan irritaciones de la mucosa y enfermedades respiratorias de causa multifactorial, puesto que el polvo puede transportar agentes microbianos patógenos. En general, en granjas se recomienda no sobrepasar los 10mg/m<sup>3</sup> de polvo en suspensión.

## 2. Teoría de la ventilación

Recordemos que la **densidad** del aire es la masa de ese aire contenida en una unidad de volumen

del mismo. Se expresa habitualmente en kilos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>). Conforme aumenta la temperatura, el aire se expande y, por tanto, la densidad disminuye. Esta propiedad se conoce como fuerza o empuje térmico o, más coloquialmente, como "**efecto chimenea**".

El principio de la ventilación es simple. El aire fresco del exterior entra en el alojamiento, se mezcla con el existente en el interior, absorbe calor, humedad<sup>2</sup> y elementos en suspensión y sale del local gracias a las diversas fuerzas que provocan que el aire se mueva y que explicaremos posteriormente (figura 1).



Precisamente son los elementos que producen estas fuerzas los que sirven para diferenciar los dos sistemas principales de ventilación: la ventilación dinámica o forzada y la ventilación estática o natural.

### 2.1. Ventilación dinámica

En este sistema, el aire es introducido o extraído de la nave por ventiladores con un caudal determinado y, la mayor parte de las veces, con un funcionamiento dirigido por sistemas de control más o menos sofisticados.

Este sistema no es habitual en explotaciones lecheras. En ellas, el uso de ventiladores (cuando es el caso) se destina a forzar el movimiento y la velocidad del aire para combatir las altas temperaturas que se dan en algunas épocas en zonas determinadas (ver Frisona Española nº 196). En otras palabras, su misión no es renovar el aire sino simplemente moverlo.

### 2.2. Ventilación natural

En este sistema el movimiento del aire se produce gracias a fenómenos naturales como son:

- las diferencias de temperatura, de presión<sup>3</sup> o de ambas entre uno y otro lado del alojamiento y entre el exterior y el interior del mismo,
- las condiciones atmosféricas,
- el diseño y orientación del edificio, existencia de obstáculos en las proximidades del mismo, etc.

De lo expuesto podemos deducir que la ventilación natural tiene numerosos condicionantes y limitaciones y sus resultados dependerán, entre otros factores, de:

- La colocación y diseño de las aberturas del edificio por donde entra y por donde sale el aire.
- La diferencia de temperatura entre el interior y

<sup>2</sup> La mayor parte del calor y humedad son producidos por los animales presentes en el alojamiento.

<sup>3</sup> La presión se debe principalmente a la acción del viento sobre el alojamiento.

## Ventilación de alojamientos de vacas de leche

el exterior.

- La pendiente de la cubierta.
- La orientación del edificio respecto a los vientos dominantes, y la velocidad de éstos.
- La altura del edificio.
- La velocidad del aire en el interior del local y exposición a estas corrientes de aire.

Debido a las variaciones climáticas estacionales se ha desarrollado el concepto de "estaciones de ventilación" para tratar de definir unas necesidades mínimas de ventilación para cada una de ellas (tabla 2).

Tabla 2. Tasas mínimas de ventilación recomendadas (elaboración propia, a partir de datos de Tyson, 2005)	
Estación de ventilación	Tasa de ventilación (m <sup>3</sup> /hora y vaca)
Invierno	85
Primavera-Otoño	340
Verano	850-1.700

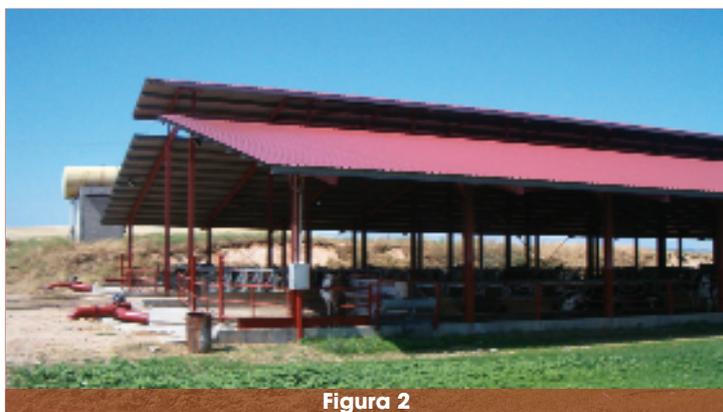
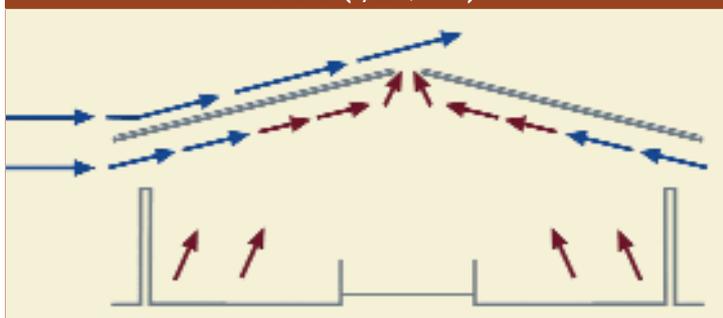


