

Hojas técnicas

Casos de aplicación: La climatización de invernaderos

Con los invernaderos agrícolas se pretende obtener un alto rendimiento en la producción y calidad de los productos a desarrollar, aunque las condiciones ambientales exteriores sean desfavorables.

Dentro del invernadero hay que procurar que los factores que intervienen en el desarrollo de los vegetales sean los adecuados. La Climatización regula la concentración del anhídrido carbónico CO₂ y el oxígeno, la temperatura, la humedad, la luminosidad, además de otros factores que actúan muy relacionados entre sí y que necesitan estar presentes de forma equilibrada.

Las zonas climáticas en España son muy diversas y las condiciones favorables durante el invierno pueden resultar problemáticas en verano. En la zona mediterránea, principalmente hacia el Sur, resulta más difícil enfriar el invernadero en verano que calefaccionarlo en invierno. Habrá pues que recurrir a técnicas distintas para alcanzar climas deseables.

Temperatura

La temperatura actúa sobre las funciones vitales de los vegetales resultando, en general, crítica por debajo de los cero grados o por encima de los 70 °C. Fuera de estos límites mueren o se aletargan. Las temperaturas óptimas son las indicadas en la Tabla 1.

Producto	Temp. óptima	Calefaccionar por debajo de
Lechuga	14-18 °C	10 °C
Espinacas	15-18 °C	-2 °C
Guisantes	16-20 °C	3 °C
Acelgas	18-22 °C	-4 °C
Apio	18-25 °C	5 °C
Judías	18-30 °C	8 °C
Tomates	20-24 °C	7 °C
Pimiento	20-25 °C	8 °C
Pepino	20-25 °C	10 °C
Berenjena	22-27 °C	9 °C
Sandía	23-28 °C	10 °C
Melón	25-30 °C	9 °C
Calabacín	25-35 °C	8 °C

Tabla 1: Temperatura

Humedad

La humedad del aire interior de un invernadero es muy importante para la vida de las plantas. Interviene en el crecimiento, en la transpiración, la fecundación de las flores y en el desarrollo de enfermedades, cuando es excesiva. La Tabla 2 muestra los valores adecuados a cada tipo de cultivo.

Producto	Humedad
Tomate y pimiento	50-60%
Berenjena	50-60%
Melón y acelga	60-70%
Judías	60-75%
Lechuga	60-80%
Sandía	65-75%
Guisantes	65-75%
Calabacín y apio	65-80%
Fresones	70-80%
Pepino	70-80%

Tabla 2: Humedad

1. Calefacción

Si las temperaturas reinantes en el invernadero están por debajo de las óptimas habrá que recurrir a calefaccionarlo. Prescindiendo de sistemas rudimentarios, los generadores de aire caliente con quemadores de aceite pesados suelen resultar los más racionales, siendo prohibitiva la calefacción eléctrica.

La calefacción debe compensar las pérdidas de calor por radiación, renovación de aire, conducción, convección y por el suelo. Si se prescinde de la renovación de aire, que suele ser nula en invierno, puede hacerse el cálculo aproximadamente por la fórmula:

$$C = K \cdot S \cdot (ti - te)$$

- C = Kícalorías/horas necesarias
- K = Coef. de transmisión de la cubierta (de 2,5 a 7)
- S = Superficie de la cubierta y paredes
- ti-te = Incremento temperatura en el interior respecto al exterior

Aunque se proyecte una calefacción discreta por motivos económicos y no se pretenda alcanzar las temperaturas óptimas de la Tabla 1, el importe de la calefacción resulta siempre importante. Sólo como ejemplo indicativo dejaremos apuntado que para un invernadero de 4.000 m², con un coeficiente de transmisión medio y para un incremento de temperatura de 10 °C, de la aplicación de la fórmula indicada resulta un aporte de calor, más un 10% por pérdidas diversas, de 250.000 kcal/h equivalente a una potencia eléctrica de 290 kw.

En casos de una emergencia pasajera, puede evitarse la catástrofe, sin aportar calor artificial, con la producción de humo o vapor de agua dentro del invernadero.

