

Elección del sistema de refrigeración en instalaciones de vacuno lechero

Ejemplo de selección del sistema de refrigeración

A continuación expondremos un ejemplo tomado de Tyson (2008). Consideremos una nave con las siguientes características:

- 4 filas de cubículos capaz de albergar 200 vacas de ordeño, en cuatro grupos de 50 cubículos cada uno (Figura 1).
- Las dimensiones exteriores de esta nave son 100 m (longitud) x 32 m (ancho) x 4,5 m (altura en alero).
- Cada uno de los cuatro grupos dispone de un comedero de 45 m de longitud.
- El caballete tiene 1 m de anchura.
- La orientación del edificio es Este-Oeste y la dirección de los vientos dominantes es Suroeste.
- Está situado en un campo abierto, llano y sin obstrucciones hasta al menos 60 m del lado del viento dominante.
- Por cada grupo de 50 cubículos se dispone de un comedero de 45 m de longitud.
- En la zona donde se sitúa la nave, se ha determinado la media de horas anuales para determinados rangos de temperaturas (Tabla 1).

Figura 1. Nave con capacidad para 200 cubículos (a partir de Tyson, 2010)

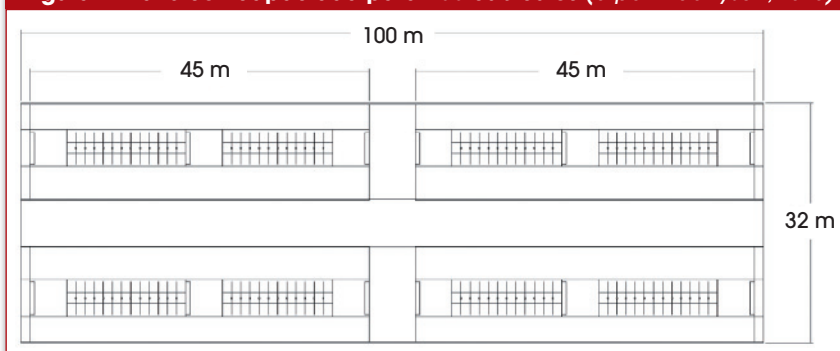


Tabla 1. Media de horas anuales en determinados rangos de temperatura

T°	≥15°C y < 19°C	≥ 18°C y < 20 °C	≥ 20°C	≥ 15°C
Horas anuales	800	300	2.000	3.100

Paso 1.

Calidad de la ventilación

(Ver Frisona Española nº 197, pag. 110, Tabla 6)

- Se calcula el factor de Ventilación Natural (FVN). Para calcular la superficie lateral abierta por animal, (A_c) se asume que el 65% del área lateral es abierta. Por tanto:

$$A_c = (4,5 \times 100 \times 0,65) / 200 = 1,46 \text{ m}^2/\text{vaca} > 1$$

$$R_w = 100 \text{ cm} / 32 \text{ m} = 3,125 \text{ cm/m} > 3,$$

lo que supone que este factor de riesgo tiene un valor 1.

- El edificio tiene una orientación diagonal respecto a los vientos dominantes, lo que otorga a este factor de riesgo un valor de 2
- Finalmente, el edificio está situado en una zona expuesta al viento, sin obstáculos, por lo que este factor de riesgo tiene un valor de 1.

Por tanto, la suma de los tres valores da un total de 4, lo que indica que la nave tiene una ventilación natural de calidad.

Paso 2.

¿Se necesita refrigeración por convección adicional?

Para evaluar esta necesidad se puede utilizar el modelo de Balance de Calor de la Vaca (CHB). El modelo CHB calculado para un período de 24 horas entre el 15 de julio y el 15 de Agosto en la zona considerada en el ejemplo rebela que cuando no se proporciona ningún sistema adicional de enfriamiento el edificio tiene un total de 22 períodos CHB (91%) mayores de cero, por lo que se precisa instalar este sistema.

Paso 3.

Ventilación túnel o ventilación convencional

Con un FVN de 4 para este edificio, puede asumirse que no habrá diferencia entre un sistema y otro a la hora de refrigerar por convección¹. Por tanto, es necesario realizar un análisis de costes entre los dos sistemas:

- Ventilación túnel diseñado para conseguir una velocidad de aire de 2,5 m/s
 - Sección transversal: $32 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} = 144 \text{ m}^2$
 - Caudal de ventilación: $144 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m/s} = 360 \text{ m}^3/\text{s} = 21.600 \text{ m}^3/\text{min}$

¹ Si el FVN no fuese tan bueno, la ventilación túnel podría plantear problemas para conseguir un adecuado movimiento del aire cuando las temperaturas son suaves.

- Se instalarían ventiladores de 700 m³/min de caudal, con una potencia unitaria de 1,2 kW, y un coste de 1.000 €/ventilador.

- Número de ventiladores:
(21.600 m³/min)/700 m³/min y ventilador= 31 ventiladores.

Si los ventiladores fuesen instalados al final de cada fachada, deberá instalarse un número idéntico en cada una, por lo que instalaríamos un total de 32 ventiladores. (Figura 2).