Figura 2



Figura 3

Figura 4. Esquema del efecto chimenea en la ventilación natural (Tyson, 2003)



Así, con la *ventilación de invierno* se trata fundamentalmente de aportar aire fresco y eliminar exceso de humedad y de gases. Se determina por balance de humedad.

La *ventilación de primavera* y de otoño debe eliminar exceso de humedad y controlar la temperatura, por lo que se determina mediante balance de calor.

La *ventilación de verano* debe tratar de reducir el incremento de calor y aumentar el movimiento del aire. El objetivo es que la temperatura interior se mantenga, al menos, 3° por debajo de la exterior.

Dadas las condiciones climáticas de nuestro país, nos referiremos preferentemente a alojamientos donde el control de la ventilación se limita, en la práctica, a garantizar las necesidades mínimas en invierno y a mover y refrigerar el aire en verano. Por tanto, naves, en general, muy abiertas (figuras 2 y 3).

### 2.2.1. Efecto chimenea

Una de las causas del movimiento natural del aire es el conocido como "efecto chimenea" o, por emplear términos más técnicos, empuje térmico. Cuando el aire entra en el alojamiento, se calienta debido al calor disipado por los animales y la fermentación de las deyecciones y, al perder densidad, se eleva y sale al exterior por las aberturas dispuestas al efecto, bien sean chimeneas o más habitualmente una abertura continua en la cumbrera de la cubierta o caballete. El aire al salir crea una ligera depresión en el interior que provoca la entrada del aire desde el exterior al tener en este punto una presión ligeramente superior a la que existe dentro. Este fenómeno se ilustra en la figura 4.

El caudal de aire mediante ventilación natural debido al efecto chimenea puede determinarse a partir de la siguiente ecuación empírica:

$$Q = 2 A \sqrt{\frac{g \Delta h (T_i - T_o)}{T_i}} i;$$

donde:

Q: caudal de aire (m<sup>3</sup>/s)

A: sección de entrada o de salida de aire (m<sup>2</sup>), si ambas son iguales

G: constante gravitacional (9,8 m/s<sup>2</sup>)

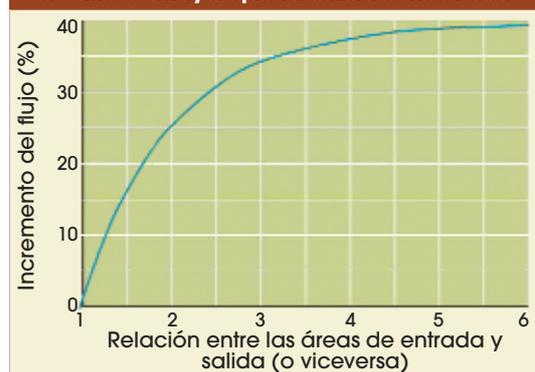
h: diferencia de altura entre la entrada y la salida del aire (m)

T<sub>i</sub>: temperatura interior (K) (K = °C + 273)

T<sub>o</sub>: temperatura exterior (K)

Si las áreas de entrada y salida tienen valores diferentes, el valor de Q se corrige multiplicándolo por el coeficiente obtenido de la figura 5.

Figura 5. Aumento de la tasa de ventilación debido al efecto chimenea cuando la entrada de aire es mayor que la salida o viceversa



## Ventilación de alojamientos de vacas de leche

De la ecuación se deduce que el efecto chimenea se ve favorecido por la diferencia de altura entre las entradas y salidas de aire, o lo que es lo mismo, por la pendiente de la cubierta. Cuanto más pronunciada sea ésta, mayor será esa diferencia de altura.

