

La recirculación de la solución nutritiva es una alternativa eficaz ante la escasez de agua y los problemas medioambientales que conlleva la eliminación de las aguas de drenaje con altos contenidos en elementos químicos. Este sistema redonda en un mayor aprovechamiento de los recursos: el espacio físico, el agua, los fertilizantes e incluso algunos de los tratamientos fitosanitarios que puedan aplicarse en la solución.

Los cultivos sin suelo tienen otras ventajas adicionales, ya que facilitan las labores de cultivo, permiten disponerlo a varias alturas, optimizando así el aprovechamiento del terreno, y posibilitan técnicas avanzadas para cultivar en un mismo invernadero plantas con distinto estado de desarrollo. Todo ello aumentando el control sobre el aporte de agua y nutrientes a la planta y permitiendo la gestión adecuada de los lixiviados.

## *2.5. Estructuras de invernadero*

El rápido desarrollo de los cultivos bajo plástico se ha visto acompañado por un paulatino avance en materia fitosanitaria, mejora vegetal, técnicas de cultivo y comercialización. Sin embargo, hasta finales de los años noventa este auge no se tradujo en una mejora de las estructuras y del control climático de los invernaderos, debido fundamentalmente al largo periodo de tiempo necesario para renovar las estructuras, y a la fuerte inversión necesaria para ello (Valera *et al.*, 1999b). Hoy día continúa habiendo mucho trayecto de mejora en estructuras y en el control climático de invernaderos; sin olvidar la mejora vegetal orientada al sabor, la gestión de los residuos, y el esfuerzo necesario para cambiar la tendencia de caída continuada de la renta de los agricultores.

Sin embargo, en los últimos diez años la incorporación de tecnología a los invernaderos ha experimentado un avance significativo, aunque muy lento, con la suma, puesta en funcionamiento de sistemas activos de control del clima, y en mucha menor medida, de equipos de análisis de la producción y gestión laboral. En todo este proceso, y de manera también lenta, se están realizando mejoras en la estructura de los invernaderos. Así, se ha producido un progresivo abandono de las estructuras tradicionales tipo parral. Actualmente se construyen derivaciones mejoradas de los invernaderos tradicionales, con mayor volumen interior, más herméticos, con inclinación a dos aguas de la cubierta de cada módulo: los tipo Almería en su variante de raspa y amagado, que permiten la instalación de ventilación cenital y otras mejoras. Además, continúa en ascenso la superficie cubierta con invernaderos de tipo multitúnel, con

más volumen interior, incrementando la superficie de ventilación con ventanas tanto cenitales como laterales en las cuatro bandas, más herméticos, y por ello con mayores posibilidades de incorporar sistemas activos de control climático. No obstante, cada mejora tecnológica debe justificarse con un incremento previsto de la rentabilidad de la explotación, donde juega también un papel central el cultivo y la comercialización; de ahí el interés especial de este estudio.

Como hemos comentado, en menor medida también ganan terreno invernaderos procedentes de otros países europeos, como son los multitúnel utilizados en Francia, y los invernaderos *venlo* procedentes de Holanda. Estas estructuras en su diseño original estaban menos adaptadas a las condiciones climáticas de la zona que el invernadero tipo Almería. Los invernaderos *venlo*, o de cristal, están siendo introducidos en el Sudeste peninsular en las últimas campañas agrícolas fundamentalmente por empresas con capital holandés. El problema esencial de este tipo de estructuras es su elevado coste, que está en otro orden de magnitud que los tradicionales tipo Almería y los de tipo industrial o multitúnel.

Todas las nuevas estructuras son más herméticas, más altas, con mayor inercia térmica, poseen mayor separación entre apoyos; por lo que permiten incorporar nuevos equipos y tecnologías, y así controlar parámetros ambientales y mecanizar las labores culturales.

Como consecuencia de la aparición de normas europeas sobre la construcción de invernaderos y de las ya aplicables en España, como la de invernaderos de estructura metálica (UNE 76-208/92), deben adaptarse a ellas las estructuras, de forma que sean más seguras frente a la acción eólica y permitan un mayor control del clima. También ha habido intentos, sin el éxito esperado, de creación de la Norma UNE para la construcción de invernaderos tipo Almería, principalmente de cara a mejorar los elementos resistentes que conforman la estructura a garantizar su calidad y a facilitar su exportación hacia otros países y zonas climáticas (Sudamérica, Norte de África y Este de Asia). La normalización debe aportar mayor homogeneidad en los diseños, mayor seguridad estructural y, como consecuencia de ello, una mayor facilidad para incorporar tecnología, fundamentalmente orientada al control climático.

En Holanda se están empezando a comercializar nuevos diseños de invernaderos de tipo *venlo* con dos plantas, y con una altura superior a 8 m, en los que mediante sistemas de control climático muy sofisticados, se puede mantener el invernadero cerrado. En estos invernaderos se puede prácticamente conseguir duplicar la densidad de plantación, al disponer el cultivo a dos

alturas diferentes. En la planta inferior se utiliza de forma continua iluminación artificial, mientras que en la planta superior se utiliza la radiación solar; además la temperatura se controla mediante calefacción y la recirculación del aire caliente de la planta superior a la inferior.

En todo caso, para todos los tipos de invernadero, su microclima dependerá de factores inherentes a la propia estructura, al clima exterior, y al cultivo que hay en su interior.

El primer factor que hay que considerar a la hora de construir un invernadero es su orientación, ya que determina la disponibilidad de luz para las plantas y condiciona la eficacia del sistema de ventilación y la seguridad de la estructura frente al viento. El tipo de invernadero y la forma de la cubierta influyen principalmente en la captación de energía solar.

Una de las características geométricas más importantes de un invernadero es su anchura, ya que ésta afecta directamente a la circulación de aire en el interior. También es importante considerar en el diseño del invernadero su altura, puesto que determina su volumen unitario. En los invernaderos mediterráneos el parámetro de diseño que mayor importancia tiene en el control climático es la superficie y el tipo de ventanas utilizadas.

### 2.5.1. Invernadero tipo Almería

El invernadero tipo Almería posee varios subtipos como son: parral, raspa y amagado y asimétrico, cuyas diferencias estructurales son muy pequeñas y, en realidad se denominan los tres bajo el mismo término: tipo Almería, ya que fue allí su origen, y es desde donde comenzó su expansión a otras zonas de la Península Ibérica así como de fuera de ella, como el norte de África, América y algunas zonas de Asia.