2. Refrigeración

Según sea el material de la cubierta del invernadero la radiación solar, que en la zona mediterránea alcanza hasta 600 W/m², puede determinar un sobrecalentamiento del aire interior muy alto. Esta sobrecarga de calor hay que eliminarla tratando que la temperatura se acerque a las óptimas señaladas. La gráfica de la Fig. 1 muestra la diferencia de temperatura entre la interior y exterior de un invernadero cerrado, sin aberturas, a lo largo de las horas del día.

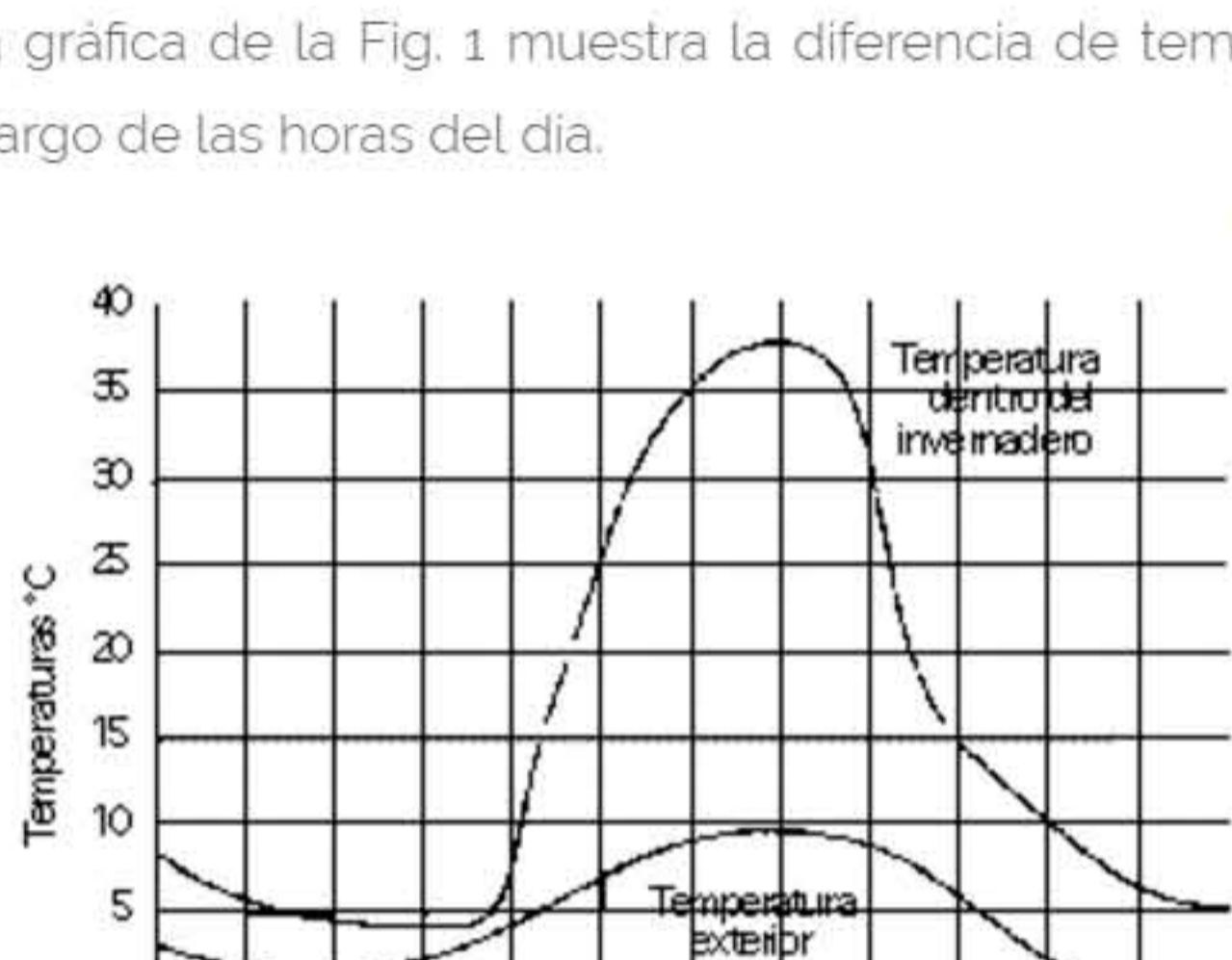


Fig. 1: Variación de las temperaturas a lo largo del día

Recurrir a una refrigeración mecánica a base de compresor, bomba de calor, etc., es disparatado por el coste que supondría. Hay que utilizar sistemas más económicos como la ventilación, los paneles evaporativos, la nebulización y aspersión de agua y el sombreado.

3. Ventilación

La ventilación en un invernadero consiste en sustituir el aire caliente interior del mismo por otra masa de aire más frío procedente del exterior. Así puede evacuarse gran parte de la sobrecarga de calor rebajando la temperatura y, a la vez, modificar la humedad y la concentración de gases.

Dos son los sistemas de ventilación que pueden adoptarse: Ventilación Natural y Ventilación Mecánica. El sistema de ventilación debe escogerse de acuerdo con tipo de cultivo y las características del edificio. La descripción que va a hacerse de ambos sistemas obedece a construcciones experimentales realizadas, más que a cálculos teóricos pero sí que pueden señalarse como objetivos comunes el establecer unas renovaciones horarias entre 45 y 60. La temperatura interior en un día soleado, será de 5,5 a 6,5 °C por encima de la exterior con 45 renovaciones/hora y de 4,5 a 5,5 °C con 60 renovaciones/hora.

Y que las entradas de aire se diseñen para que, en invierno, el aire exterior se mezcle con el interior del local antes de incidir sobre las plantas.

3.1 Ventilación natural

La ventilación natural se basa en que el aire caliente interior del invernadero asciende y sale por aberturas en el techo con entradas laterales por los bajos Fig. 2. Se establecen unas corrientes de aire que ventilan el espacio cubierto. El montante de la ventilación lograda por este sistema depende del gradiente de temperatura interior-exterior, de la intensidad y dirección del viento y de la construcción del invernadero.

