

# Climatización de los alojamientos ganaderos (y II)

## Introducción al control ambiental

Tras repasar en el anterior número (MG nº 239, junio 2011) la influencia de las variables ambientales sobre la productividad en las distintas especies ganaderas, a continuación se aborda el control ambiental en las instalaciones.

**A. Daza**

Departamento de Producción Animal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

**E**n las explotaciones intensivas en estabulación (porcino, aves, conejos, estabulaciones libres, cebra-deros de corderos y de terneros, etc.), el control térmico de los alojamientos se logra mediante aislamiento de cubiertas y muros, ventilación estática y dinámica, calefacción y refrigeración evaporativa. Además, la ventilación aporta oxígeno para la respiración y elimina polvo en suspensión, humedad y gases nocivos para los animales y cuidadores (monóxido de carbono, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, metano, etc.).

### Aislamiento

La capacidad de un material de construcción para transmitir calor se estima mediante el coeficiente de conductividad  $\lambda$ , que se define como la cantidad de calor (expresada en kcal/m.hora.°C) que atraviesa una capa de un metro de espesor y de un metro de superficie, durante una hora, cuando la diferencia de temperatura entre ambas caras es de 1 °C. Cuanto menor sea el valor de  $\lambda$ , mayor es el poder aislante del material utilizado. Así, los aislantes clásicos tales como fibra de vidrio, lana mineral, poliestireno expandido, poliuretano, vidrio celular, etc., tienen valores de  $\lambda$  entre 0,02 y 0,04, mientras que los materiales de construcción convencionales (ladrillo, bloques de hormigón, etc.) tienen valores de  $\lambda$  entre 0,3 y 1,2.

El coeficiente de transmisión del calor K se define como el calor, expresado en kilocalorías/m<sup>2</sup>.hora.°C, que atraviesa 1 m<sup>2</sup> de elemento constructivo (cubierta, muro o suelo de un alojamiento ganadero) durante una hora para una diferen-

cia de temperatura de 1 °C entre la cara caliente y la cara fría del precitado elemento. En la elección de un material aislante debe tenerse en cuenta la relación precio:poder aislante y la vida útil del mismo.

Para estimar el valor de K de un alojamiento ganadero "a priori" debe aplicarse la ecuación de equilibrio térmico del alojamiento ganadero que tiene de estructura:

$$Q + CA = P + V$$

en donde:

- Q = calor sensible producido por los animales (fundamentalmente por radiación).
- CA = calor suministrado por los aparatos de calefacción del alojamiento cuando existan (evidentemente, cuando no existan en el alojamiento CA = 0). En la mayoría de los casos (excepto en los segmentos productivos de maternidad y transición en ganado porcino y en el cebo de pollos), en nuestras latitudes CA = 0.
- P = calor total perdido por los elementos constructivos del alojamiento (cubierta, muros y suelo).
- V = calor perdido inherente a la renovación de aire del alojamiento (ventilación).

El valor de Q es variable según especie animal, nivel de productividad y condiciones ambientales, y aumenta conforme disminuye la temperatura ambiente y se va reduciendo por kg de peso vivo a medida que aumenta el peso del animal. Como dato simplemente referencial (la bibliografía al respecto dispone de un importante número de tablas que cuantifican el calor sensible producido por los

animales de interés zootécnico según condiciones ambientales), en el caso del ganado porcino puede estimarse que, a temperaturas comprendidas dentro del intervalo termoneuro, el calor sensible producido por los animales jóvenes y adultos se sitúa entre 1,5 y 2, y 0,75 y 1 kcal por kg de peso vivo y hora respectivamente. Así por ejemplo, un lechón de 20 kg produce 2 kcal de calor sensible por kg de peso vivo y hora, mientras que una cerda de 210 kg produce sólo la mitad por kg de peso vivo y hora.

El valor de P responde a la ecuación:

$$P = K.S.(T_i - T_e)$$

en donde:

- K = coeficiente de transmisión del calor.
- S = suma de las superficies de cubierta y muros del alojamiento y de una superficie perimetral del suelo del mismo de una anchura de 1-2 m.
- $T_i$  y  $T_e$  = temperaturas interior y exterior del alojamiento expresadas en °C.

El valor de V se calcula mediante la expresión:

$$V = C.N.0,3.(T_i - T_e)$$

en donde:

- C = caudal de aire que renovar expresado en m<sup>3</sup> por animal y hora.
- N = número de animales alojados.
- $T_i$  y  $T_e$  = temperaturas interior y exterior del alojamiento expresadas en °C.

El valor de C en ganado porcino es, aproximadamente, de 0,2 m<sup>3</sup> por kg de peso vivo y hora en invierno, y de 2 m<sup>3</sup> en verano (unas diez veces más), y en rumiantes de 0,5 y 1,5 m<sup>3</sup> por kg de peso vivo y hora en invierno y verano, respectivamente. En aves, los valores de C pueden estimarse en 0,00018 y 0,0016 m<sup>3</sup> por kg de peso metabólico (peso vivo del ave elevado a 0,75) y segundo en invierno (ventilación mínima) y verano (ventilación máxima) respectivamente.

