

Los paneles de enfriamiento contra las toberas nebulizadoras: aproximación a un análisis termodinámico comparativo

• Hermenegildo Soria (*)

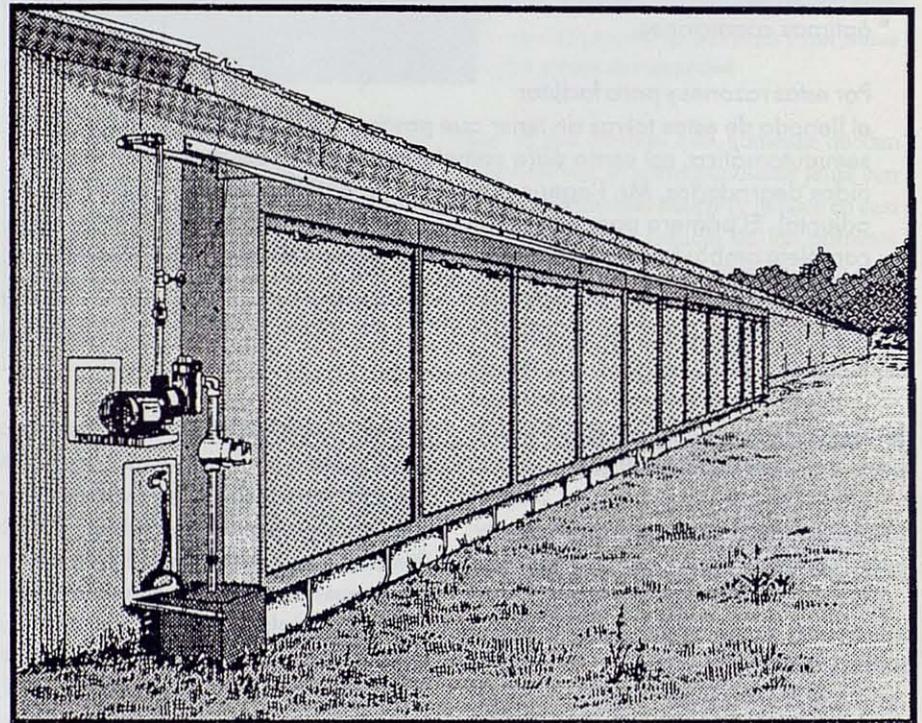
Por el momento, no existen en el mercado más que dos sistemas prácticos -principalmente por razones económicas- capaces de enfriar el aire entrante en granjas e invernaderos: los paneles de enfriamiento y las toberas nebulizadoras.

El primero es tan conocido y aceptado universalmente que casi no vale la pena insistir en él. Si no fuera por sus elevados costos -comparativamente con el segundo- de instalación y mantenimiento, el sistema de toberas o boquillas quedaría relegado, con muchas limitaciones, a su uso en instalaciones ganaderas e invernaderos carentes de ventilación forzada. Pero precisamente por su sencillez y economía se vuelve de nuevo a la carga con las toberas en las instalaciones dotadas de ventilación forzada.

Desde hace algún tiempo estamos trabajando sobre las toberas. Presentamos a continuación un resumen de la situación en que se encuentra la investigación y desarrollo del sistema nebulizador.

► Las toberas contra los paneles

Sorprendidos por la gran diferencia de costos -como ya hemos dicho, tanto de instalación como de mantenimiento-, es frecuente que los cunicultores pregunten: pero ¿qué sistema enfría más?. Nuestra respuesta es siempre la misma: como el principio físico en que se fundan ambos es idéntico (la evaporación de agua), la



Esquema de unos paneles de enfriamiento evaporativo, con la bomba de circulación de agua en primer término, situados en uno de los costados de una nave.

capacidad de enfriamiento tiene, por necesidad, que ser análoga. Pero vamos a verlo.