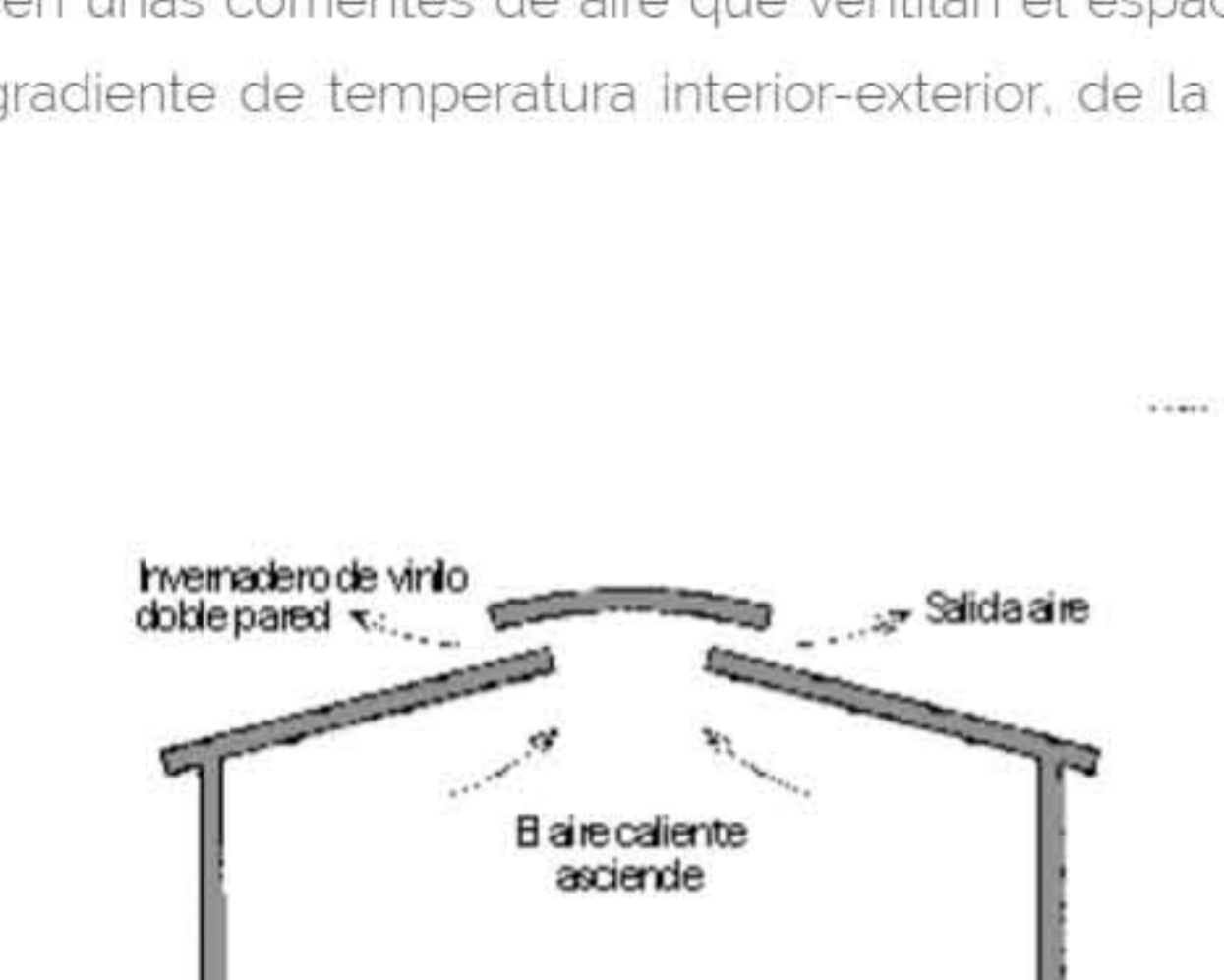


Fig. 2: Ventilación natural.

La ventilación natural exige grandes aberturas, del 15% al 25% de la superficie cubierta y decidir si aberturas centrales o laterales o la combinación de ambas, Fig. 3. Para obtener una buena distribución del aire deben abarcar toda la longitud de la nave y, para épocas frías o bien para poder regular la humedad, es necesario poder cerrar de forma progresiva, parcial o total estas aberturas. La maniobra puede ser manual o automática pero siempre será conveniente que esté mecanizada, centralizando su mando. En cambios bruscos de la climatología hay que poder reaccionar con rapidez y a cualquier hora, por lo que si el sistema es automático se tendrá que equipar con sensores de lluvia y viento para actuar.