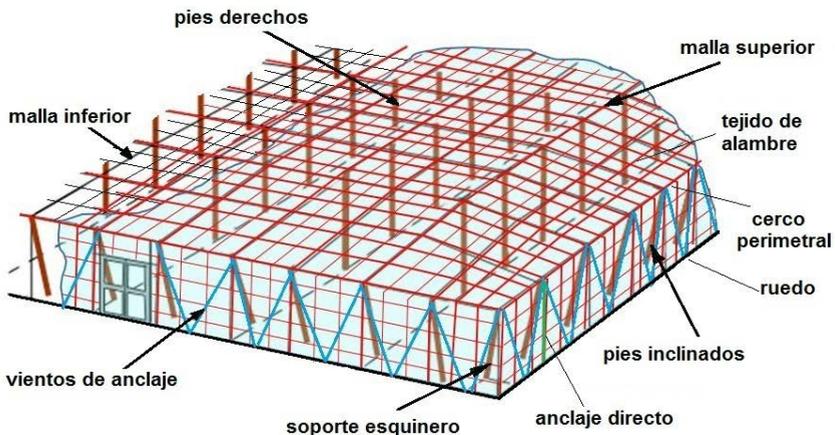
La mayoría de los invernaderos de la provincia son de tipo Almería, también conocido como tipo parral, caracterizados porque gran parte de los elementos estructurales son flexibles y están formados por alambres individuales o trenzas, sometidas a una tensión inicial durante el proceso de construcción (Valera *et al.*, 2004). El cerramiento de la cubierta está formado por láminas flexibles de plástico situadas entre dos mallas de alambre, extendiéndose éste a los cerramientos laterales de la estructura. Actualmente continúan siendo los más utilizados, con mucha diferencia, en el Sureste de España. Como ya se ha comentado, existen tres subtipos del invernadero tipo Almería en función de la forma de su cubierta:

- *Parral plano*: invernadero Almería cuya cubierta es plana y el plástico del cerramiento de la cubierta está perforado para evacuar el agua de lluvia.
- *Raspa y amagado*: invernadero Almería formado por módulos a dos aguas adosados cuyos módulos interiores presentan simetría con respecto a la cumbrera, y en los perimetrales la pendiente del faldón exterior es diferente a la del interior.
- *Asimétrico*: invernadero Almería formado por módulos a dos aguas adosados cuyos módulos interiores presentan asimetría con respecto a la cumbrera.

### Invernadero parral plano

El primer subtipo es el denominado plano o parral plano, derivado de los antiguos parrales dedicados al cultivo de la uva de mesa. Está compuesto por dos elementos básicos: una estructura vertical y otra horizontal (Figura 16). La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (denominados pies derechos).

**Figura 16. Estructura de un invernadero parral plano**



Los soportes verticales del interior son los encargados de transmitir a la cimentación las cargas que recibe. Los postes centrales definen la altura del invernadero. Los pies derechos intermedios suelen estar separados 2 m en sentido longitudinal y 4 m en dirección transversal, aunque también abundan separaciones de 2 x 2 y 3 x 4 m. En algunas ocasiones los postes están colocados al tresbolillo, es decir, alternando la disposición de los apoyos en cada línea.

Los soportes inclinados situados en el perímetro del invernadero definen la altura de las bandas. Estos apoyos perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente  $30^{\circ}$  con respecto a la vertical y junto con los vientos, que sujetan su extremo superior al suelo, sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 m aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1,5 m.

Tanto los apoyos exteriores como los interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto, tubos de hierro galvanizado o perfiles laminados de hierro y, excepcionalmente, postes de hormigón pretensado. El cerramiento vertical del invernadero lo constituyen las bandas cuyo principal elemento estructural es el ruedo.

La estructura horizontal (plana) flexible está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, tejidas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero (Figura 17). Estas dos mallas, conocidas como tejidos, están constituidas por un conjunto de hilos y cordadas que conforman cuadriláteros que constituyen los elementos resistentes de la estructura de cubierta y de las bandas. Se realizan dos tejidos (superior e inferior) que permiten sostener y sujetar la lámina de plástico entre ellas (Figura 18a).

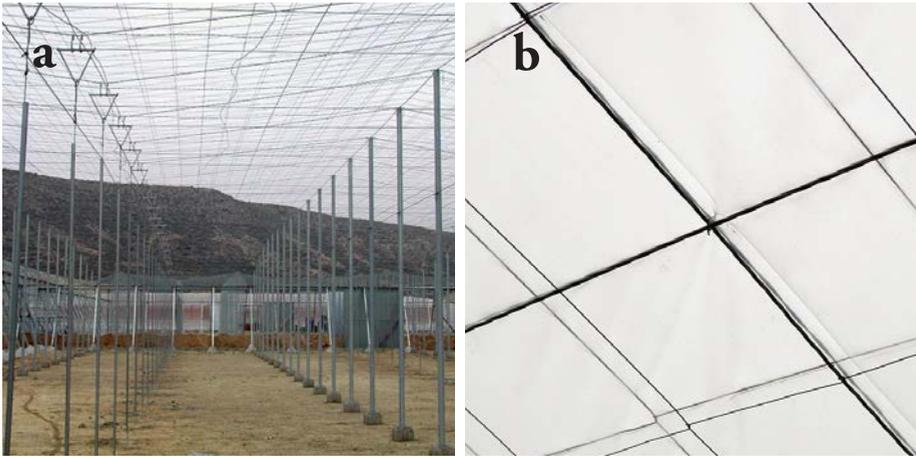
El principal elemento resistente del tejido de cubierta son las cordadas (Figura 17) constituidas por un alambre grueso, por trenzas o cables. Las cordadas se sujetan a los postes centrales mediante un nudo de alambre con un mínimo de cuatro vueltas denominado garrotera (Figura 18a).

Los tejidos superior e inferior entre los que se sitúa la lámina plástica, se unen mediante un punto de alambre que perfora la misma (Figura 17b), reduciendo así la estanqueidad del invernadero, lo que constituye uno de los principales inconvenientes de este tipo de estructuras.

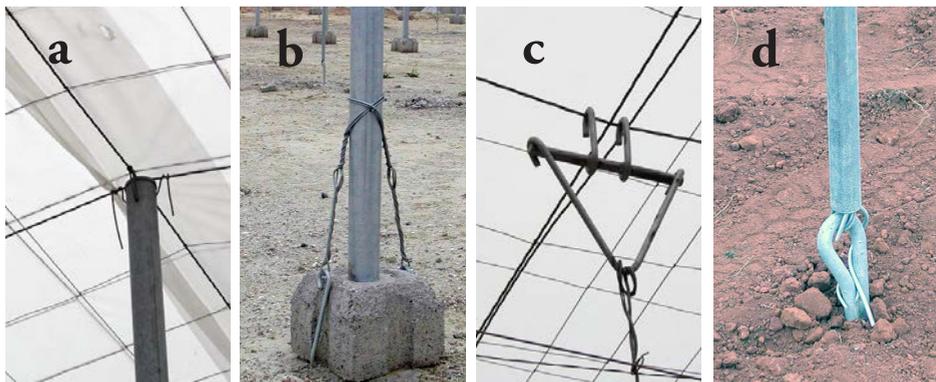
Además de estas dos partes de la estructura, existen otros elementos del invernadero como son los bloques prefabricados de hormigón, cuya cara superior presenta una oquedad donde se apoya el poste central del invernadero (*pies derechos*), transmitiendo los esfuerzos de compresión a la cimentación o

directamente al terreno. Actualmente se construyen sobre pilotes de hormigón fabricados *in situ*, con la armadura de la cimentación terminada en «U», dentro de la cual se asienta el dado de hormigón sobre el que apoya el pie derecho. Con un alambre que se fija el pie derecho a la prolongación de la armadura de la cimentación (Figura 18b).