Si CA = 0, el valor de K será:

$$K = [Q - C.N.0,3.(T_i - T_e)] / S.(T_i - T_e)$$

Una vez estimado el valor de K del alojamiento se estima que un buen aislamiento del mismo debería observar valores de K para cubierta y muros de K-0,15 y K+0,10, respectivamente. En alojamientos porcinos diseñados en España se sugieren valores de K de 0,3-0,6 y de 0,6-0,7 para cubiertas y muros, respectivamente, debiéndose reducir el valor de K a medida que disminuya la temperatura de la zona donde vaya a ser construido el alojamiento. Para explotaciones avícolas y



cunícolas, el coeficiente de transmisión del calor K debe observar valores de 0,6-0,8 y 1-1,1 para cubiertas y muros, respectivamente.

Una vez estimado K, el espesor en metros del aislante que utilizar  $E_a$  con un valor del coeficiente de conductividad  $\lambda_a$  expresado en kcal/m.hora.°C se obtiene mediante la expresión:

$$1/K = 1/20 + 1/7 + 1/\beta + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2 + e_3/\lambda_3 + \dots + e_n/\lambda_n + E_a/\lambda_a$$

en donde:

- 20 = coeficiente de cambio superficial exterior (kcal/m<sup>2</sup>.hora.°C).
- 7 = coeficiente de cambio superficial interior (kcal/m<sup>2</sup>.hora.°C).
- $\beta$  = coeficiente eficaz de la cámara de aire (cuando exista) de valores 6,2; 5,2; y 4,7 kcal/m<sup>2</sup>.hora.°C, para espesores de la misma de 1, 2 y > de 5 cm respectivamente.
- $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$  = espesores en m de los materiales del elemento constructivo.
- $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  = coeficientes de conductividad de los citados materiales en kcal/m.hora.°C.

### Ventilación

La ventilación estática es muy utilizada en las explotaciones de rumiantes (estabulaciones libres, cebaderos de terneros, etc.) y en las de animales monogástricos en invierno. Se genera por la acción del viento y por la diferencia de temperatura entre el interior y exterior del alojamiento. El aire se mueve según la dirección del viento y desde las zonas frías de mayor presión hasta las calientes de menor presión. La ventilación estática vertical se logra disponiendo entradas de aire en las fa- >>



chadas principales del edificio y salidas de aire en la cubierta (caballetes y chimeneas). El aire frío procedente del exterior se calienta en el interior, se hace más ligero y sube hacia las aberturas de la cubierta por donde se elimina. El caudal de aire  $C_e$  que penetra en un edificio, debido a la acción del viento, se estima mediante la ecuación empírica:

$$C_e(m^3/s) = \alpha \cdot SE \cdot V_e$$

en donde:

- SE es la superficie de entrada de aire expresada en  $m^2$ .
- $V_e$  es la velocidad de entrada de aire en m/s
- $\alpha$  es un coeficiente que depende de la dirección del viento cuyo valor es de 0,5-0,6 cuando la dirección del viento es perpendicular a la abertura y 0,25-0,35 cuando es diagonal (el valor convencional que se toma en alojamientos ganaderos es de 0,35).

El caudal de salida de aire  $C_s$  inherente a la diferencia de temperatura entre el interior y exterior del alojamiento se estima mediante la ecuación:

$$C_s(m^3/s) = SS \cdot V_s,$$

en donde:

- SS es la superficie de salida de aire expresada en  $m^2$
- $V_s$  es la velocidad de salida del aire en m/s que puede estimarse mediante la expresión:

$$V_s = \mu [2gh(t_i - t_e) / T_i]^{0,5}$$

en donde:

- $\mu$  es un coeficiente de corrección que vale 0,6.
- g es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s).

- h es la diferencia de altura en metros entre la entrada y salida del aire del alojamiento.
- $t_i$  y  $t_e$  son las temperaturas interior y exterior del alojamiento.
- $T_i$  es la temperatura interior expresada en grados Kelvin ( $T_i = t_i + 273$ ).

La ventilación dinámica incluye tres tipos:

- Por extracción en la que los ventiladores extraen el aire del alojamiento creándose una depresión en el mismo que genera que el aire frío penetre por las entradas de aire en el interior del alojamiento.
- Por inyección de aire fresco del exterior mediante ventiladores generando sobrepresión que expulsa el aire interior hacia el exterior del alojamiento.
- Ventilación equilibrada bajo la cual parte de los ventiladores instalados inyectan aire del exterior y otra parte de los mismos extraen el aire del alojamiento.

La superficie de entrada de aire S se calcula mediante la ecuación:

$$S = C/V$$

en donde:

- C es el caudal máximo que renovar en verano en  $m^3/hora$
- V es la velocidad del aire que entra en el alojamiento en m/hora.