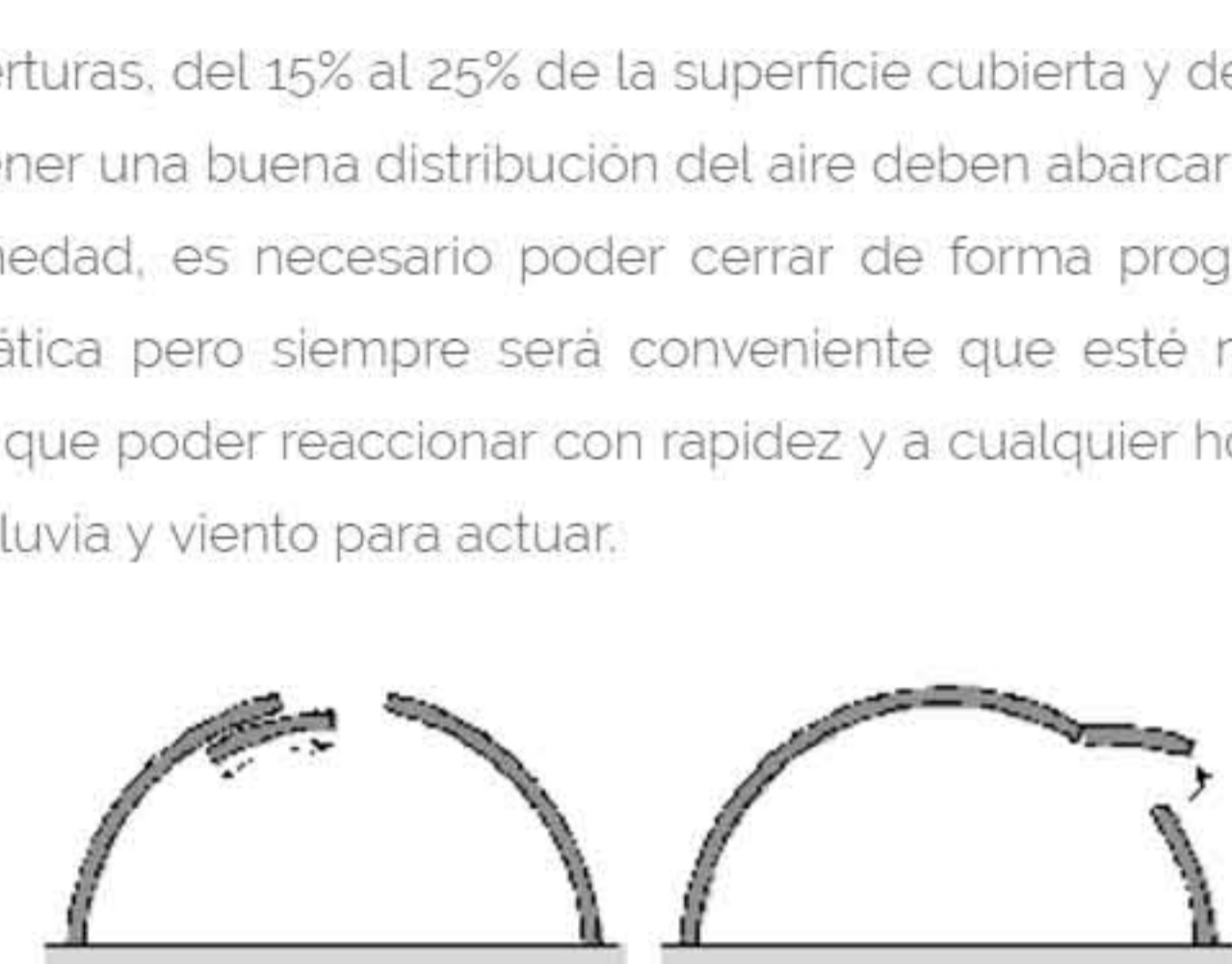


Fig. 3: Local con exfiltraciones

Pero, con este tipo de ventilación es difícil conocer qué renovación de aire se consigue, es imposible regular la velocidad de incidencia del aire sobre las plantas, está demasiado condicionado a las condiciones meteorológicas y en caso de invernaderos calefaccionados es difícil conservar la energía debido al defectuoso cierre de ventanas o de las muy largas chimeneas centrales, sobre todo cuando las naves envejecen después de un largo tiempo de uso.

3.2 Ventilación mecánica simple

La ventilación mecánica consiste en renovar el aire con la instalación de ventiladores electromecánicos colocados en la cubierta o bien en la parte alta de un lateral de la nave, dependiendo de la anchura de la misma. Las entradas de aire exterior se disponen por la parte baja de la pared opuesta a la de los ventiladores o por ambas si la descarga es central, Fig. 4.



Fig. 4: Ventilación Mecánica Simple (Naves anchas)



Fig. 5: Ventilación Mecánica Simple (Naves estrechas)

Designamos como 'simple' el hecho de vehicular aire del exterior, con su temperatura y humedad y descargarlo, después de barrer el interior, evacuando humedad, gases y carga de calor hacia el exterior. Es lógico que la temperatura mínima interior que puede esperarse con este sistema sea a lo sumo la misma que la del aire exterior.