**Figura 17. Estructura de un invernadero tipo Almería con la doble malla de alambre (a) y detalle de la unión de las cordadas longitudinal y transversal (b)**



**Figura 18. Elementos estructurales de un invernadero tipo Almería con unión de las cordadas longitudinales y transversales a un poste central mediante garroteras (a), anclaje de los pies derechos (b), sujeción de las canaletas a las cordadas transversales (c) y anclaje de los amagados a los «muertos» (d)**



La mayoría de los invernaderos que se construyen hoy día se refuerzan con vientos de anclaje, mediante redondos de hierro soldados a la parte superior de los pilares del perímetro, en sustitución de la tradicional cordada de alambre y, con un cerco perimetral realizado soldando ángulos de acero en la parte superior de los apoyos (Figura 19a). Los vientos son el elemento resistente que actúa como tensores uniendo la parte superior de los pies inclinados y la cimentación de anclaje perimetral (muertos). Suele haber dos tensores o vientos formando un ángulo agudo con la vertical (Figura 19a), a los que se puede añadir otro adicional perpendicular al suelo, demonimado directo. Todos los vientos se anclan a la cimentación, conociéndose el conjunto de tensores de un mismo soporte perimetral como abanico (Figura 19b).

**Figura 19. Estructura de la banda lateral de un invernadero tipo Almería con cerco perimetral con ángulos de acero y vientos de acero (a) y detalle de un anclaje directo entre dos vientos (b)**



Es mencionable un tipo particular de invernadero plano muy antiguo que está constituido por una estructura de tuberías de hierro galvanizado con una separación de 3 x 3 m (Figura 20). Los apoyos perimetrales se sitúan verticalmente, siendo la altura del invernadero de unos 2,5 m. Actualmente, no se suelen construir pero todavía se puede ver este tipo de estructura en el campo almeriense.

**Figura 20. Interior de un antiguo invernadero plano con estructura metálica**



Las principales ventajas de este tipo de invernadero son:

- Es muy económico, estando su precio comprendido entre 4 y 10 €/m<sup>2</sup>, dependiendo del tipo de apoyos.
- Tiene una gran adaptabilidad a las diferentes formas de las parcelas así como a los desniveles del terreno.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.

Las desventajas de este tipo de invernadero son:

- Presenta un gran número de obstáculos en su interior, con lo que el espacio libre es escaso.
- La ventilación es deficiente cuando la anchura es superior a 30 m, lo que ocurre en la mayor parte de los casos.
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Es poco estanco al agua de lluvia y al aire, lo que provoca una elevada humedad en el interior y posibles daños en el cultivo por goteo en periodos de lluvia, así como elevadas pérdidas de calor por filtración del aire interior.
- La falta de hermeticidad imposibilita la incorporación de técnicas de control climático.

## Invernadero en *raspa y amagado*

Este invernadero es el que más se ha extendido en los últimos años en detrimento del tipo plano. Su estructura es muy similar a la de este último, variando principalmente la forma de la cubierta que presenta un ángulo que oscila entre  $6^{\circ}$  y  $20^{\circ}$ . Cuanto mayor es dicho ángulo mejor intercepta la radiación solar, pero requiere mayor solidez estructural debido a los esfuerzos que le provoca la acción del viento. La cubierta se compone de dos partes (Figura 21):

- La *raspa*, que es la intersección de las dos vertientes de la cubierta de un módulo en su parte más alta.
- El *amagado* que es la intersección de la parte inferior de las vertientes de cubierta entre módulos adyacentes donde se instalan las canaletas de evacuación de aguas pluviales.

**Figura 21. Estructura de un invernadero tipo Almería**



Con respecto a los invernaderos planos se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbreira, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando la «raspa». En el «amagado» se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permiten colocar el tubo de desagüe del agua de lluvia. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m y la de las bandas entre 2 y 2,5 m.

En el subtipo raspa y amagado la separación entre los apoyos y los vientos del amagado suele ser de 2 x 4 m, utilizándose también separaciones como 2,5 x 4; 2 x 6 o 2 x 8 m. En la estructura de estos invernaderos se pueden distinguir una cordada longitudinal paralela a las raspa del invernadero que

se apoya sobre los pies derechos y una cordada transversal, perpendicular a las raspas del invernadero que se apoya sobre las cordadas longitudinales. También se pueden distinguir en el tejido de la malla de alambres, los hilos de llaneo paralelos a las raspas del invernadero y los de tejido perpendiculares a las raspas del invernadero que se tejen dándole una vuelta sobre los hilos de llaneo.

### Figura 22. Invernadero tipo Almería en su variante raspa y amagado



Entre otros aspectos, como su gran adaptación a las condiciones de Almería, su expansión se ha debido a que:

- Es económico, siendo su precio de construcción de 4,5-15 €/m<sup>2</sup>.
- Tiene un buen volumen unitario y como consecuencia mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos, frente a los que también es más hermético.
- La mayor altura de estos invernaderos facilita la circulación del aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento, junto a la arista de la cumbre, lo que permite una buena ventilación por *efecto chimenea*.
- Resiste muy bien la acción del viento.
- Permite geometrías irregulares de la superficie en la planta del invernadero (descuadres).
- Está muy bien adaptado a determinados cultivos, por ejemplo, los no tutorados.