En primer lugar, no conocemos que alguien haya realizado un riguroso análisis comparativo de los sistemas sometidos a examen en este informe. Aunque lo más probable es que a alguien se le haya ocurrido como a nosotros, por más que intentamos bucear en la bibliografía disponible, sólo logramos encontrar retazos sueltos, en general no demasiado fiables

por lo poco rigurosos, pero que curiosamente casi todos coinciden en que la capacidad de enfriamiento de los paneles es superior a la de las toberas (aunque es cierto que suelen referirse a presiones de trabajo muy bajas de éstas). Por todo ello, nos ha parecido no sólo prudente sino necesario afrontar el tema en profundidad, como muestra el presente informe, y a continuación ofrecemos a ustedes el resultado.

A poco que se piense en ello, enseguida

(*) Dirección del autor:

Director del Departamento de I + D de GANAL. Apartado 17 - 46460 Silla
Tel (96) 121 25 54 - Fax (96) 121 17 43

se descubre que la problemática que plantea la sustitución de los paneles por las toberas se centra especialmente en cuatro puntos:

1. ¿Son capaces las toberas de evaporar el agua necesaria para obtener las temperaturas interiores deseadas en el corto espacio de tiempo de que se dispone antes de que la niebla generada alcance zonas interiores que no acepten humedades?. -Como veremos más adelante, con paneles de 10 cm de espesor y una velocidad del aire entrante de 1 m/s, esto se consigue en una décima de segundo.

2. ¿Será posible modular automáticamente la micronización, de acuerdo con la humedad relativa (HR) del aire entrante, para que se cumpla el punto anterior de modo que en ningún momento se produzcan sobresaturaciones?. -Como se verá más adelante con los paneles, debido a su técnica específica de incorporar agua vaporizada al aire, la sobresaturación nunca puede darse.

3. ¿Podremos conseguir con las toberas que las obturaciones de las mismas, por precipitaciones calcáreas, no signifique un problema inaceptable para el granjero? -Este problema no es ajeno a los paneles, centrado tanto en los elementos de riego como en los propios paneles.

4. Como la eficacia de los paneles es de sobra conocida y aceptada por todos los usuarios, ¿seremos capaces de hacer que la diferencia de costes de inversión y mantenimiento entre ambos sistemas sea tan significativa para el granjero como para aceptar las toberas, a pesar de que en algún aspecto no pudiera llegar a igualar a aquéllos?

Vamos, pues, a desarrollar el análisis de estos cuatro puntos, empezando por el primero.

► Capacidad evaporativa

Como es sabido, ambos sistemas se fun-

damentan en el mismo principio físico: el enfriamiento del aire entrante por efecto de la evaporación de agua. La siguiente fórmula física nos ilustra acerca de la cantidad de líquido (en nuestro caso, agua) que se evapora por unidad de tiempo en una atmósfera indefinida:

$$(1) \quad L = A \frac{S(P-p)}{H}$$

en la que

L = cantidad de líquido evaporado

A = coeficiente dependiente del líquido

S = superficie libre de evaporación

(P-p) = diferencia entre la tensión de vapor actual y la saturante.

H = presión atmosférica

La fórmula anterior ya nos dice que la evaporación es directamente proporcional al tiempo, a la superficie libre "S", y a la diferencia "P-p". En apariencia, resulta un poco confusa para aplicarla tal cual intentando resolver nuestra situación, pero si en ella ignoramos los parámetros "A" y "H", porque en ambos casos utilizamos agua, y se supone que las pruebas comparativas se referirán siempre al mismo lugar y hora del día, nos queda simplificada del siguiente modo:

$$(2) \quad L = S.T(P-p)$$

Es decir, la cantidad de agua evaporada se hallaría siempre en razón directa de la superficie libre "S", del tiempo "T" que dure el experimento y del valor de la diferencia "P-p". Veamos ya que ocurre con la superficie libre de evaporación.

► Superficie libre de Evaporación

Según la información ofrecida por un fabricante original de paneles de celulosa, la superficie de contacto ("S" de la fórmula anterior) que presenta el panel al aire que lo atraviesa es de unos 440 m²/m³. Suponiendo un panel de 100 mm de espe-

sor, cada metro cuadrado de éste estará ofreciendo:

$$(3) \quad \frac{440}{10} = 44 \text{ m}^2 \text{ de superficie húmeda}$$

Por otra parte, con las toberas nebulizadoras, de acuerdo con la información facilitada al respecto por los fabricantes de las mismas, el diámetro de las gotitas que se generan a presiones entre 40 y 70 bar suele estar entre 10 y 15 μ. Como los mayores aportes de agua los vamos a realizar a 70 bar, podemos considerar el valor de 10 μ como bueno. Así, vamos a calcular la superficie libre que ofrece la niebla generada por las toberas por cada gramo de agua micronizada.