Sin embargo, salvo en zonas donde la nieve sea un elemento habitual, la tendencia actual es a construir naves con pendientes de cubierta que raramente superan el 20 por 100. En este caso, se puede incrementar la diferencia de altura  $h$  de forma "artificial" colocando un peto en los laterales de la nave y a lo largo de ella, justo bajo el alero, de forma que el aire deba entrar por debajo de dicho peto, tomando la precaución de que el aire entre a una altura mínima de 2 m sobre el máximo nivel del suelo sobre el que viven los animales para evitar que les alcancen corrientes de aire frío. Esta circunstancia obliga a que la altura de las fachadas de las naves esté por encima de los 4 m, lo que tiene la ventaja de favorecer el volumen estático de aire que requieren los animales.

Del mismo modo, de la ecuación anterior se de-

duce que el caudal de ventilación depende directamente de la superficie de entrada y salida de aire. Como hemos comentado, lo más habitual es dejar la cumbrera del tejado abierta para permitir la salida de aire, más caliente que el que entra. Esta superficie generalmente es fija, no puede modificarse, por lo que hay que establecer un valor mínimo que permita asegurar la salida de un adecuado caudal. El valor mínimo recomendable es de 3 cm de anchura de caballete por cada metro de anchura que tenga la nave (figura 6), aunque este valor puede ser excesivo en países con veranos menos calurosos que el nuestro.

La figura 7 muestra diversas posibilidades en el diseño de la cumbrera. Si esta abertura en la cumbrera está protegida por un tejadillo para evitar la entrada de lluvia o nieve (c), se debe aumentar entre un 25 y un 30 por 100 para compensar la pérdida de eficacia que se produce en la ventilación.

La simple apertura del caballete con unas prolongaciones verticales (b) es la mejor solución. El solapamiento de los faldones de la cubierta (e) es una forma simple y efectiva de evitar que el agua y la nieve puedan entrar, salvo si el viento sopla en la dirección de la abertura. Esto se puede evitar colocando un deflector vertical (f). En nuestro país, donde los problemas de nieve son muy puntuales y de escasa duración, la solución más habitual es la (c), aceptando que, en caso de ventiscas, la nieve entrará en el alojamiento, salvo que se coloquen dos deflectores verticales a ambos lados de este tejadillo (d). La solución (a) no evita que entre agua y lluvia en el interior, pero se puede colocar un canal para recoger estas precipitaciones (g).

Cuando se dispongan tejadillos de protección, la suma de las secciones de las aberturas laterales debe ser, al menos, la de la sección del caballete (figura 8). No parece que esto se cumpla en la nave de la figura 6.

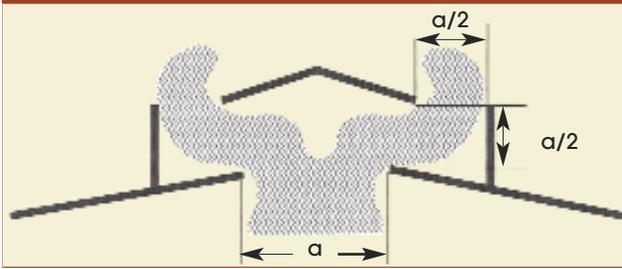
Figura 6. Aberturas mínimas del caballete



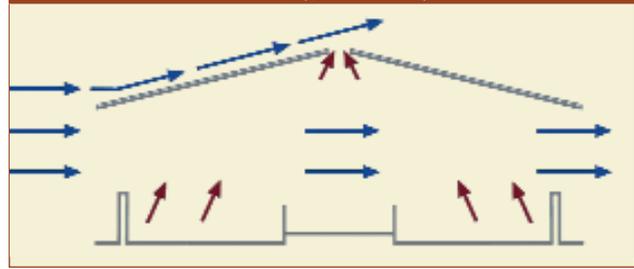
Figura 7. Distintas disposiciones de la cumbrera

Cumbrera abierta	Deflectores verticales	Tejadillo	Tejadillo con deflectores
<b>A</b> Puede entrar agua y nieve.	<b>B</b> La lluvia o nieve arrasada por el viento es desviada por los deflectores, aunque puede caer dentro del establo una pequeña cantidad.	<b>C</b> Sin viento, las precipitaciones no caen en el interior. Si el viento sopla, puede entrar agua o nieve bajo el tejadillo.	<b>D</b> Tanto con viento como sin él, el agua o la nieve no penetran en el establo. Deben dimensionarse bien las aberturas para no comprometer la salida de aire.
Faldones solapados	Faldones solapados con deflector	Canalón interior	
<b>E</b> Si el viento sopla de este lado (1), el agua o nieve son desviados. Si el viento sopla de este lado (2), entra agua o nieve. Sin viento las precipitaciones no entran en el establo.	<b>F</b> Si el viento sopla de este lado (1), el agua o nieve son desviados. Con viento o sin él, las precipitaciones son desviadas. Deben dimensionarse bien las aberturas para no comprometer la salida de aire.	<b>G</b> El canalón recoge el agua o la nieve que haya podido entrar.	