- La otra opción es instalar ventiladores de tipo axial separados 10 veces su diámetro (p.ej. 1,2 m), es decir, cada 12 metros en el centro de las filas de cubículos y a lo largo de la línea de los comederos. Se necesitaría 40 ventiladores, de 1,0 kW de potencia y un coste de 400 €/ventilador (Figura 3).

Para estimar el coste de funcionamiento podemos utilizar la Tabla 1, según el número de horas en que las temperaturas se sitúan en determinados rangos térmicos.

- La ventilación túnel funcionaría cuando la temperatura fuese $\geq 15^{\circ}\text{C}^2$.
- En cuanto al sistema de ventiladores de tipo axial, consideraremos tres situaciones:
 - 1/3 de los ventiladores funcionarían entre 15 y 18°C.
 - 2/3 de los ventiladores funcionarían entre 18 y 20°C.
 - Todos los ventiladores funcionarían cuando la temperatura fuese superior a 20°C.

El coste de funcionamiento de ambos sistemas se expone en la Tabla 2.

En este caso, la elección parece clara a favor del uso de ventiladores axiales.

Paso 4.

Ventiladores axiales o ventiladores HVLS (Alto Volumen - Baja Velocidad)

- Se considera la instalación de 12 ventiladores HVLS de 7,5 m de diámetro separados 2 veces su diámetro (15 m) (Figura 4).
- Los ventiladores entrarían en funcionamiento a 15°C, por tanto, durante 3.100 horas anuales.
- Cada ventilador cuesta 4.000 € y tiene una potencia de 2,0 kW.

El coste de instalación y funcionamiento se expone en la Tabla 3.

En este caso, el alto coste de la instalación no parece compensar el menor coste de funcionamiento, por lo que se mantendría la decisión de instalar ventiladores axiales.

Paso 5.

Determinar si se requiere refrigeración evaporativa

Con el mismo procedimiento que en el paso 3, se necesita reevaluar el Balance Térmico de la Vaca (CHB) teniendo

² Si se optase por ponerla en funcionamiento a una temperatura superior, el coste de funcionamiento sería, lógicamente más reducido

Figura 2. Ventilación en túnel (a partir de Tyson, 2010)

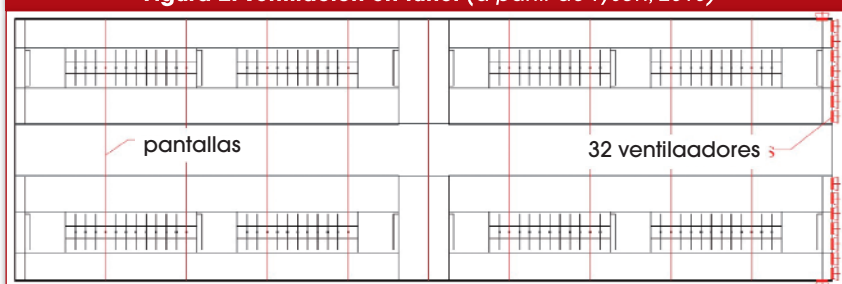


Figura 3. Instalación de ventiladores axiales en líneas de comederos y de cubículos (a partir de Tyson, 2010)

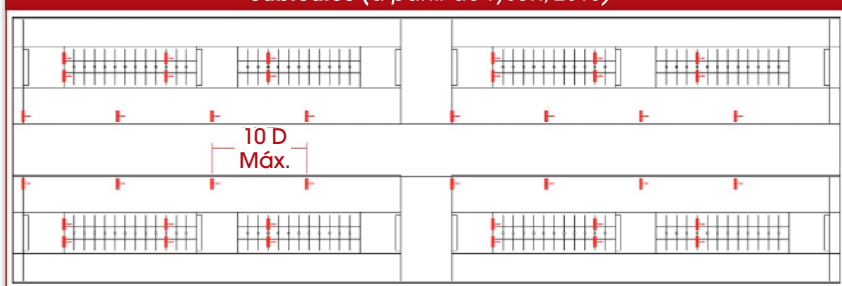


Tabla 2. Coste de instalación y de funcionamiento de la alternativa ventilación túnel vs ventiladores axiales

	Coste ventiladores	Potencia utilizada	Horas de funcionamiento
Ventilación túnel	32 ventiladores 32.000 €	32 x 1,2 kW/vent. 38,4 kW	38,4 kW x 3.100 h 119.400 kWh
Ventilación natural + ventiladores axiales	40 ventiladores 16.000 €		40 x 1/3 x 800 = 10.667 kWh 40 x 2/3 x 300 = 8.000 kWh 40 x 1 x 2.000 = 80.000 kWh $\Sigma = 98.667 \text{ kWh}$

Figura 4. Ventilación mediante ventiladores HVLS (a partir de Tyson, 2010)