Las renovaciones de aire por hora N que se decidan, entre 40 a 60, indicarán el caudal de aire necesario

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = \text{volumen del local} \times N$$

Y, el número de ventiladores será:

$$N = \frac{Q \text{ total}}{q \text{ (caudal de un ventilador)}}$$

Los ventiladores se distribuirán a lo largo de la nave, en la cubierta o un lateral, distanciados entre 7 a 10 metros uno de otro. En el caso de ventiladores laterales se colocarán persianas de gravedad para evitar corrientes contrarias cuando los aparatos estén parados.

Las entradas de aire exterior se protegerán, hacia el exterior con rejas antipájaros o roedores. Hacia el interior se dispondrán deflectores en caso que el aire exterior entrante incida directamente sobre las plantas próximas.

La conexión eléctrica de los ventiladores se hará a través de reguladores de velocidad que permitirán obtener regímenes de ventilación distintos de acuerdo a las necesidades.

3.3 Ventilación mecánica húmeda

Este sistema consiste en saturar de humedad el aire de entrada haciendo atravesar unos paneles de gran superficie de los paneles empapados con material fibroso empapado de agua. Los canales hechos a lo largo de la parte alta de los paneles suministran agua continuamente que los mantiene mojados. Fig. 6.

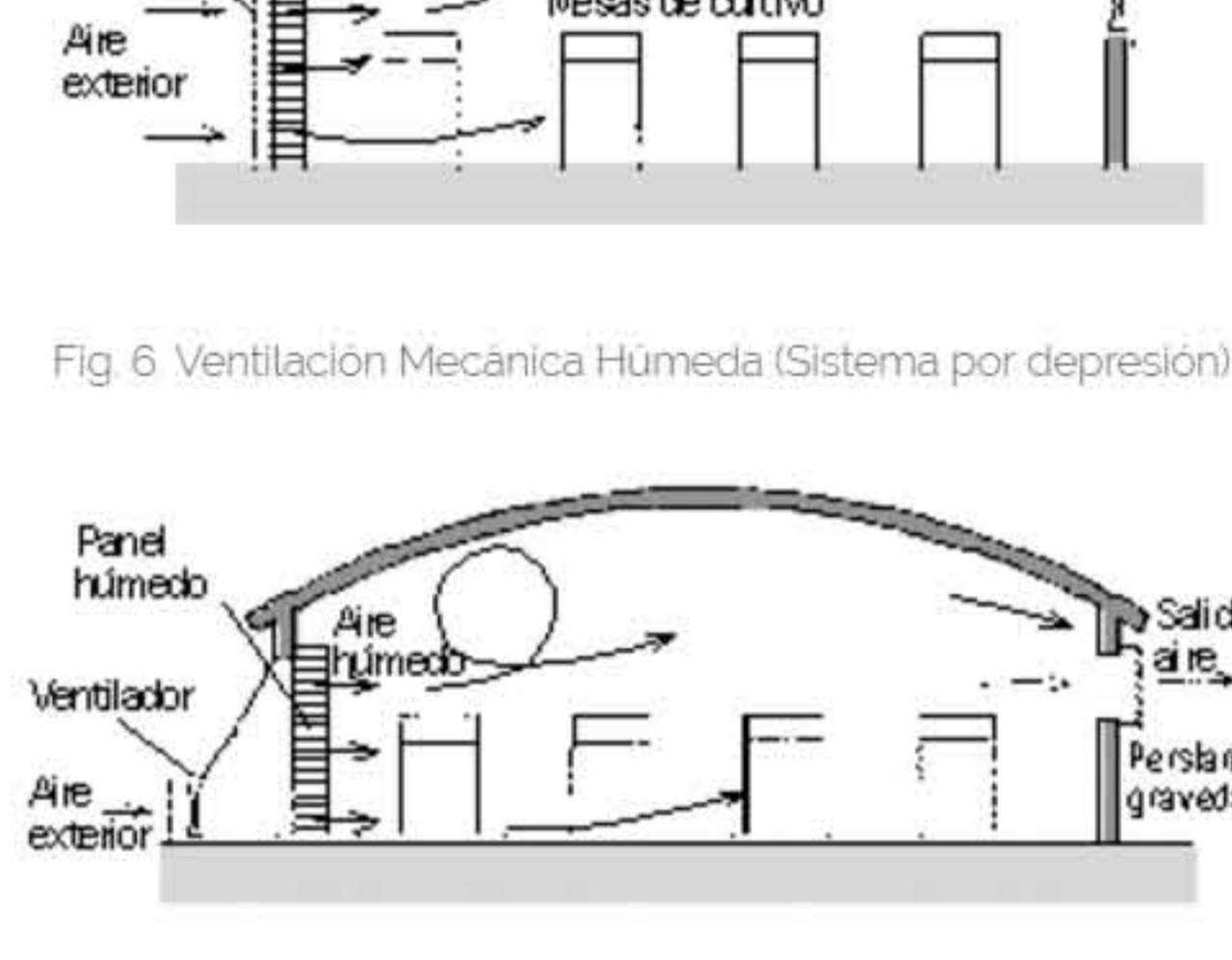


Fig. 6: Ventilación Mecánica Húmeda (Sistema por depresión)