Sirviéndonos de las fórmulas del volumen y de la superficie de la esfera, llegamos a la conclusión de que un gramo de agua pulverizada a base de gotitas de 10 μ nos ofrece una superficie libre de evaporación de:

$$(4) \quad 0,3 \text{ m}^2$$

Por supuesto, la superficie libre de evaporación que ofrece un gramo de agua pulverizada depende del tamaño de las gotitas generadas. Así, para

$$\begin{aligned} 5 \mu &\text{ sería de } 0,6 \text{ m}^2 \\ 10 \mu &\text{ sería de } 0,3 \text{ m}^2 \\ 15 \mu &\text{ sería de } 0,2 \text{ m}^2 \\ 20 \mu &\text{ sería de } 0,15 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

► Tiempo de contacto

De las gráficas ofrecidas por los fabricantes de paneles se deduce que, para los de celulosa, el grado de saturación alcanzado por el aire entrante suele guardar alguna relación directa con el tiempo que este último se halla en contacto con la superficie libre de evaporación. Así, en las curvas correspondientes a paneles de 100 y 200 mm de espesor, para una misma velocidad del aire -1 m/s-, el rendimiento pasa del 78 al 95% aproximadamente. Esto lo podemos resumir diciendo que 1 m³ de aire, lamiendo una superficie húmeda de 44 m² alcanza un rendimiento del 78% en una décima de segundo:

$$(4) \frac{0,1 \text{ m espesor panel}}{1 \text{ m/s}} = 0,1 \text{ s}$$

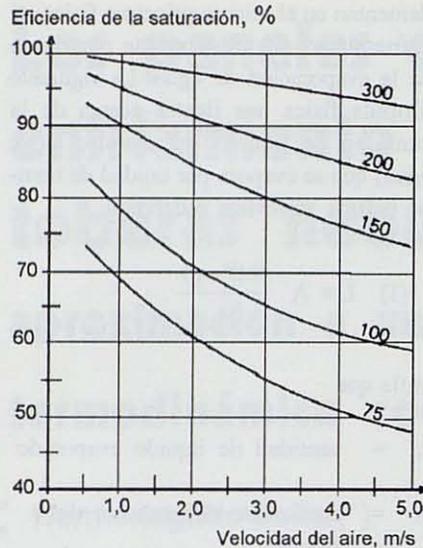
Lo anterior está muy claro para el sistema de paneles, porque la superficie de evaporación es constante e inmóvil al paso de la corriente del aire entrante. Por el contrario, con las toberas la superficie libre y el aire entrante se confunden, desde el principio, en un torbellino que dura desde que el aire alcanza la línea de las toberas nebulizadoras en el exterior de la nave, hasta que llega a la zona de las jaulas. Durante dicho recorrido, el aire está sometido a tres velocidades distintas: la que lleva a su paso por los deflectores laterales, la que toma al atravesar las entradas de aire o ventanas y la que adquiere una vez en el interior de la nave.

Aunque la velocidad del aire entrante puede variar algo en razón de la densidad animal y del ancho y la altura de la nave, podemos admitir como buena la de 1 m/s a su paso por los deflectores, 2m/s a su paso por las ventanas y 0,33 m/s en el interior.