**Figura 8. Los tejadillos no deben suponer una limitación a la salida del aire**



**Figura 9. Esquema del efecto viento en la ventilación natural (Tyson, 2003)**



### 2.2.2. Efecto viento

Es la segunda de las fuerzas que actúa en la ventilación natural, de forma que su efecto es mayor que el efecto chimenea cuanto mayor es su velocidad (figura 9), y cuanto más similares son las temperaturas externa e interna (como sucede en verano), situación en la que el efecto chimenea tiene escasa importancia.

El caudal de ventilación debido a la acción del viento puede expresarse mediante la siguiente ecuación empírica:

$$Q = E A V_w$$

donde:

- Q:** caudal de aire (m<sup>3</sup>/s)
- E:** efectividad de entrada de aire debida a la orientación del edificio  
0,5-0,6 cuando el viento sopla perpendicularmente  
0,25-0,35 cuando lo hace con una inclinación superior a 20° respecto a la perpendicular
- A:** superficie de entrada de aire (m<sup>2</sup>)
- V<sub>w</sub>:** velocidad efectiva del viento según la altura de entrada de aire y la exposición del edificio (m/s):

$$V_w = V_o (h_x / h_o)^a$$

donde:

- V<sub>o</sub>:** velocidad del viento a una altura estándar de 10 m (m/s)<sup>4</sup>
- h<sub>x</sub>:** altura al centro de la entrada de aire (m)
- h<sub>o</sub>:** altura estándar (10 m)
- a:** coeficiente según la exposición del edificio en función del terreno circundante:  
0,14 para terrenos muy llanos (superficies de lago)  
0,20 para terrenos llanos en campo abierto  
0,28 para árboles dispersos y edificios bajos  
0,40 para terrenos ondulados con árboles o edificios altos

De estas dos ecuaciones se deduce cómo la ventilación se ve afectada por factores de construcción y diseño tales como:

- la orientación de los edificios,
- las superficies de entrada de aire
- la altura a la que se disponen éstas, y
- la ubicación de los edificios en el terreno circundante.

En efecto, la existencia de árboles, edificios o accidentes del terreno en las proximidades de un establo provoca que el movimiento del aire se vea

entorpecido a una distancia de 5 a 10 veces la altura de dichos "obstáculos". Por ello, el coeficiente "a" de la última ecuación va aumentando.

La siguiente ecuación puede utilizarse para determinar la distancia mínima de separación de un edificio dado:

$$D_{min} = 0,73 H \sqrt{L}$$

donde:

- D<sub>min</sub>:** distancia de separación (mínimo, 15 m)
- H:** altura máxima del edificio o árboles próximos (m)
- L:** longitud de dicho edificio o de la masa arbórea (m)

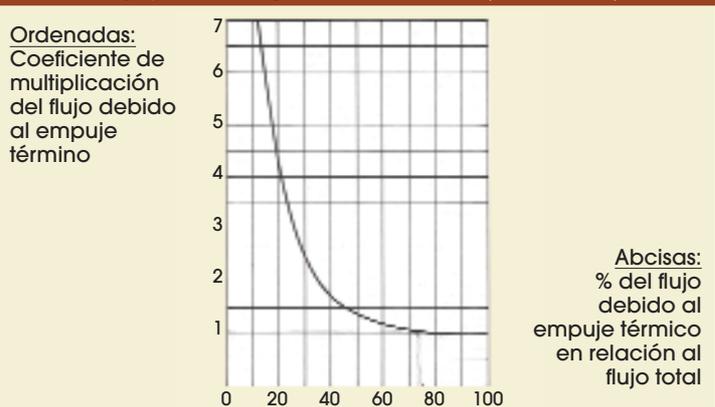
### 2.2.3. Efectos viento y chimenea combinados

En la práctica, el empuje térmico y la presión debida al viento suelen actuar conjuntamente, salvo en ausencia total de viento. Como la velocidad y dirección de éste, la temperatura exterior y la ventilación interior no pueden ser predichas con precisión, no se justifican cálculos muy sofisticados. Este cálculo simplificado supone:

1. Calcular por separado cada uno de flujos debidos a ambas fuerzas.
2. Sumar ambos flujos
3. Calcular la proporción del flujo de aire producido por el efecto chimenea en relación a la suma de los dos, calculada en 2).
4. Introducir este dato en el eje X de la figura 10 y hallar en el eje Y el valor que intersecciona con la curva.
5. Multiplicando este valor por el del flujo debido al empuje térmico se obtiene el valor del flujo debido a la acción combinada de ambos efectos.