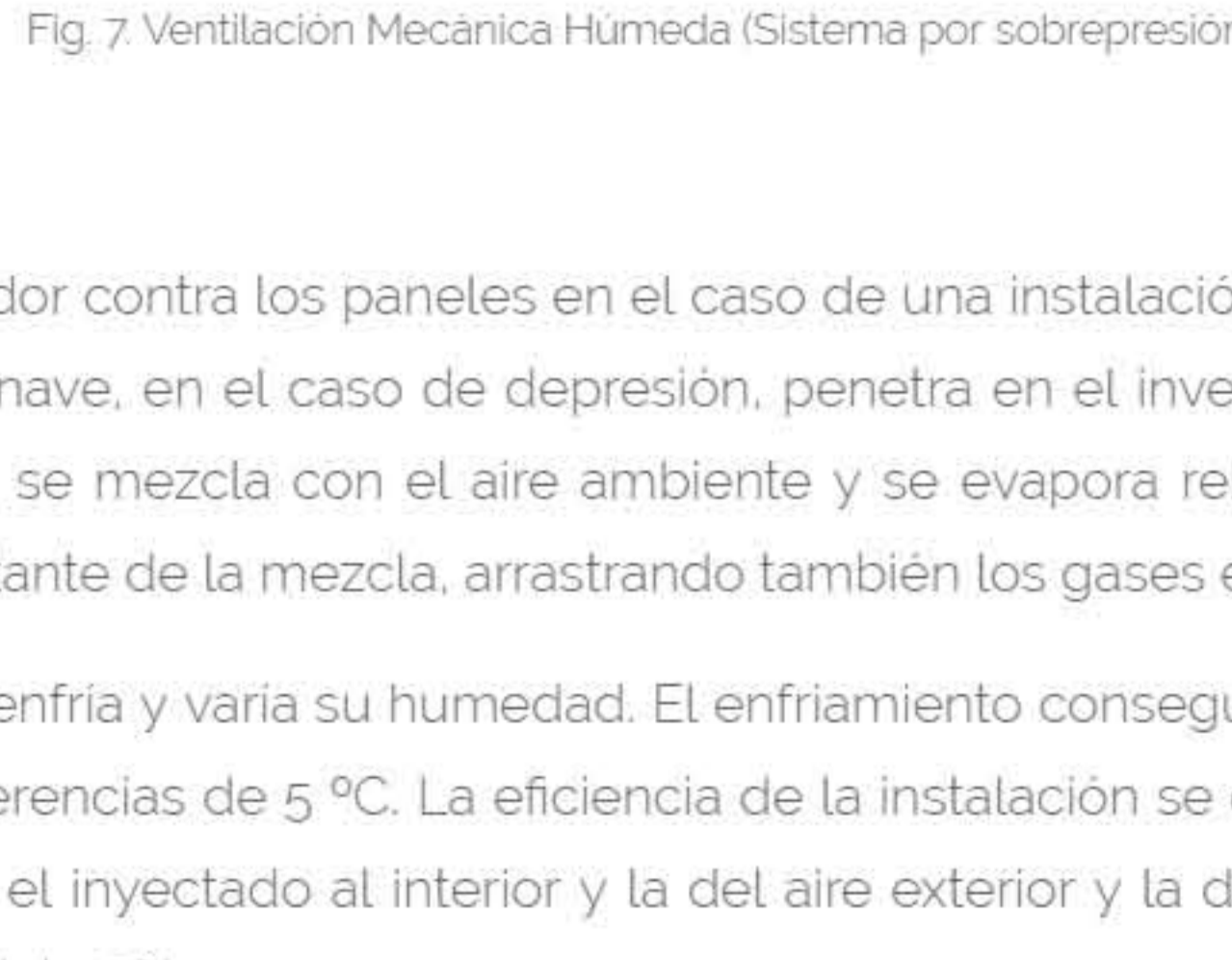


Fig. 7: Ventilación Mecánica Húmeda (Sistema por sobrepresión)

El aire exterior impulsado por un ventilador contra los paneles en el caso de una instalación por sobrepresión o bien succionado por un extractor en la pared opuesta de la nave, en el caso de depresión, penetra en el invernadero saturado de humedad y con una temperatura más baja. Dentro del local se mezcla con el aire ambiente y se evapora rebajando la temperatura y modificando su humedad. El aire a la salida será la resultante de la mezcla, arrastrando también los gases existentes.

Con este sistema se renueva el aire, se enfría y varía su humedad. El enfriamiento conseguido será tanto mayor como más sea el aire exterior, pudiéndose alcanzar diferencias de 5 °C. La eficiencia de la instalación se define como la relación entre la diferencia de temperaturas entre el aire exterior y el inyectado al interior y la del aire exterior y la del inyectado en caso de estar saturado al 100%. Pueden alcanzarse rendimientos del 90%.

El diseño en la disposición de los ventiladores y los paneles deben resolver los problemas de la velocidad del aire sobre las plantas y los gradientes de temperaturas dentro del invernadero.

Algunos aspectos que hay que atender son:

- La velocidad del aire a través de los paneles húmedos deben estar entre 1 y 2 m/s.
- La pérdida de carga de un panel no debe sobrepasar los 15 Pa con un enfriamiento de 3 °C. Los paneles, que ocupan todo el largo de un lateral del invernadero, deben tener una altura entre 0,5 y 1,0 m.