Considerando 2 m de deflectores, 0,30 m de espesor de la pared y 13 m de anchura de la nave, tendríamos que el tiempo que tarda el aire en alcanzar las jaulas -cuando inicia el retorno hacia los ventiladores en el centro de la nave, suponiendo un sistema de ventilación de doble entrada-sería de:

- 1 m/s/2m 2,00 segundos
- 2 m/s/0,30 0,60 segundos
- 0,33 m/s/6,5 m 2,14 segundos

$$(5) \quad 4,74 \text{ segundos}$$



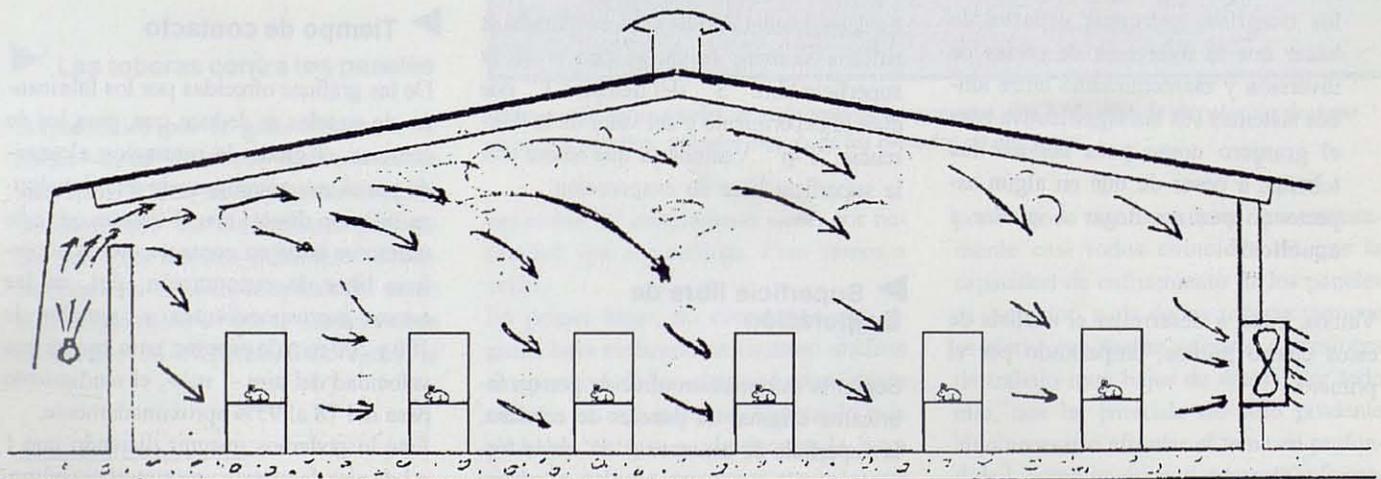
Esto sería el tiempo máximo posible de exposición, en el que necesariamente debería haber tenido lugar la evaporación total del agua aportada por las toberas nebulizadoras, si no queremos que la niebla generada tropiece con las jaulas y los animales y puedan producirse condensaciones.

Para mejor comprender la situación anterior (después de estar considerando siempre el aire en movimiento) podemos imaginarnos la inmersión de un panel húmedo en una atmósfera limitada en calma. Cuanto más tiempo transcurra, mayor intercambio de masas habrá tenido lugar, aunque el ritmo irá decreciendo con el tiempo, a medida que el valor de la diferencia "P-p" se vaya aproximando a cero.

► Diferencia "P-p"

Para conseguir en cada instante el valor máximo posible de la diferencia "P-p" se suele recurrir a remover constantemente las capas de aire que se hallan en contacto con la superficie libre de evaporación. Es decir, mover el aire lo máximo posible en relación con la superficie libre.

Con los paneles, el movimiento de aire con respecto a la superficie libre lo determina la velocidad de aquél. Así, en nuestro caso, si hacemos que el aire atraviese el panel muy deprisa, lógicamente conseguiremos evaporar a un ritmo alto, pero como para evaporar dicha agua habremos utilizado un caudal grande de aire, la temperatura del mismo habrá descendido poco, y no es eso lo que deseamos; es decir, la eficiencia del enfriamiento evaporativo será baja. Por contra, si la velocidad a que atraviesa el aire el panel es muy baja, podríamos no conseguir el valor máximo posible en cada instante de la diferencia "P-p"; además de que podrían también resultar insuficientes los caudales para eliminar el calor metabólico sobrante generado por las aves -también existen otras razones de menor importancia que no abordamos para no complicar más las cosas y llegar a hacer ininteligible la situación-. Así pues, para determinar la velocidad de renovación de las capas del aire junto a la superficie libre de evaporación, el valor posible en cada instante de la diferencia "P-p", hemos de aceptar un compromiso entre varios factores, como podrían ser el costo de los paneles y la superficie disponible para su instalación,



Representación esquemática de la ventilación cruzada en una nave para ponedoras en batería, equipada con boquillas nebulizadoras a lo largo de la abertura de entrada de aire.

el rendimiento de los extractores, etc. Y la experiencia ha aconsejado como recomendable no superar una velocidad del aire de 1 m/s.