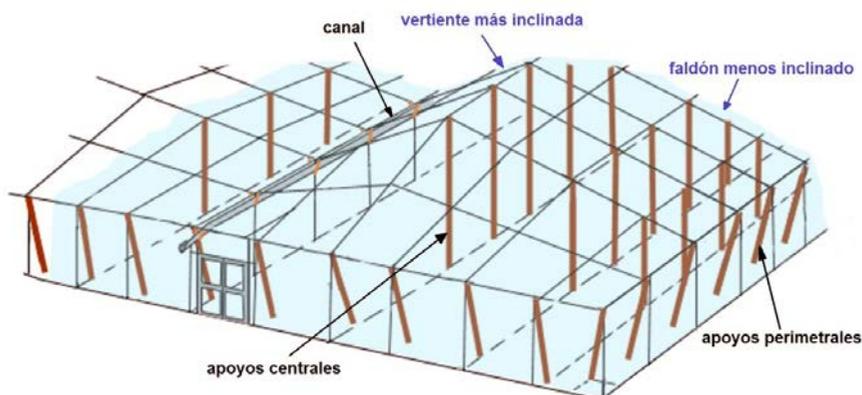
**Figura 23. Invernadero en raspa y amagado en construcción**



### Invernadero asimétrico

La variante asimétrico (Figura 24) difiere del subtipo raspa y amagado en que las vertientes de la cubierta tienen distinta inclinación, con objeto de aumentar su capacidad de captación de energía solar. En este subtipo la altura máxima de la cubierta varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de 2,3 a 3 m. La altura en las bandas oscila entre 2,15 y 3 m. La separación de los apoyos interiores suele ser de 2 x 4 m, aunque también pueden encontrarse valores de 3 x 4 y 2 x 8 m.

**Figura 24. Estructura de un invernadero asimétrico**



### 2.5.2. Invernadero multitúnel

El invernadero multitúnel, también llamado de tipo industrial, se caracteriza por la forma semicilíndrica de su cubierta y por su estructura totalmente metálica (Figuras 25 y 26). Este tipo de invernadero se está extendiendo en la actualidad en explotaciones tecnificadas, por su mayor capacidad para el control de las variables microclimáticas.

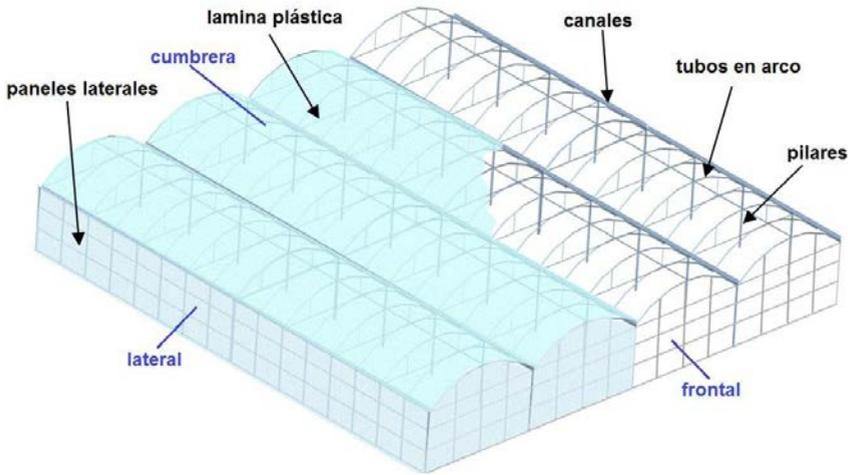
Los actuales modelos de invernaderos multitúnel están constituidos en su totalidad por tubos de acero galvanizado, en su mayor parte de sección cilíndrica, con diámetros entre 25 y 60 mm y con espesores de 1,5-3 mm. La unión entre las diferentes piezas se realiza mediante bridas o abrazaderas, conformadas en frío mediante corte y prensado de chapas galvanizadas con espesores de 1,5-2,5 mm, y fijados con tornillos.

En estos invernaderos el plástico se sujeta a la estructura mediante unos perfiles denominados omegas, debido a la forma de su sección (Figura 27). Los extremos del plástico se introducen en la parte hueca de la pieza y se sujetan mediante tacos de polietileno que ejercen una fuerte presión en la parte interna del perfil metálico.

**Figura 25. Invernaderos multitúnel de la Universidad de Almería**



**Figura 26. Estructura de un invernadero tipo multitúnel**



**Figura 27. Perfiles para la sujeción del plástico en invernaderos multitúnel**



En estos invernaderos se han eliminado los entramados de alambre típicos del resto de estructuras. Para realizar una mejor sujeción del plástico se pueden utilizar cintas o hilos de material plástico que se colocan en la parte externa para mantener siempre pegada la cubierta a la estructura. Así se impide que en días de fuertes vientos se produzca el aleteo del film sobre la estructura metálica, lo que suele ocasionar cortes en el mismo facilitando su rotura.

Los túneles presentan anchuras que varían de 6,5 a 9 m y la separación entre apoyos bajo las canales suelen ser de 4 o 5 m. El marco más utilizado es de 8 x 5 m de separación de los soportes interiores y en los invernaderos antiguos de 3 x 5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos suele oscilar entre 3,5 y 6 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m. La tendencia es a construirlos cada vez más altos y con ventilación tanto cenital (en todos los módulos) como lateral en todo el perímetro.

Muchos de los invernaderos de este tipo se construyen con cerramiento lateral rígido de policarbonato ondulado, por lo que presentan una mayor resistencia al viento en los laterales y frontales, donde los esfuerzos son mayores. La cubierta es de polietileno de baja densidad, similar a la utilizada en los invernaderos tipo Almería.

**Figura 28. Estructura de un invernadero multitúnel de cubierta cilíndrica**



Las ventajas de los invernaderos con cubierta semicilíndrica son:

- La gran separación de los apoyos permite el trabajo y la entrada de maquinaria en el invernadero.
- La elevada altura de estos invernaderos facilita la circulación del aire.
- Presentan una buena estanqueidad a la lluvia y al aire, lo que permite utilizar métodos de control activo del clima, como calefacción, paneles evaporadores o enriquecimiento carbónico.

- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento (que aumenta la tasa de ventilación) y facilita su accionamiento mecanizado.
- La cubierta curva proporciona un buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Permite utilizar una parte de la estructura como zona de recepción o de almacén.

Sus principales inconvenientes son:

- Su elevado precio de construcción, alrededor de 12-25 €/m<sup>2</sup>.
- El plástico requiere mayores exigencias mecánicas, ya que está poco sujeto a la estructura.

Una variante de los invernaderos multitúnel de cubierta circular, la constituyen los invernaderos ojivales o de tipo gótico, en los que los arcos están constituidos por dos arcos de circunferencia que se sueldan en la cumbre (Figura 29).