Cuando los dos flujos son iguales, el flujo combinado es un 30% superior que el originado por cualquiera de los dos efectos.

**Figura 10. Cálculo del flujo resultante de la combinación del empuje térmico y del efecto viento (ASABE, 1983)**



<sup>4</sup> Consultar la Norma Básica de la edificación NBE-AE-88: Acciones en la Edificación)

# Ventilación de alojamientos de vacas de leche

## 2.2.4. Orientación de los edificios

Anteriormente ya se ha señalado la orientación del edificio como factor influyente en el movimiento del aire en su interior, fundamentalmente por su mayor o menor exposición al viento y a la radiación solar.

La orientación de los alojamientos debe tener en consideración tres aspectos principales:

- La protección contra los vientos dominantes
- La insolación óptima del edificio
- La situación con relación a cualquier edificio cercano o a todo obstáculo natural que pueda suponer un problema a la libre circulación del aire o que ayude a generar corrientes (efecto pasillo).

La orientación de las naves más recomendable es con el eje longitudinal del edificio orientado de este a oeste, con una fachada principal al sur y la otra al norte, perpendicular a los vientos dominantes del norte y del sur. Se consigue así una buena ventilación natural de la nave, evitando la aparición de turbulencias. Es una orientación adecuada para climas cálidos que facilita la ventilación natural al estar siempre una fachada más fría que la otra; además, la superficie expuesta al oeste debe ser la menor posible, de forma que no se produzcan grandes insolaciones en verano. Finalmente, el sol de invierno, que sube poco en el cenit, penetrará por la fachada orientada al sur, mientras que en verano el alero de la nave actuará de parasol y protegerá a los animales de la insolación directa.

En zonas con climas templados y nubosidad elevada, el eje longitudinal puede ser orientado indistintamente en cualquier dirección. En zonas de vientos fuertes, el eje mayor del edificio seguirá la dirección de los vientos dominantes aunque se sacrifique la mejor orientación respecto al sol. Finalmente, en el caso de zonas extremadamente frías (no es el caso de nuestro país), y a no ser que los vientos dominantes aconsejen otra orientación, la disposición longitudinal de la nave sería diferente en 90°, es decir, norte-sur.

Si el eje longitudinal se sitúa perpendicular a los

vientos dominantes permitirá una mejor ventilación natural del alojamiento al aprovechar el llamado efecto viento.

Si el edificio es muy largo, se podrá situar uno de los hastiales o extremos de la nave cara al viento, a condición de que este extremo se cierre con un cortavientos para evitar corrientes de aire frío en invierno.

En el número anterior de Frisona Española (nº 196) pueden verse algunas figuras que ilustran perfectamente lo que acabamos de exponer.

En cualquier caso, el comportamiento de la ventilación debida al viento es bastante complejo. En primer lugar, su velocidad y dirección cambian constantemente. No son infrecuentes variaciones de la velocidad de  $\pm 100\%$  respecto al valor medio de los últimos 5 minutos. Del mismo modo, aunque la dirección del viento suele oscilar, en  $\pm 25^\circ$ , tampoco son anormales variaciones de entre 45 y 70° respecto a la dirección dominante.

El flujo de aire debido al viento crea alrededor y sobre un edificio una serie de zonas donde la presión estática puede ser superior, inferior o neutra respecto a la del aire en calma (figuras 11 y 12), y cuya magnitud depende de:

- la velocidad media del viento
- la dirección predominante del viento,
- la geometría del edificio
- las variaciones diarias y estacionales de la velocidad y dirección del viento
- las interferencias por cercanía de edificios, árboles, colinas u otros obstáculos.

## 2.3. Problemas de una ventilación deficiente

Son diversas las evidencias de que la ventilación de un edificio ganadero no se realiza correctamente. Las sintetizamos en los siguientes puntos:

- Olor a amoníaco
- Desarrollo fúngico
- Camas húmedas
- Señales de oxidación en elementos metálicos
- Condensaciones
- Animales mojados
- Distribución heterogénea de los animales

Para evitar la condensación, la única solución es reducir la humedad dentro del edificio aumentando el caudal de ventilación (si se puede)<sup>5</sup> o incrementar la temperatura de la superficie donde se produce la condensación. Para hacerlo, se debe incorporar a esa superficie un aislamiento térmico lo que, en alojamientos para vacuno lechero, sólo se suele hacer en la cubierta, bien con paneles sándwich o proyectando espuma de poliuretano en la cara interior de la cubierta.