Por el contrario, con las toberas el valor óptimo del parámetro "P-p" es muy difícil de determinar porque la superficie libre de evaporación no es estática como en el caso de los paneles. Como hemos visto anteriormente, en este caso la superficie libre está representada por el contorno de las microscópicas gotitas nebulizadas por las toberas, que viajan arrastradas por el

● **La experiencia ha aconsejado no superar una velocidad del aire de 1 m/s en su paso por los paneles**

aire entrante, de manera que para admitir que la diferencia "P-p" se mantiene en su valor máximo posible en cada instante, habríamos de aceptar, a su vez, que el viaje conjunto de aire y "niebla" se realiza en un continuo torbellino que potencia un intenso intercambio de masas. Como puede verse, aquí convendría activar de alguna manera las turbulencias en cuanto el aire atraviesa la zona de las toberas nebulizadoras, aunque suponemos que el hecho de que el aire entrante sufra tres cambios de velocidad desde que se sitúa en las capotas hasta que alcanza la zona de las jaulas es suficiente para que se generen las anteriores deseadas turbulencias.

En resumidas cuentas, resulta muy difícil cuantificar la comparación del parámetro "P-p" entre los dos sistemas, aunque intuimos que, a este respecto, si cabe, el de toberas aventaja al de paneles.

► **Resumen comparativo**

Suponiendo que se instalen 30 toberas por cada ventilador de 30.000 m³/h (pue-

den ser más o menos, dependiendo de las condiciones climáticas de la zona), si cada una trabajando a 70bar mantiene un gasto aproximado de 5 l/h, ello significa que cada metro cúbico de aire entrante está recibiendo

$$\frac{30 \times 5.000}{30.000} = 5 \text{ gramos de agua}$$

Como cada gramo de agua pulverizada a 10 μ ofrece una superficie libre de evaporación de 0,3 m² (4), resultará que la superficie libre total para cada metro cúbico de aire será de 0,3 x 5 = 1,50 m², con un tiempo de exposición de 4,74 s (5).

De acuerdo con todo lo anterior, en teoría, la capacidad comparativa de evaporación de ambos sistemas, por metro cúbico de aire, sería la siguiente:

Sistema	Superficie libre, m ²	Tiempo de exposición, segundos
Paneles	44	0,1
Toberas	1,50	4,74

Ahora, volviendo a la fórmula (2), tendremos que con los paneles:

$$L = 44 \times 0,1 = 4,4$$

y para las toberas:

$$L = 1,50 \times 4,74 = 7,11$$

Como se ve, hemos ignorado el factor correspondiente a la diferencia "P-p"; en primer lugar, porque no somos capaces de cuantificarlo en ninguno de los dos casos, y en segundo lugar porque pensamos que por muy activas que puedan resultar las turbulencias que genera el panel en su compleja estructura de canales cruzados, como el tiempo de que se dispone es tan corto (0,1 s), siempre será su valor menor que el conseguido con las toberas, donde el camino recorrido es mucho más largo y, al parecer, no menos turbulento. Así, pensamos que eliminando de la fórmula este factor ("P-p") favoreceremos en la comparación al panel.

Pues bien, como puede verse, de acuerdo con nuestros planteamientos y estos cálculos, la capacidad de evaporación (o lo que es lo mismo, de enfriamiento) de las

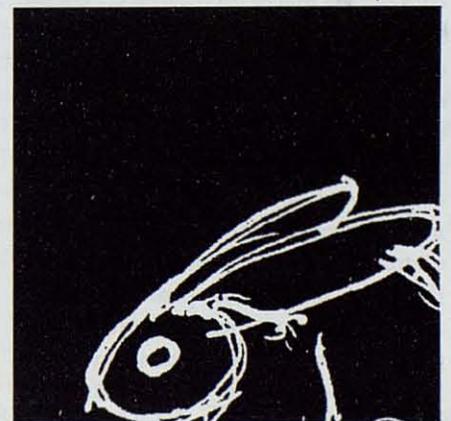
toberas podría duplicar a la de los paneles. Lo que ocurre es que una vez que se ha llegado a la saturación, por muy capaz que sea el sistema, su facultad de enfriamiento cesa.