Los valores de V que se sugieren para invierno y verano, a efectos de cálculo, son de 2-3 m/s y 4-5 m/s, respectivamente. El caudal efectivo de los ventiladores es de un 10-15% inferior al caudal teórico. En la elección de los ventiladores debe tenerse en cuenta sus características técnicas (revoluciones por minuto, tensión, intensidad, y consumo en kw) ofrecidas por las casas comerciales. La curva característica de un ventilador se construye según los caudales y diferencias de presión entre el exterior e interior que el ventilador tiene que vencer. El caudal disminuye a medida que aumenta la diferencia de presión.

En naves estrechas de menos de 8 m de anchura, las entradas de aire se sitúan en una fachada, en la parte superior del cerramiento, y los ventiladores que extraen el aire, en la fachada opuesta en la parte inferior del muro. Cuando las naves son más anchas, las entradas de aire deben situarse en ambas fachadas principales y los ventiladores en una de ellas, pero de manera que la distancia mínima

entre las entradas de aire y los ventiladores de la fachada en la que coexisten ambos sea de 2,5 m. En naves muy anchas, como por ejemplo las de gallinas de puesta, la circulación de aire se establece longitudinalmente, de modo que las entradas de aire se ubican en las fachadas principales longitudinales y en una de las transversales, colocando a los ventiladores extractores en la otra fachada transversal. La ventilación dinámica debe controlarse, según necesidades coyunturales de renovación de aire, mediante termostatos, sondas de temperatura, etc.

### Calefacción y refrigeración

En nuestras latitudes, la calefacción se utiliza en las maternidades porcinas (radiadores infrarrojos, suelos radiantes, camas de agua, etc.) y para lechones destetados (fase de transición) y pollos de carne. La refrigeración debe ser utilizada en los alojamientos de porcino (maternidad, cubrición-gestación, cebo), gallinas de puesta, pollos de carne y cebaderos de corderos. La refrigeración mediante la utilización de la bomba de calor es muy cara, por lo que la más frecuentemente utilizada en ganadería industrial es la refrigeración evaporativa de paneles de humectación. Este sistema se basa en el enfriamiento del aire exterior del verano caliente y seco cuando pasa por paneles de celulosa higroscópica o de viruta de madera alimentados por una corriente de agua procedente de un depósito y conducida a los paneles mediante un motor de baja potencia de manera que el agua no evaporada se reintegra al citado depósito. El rendimiento de los paneles aumenta conforme disminuye la humedad relativa del aire exterior y se reduce la velocidad de entrada de aire. Así, el porcentaje de eficacia de saturación puede llegar al 85% para una velocidad de entrada de aire de 0,5 m/s reduciéndose al 70% para 2 m/s. El rendimiento de un panel viene dado por la expresión:

$$\mu = [(T_e - T_i)/(T_e - T_s)] \times 100$$

en donde:

- $T_e$  = temperatura del aire exterior.
- $T_i$  = temperatura del aire al salir del panel.
- $T_s$  = temperatura del aire saturado que se estima mediante la utilización del diagrama psicrométrico de Carrier según la entalpía (kj/kg de aire seco) y

la humedad específica (kg de vapor de agua/kg de aire seco).

La superficie neta de paneles (sin contar los marcos) se estima mediante el cociente entre el caudal de aire a renovar en el alojamiento en verano y la velocidad del aire ( $S = C/V$ ) tomando valores de velocidad del aire próximos a 1 m/s. En naves estrechas los paneles se colocarán en la fachada norte y los ventiladores extractores en la sur, pero en naves anchas (más de 12 m) se sugiere colocar los paneles de humectación y los ventiladores en las dos fachadas principales del edificio pero respetando que al menos la distancia entre panel y ventilador sea de 2,5 m.

El agua que consume el sistema de refrigeración por paneles, A, puede estimarse apoyándose en el diagrama de

**“ La climatización mejora el bienestar de los animales y permite la expresión de su máximo potencial productivo ”**

Carrier (al alcance de cualquier lector en libros de Física y de Termodinámica) mediante la expresión:

$$\blacksquare A \text{ (litros/hora)} = [(H_e - H_i)/V_e] \times (C/1000)$$

en donde:

- $H_e$  y  $H_i$  = humedades absolutas del aire exterior e interior respectivamente en g/kg.
- $V_e$  = volumen específico del aire en  $m^3/kg$ .
- $C$  = caudal total de aire a renovar en el alojamiento en  $m^3/hora$ .

### Conclusión

La climatización de alojamientos ganaderos mejora el bienestar de los animales y permite, en condiciones adecuadas de manejo, alimentación y sanidad, la expresión de su máximo potencial productivo. Por lo tanto, es necesario que los proyectistas ganaderos incluyan un anejo con los cálculos correspondientes al aislamiento de cubiertas, muros, y en su caso, suelo, aislamiento contra la humedad, ventilación estática y dinámica, calefacción y refrigeración e iluminación, aspectos de tan extraordinario interés técnico que deberían considerarse como obligatorios. ■