**Figura 29. Invernadero multitúnel gótico con ventanas supercenit en cumbre**



### 2.5.3. Invernadero tipo *venlo*

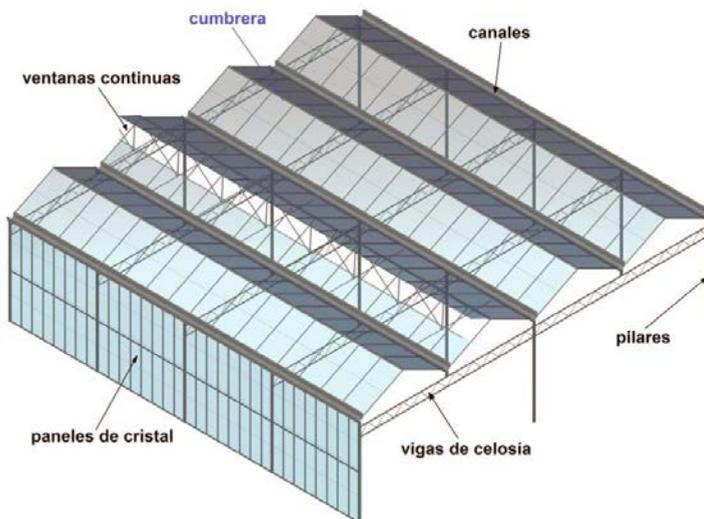
Los invernaderos *venlo* o de cristal (Figura 30), son las estructuras típicas utilizadas en Holanda, y se pueden apreciar algunas de ellas también en Almería.

Están conformados por una estructura metálica y una cumbrera en forma de capilla múltiple con una inclinación de 22° en la mayoría de los casos. Estos invernaderos disponen de una sólida estructura capaz de soportar el elevado peso de las placas de vidrio que constituyen los cerramientos.

El espesor del vidrio es estándar, de 4 mm y se sujeta por los cuatro lados, con un ancho máximo de 1,125 metros. Mediante vigas de celosía se consigue aumentar la anchura de los módulos, generalmente entre 6,4 y 12 m. Las columnas pueden tener una separación de 3,4 o 4,5 m, y la altura en cumbrera de la cubierta puede llegar a los 6,5 m. El problema esencial de este tipo de invernaderos es su elevado coste, que está en otro orden de magnitud que los tradicionales parrales y los de tipo industrial o multitúnel. Está además especialmente diseñado para zonas muy frías.

Estos invernaderos se han mostrado muy efectivos en los climas fríos de Centroeuropa, área de donde proceden, pero su adaptación a las duras condiciones climáticas estivales de zonas áridas como Almería (España), así como la amortización de la instalación, de precio muy superior a las anteriores (en torno a 30-40 €/m<sup>2</sup>), condiciona su expansión en las mismas.

**Figura 30. Estructura de un invernadero de cristal tipo *venlo***



**Figura 31. Invernadero de cristal tipo *venlo* en Almería**

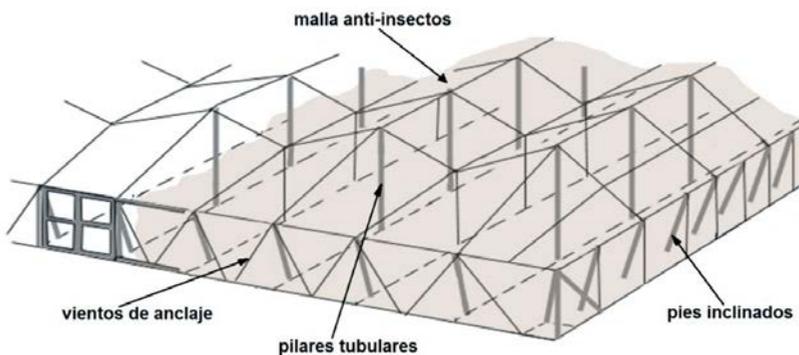


#### 2.5.4. Invernadero con cubierta de malla

Este tipo de invernadero ha sido utilizado con gran éxito en el cultivo de tomate en Canarias y en nuestros días está también implantado en la comarca del Bajo Almanzora, especialmente para el cultivo del tomate.

Estos invernaderos, que tienen una estructura similar a los invernaderos en raspa y amagado, tienen todos los apoyos de tubo de hierro galvanizado, con una mayor altura en la cumbre, 4 m y una mayor separación interior, 3 × 4 m. El ángulo de la cubierta es de unos 22°.

**Figura 32. Estructura de un invernadero de malla**



Los puntos fuertes de los invernaderos de malla son:

- La elevada altura de estos invernaderos y la permeabilidad de cubierta facilita la circulación del aire.
- Se aprovecha el agua de lluvia.
- La gran separación de los apoyos facilita el trabajo y la entrada de maquinaria en el invernadero.
- Gran resistencia a fuertes vientos.
- Bajo coste de construcción, alrededor de 10-14 €/m<sup>2</sup>.

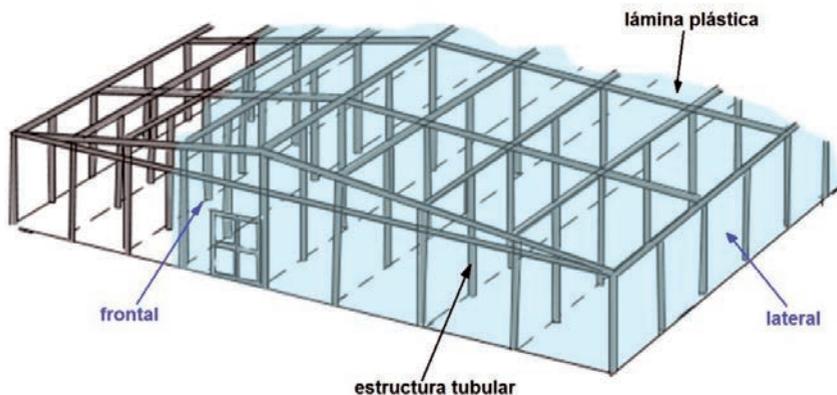
**Figura 33. Invernadero de malla con cultivo de tomate**



### **2.5.5. Invernadero con cubierta plástica «a dos aguas»**

Este tipo de invernadero es muy antiguo, tendiendo a desaparecer desplazado por otros tipos. Este invernadero se ha construido tanto con palos y alambres, como mediante tubos de hierro galvanizado. A este último se le conoce como invernadero tipo Canarias debido a que ha sido una de las estructuras de invernadero más extendida en las Islas.

**Figura 34. Estructura de un invernadero de tubos de hierro galvanizado y con cubierta «a dos aguas»**



La separación de los apoyos interiores suele ser de  $2 \times 4$  m para apoyos de madera y de  $3 \times 3$  m en los invernaderos con estructura metálica. La altura de estos invernaderos es de 2,3 a 4 m en la cumbre, y 1,8-2,2 m en las bandas. El ángulo de inclinación de la cubierta oscila entre 2 y  $10^\circ$ .