La distribución heterogénea de los animales cuando la mayor parte de éstos no están en el comedero es también un signo muy evidente de que la ventilación presenta deficiencias. Ello conduce a una densidad de ocupación baja en las zonas donde el ambiente es menos confortable y a acumulación de animales allí donde, en principio, hay un mejor ambiente.

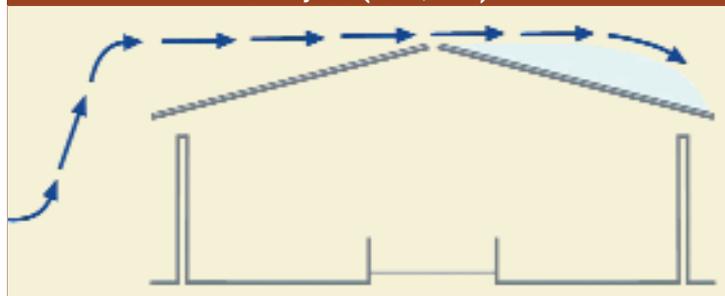
En el primer caso, al haber pocos animales, habrá una insuficiente producción de calor y un insuficiente movimiento del aire. El ambiente será frío y húmedo y aumenta la sensación de disconfort.

En el segundo, se producirá una excesiva cantidad de vapor de agua y de gases y una mayor

**Figura 11. Localización de áreas de presión adyacentes a las fachadas y extremos de un edificio cerrado (ASAE, 1983)**



**Figura 12. Presión negativa (succión) en el lado de sotavento de un tejado (ASAE, 1983)**



<sup>5</sup> En invierno es comprometido aumentar el caudal de ventilación pues suele suponer un descenso de la temperatura interior, aunque en vacas lecheras esto tampoco supone un inconveniente grave.

## Ventilación de alojamientos de vacas de leche



Figura 13

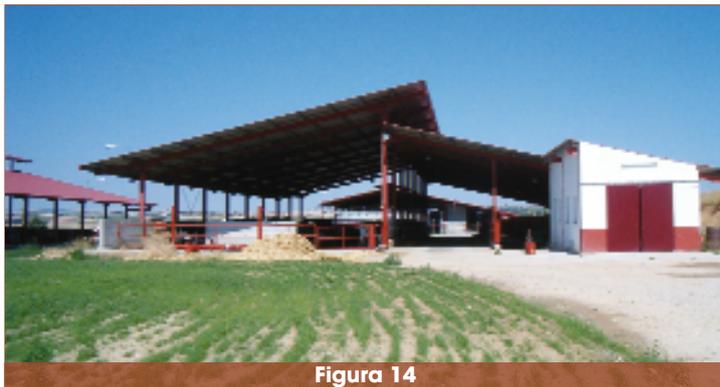


Figura 14



Figura 15

densidad microbiana y de riesgos patológicos al ser insuficiente el caudal de ventilación por no estar prevista esta superior densidad de animales.

Las figuras 13 a 16 muestran edificios amplios, altos y bien ventilados.

Las figuras 17 a 21 muestran naves cuyas superficies de salida de aire por la cumbre es nula o claramente insuficiente.