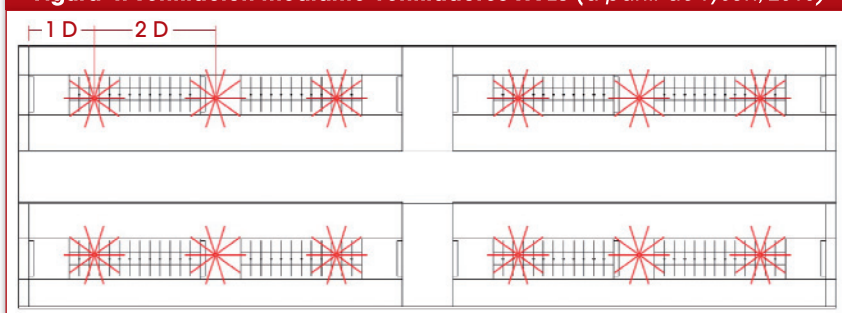


Tabla 3. Coste de instalación y de funcionamiento de los ventiladores HVLS

	Coste ventiladores	Potencia utilizada	Horas de funcionamiento
Ventilación natural + ventiladores HVLS	12 ventiladores 48.000 €	12 x 2,0 kW/vent. 24 kW	24 kW x 3.100 h 74.400 kWh

ahora en cuenta que a la instalación se le ha añadido un sistema de refrigeración por convección. El cálculo del CHB rebela que sin refrigeración evaporativa la nave tendría un total de 16 periodos CHB (67%) mayor que cero, por lo que se necesita una instalación para refrigerar el aire por evaporación de agua.

Paso 6.

Refrigeración Directa o Indirecta

Puesto que en los pasos 3 y 4 se tomó la decisión de utilizar ventilación natural junto con ventiladores axiales para aumentar la circulación del aire, el sistema de refrigeración por evaporación queda limitado a un sistema de refrigeración directo.

Paso 7. **Refrigeración evaporativa continua o cíclica**

Para evaluar esta opción, el modelo CHB se utilizó asumiendo los siguientes criterios:

- Enfriamiento evaporativo continuo cuando la $t^a \geq 21^{\circ}\text{C}$
- Enfriamiento periódico en el corral de espera al ordeño y en el pasillo de salida de la sala de ordeño durante éste: 6:00 a 10:00 horas y de 18:00 a 22:00 horas. Se asignó un factor de enfriamiento directo (HAPdc) de 2 para estos períodos de ordeño si $t^a \geq 20^{\circ}\text{C}$.

El enfriamiento periódico sólo redujo un 6% el número de períodos CHB positivos mientras que el enfriamiento continuo redujo este número en un 62%, por lo que la decisión es instalar un sistema de refrigeración evaporativa que funcione continuamente cuando la temperatura suba del valor antes indicado.

Se proponen tres ciclos de funcionamiento del sistema según la temperatura alcanzada. En cada ciclo hay un minuto de aspersión y ventilación durante todo el tiempo

- * 4 ciclos/hora (1/15 min) cuando la $t^a \geq 21^{\circ}\text{C}$ y $< 27^{\circ}\text{C}$
- * 6 ciclos/hora (1/10 min) cuando la t^a es $\geq 27^{\circ}\text{C}$ y $< 32^{\circ}\text{C}$
- * 12 ciclos/hora (1/5 min) cuando la $t^a \geq 32^{\circ}\text{C}$

Podemos estimar el consumo de agua de este sistema de refrigeración a lo largo de un período de 31 días utilizado en el cálculo del CHB, consumo que se sintetiza en la Tabla 4.

Si se asume que el 50% del agua pulverizada no se evapora, esta agua se incorpora al volumen de deyecciones recogidas en los pasillos de alimentación de la nave, por lo que debería incrementarse el volumen de la fosa de deyecciones

en la cantidad de 462.384 litros a lo largo de un período de 31 días, lo que debe considerarse en la evaluación de costes de recogida de deyecciones, sin olvidar tampoco la mayor producción de leche que se obtiene por la mejora de las condiciones ambientales del ganado.

Tabla 4. Consumo de agua para refrigerar evaporativamente la nave del ejemplo

	Horas de funcionamiento	Consumo de agua (l)
4 ciclos/hora	207	283.176*
6 ciclos/hora	199	272.232
12 ciclos/hora	90	369.360
Consumo total de agua en 31 días		924.768
* $(4 \times 45) \times 4 \times 207 \times 1,9 = 283.176$ (ver ecuación (1))		

Ecuación para estimar la cantidad necesaria de agua:

$$Dw = FL \times CH \times H \times 1,9 \text{ l/m}^3 \quad (*)$$

donde:

Dw: Consumo de agua (l/día)

FL: Longitud total de comedero (m)

CH: ciclos/h de mojado-secado

H: horas/d de funcionamiento

* l/m representa la aplicación de $1,25 \text{ l/m}^2$ por cada ciclo de mojado-secado en una franja de $1,5 \text{ m}$ de ancho a lo largo del comedero

Resumen

En este trabajo hemos querido explicar algunas de las posibles estrategias activas de mitigación del calor, haciendo especial hincapié en la necesidad de que las naves cuenten con una adecuada capacidad de ventilación, como medida previa.

Posteriormente, se han abordado las diferentes posibilidades de conseguir aumentar la capacidad de eliminar calor de los animales mediante distintas estrategias de enfriamiento, bien del aire o del propio animal, abordando la toma de decisiones desde un punto de vista técnico y económico.