**Figura 35. Invernadero con cubierta «a dos aguas»**



### 2.5.6. Características geométricas del invernadero

El microclima que se genera en el interior de un invernadero depende tanto de las condiciones climáticas exteriores y del cultivo que hay en un

determinado momento en su interior, como de una serie de factores y de características del propio invernadero que dependerán de su diseño y permanecerán invariables a lo largo de toda su vida útil. Entre ellas podemos destacar las siguientes:

### Situación

El primer factor que hay que considerar a la hora de construir un invernadero es su situación geográfica. Deben evitarse zonas sombrías y húmedas, aquellas excesivamente expuestas a la acción directa de fuertes vientos y las zonas donde la presencia de otros invernaderos puede dificultar la ventilación, ya que este es el principal método de control climático en los invernaderos almerienses. A estas consideraciones habrá que añadir otras, relacionadas con la proximidad a carreteras, la disponibilidad de agua y electricidad, el coste del terreno, etc.

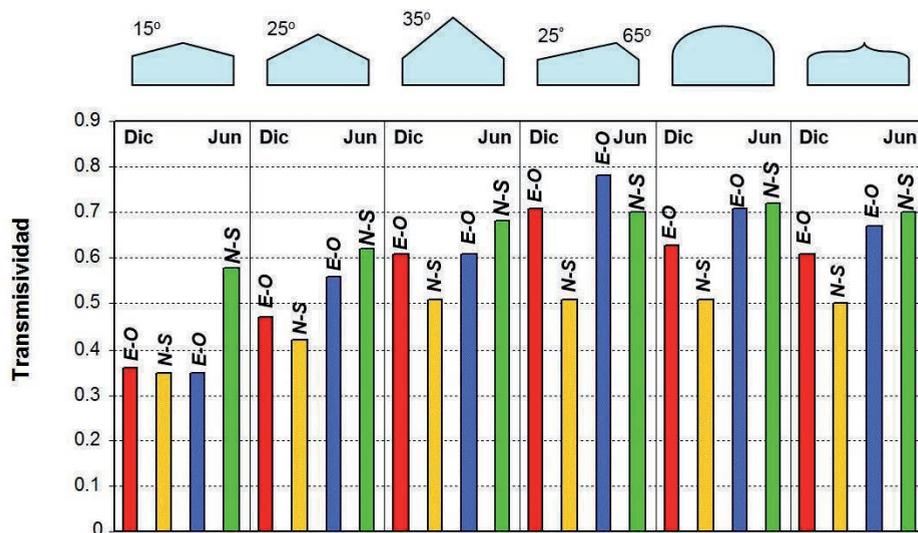
### Orientación

Otro de los factores que hay que considerar a la hora de construir un invernadero es su orientación, ya que determina la disponibilidad de luz para las plantas y condiciona la eficacia del sistema de ventilación y la seguridad de la estructura frente al viento. Comparando solo la estación invernal, que es el periodo del año en el que hay menor intensidad luminosa y en el que los días son más cortos, en latitudes mayores de 30<sup>o</sup> como es el caso de Almería, una orientación este-oeste (Figura 36) garantiza una mayor transmisividad de la cubierta a la radiación solar que la orientación norte-sur (Giacomelli y Ting, 1999; Urban, 1997). En los invernaderos con una elevada pendiente de la cubierta (30<sup>o</sup>) se observa una transmisividad de la radiación global en otoño-invierno hasta un 10 % superior con la orientación E-O que con la N-S (Castilla, 2005). Éste es el caso de los invernaderos de tipo *venlo* en los que Bot (1983) observó transmisividades del 45 % para la orientación E-O y del 35 % para la N-S, en diciembre. Sin embargo, para invernaderos tipo Almería, cuya pendiente media es de unos 7,2<sup>o</sup> (Molina-Aiz, 1997; Valera *et al.*, 1999b), se observa que prácticamente no existen diferencias en la transmisividad entre las orientaciones E-O o N-S (Papadakis *et al.*, 1998; Castilla, 2001).

Desde el punto de vista de la ventilación, la mejor orientación es la perpendicular a los vientos dominantes en primavera y verano, cuando la ventilación se hace más necesaria. Por ello en Almería lo usual es disponer, siempre que

la parcela lo permita, el eje de las cubreras del invernadero en la dirección Norte-Sur. Así, las ventanas cenitales se sitúan perpendiculares a los vientos de *Poniente* y *Levante* predominantes en la zona. El ángulo de incidencia del viento sobre las ventanas, no parece tener una importancia significativa, tanto en los invernaderos de tipo *venlo*, con ventanas discontinuas (Fernández y Bailey, 1993; Campen, 2003) como en los invernaderos multitúnel (Boulard y Draoui, 1995) o tipo Almería (Campen y Bot, 2003), con ventanas continuas a lo largo de todo el invernadero. Sin embargo, si suele ser importante el sentido del viento, puesto que la efectividad de las ventanas varía según se encuentren a barlovento o sotavento.

**Figura 36. Transmisividad de varios tipos de invernaderos orientados este-oeste y norte-sur en Diciembre y Junio**



Fuente: Nisen (1969).

### Tipo y dimensiones

El tipo de invernadero y la forma de la cubierta influyen principalmente en la captación de energía solar (Von Elsner *et al.*, 2000a). Una inclinación del techo adecuada (por encima del 25 %), para evitar la condensación del agua y el goteo sobre las plantas, es un requisito necesario en los invernaderos mediterráneos (Von Zabeltitz, 1992).

Una de las características geométricas más importantes de un invernadero es su anchura ya que ésta afecta directamente a la circulación de aire y su capacidad de ventilación al determinar directamente la distancia entre las ventanas laterales de barlovento y sotavento. Así, no son recomendables anchuras superiores a 30 m (Molina-Aiz, 2010), aunque la mayoría de los invernaderos de Almería superan ampliamente esta magnitud.

También es importante considerar en el diseño del invernadero su altura, puesto que determina su volumen unitario. Un mayor volumen del invernadero produce una respuesta más lenta del ambiente interior a los cambios de las condiciones climáticas exteriores, por lo que, los invernaderos más altos muestran menores fluctuaciones en su microclima interior. Se recomiendan al menos, alturas de 3,5 a 4 m en cumbre y de 2,5 a 3 m como altura mínima de la cubierta y en las bandas, de forma que se permita la circulación del aire sobre las plantas y que se obtenga una gran inercia térmica para reducir las temperaturas extremas (Valera *et al.*, 2002b).

Los invernaderos altos ofrecen otras ventajas importantes como una gran eficacia de ventilación. La mayor altura del invernadero aumenta las diferencias de presión a lo largo de la cubierta para velocidades del viento elevadas, mientras que para bajas velocidades también mejora la ventilación por efecto chimenea inducido por una mayor distancia entre las ventanas laterales y cenitales (Von Elsner *et al.*, 2000a). Además, los invernaderos más altos permiten más espacio para la instalación de sistemas de control climático como pantallas térmicas o mallas de sombreado, equipos de nebulización, iluminación artificial, etc. Por estas razones, la tendencia actual en la tecnología de invernaderos es hacia invernaderos más altos.