Figura 16



Figura 17



Figura 18

Figura 19

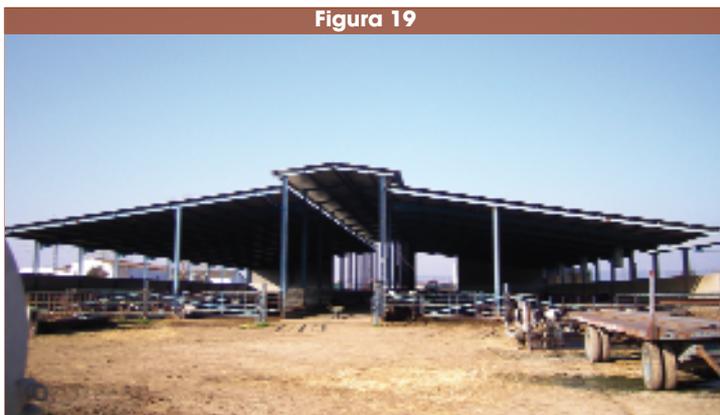


Figura 20



Figura 21



### 3. Volumen de aire estático

Un detalle importante, y frecuentemente ignorado, es que para una adecuada ventilación y para lograr y mantener una calidad de aire correcta, una nave necesita tener suficiente volumen, lo que se denomina **volumen estático** de aire. El aire que circunda al animal debe cumplir la función de aporte del oxígeno preciso para la respiración. Ello se consigue por medio del diseño equilibrado de un volumen de aire almacenado y un mínimo de aire renovado. En las condiciones normales de edificación y con las formas típicas de las granjas de vacas, el volumen de aire almacenado por metro cuadrado oscilará entre 2,5 y 5,0 m<sup>3</sup>. El volumen de aire circundante o volumen de aire estático aconsejado se señala en la tabla 3, que expresa el volumen mínimo y óptimo de aire estático que requieren los distintos tipos de animales que encontramos en una granja de vacas de leche. Si garantizamos la superficie mínima aconsejada por animal el volumen se logra dando altura a las naves. De ahí que los alojamientos de vacas lecheras que se construyen en los últimos años sean altos, voluminosos. Ello permite que el aire caliente y enrarecido esté más alejado de los animales, al ir ascendiendo. Al ser más altos, también se favorece el efecto chimenea.

### 4. Cortinas cortavientos

El clima de una gran parte de nuestro país combina inviernos fríos con veranos muy calurosos. En estas circunstancias es preciso encontrar algún sistema que nos proporcione una gran superficie de entrada de aire en verano y más limitada en invierno, pero respetando las necesidades mínimas de entrada de aire (tabla 4) y evitando las corrientes de aire frío.

Una buena solución se ha encontrado en la instalación de placas o cortinas cortavientos, sobre todo en los lados de la nave expuestos a vientos fríos. Estos elementos permiten reducir la velocidad del aire que entra (evitando corrientes) sin disminuir la superficie real de entrada de aire y no comprometiendo así el caudal mínimo necesario para ventilación invernal.

Estos cortavientos están fabricados en diversos materiales (plástico, madera, metal) y deben ser desmontables o enrollables cuando las temperaturas no hagan necesario su uso. Están definidos por dos coeficientes:

- **E:** Eficacia, coeficiente de reducción de la velocidad del viento
- **CM:** Coeficiente multiplicador. Permite calcular la superficie de cortaviento que corresponde a la entrada necesaria de aire libre (tabla 4). Por ejemplo, 1 m<sup>2</sup> de superficie libre requiere 2,6 m<sup>2</sup> de cortaviento con un CM de 2,6, o 6 m<sup>2</sup> si CM es igual a 6.

Los valores recomendados del coeficiente E figuran en la tabla 5.

En la figuras 22 a 25 se exponen algunos modelos de cortavientos.

Tabla 3. Recomendaciones sobre volumen de aire estático (Callejo, 1998)

Tipo de animal		Volumen mínimo (m <sup>3</sup> /cabeza)	Volumen óptimo (m <sup>3</sup> /cabeza)
VACUNO	Vaca lechera alta producción (> 7.000 kg)	25	35-40
	Vaca lechera media producción (< 7.000 kg)	20	30-35
	Vaca seca		
	Novillo ≥ 600 kg		
	Novilla 400 kg	12	20-25
	Novillo joven 350 kg		
	Ternera de 200 kg		
	Ternero de cría de 150 kg		
Ternero recién nacido	5	6-10	

Tabla 4. Superficies mínimas de entrada y salida de aire

Tipo de animal	Entrada de aire (m <sup>2</sup> /animal)	Salida de aire (m <sup>2</sup> /animal)
Vaca lechera > 7.000 kg	0,3	0,3
Vaca lechera < 7.000 kg	0,24	0,24
Vaca seca		
Novillo < 600 kg		
Novilla 400 kg	0,16	0,16
Novillo joven 350 kg		
Ternera 200 kg	0,04	0,04
Ternero de cría 150 kg		

Tabla 5. Valores recomendados del coeficiente E para la instalación de cortinas cortavientos (Institut de l'Elevage, 2003)

Ubicación del cortavientos	Animales adultos	Animales jóvenes
Pared próxima a los animales <sup>1</sup>	E ≥ 0,80	E ≥ 0,85
Pared alejada de los animales <sup>2</sup>	E ≥ 0,60	E ≥ 0,70
A una distancia de 4-10 m	E ≥ 0,50	