Pero como no sólo consiste en poseer mayor capacidad de enfriamiento, sino en que esta capacidad sea compatible con otros inconvenientes que pueda presentar durante su aplicación práctica en granjas e invernaderos, vamos a considerar a continuación otros aspectos comparativos de los dos sistemas.

► **Riesgo de sobresaturación del aire**

Con los paneles no existe riesgo alguno de sobresaturación porque cuando el aire atraviesa los mismos, lo más que puede ocurrir es que el parámetro "P-p" alcance el valor cero (HR=100%), en cuyo momento la evaporación cesa; y como a su paso por el alojamiento ha de encontrar necesariamente temperaturas más altas, su HR comienza a bajar de inmediato, de modo que las condensaciones quedan automáticamente neutralizadas.

Por el contrario, si las toberas no se manejan adecuadamente, la sobresaturación del aire y, como consecuencia, las condensaciones interiores sí pueden darse. Hasta ahora, para evitar este peligro se ha recomendado intercalar un humidistato en serie con el circuito de alimentación eléctrica de las bombas de presión, pero ello tiene el inconveniente de que el sistema trabaja con intermitencias, mientras los paneles mantienen las condiciones ambientales ininterrumpidamente de modo automático, sin ningún tipo de control ni vigilancia. Para



Con orificios de tamaño capilar, no hay más remedio que tratar de alguna manera el agua para evitar que se obstruyan las toberas

encarar esta desventaja de las toberas frente a los paneles, se está trabajando de modo que el aporte de agua por parte de las toberas nebulizadoras pueda modularse automáticamente, de acuerdo con los valores variables de la HR del aire entrante.

Riesgo de obturación de las toberas nebulizadoras

Por el momento, parece que para conseguir micronizar el agua en forma de gotitas de alrededor de 10 µ es necesario, entre otras cosas, trabajar a presiones no menores de 70 bar y que el orificio de las toberas no sobrepase las 200 µ; todo ello, al menos, sin la adición de algún nuevo elemento como podría ser el aire comprimido.

Con estos orificios de tamaño capilar, no hay más remedio que tratar de alguna manera el agua para evitar que se obstruyan las toberas. Lo más frecuente es instalar en la acometida del sistema un conjunto de microfiltros y un tratamiento anticálcico a base de polifosfatos, que eliminan de la circulación cualquier partícula extraña mayor de 10-20 µ y "secuestran" la cal, a fin de evitar que se produzcan obstrucciones por efecto de la suciedad o dureza del agua. Si tanto los filtros como el tratamiento con silicofosfatos se adecúan a las características y caudales del agua que se van a manejar (cosa que no se hace siempre) la prevención de obstrucciones alcanza un nivel aceptable. Pero no se crea que los paneles se hallan exentos de estos inconvenientes. Aquí, por razón de que los orificios de riego de los paneles son infinitamente más generosos, el agua no se suele tratar en abso-

luto, de modo que las obstrucciones son también frecuentes y hay que atenderlas si no queremos que decrezca proporcionalmente la capacidad evaporativa de los paneles.

Otros parámetros comparativos

Los paneles adolecen de varios inconvenientes graves:

-A medida que envejecen y se van cegando sus canales, el rendimiento baja. Así, cuando el nivel de obturación (por efecto de las precipitaciones de sales y depósitos de suciedad) alcanza el 50% nada más, la velocidad del aire se elevaría a los 2 m/s, y el rendimiento bajaría el 70%, en vez del 78% que tenía cuando era nuevo.

-A todo lo anterior habría que añadir la caída de rendimiento de los ventiladores por razón del incremento de la pérdida de carga originada por la obturación parcial de los paneles.