Sin embargo, los invernaderos más altos aumentan el consumo de energía y presentan mayores exigencias de estabilidad estructural debido a las mayores cargas de viento que deben soportar. La altura de un invernadero debe optimizarse con respecto a estos factores contrapuestos.

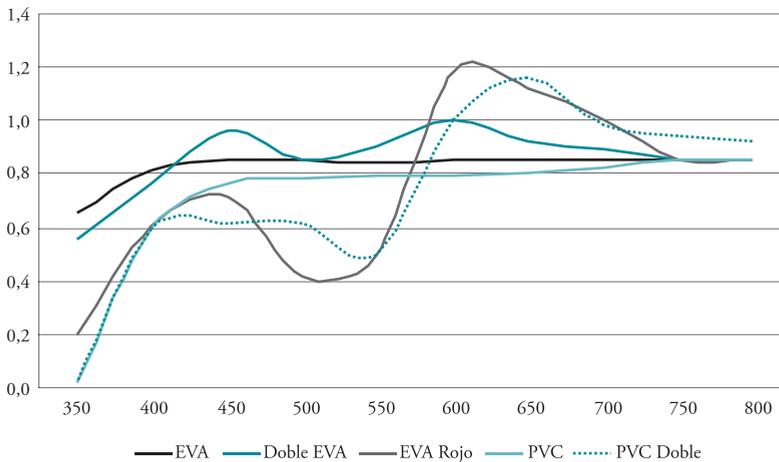
### 2.5.7. Materiales de cubierta

Otro factor que tiene gran importancia en el microclima del invernadero es el material utilizado como cubierta. El tipo de plástico determina la luminosidad interior, las pérdidas de calor por radiación nocturna, por convección-conducción, y la condensación de agua en la cara interna. Un buen material utilizado en pared simple o doble, de forma temporal o permanen-

te, como cubierta de invernadero, debe presentar las siguientes características (Nisen *et al.*, 1988):

- Su empleo ha de ser económico, lo que no significa obligatoriamente que el precio de compra sea el más bajo.
- Presentar una duración conforme a la vida anunciada por el vendedor.
- Poseer una máxima transparencia a las radiaciones solares, principalmente a las denominadas visibles o fotosintéticamente activas (*PAR*).
- Poseer una mínima transparencia a la radiación infrarroja lejana (*FR*), es decir a la energía radiada por el suelo y las plantas tras haber absorbido la radiación solar incidente.
- Ser termoaislante, es decir tener un coeficiente de pérdidas de calor lo más bajo posible.
- No retener polvo que reduce rápidamente sus propiedades de transparencia a la luz solar.
- Producir una condensación de la humedad en forma de una fina lámina de agua evitando la formación de grandes gotas que al caer sobre el cultivo pueden ocasionar daños.

**Gráfico 2. Transmisividad en función de la longitud de onda de diferentes materiales de cubierta. En nm**



Fuente: Nisen y Coutisse (1981).

El uso de una doble pared de plástico incrementa las temperaturas mínimas de invierno, pero limita la transmisión de luz (Nisen y Coutisse, 1981), por lo que debería ser móvil, pudiendo retirarse durante las horas del día, como es norma con las sofisticadas pantallas térmicas (Albadalejo, 1991).

### Láminas flexibles

Las láminas flexibles son el tipo de cerramiento más utilizado en los países de la cuenca mediterránea, siendo su uso muy limitado en países de climas más fríos del centro y norte de Europa (Tabla 2). Existen multitud de láminas flexibles para cubiertas de invernaderos: polietileno de baja densidad, al cual se le añaden aditivos estabilizantes denominados HALS (*Hindered Amide Light Stabilisers*) y otros para mejorar determinadas propiedades como el efecto térmico, la duración, fotoselectividad, estabilizantes a la luz ultra violeta, etc., copolímeros de etileno y acetato de vinilo; láminas coextruidas; PVC plastificado (armado o sin armar); polipropileno (PP); y mallas permeables de polietileno de alta densidad.

La utilización de los plásticos, junto con el enarenado, han sido sin duda los factores determinantes del desarrollo de los invernaderos en la provincia de Almería. En el inicio de los invernaderos el plástico utilizado era el polietileno sin ningún tipo de aditivos. Posteriormente han ido apareciendo en el mercado otros tipos de filmes de polietileno que los agricultores han ido incorporando a sus invernaderos. La corta vida de este tipo de cubiertas, no superior a tres campañas, ha sido fundamental en el rápido desarrollo de los nuevos materiales.

El polietileno de larga duración de 720 galgas (0,18 mm) sigue siendo utilizado en muchos invernaderos, por su bajo precio (0,5-0,9 €/m<sup>2</sup>), siendo su duración de dos campañas. El polietileno térmico de 800 galgas (0,2 mm) también es utilizado ya que permite alargar su duración hasta tres campañas con un precio aproximado de 0,6-1 €/m<sup>2</sup>.

Los filmes coextruidos en tres capas de polietileno y EVA, en cantidades que varían del 4 a 14 %, aparecidos recientemente en el mercado, se están extendiendo rápidamente. Las láminas de 800 galgas son las más aceptadas por los agricultores por su mayor duración, tres campañas de cultivo.

También existen plásticos fluorescentes para incrementar la radiación fotosintéticamente activa, cambiando la composición espectral de la luz (Castilla, 1994). El uso de film plástico blanco en el suelo para reflejar la radiación hacia el interior del follaje (Garzoli, 1989) y la colocación de reflectores o refractores (Jaffrin y Urban, 1990) han sido sugeridos para aumentar la radiación disponible. Debe prestarse atención a la uniformidad de radiación dentro del invernadero, especialmente en aquellos orientados este-oeste y con una limitada inclinación del techo (Castilla, 1994).

**Tabla 2. Porcentajes de invernaderos con cubierta plástica en la Unión Europea**

Países de la CEE	Cubierta plástica [%]
España	99
Italia	91
Holanda	2
Francia	70
Portugal	98
Alemania (Oeste)	10
Grecia	95
Reino Unido	15
Bélgica	5
Dinamarca	2
Suecia	14
Austria	20
<b>Total</b>	<b>74</b>

Fuente: Meneses y Monteiro (1993); PlastEuroFilm (1994); Horticultural Statistics (1994); Castilla y Hernandez (1995); Scarascia-Mugnozza (1995); Briassoulis *et al.* (1997); CEPLA (1992); Von Elsner *et al.* (2000b).