<sup>1</sup> Por ejemplo, área de reposo a lo largo de la pared

<sup>2</sup> Por ejemplo, pasillo de alimentación junto a la pared

Figura 22



# Ventilación de alojamientos de vacas de leche



Figura 23



Figura 24

## 5. Evaluación de la ventilación

Finalmente deberíamos poder evaluar la calidad de la ventilación de una nave a partir de unos pocos parámetros y fáciles de medir. Hemos adaptado la propuesta de Graves y McFarland elaborando una sencilla tabla (Tabla 6) de fácil lectura e interpretación, que permite determinar el Factor de Ventilación Natural (NVF en sus siglas en inglés). Son tres los factores de riesgo que se consideran: entradas de aire, orientación del edificio respecto a vientos dominantes y exposición a vientos. Debemos determinar, para cada uno de estos tres factores, cuál es la situación que se aproxima más a la de la nave cuya ventilación estamos evaluando, de las que se señalan en cada columna. Por último, debemos sumar el número que figura entre paréntesis en la primera fila de la tabla y comparar esta suma con el valor que nos marca la última fila y que determina la valoración de la ventilación de la nave.

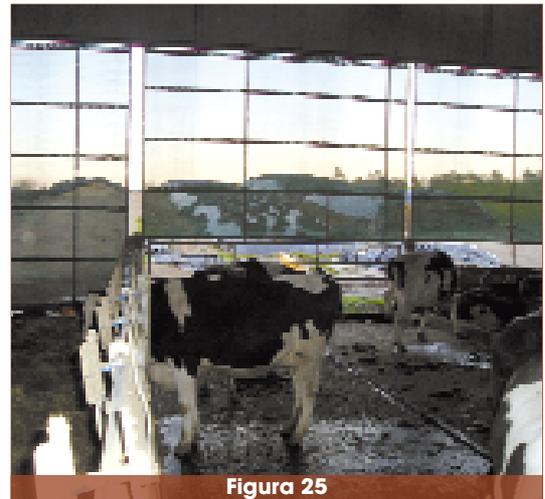


Figura 25

Tabla 6. Factor de Ventilación Natural (NVF) (adaptado de Graves y McFarland, 2011)			
Factor de riesgo	Mejor (1)	Medio (2)	Peor (3)
Entradas de aire	$A_c \leq 1 \text{ m}^2/\text{vaca}$ $R_w > 3 \text{ cm/m}$	$A_c = 0,65 - 1 \text{ m}^2/\text{vaca}$ $R_w = 2-3 \text{ cm/m}$	$A_c < 0,65 \text{ m}^2/\text{vaca}$ $R_w < 2 \text{ cm/m}$
Orientación respecto vientos dominantes	Perpendicular	Diagonal	Paralela
Exposición a vientos	Amplia, terreno llano, sin obstáculos	Árboles aislados y pequeños edificios	Terreno ondulado, con árboles altos, edificios y/o terraplenes
$A_c$ : Superficie lateral $R_w$ : abertura cenital <b>NVF ≤ 4:</b> Buena ventilación natural; <b>NVF = 5 a 7:</b> Ventilación natural comprometida <b>NVF ≥ 8:</b> Ventilación natural muy comprometida			

**Ejemplo:** Imaginemos un alojamiento de vacas lecheras en el que:

- las entradas laterales de aire tienen una superficie comprendida entre 0,65 y 1 m<sup>2</sup>/vaca alojada en él, por lo que para este factor estaríamos en una situación media. **VALOR: 2.**
- La orientación del edificio respecto a los vientos dominantes es paralela, por lo que la situación es mala. **VALOR: 3**
- Alrededor de esta nave hay unos pocos árboles y pequeños edificios. La situación es media. **VALOR: 2.**

La suma sería 2 + 3 + 2 = 7, es decir, la ventilación estaría comprometida

## Conclusiones

En este trabajo hemos querido la importancia que tiene la ventilación para conseguir unas adecuadas condiciones ambientales, lo que no siempre es fácil debido a la variabilidad de las condiciones climáticas, de alojamientos, de acceso al exterior y

a los diversos diseños de los alojamientos.

Es esencial realizar un correcto diseño de las instalaciones que van a albergar los animales. Así, debe considerarse la mejor orientación, dimensionar los volúmenes adecuados y las correctas entradas y salidas de aire.

Si hay que errar en algo, que sea por exceso. Unas entradas y salidas de aire excesivas tienen más posibilidad de reducirse que de ampliarse si aquéllas son insuficientes.

Cada granja tiene su particular análisis. Visitar otras granjas puede ayudar a coger ideas, y a evitar errores. Debemos pensar siempre que los fundamentos son generales pero las soluciones siempre son particulares.