-Y por si lo anterior fuera poco, habría que considerar, por la misma causa, el incremento de las corrientes parásitas en el interior del alojamiento al elevarse la diferencia de presión estática.

-Y si no se quiere sufrir los inconvenientes anteriores, no habría más remedio que sustituir los paneles por otros nuevos, lo cual significaría un elevado coste económico.

-Por último, el proceso de envejecimiento de canalones, correas, etc., es otro coste periódico de mantenimiento inevitable con los paneles.

Aunque las toberas, por su parte, no carecen de servidumbres, en conjunto son mucho menos onerosas que las de los paneles. Por ejemplo:

-Naturalmente, las toberas exigen la instalación de deflectores exteriores para proteger las líneas de las toberas nebulizadoras; pero no se olvide al respecto que, se instalen o no, también son recomendables para proteger los paneles y que, además, éstos necesitan pantallas protectoras

invernales para evitar nocivas corrientes de aire frío durante dicha estación.

-Durante el invierno, los paneles exigen la instalación de ventanas accionables -automáticas o no, pero mecánicas- que encarecen y complican el sistema. Con las toberas, el control de las entradas de aire puede simplificarse considerablemente (en muchas ocasiones puede evitarse totalmente cualquier tipo de control).

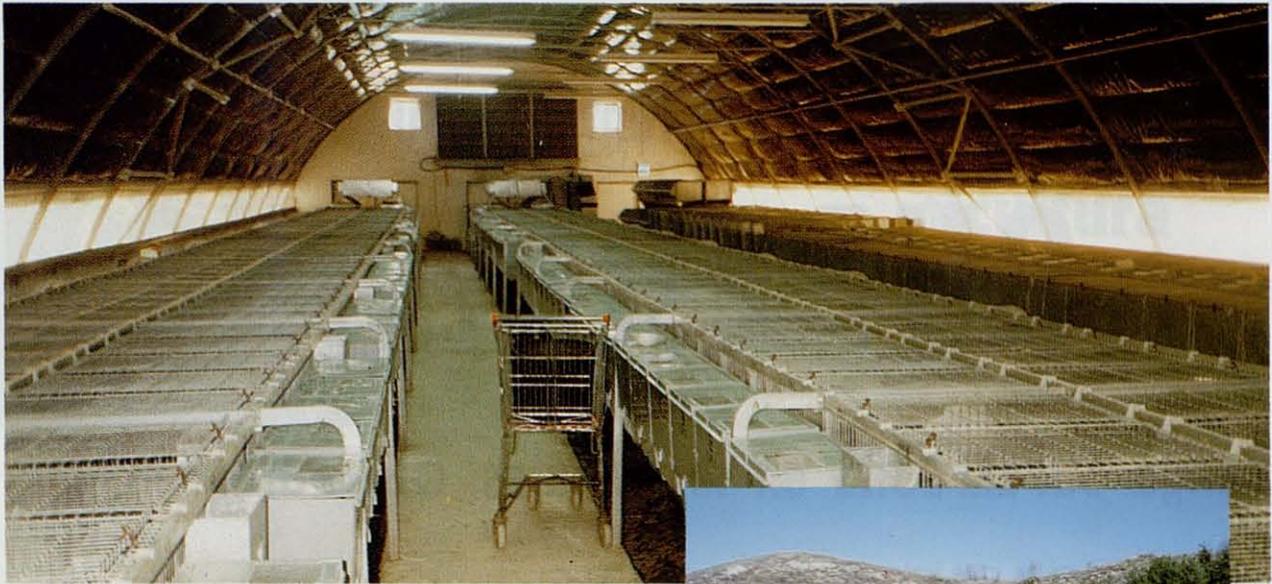
-Las toberas siempre mantendrán una diferencia de presión estática baja, en virtud de las constantes aberturas de entrada de aire (no pueden cegarse progresivamente, como le ocurre a los paneles). Como consecuencia de esto, el rendimiento de los ventiladores será siempre alto y estable, e invariables las entradas parásitas, si existen.

-El posible fallo de alguna boquilla nebulizadora es equiparable a la misma situación resultante por haberse cegado algún agujero de la tubería de riego del panel.