- El caudal de agua para mojar los paneles verticales debe oscilar entre los 4 y 10 L/min. por metro de longitud de los mismos.
- Si los locales son muy anchos debe adoptarse la disposición de ventilador de techo y entradas de aire, con paneles húmedos, en ambos laterales.

3.4 Aspersión y nebulización de agua

Consiste en repartir por todo el local unos pulverizadores de agua que difunden gotas por todo el ambiente. Según sea el tamaño de las gotas, por encima o por debajo de los 200 µm., resultan gotas que mojan o forman niebla. Estas gotas de agua se evaporan, absorbiendo gran parte de la energía del aire, con lo que enfrían el ambiente.

Como este sistema no cuenta con ventilación resulta inferior a la ventilación húmeda por lo que es aconsejable combinarlo con una ventilación simple.

Un inconveniente a señalar es que los equipos pulverizadores son muy delicados por la facilidad de obstruirse los pequeños orificios de los chiclés con las sales del agua.

3.5 Sombreado

Más que un sistema en sí, el sombreado es un buen complemento a cualquier sistema de refrigeración que se adopte consistente en colocar unos parasoles, pantallas de protección, para paliar el exceso de radiación solar sobre el invernadero. No obstante resulta difícil de instalar por razones de tamaño, solidez mecánica, resistencia a los elementos meteorológicos y de orientación exacta en caso de recurrirse al mismo de forma parcial.

También puede reducirse la temperatura de la cubierta, que emite calor hacia el interior de forma importante, por aspersión de agua sobre la misma, si bien esta medida requiere un gasto de agua elevado.