**Tabla 3. Absortividad ( $\alpha$ ), emisividad ( $\varepsilon$ ), transmisividad ( $\tau$ ) y reflectividad ( $\delta$ ) para diferentes tipos de radiación; coeficiente de pérdidas de calor ( $U$ ) y densidad ( $\rho_p$ ) de los materiales comúnmente utilizados como cubierta de invernaderos**

Materiales utilizados en cubiertas simples, en dobles paredes o como pantallas térmicas	Espesor [mm]	Radiación solar (300-2.500 nm)			Radiación visible (380-760 nm)			Radiación térmica (2.500-40.000 nm)			U [W/m <sup>2</sup> °C]	$\rho_p$ [g/cm <sup>3</sup> ]
		$\alpha = \varepsilon$	$\tau$	$\delta$	$\alpha = \varepsilon$	$\tau$	$\delta$	$\alpha = \varepsilon$	$\tau$	$\delta$		
		Vidrio hortícola (VH) <sup>b,d</sup>	4	0,03	0,89	0,08	0,01	0,91	0,08	0,90		
Poliéster (PRV) <sup>e,f</sup>	1	0,01-0,02	0,89-0,92	0,07-0,09	0,01	0,93	0,06	0,64-0,69	0,04		1,50	
PVC rígido <sup>e,f</sup>	18	0,11	0,62	0,27	0,02	0,61	0,37	0,92	0,01	3,8	1,30	
Poliacrilato de metilo (PMMA) <sup>e,f</sup>	8	0,06	0,82	0,12	0,01	0,92	0,07	0,98	0,02	3,4	1,19	
Policarbonato (PC) <sup>e,f</sup>	4	0,08-0,11	0,78	0,14-0,15	0,06-0,10	0,75-0,79	0,15	0,89-0,98	0,02	3,5	0,17-0,20	
Poliuretano sin aditivos (PE) <sup>h,e,f</sup>	0,1	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,01	0,88-0,91	0,08-0,11	0,04-0,19	0,02	9,1	0,92	
Poliuretano de baja densidad (PEbd) <sup>h,e,g</sup>	0,18	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,13-0,40	0,07	9,4-16,2	0,91	
Poliuretano de larga duración (PEld) <sup>h,b</sup>	0,1	0,03	0,88	0,09	0,01	0,89	0,10	0,20-0,40	0,04-0,07	9,4-16,2	0,92	
Poliuretano infrarrojo (PEir) <sup>h,d</sup>	0,1	0,03	0,89	0,08	0,01	0,89	0,10	0,77	0,20	8,6-13,0	0,92	
Poliuretano térmico (PEt) <sup>h,d</sup>	0,18	0,03	0,89	0,08	0,02	0,90	0,08	0,80	0,10	8,6-13,0	0,92	
Copolímeros EVA <sup>e,f</sup>	0,1	0,02	0,89-0,91	0,07-0,09	0,00	0,90-0,92	0,08-0,10	0,42-0,58	0,39-0,55	7,8	0,94	
Coextrusiones PE-EVA-PE <sup>h,c,e</sup>	0,2	0,02-0,04	0,82-0,89	0,09-0,14	0,01	0,82-0,85	0,14-0,17	0,59	0,38	8,8-10,4	0,93	
PVC plastificado <sup>e,f</sup>	0,1	0,02	0,91	0,07	0,01	0,92	0,07	0,62	0,06	7,7	1,30	
PVC armado <sup>d,e,f</sup>	0,15	0,06	0,73-0,74	0,20-0,21	0,03	0,73-0,76	0,21-0,25	0,53-0,76	0,09-0,32	6,5	1,30	
Polipropileno (PP) <sup>e,g</sup>	0,8	0,06	0,74	0,20	0,04	0,73	0,23	0,69-0,71	0,21-0,26	11,2	0,91	
VH+VH <sup>e,f</sup>	4+4	0,15	0,72	0,13	0,03	0,82	0,15	0,83	0,00	3,2		
VH+PE <sup>e,f</sup>	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,01	0,86	0,13	0,87	0,01	4,2		
VH+EVA <sup>e,f</sup>	3,4+0,1	0,04	0,84	0,12	0,02	0,86	0,12	0,87	0,01	4,0		
PE+PE <sup>e,f</sup>	0,1+0,1	0,03	0,83	0,14	0,00	0,84	0,16	0,28	0,66	6,8		
PE+EVA <sup>e,b</sup>	0,1+0,1	0,03	0,87	0,10	0,00	0,88	0,12	0,59-0,70	0,27-0,38	9,4-10,2		
Pantalla aluminizada en las dos caras <sup>a</sup>	0,04							0,50	0,10	7,6		
Carra aluminizada hacia el suelo <sup>a</sup>	0,03							0,45	0,23	7,9		
Carra aluminizada hacia el cielo <sup>a</sup>	0,03							0,50	0,23	8,1		

Fuentes: <sup>a</sup>Feuilloley *et al.* (1989); <sup>b</sup>Feuilloley *et al.* (1994a); <sup>c</sup>Feuilloley y Issanchou (1996); <sup>d</sup>Nijskens *et al.* (1989); <sup>e</sup>Nijskens *et al.* (1984a); <sup>f</sup>Nijskens *et al.* (1984b); <sup>g</sup>Nisen y Coutisse (1981); <sup>h</sup>Nisen *et al.* (1984).

### Figura 37. Invernadero multitúnel con cubierta y laterales de polietileno



Hoy en día existen nuevos desarrollos de plásticos inteligentes para, por ejemplo, dificultar la orientación de los insectos en el interior del invernadero o para disminuir la proliferación de hongos.

### Plásticos rígidos

Existen varios tipos de plásticos que se comercializan como placas rígidas o semirrígidas y que se pueden utilizar como material de recubrimiento: poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP), policloruro de vinilo (PVC) rígido (no plastificado), polimetacrilato de metilo (PMMA) y policarbonato (PC).

En muchos de los invernaderos de tipo multitúnel que se han construido en la provincia se ha optado por placas de policarbonato ondulado para los cerramientos laterales, y en algún invernadero destinado a semillero, en toda la cubierta. Pese a su elevado precio (entre 4 y 8 €/m<sup>2</sup> dependiendo del espesor), en relación a las láminas flexibles, es un producto interesante porque puede durar 10-12 años.

También se utiliza mucho el policarbonato celular para las puertas, siendo su precio de entre 7 y 9 €/m<sup>2</sup> para las placas de 6 mm de espesor.

**Figura 38. Invernadero multitúnel con recubrimiento frontal de policarbonato**



### Vidrio hortícola

Este material es ampliamente utilizado para la construcción de invernaderos en países con climas fríos. El vidrio como material de cubierta en las condiciones climáticas de Almería tiene poca aceptación, debido entre otros aspectos al elevado coste con respecto al plástico, entre 8 y 12 €/m<sup>2</sup>. Presenta la ventaja de un mayor aislamiento térmico y la reducción del coste de renovación de la cubierta al tener un periodo de duración muy alto.

**Figura 39. Invernadero tipo *venlo* con cubierta de cristal en Almería**