-Por último, en términos generales, puede considerarse que el costo de instalación -albañilería, montaje y precio de todos los componentes del sistema- de un sistema de toberas viene a ser, más o menos, la quinta parte de uno de paneles.

Después de los resultados de todo este análisis comparativo, deberíamos concluir que la gran ventaja de los paneles consiste en la sencillez de sus técnicas de manejo. Y es que por incompetente y/o descuidado que sea el granjero, con ellos nunca se podrán producir condensaciones en el interior del alojamiento. Por el contrario, las boquillas exigen un manejo más cuidadoso, aunque no por ello deja de ser aceptable en la práctica del enfriamiento ambiental de granjas e invernaderos. □

NAVES Y TUNELES PREFABRICADOS PARA GANADERIA



Disponemos de lo mejor y más barato para su instalación ganadera. Tenemos instalaciones difundidas por toda Europa.



COSMA NAVARRA

Polígono Talluntxe - Noain - Navarra

SOLICITE INFORMACION SIN COMPROMISO EN EL TEL: (948) 31 74 77

¡ESTA ES LA JAULA DE HOY!



EL SISTEMA DE JAULA EXTERIOR CON TAPADERA INCORPORADA ESTÁ PATENTADO.

EL SISTEMA JAULA ALIAS tiene unas particularidades que revolucionan la cunicultura actual, dándole un nuevo enfoque:

- No necesita inversión en construcción de naves o cobertizos.
- Su instalación es sencilla y ecológica.

En el **SISTEMA JAULA ALIAS** el conejo está totalmente al aire libre, pero **PROTEGIDO** de las **ALTAS** y **BAJAS** temperaturas y demás inclemencias por su **SISTEMA ÚNICO DE TAPADERAS AISLANTES**, que constituyen un avance tecnológico importantísimo en cunicultura.

Está comprobado que esta doble particularidad da unos resultados **JAMAS** obtenidos hasta ahora con ningún otro tipo de instalación.

Caben destacar los siguientes resultados:

- Los problemas respiratorios e intestinales son inexistentes.
- La mortalidad en el engorde es prácticamente nula.
- La velocidad de crecimiento y la homogeneidad son muy superiores.
- El rendimiento en canal, el color y sabor de la carne son inigualables.
- El único sistema capaz de hacer un conejo de 2,5 Kg. para exportación, en 70 días y sin mortalidad.

LA JAULA ALIAS, sencillamente, está pensada, diseñada y creada para la economía, la sanidad y el rendimiento.



Técnicas Nuevas en Instalaciones Cunicolas.

Avda. M^a Descarrega, 2 Bis. 43740 Mora de Ebro (TARRAGONA)

Tel. y Fax 977 / 40 29 37 - Tel. Movil 908 / 09 30 44

El único sistema para una Cunicultura Sana y Rentable.

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

Con el sistema más avanzado en Europa y E. E. U. U.

Haga más sanos y rentables sus conejos con:

SUPERFLOKS

Ponga SUPERFLOKS en los nidales. Obtendrá:

· **MAS GAZAPOS AL DESTETE**

Ya que si tienen la cama de un producto superhigiénico (se presenta envasado en plástico hermético) que no ha tenido contacto con gatos, perros, ratones, pájaros, insectos, etc., el peligro de infección es menor.

· **MAS SANOS**

Porque al no haber infecciones los animales no sufren trastornos.

· **MENOS COSTE**

Porque la capacidad de almacenamiento, manipulación y precio, lo hacen muy competitivo.

· **MENOS TRABAJO**

Ya que el poder de absorción es cinco veces superior al de la paja y se ahorra tener que cambiar una gran cantidad de nidales.

Un producto muy absorbente, suave, esponjoso
e higiénico.

RESULTADOS AVALADOS POR:

**Cunicultura Freixer - Granja Can Rafel
y granjas de todo el mundo.**



Pida más información a

**PRECISAMOS
DISTRIBUIDORES**

CUNICULTURA FREIXER
GRANJA CAN RAFAEL
Ctra. de Vidrà, Km 5,500
08589 SANTA MARIA DE BESORA
(Barcelona)
Tel (93) 852 90 02 - Fax (93) 852 90 51

